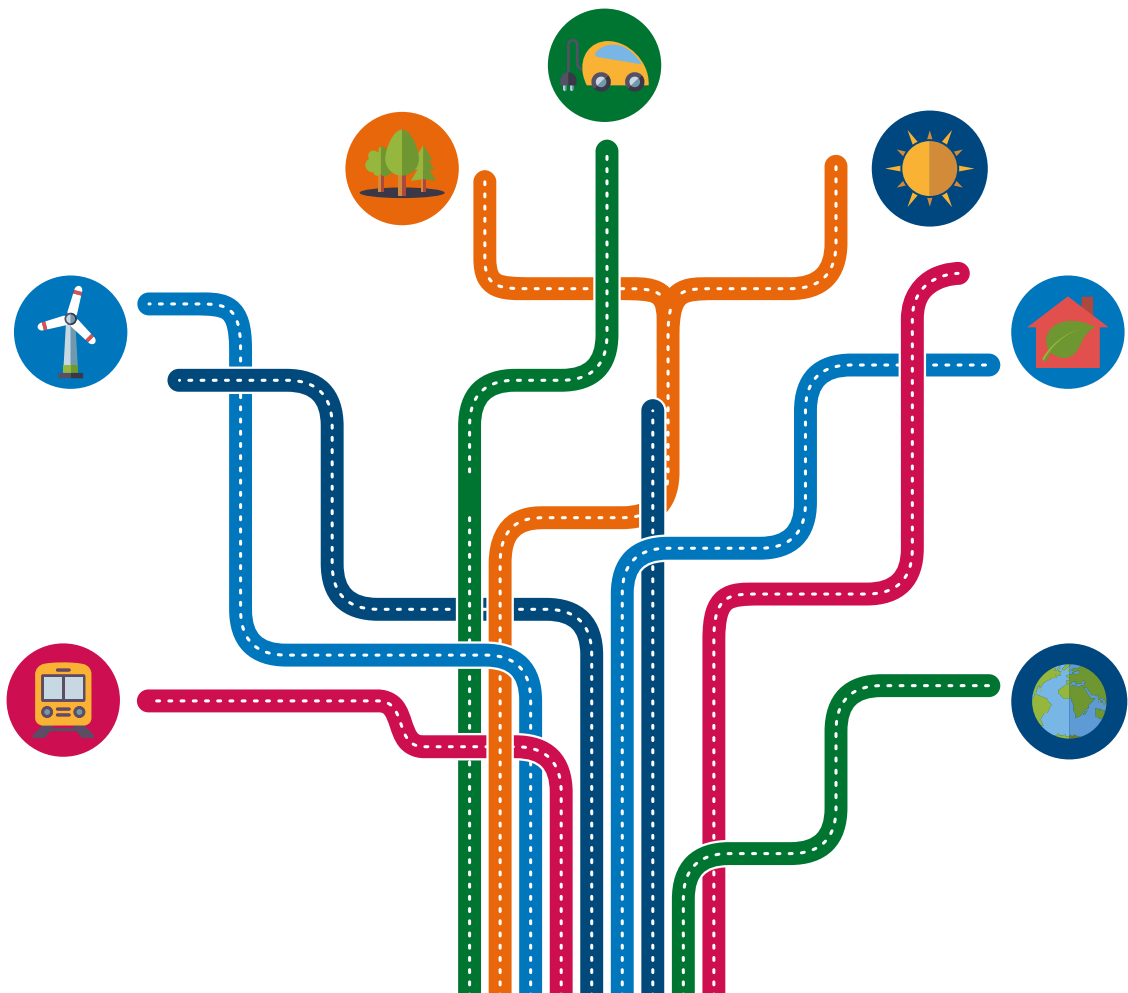




Mims

Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili

Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità





Mims

Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili

Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità

Soluzioni e strategie per gli investimenti
infrastrutturali in un contesto
di adattamento ai cambiamenti climatici
e di mitigazione delle emissioni di gas-serra

Rapporto della "Commissione cambiamenti climatici,
infrastrutture e mobilità sostenibili"

INDICE

Prefazione	9
Autori	11
Executive Summary	15
1. Introduzione	31
2. Infrastrutture, economia e società in Italia	41
Sintesi	42
Introduzione	46
2.1 Mobilità sostenibile e accessibilità	47
2.1.1 Infrastrutture, accessibilità e crescita economica	48
2.1.2 Political economy delle infrastrutture, qualità istituzionale e altre politiche pubbliche	50
2.1.2.1 Gli incentivi dei decisori pubblici	50
2.1.2.2 La qualità delle istituzioni locali	51
2.2 La situazione delle infrastrutture e della mobilità in Italia	53
2.2.1 Infrastruttura logistica	53
2.2.1.1 Attori economici e valore del sistema logistico	54
2.2.1.2 La qualità del sistema infrastrutturale	55
2.2.2 Mobilità di merci: la competitività sui mercati internazionali, divari territoriali e filiere produttive nazionali	57
2.2.3 Mobilità (privata, collettiva e pubblica) di persone	62
2.3 Le linee evolutive	65
2.3.1 Cambiamenti nella geografia economica del trasporto merci internazionale	65
2.3.2 Cambiamenti nella domanda di mobilità di passeggeri	66
2.3.4 Cambiamenti nell'offerta e conseguenze per le scelte di politica pubblica	67
2.3.5 Cambiamenti nelle tendenze agglomerative, insediative e nell'organizzazione delle città	68
2.3.6 Inclusione e nuove disuguaglianze	69
2.4 Dalla diagnosi alla cura	74
Bibliografia	78
3. Gli impatti dei cambiamenti climatici in Italia	81
Sintesi	82
Introduzione	85
3.1 Analisi e valutazione del pericolo climatico	85
3.1.1 Contesto e metodi	85
3.1.2 Variazioni attese del pericolo climatico	93
3.1.3 Variazione negli estremi climatici	95
Gli impatti dei cambiamenti climatici sulle città. Due "case study"	100

3.2 Gli impatti sull'economia	104
3.2.1 Introduzione	104
3.2.2 Il turismo	104
3.2.3 L'agricoltura	105
3.2.4 Il settore energetico	106
3.2.5 Il settore industriale e i trasporti	106
3.2.6 Commercio internazionale, crescita e occupazione	107
3.3 Gli impatti sulla società	110
3.3.1 Salute	110
3.3.2 Immigrazione	111
3.3.3 Povertà, disuguaglianza e distribuzione della ricchezza	111
Conclusioni	112
Bibliografia	115
4. Impatti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture	119
Sintesi	121
Introduzione	123
4.1 Impatti originati dagli eventi climatici estremi sulle infrastrutture critiche	126
4.1.1 Infrastrutture di trasporto	127
4.1.1.1 Trasporto terrestre	127
4.1.1.2 Trasporto Pubblico Locale	130
4.1.1.3 Trasporto Aereo	133
4.1.1.4 Trasporto Marittimo	135
4.1.1.5 Trasporto Fluviale	137
4.1.2 Infrastrutture per l'energia	139
4.1.3 Infrastrutture informatiche e per le telecomunicazioni	142
4.1.4 Infrastrutture logistiche	144
4.1.5 Infrastrutture per la gestione delle risorse idriche	145
4.1.6 Infrastrutture per la gestione dei rifiuti urbani e speciali	148
4.1.7 Effetti delle interdipendenze settoriali	151
4.2 Proiezioni degli impatti economici associati ai cambiamenti negli eventi climatici estremi	153
4.2.1 Impatti economici diretti	154
4.2.1.1 Rischi multi-settoriali multi-pericolo	154
4.2.1.2 Rischi a livello di settore e infrastruttura	156
4.2.1.3 Variazione spazio-temporale dei rischi	159
4.2.2 Impatti economici indiretti	161
4.2.3 Valutazione delle incertezze	164
4.3 Dinamiche socio-economiche e rischi di transizione	166
Conclusioni e proposte	168
Bibliografia	171

5. Tecnologie, disegno e riorganizzazione delle infrastrutture e della mobilità per la resilienza e l’adattamento ai cambiamenti climatici	177
Sintesi	178
Introduzione	183
5.1 Infrastrutture per la mobilità	185
5.1.1 Infrastrutture fisiche e veicoli	185
5.1.1.1 Mobilità Terrestre: strade, ferrovie, ponti, tunnel (urbana e extraurbana) e veicoli stradali	185
5.1.1.2 Mobilità aerea: aerei, aeroporti e rotte	192
5.1.1.3 Mobilità marittima e portuale	195
5.1.2 La tecnologia a supporto della resilienza e dell’adattamento delle infrastrutture, dei sistemi di trasporto e della mobilità	202
5.2 Infrastrutture per l’energia	204
5.2.1 Opzioni di adattamento	205
5.2.2 Ostacoli all’adattamento	206
5.2.3 Opportunità dall’adattamento	207
5.3 Infrastrutture per la logistica	208
5.3.1 Strategie di resilienza per gli elementi del sistema logistico	208
5.3.2 Interventi di adattamento per gli elementi del sistema logistico	209
5.4 Infrastrutture per l’informatica e le telecomunicazioni	212
5.4.1 Rete di comunicazione	212
5.4.1.1 La rete di trasporto	212
5.4.1.2 La rete di accesso	213
5.4.1.3 Tecnologie per l’Internet of Things (IoT)	214
5.4.1.4 Comunicazioni satellitari	214
5.4.2 Data center	215
5.5 Infrastrutture idriche	217
5.5.1 Infrastrutture idriche ad uso agricolo	217
5.5.1.1 Interventi infrastrutturali “hard”	218
5.5.1.2 Interventi infrastrutturali “soft”	218
5.5.2 Infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale	219
5.5.2.1 Interventi infrastrutturali “hard”	220
5.5.2.2 Interventi infrastrutturali “soft”	220
5.6 Opere di regimazione idraulica e difesa del suolo per resilienza e adattamento	222
5.7 Progettazione, gestione e ciclo di vita utile delle infrastrutture	224
5.8 Benefici sociali ed economici	226
5.8.1 I danni evitati	226
5.8.2 I benefici macroeconomici di una strategia di adattamento	228
5.8.3 I benefici sociali e ambientali	229
Conclusioni	231
Bibliografia	233

6. Mitigazione. Tecnologie, disegno e riorganizzazione delle infrastrutture e della mobilità per la decarbonizzazione del sistema Italia	239
Sintesi	240
Introduzione	248
6.1 Tecnologie ed infrastrutture per la mobilità	250
6.1.1 Infrastrutture fisiche di rete	250
6.1.2 Veicoli	253
6.1.2.1 Veicoli per il trasporto su gomma	254
6.1.2.2 Veicoli per il trasporto su ferro	261
6.1.2.3 Veicoli per l'aviazione	263
6.1.2.4 Veicoli per il trasporto marittimo	265
6.1.3 Tecnologie a supporto delle infrastrutture e dei veicoli	269
6.1.4 Intermodalità	273
6.1.4.1 Punti di interscambio modale	274
6.1.4.2 Supporto tecnologico e funzionale	275
6.2 Energia	277
6.2.1 Combustibili solidi	278
6.2.1.1 Prospettive future e implicazioni per lo sviluppo delle infrastrutture	278
6.2.2 Combustibili liquidi	279
6.2.2.1 Prospettive future e implicazioni per lo sviluppo delle infrastrutture	279
6.2.3 Metano	280
6.2.3.1 Prospettive future e implicazioni per lo sviluppo delle infrastrutture	281
6.2.4 Elettricità	281
6.2.4.1 Prospettive di sviluppo per elettricità	282
6.2.5 Implicazioni dello sviluppo di elettricità e idrogeno per le infrastrutture	285
6.2.5.1 Rafforzamento della rete elettrica	285
6.2.5.2 Infrastrutture di stoccaggio di energia elettrica e distribuzione	286
6.2.5.3 Eventuale infrastruttura per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno	287
6.2.5.4 Eventuale infrastruttura per lo stoccaggio e il trasporto di CO ₂	289
6.3 Logistica	291
6.3.1 Futuro sistema in base agli attesi sviluppi socio-economici	292
6.3.2 Strategie di mitigazione delle emissioni	293
6.3.3 Aspetti indiretti delle strategie di mitigazione	294
6.4 Informatica e telecomunicazioni	296
6.4.1 Rete di comunicazione	296
6.4.1.1 La rete di trasporto	296
6.4.1.2 La rete di accesso	297
6.4.1.3 Tecnologie per l'Internet of Things (IoT)	299
6.4.1.4 Comunicazioni satellitari	299
6.4.2 Data center	299
6.4.3 Integrazione, Interoperabilità e "Openness"	300
6.4.4 Cybersecurity	300
6.4.5 Impatto dell'IoT sulle strategie di mitigazione di altre infrastrutture	301

6.5 Risorse idriche	302
6.5.1 Infrastrutture idriche ad uso agricolo	302
6.5.2 Infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale	304
6.6 Opere di regimazione idraulica e difesa del suolo	306
6.7 Progettazione, gestione e ciclo di vita utile delle infrastrutture	307
6.7.1 Tunnel stradali e ferroviari	310
6.8 Benefici sociali ed economici	312
6.8.1 Impatti macroeconomici	312
6.8.2 Benefici. Il danno evitato	315
6.8.3 Co-benefici, crescita e occupazione	315
6.8.4 Co-benefici legati alla salute	316
6.8.5 Altri co-benefici della transizione energetica	317
6.8.6 Una valutazione economica complessiva	319
Conclusioni	320
Bibliografia	324
7. Politiche e strumenti di incentivazione e controllo della sostenibilità di infrastrutture e mobilità: stato dell'arte e prospettive	333
Sintesi	334
Introduzione	338
7.1 La EU Climate Law, il pacchetto Fit for 55 e le implicazioni per infrastrutture e trasporti	340
7.1.1 Riduzione emissioni in Italia al 2030 e strumenti disponibili	341
7.1.2 Una transizione socialmente inclusiva	344
7.2 Linee guida per il progetto integrato di politiche a sostegno di adattamento e mitigazione	346
7.3 Politiche e incentivi per una mobilità sostenibile	349
7.3.1 Verso uno "shift modale" nel trasporto passeggeri	350
7.3.1.1 Politiche per la riconversione degli spazi e delle strade	351
7.3.1.2 Politiche per la multimodalità e il potenziamento dei servizi di trasporto pubblico	352
7.3.1.3 Politiche amministrative	352
7.3.1.4 Politiche a favore di sistemi di mobilità condivisa	353
7.3.1.5 Misure economiche e finanziarie	354
7.3.2 Rendere più sostenibile il trasporto delle merci	358
7.3.2.1 Linee guida per la razionalizzazione dei sussidi in chiave intermodale	359
7.3.2.2 Struttura dei costi ed esternalità	360
7.3.2.3 Leve di intervento	361
7.3.2.4 Il trasporto delle merci in città	363
7.3.3 Trasporto Aereo e Marittimo	364
7.3.3.1 Trasporto aereo	366
7.3.3.2 Trasporto marittimo	370
7.3.4 Politiche a sostegno della transizione tecnologica verso veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati	375

7.3.4.1	Fiscalità sui combustibili e su altri vettori energetici	377
7.3.4.2	Norme, regolamenti e standard di natura tecnica	379
7.3.4.3	Incentivi economici volti a favorire la transizione tecnologica	380
7.3.4.4	Strumenti regolatori	387
7.3.4.5	Effetti della riduzione del gettito fiscale dall'energia fossile	391
7.4	Politiche e incentivi per le infrastrutture di supporto	393
7.4.1	Difesa del suolo	393
7.4.2	Infrastrutture idriche	395
7.4.3	Infrastrutture ICT	397
7.5	Strumenti trasversali	401
7.5.1	Strumenti di Governance e Risk Management	401
7.5.1.1	Modello di Climate Risk Governance e Risk Appetite	402
7.5.1.2	Processo di Strategic Planning Risk Management	404
7.5.1.3	Processo di Climate Risk and Vulnerability Assessment	405
7.5.2	Strumenti di trasparenza, monitoraggio e reporting in materia di sostenibilità ambientale	407
7.5.2.1	EU Taxonomy Regulation e regolamenti delegati	408
7.5.3	Gestione dei dati	410
Appendici al Capitolo 7		415
Appendice 1:	Il mercato europeo delle emissioni (ETS) e il suo ruolo nel pacchetto Fit-for-55	415
Appendice 2:	Il modello della città a 15 minuti di Carlos Moreno	417
Appendice 3:	La leva della domanda pubblica e la mobilitazione di investimenti privati	418
Appendice 4:	Raccomandazioni della Task Force on Climate-related Financial Disclosures	421
Bibliografia		425

PREFAZIONE

Il cambiamento climatico è una delle sfide vitali per il futuro della società umana e del nostro pianeta. Per contrastarlo, è necessario un forte coordinamento delle politiche sia a livello nazionale sia internazionale, e un cambiamento negli stili di vita di ampie fasce della popolazione, specialmente di quella che vive nei paesi sviluppati, come dimostrato dalle conclusioni contenute nell'ultimo Rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). La transizione ecologica è una priorità strategica dell'Unione europea che, con il Green Deal, il Next Generation EU e la recente proposta relativa al pacchetto di riforme "*Fit for 55*", vuole diventare la prima grande area geopolitica del mondo a impatto climatico zero al 2050.

L'Italia è in prima linea nella lotta al cambiamento climatico e sta mettendo in campo sforzi notevoli per accelerare la transizione energetica ed ecologica. Sin dall'inizio, il Governo Draghi ha rafforzato il posizionamento del nostro Paese rispetto agli impegni sottoscritti a livello globale ed europeo (Accordi di Parigi, *Green Deal* europeo e Agenda 2030 delle Nazioni Unite). La volontà del nostro Paese di giocare un ruolo da protagonista è emersa anche nel corso del G20 a presidenza italiana, che ha posto al centro dei negoziati temi quali l'economia circolare e la transizione energetica.

Le infrastrutture e i sistemi di mobilità rivestono un ruolo cruciale nella trasformazione del sistema socio-economico all'insegna della sostenibilità, in quanto rappresentano un elemento decisivo dello sviluppo di un paese e sono direttamente connessi alle scelte quotidiane delle persone, delle imprese e delle pubbliche amministrazioni. Data la necessità di adottare un approccio integrato alla transizione ecologica, che non lasci indietro nessuno e assicuri coerenza di politiche e obiettivi, il Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (Mims) ha intrapreso un percorso di profondo cambiamento in linea con la sua nuova denominazione, che ho voluto proprio per sottolineare che la sostenibilità deve riguardare entrambi gli ambiti di competenza del Mims.

Tale percorso consente di adeguare l'azione del governo nazionale ai principi concordati dai leader del G20 sotto la presidenza del Giappone, che definiscono "sostenibili" quelle infrastrutture in grado di massimizzare il loro impatto positivo da tutti i punti di vista (non solo quello economico), porre attenzione all'intero ciclo di vita dell'opera, internalizzare nel processo di selezione e progettazione i temi legati agli impatti ambientali, essere resilienti ai disastri naturali e ad altre tipologie di rischio, essere decise in base a una valutazione degli impatti sociali delle opere, essere selezionate e realizzate in base a processi di governance di qualità. Va infatti in questa direzione la definizione dei nuovi strumenti di progettazione e valutazione adottati dal Ministero, come le linee guida settoriali di valutazione degli investimenti in opere pubbliche, le linee guida per la redazione del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP) con l'introduzione della Relazione di Sostenibilità delle opere, e le linee guida sullo svolgimento del Dibattito Pubblico, richiesto per molte più iniziative rispetto al passato grazie alla riduzione delle soglie di valore delle opere oltre le quali il Dibattito Pubblico è obbligatorio.

Su questa scia, gli investimenti per infrastrutture e mobilità previsti dalla Legge di Bilancio 2022-2024 hanno l'obiettivo di potenziare e modernizzare le infrastrutture e i sistemi di mobilità nazionali nell'ottica dello sviluppo sostenibile, proseguendo fino al 2030 lo sforzo di rilancio del Paese avviato con il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Tali investimenti rientrano in una strategia di ampio respiro adottata dal Ministero, descritta nell'Allegato Infrastrutture al Documento di Economia e Finanza (DEF), "*Dieci anni per trasformare l'Italia*", presentato a luglio 2021, e ribadita con la Direttiva "*Indirizzi generali per l'attività amministrativa e la gestione per l'anno 2022*", in cui lo sviluppo di infrastrutture sostenibili e resilienti che tengano conto dei cambiamenti climatici rappresenta una delle quattro priorità politiche dell'azione del Mims.

Nella prospettiva descritta, è evidente l'importanza del lavoro svolto dalla Commissione "Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità sostenibili", istituita ad aprile 2021. In questo Rapporto viene presentata un'analisi approfondita della dotazione infrastrutturale del nostro Paese e degli effetti su di essa e sulla domanda dei servizi di trasporto previsti nei prossimi anni dovuti ai cambiamenti climatici, all'accelerazione dell'utilizzo di tecnologie digitali, al *reshoring* della produzione e la regionalizzazione delle catene del valore globali, all'aumento delle disuguaglianze, all'invecchiamento della popolazione e alla crescente urbanizzazione.

Il Rapporto avanza soluzioni e proposte che permetteranno, da un lato, di aumentare la sostenibilità e la resilienza del sistema infrastrutturale e della mobilità in un contesto di adattamento ai cambiamenti climatici e di mitigazione delle emissioni climalteranti, e dall'altro, di indirizzare il Paese verso uno sviluppo più sostenibile, inclusivo e competitivo, considerando anche le dinamiche innescate o accelerate dalla pandemia. La transizione ecologica rappresenta, infatti, una straordinaria opportunità per rilanciare la nostra economia, ma anche per stimolare una riflessione collettiva sulla visione dell'Italia che vogliamo costruire nei prossimi anni. Da questo punto di vista, il Rapporto rappresenta *un unicum* a livello nazionale.

Come ben illustrato nel Rapporto, il cambiamento climatico non avrà solo effetti sull'ambiente, sulla biodiversità e sul territorio, ma anche sulla vita e il benessere delle persone e delle attività produttive, determinando gravi conseguenze fisiche, economiche e sociali per il nostro Paese che vanta un patrimonio paesaggistico, artistico e culturale unico a livello mondiale, ma allo stesso tempo estremamente fragile, e presenta una conformazione territoriale particolarmente esposta ai rischi del cambiamento climatico e vulnerabile agli effetti di eventuali disastri naturali. Per adattare infrastrutture e sistemi di mobilità a questi cambiamenti, e far sì che anche questi contribuiscano al raggiungimento degli obiettivi di mitigazione delle emissioni climalteranti, è fondamentale compiere scelte radicali e urgenti, ma allo stesso tempo informate, ponderate e basate su analisi statistiche ed evidenze scientifiche.

Le evidenze contenute in questo Rapporto rappresenteranno anche le basi per le attività del Centro per l'innovazione e la sostenibilità di infrastrutture e i sistemi di mobilità (Cismi) da me istituito all'interno del Mims per svolgere attività di studio, di ricerca e di sviluppo nel settore della sostenibilità delle infrastrutture e della mobilità, dell'innovazione tecnologica, organizzativa e dei materiali, nonché delle due strutture "trasversali" che si occuperanno della decarbonizzazione nel settore dei trasporti (Struttura per la transizione energetica della mobilità e delle infrastrutture, STEMI) e delle politiche urbane (Struttura di coordinamento per le politiche urbane, SCPU), in maniera complementare con le attività di indirizzo del Ministero all'interno del Comitato interministeriale per la Transizione Ecologica (CITE) e del Comitato interministeriale per le politiche urbane (CIPU). Inoltre, questo Rapporto ha evidenti connessioni con quello elaborato dalla Commissione "Finanza per le infrastrutture e la mobilità sostenibili" da me istituita, finalizzato a comprendere in che modo creare una partnership tra settore pubblico e settore privato per investire in soluzioni innovative capaci di trasformare l'Italia nel prossimo decennio.

In conclusione, desidero ringraziare sentitamente il Prof. Carlo Carraro per aver coordinato i lavori di questa Commissione e i singoli esperti che, mettendo a disposizione le loro competenze e conoscenze, hanno contribuito alla redazione di questo prezioso documento che rappresenta un pilastro fondamentale per guidare le scelte che il nostro Paese deve compiere per affrontare con successo le sfide derivanti dai cambiamenti climatici.

Prof. Enrico Giovannini

Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili

AUTORI

Antonio Accetturo, Economista senior, Banca D'Italia, sede di Trento.

Stefano Alvisi, Professore Associato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara dove insegna "Idrologia".

Marta Arbinolo, Policy Analyst presso il Directorate Ambiente dell'OCSE.

Giuliana Barbato, Ricercatrice presso il Centro-Euro Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) nella Divisione Regional Models and geo-Hydrological Impacts (REMHI).

Alessandra Bianchi, Ricercatrice presso il Joint Research Centre (JRC) dell'Unione Europea.

Francesco Bosello, Professore Associato di Economia Ambientale presso l'Università Ca' Foscari di Venezia e direttore della divisione di ricerca "Economic Analysis of Climate Impacts and Policy (ECIP)" del centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC).

Ilaria Bosticchi, Assistente di ricerca presso il GREEN- Centre for Geography, Resources, Environment, Energy and Networks dell'Università Bocconi di Milano.

Roberto Buizza, Professore Ordinario di Fisica presso l'Istituto Superiore di Studi Sant'Anna e coordinatore del centro di ricerca Climate Change Studies and Sustainable Actions (3CSA).

Giuseppe Cantisani, Professore Associato di "Strade Ferrovie e Aeroporti" presso la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università La Sapienza di Roma.

Carlo Carraro, Rettore Emerito e Professore Ordinario di economia ambientale dell'Università Ca' Foscari Venezia. Vice-Presidente del Gruppo III dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Presidente della Commissione "Cambiamenti Climatici, Infrastrutture e Mobilità Sostenibili".

Andrea Castelletti, Professore ordinario di Gestione delle risorse naturali e Analisi dei sistemi ambientali al Politecnico di Milano.

Pierpaolo Cazzola, Esperto nel settore dell'energia e dei trasporti. Advisor della divisione "Energy, Technology and Environmental Sustainability" dell' International Transport Forum dell'OCSE.

Elisabetta Cherchi, Full Professor presso la School of Engineering, Future Mobility Group, Newcastle University e docente a contratto presso la School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, China.

Davide Ciferri, Coordinatore dell'Unità di Missione per il monitoraggio del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili.

Andrea Cominola, Assistant Professor presso la Technische Universität Berlin e l'Einstein Center Digital Future (ECDF), dove insegna "Smart Water Networks"..

Maria Vittoria Corazza, Dottoressa di ricerca in Progettazione Ambientale. Ricercatrice presso il DICEA (Università Sapienza di Roma) dove è docente nei corsi di Air Transport e Urban and Regional Policy.

Laura Cozzi, Chief Energy Modeller dell'International Energy Agency. È anche responsabile della divisione Demand Outlook con il compito di produrre l'annuale World Energy Outlook.

Riccardo Crescenzi, Full Professor di Economic Geography presso la London School of Economics. Attualmente titolare di una borsa di studio del Consiglio Europeo della Ricerca (ERC). Research Affiliate presso il Centre for International Development della Harvard Kennedy School of Government, Harvard University.

Pietro Croce, Pietro Croce è Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni all'Università degli Studi di Pisa. È presidente dell'HGB (Horizontal Group Bridges) che coordina tutti gli Eurocodici strutturali relativi ai ponti.

Shouro Dasgupta, Ricercatore presso il Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) e lo European Institute on Economics and Environment (EIEE). È anche docente a contratto della Università Ca' Foscari di Venezia.

Guido de Blasio, Economista nell'Area Ricerca Economica della Banca d'Italia, Roma.

Paolo De Girolamo, Professore Associato presso l'Università La Sapienza di Roma dove insegna "Costruzioni Marittime". È anche responsabile scientifico del Laboratorio di Costruzioni Idrauliche e Marittime del dipartimento DICEA presso la stessa Università.

Paola Di Mascio, Professoressa Associata presso la Facoltà di Ingegneria Civile ed Industriale dell'Università degli Studi di Roma dove insegna "Infrastrutture Aeroportuali" e "Transport Infrastructures".

Gino D'Ovidio, Professore Ordinario di Trasporti presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettonica e Ambientale (DICEAA) dell'Università degli Studi dell'Aquila. È anche Direttore del Centro Interdipartimentale Trasporti e Mobilità Sostenibile (CITraMS).

Marianna Duca, Strategic Risk Manager presso Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A.

Marta Ellena, Dottoranda presso l'Università Ca' Foscari in Scienze e Management dei Cambiamenti Climatici e ricercatrice per la Divisione Regional Models and Geo-Hydrological Impacts (REMHI) del Centro Euro-Mediterraneo di Cambiamenti climatici (CMCC).

Alessandra Ferone, Chief Risk Officer presso Cassa Depositi e Prestiti dove si occupa di rischi finanziari con uno sguardo anche su rischi emergenti come quelli climatici, ambientali e geopolitici.

Paolo Formichi, Docente a contratto presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'università di Pisa dove insegna Teoria e Progetto di Ponti.

Giovanni Forzieri, Ingegnere ambientale e ricercatore presso il Joint Research Centre dell'Unione Europea (JRC).

Claudio Gandolfi, Professore Ordinario presso il dipartimento di "Agricultural and Environmental Sciences - Production, Landscape, Agroenergy" dell'università Statale di Milano.

Patrizia Giangualano, Advisor su tematiche di governance e sostenibilità. Consigliere indipendente di nomina Assogestioni di Leonardo e Mondadori. È inoltre membro del CdA e Presidente del Comitato Controllo e Rischi di Sea Aeroporti e Astm.

Filippo Landi, Ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa dove svolge attività di ricerca su Sicurezza Strutturale e Ingegneria Civile.

Elisa Lanzi, Economista Senior del Dipartimento Ambiente dell'OCSE, dove si occupa di modellazione e analisi delle politiche ambientali.

Chiara Liti, Data Scientist-Risk Analyst presso la divisione di Risk Management & Climate Resilience del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A.

Giuseppe Loprencipe, Professore Associato di "Strade Ferrovie e Aeroporti" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi "La Sapienza" di Roma.

Luca Lotti, Head of Risk Management presso Cassa Depositi e Prestiti Group

Paola Mercogliano, Climatologa, ricercatrice senior presso la Fondazione CMCC dove dirige la divisione di Ricerca REMHI (Regional Model and geo-Hydrological Impacts). Docente a contratto presso l'Università degli Studi di Napoli "Parthenope" e membro del Board della S.I.S.C. (Società Italiana Scienze del Clima).

Alberto Montanari, Professore Ordinario di Costruzioni Idrauliche, Marittime ed Idrologia presso il Dipartimento DICAM dell'Università degli Studi di Bologna.

Matteo Muratori, Team Lead presso il National Renewable Energy Laboratory (NREL) del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti.

Roberta Padulano, Ricercatrice presso il Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC) nella divisione REMHI.

Ivana Paniccia, Direttore Ufficio Servizi e Mercati Retail presso l'Autorità di Regolazione dei Trasporti.

Ramiro Parrado, Ricercatore presso la Divisione "Economic Analysis of Climate Impacts and Policy (ECIP)" del Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC).

Isabella Pecorini, Ricercatrice presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni presso l'Università di Pisa.

Marco Percoco, Professore Associato in trasporti e sviluppo locale presso il Dipartimento di Scienze Sociali e Politiche dell'Università Bocconi e direttore del centro di ricerca GREEN.

Fabio Ricci Feliziani, Responsabile del Risk Management del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A. Guida la task force del Gruppo per creare valore condiviso a fronte dei cambiamenti climatici e delle relative strategie di adattamento.

Stefano Soriani, Professore Ordinario di Geografia Economica e Politica, Dipartimento di Economia, Università Ca' Foscari, Venezia.

Gabriele Standardi, Ricercatore presso la Divisione "Economic Analysis of Climate Impacts and Policy (ECIP)" del Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC).

Mara Tanelli, Professoressa Ordinaria in Automatica presso il Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria del Politecnico di Milano.

Mario Tartaglia, Responsabile del dipartimento di Modelli, Studi Strategici e Statistica Ufficiale del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A.. Guida l'ufficio studi del Gruppo ed è responsabile dello sviluppo di modelli matematici, analisi di dati e big data, sviluppo di studi e scenari strategici.

Massimo Tavoni, Professore Ordinario presso la School of Management del Politecnico di Milano e Direttore di EIEE (European Institute on Economics and Environment).

Andrea Tilche, Professore aggiunto presso la Norwegian University of Science and Technology (NTNU) e Professore associato e advisor presso UiT- The Arctic University of Norway. Fa parte della segreteria tecnica del Ministro della Transizione Ecologica Roberto Cingolani.

Massimo Tornatore, Professore Associato presso il Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano e Professore Aggiunto presso il Dipartimento di Informatica dell'Università della California.

Enrico Zio, Professore Ordinario presso il Center for Research on Risk and Crises (CRC) dell'Ecole de Mines, Paris Tech, PSL University in Francia, Professore al Politecnico di Milano. Co-direttore del Center for Reliability and Safety of Critical Infrastrutture (CRESCI) e del laboratorio sino-francese di Scienza e Ingegneria del Rischio (RISE) presso la Beihang University a Pechino.

EXECUTIVE SUMMARY

1. Il Rapporto evidenzia il ruolo cruciale che una strategia di investimenti in infrastrutture e mobilità sostenibili - accompagnata dall'adozione di adeguate tecnologie, strumenti di policy e pratiche di governance, oltre che da una conseguente, mirata, politica industriale - può avere per lo sviluppo economico dell'Italia. Una crescita sostenibile a fronte dei cambiamenti climatici in corso necessita infatti del rafforzamento della capacità di **adattamento** delle infrastrutture e dei sistemi di mobilità esistenti, della **resilienza** delle nuove infrastrutture e sistemi di mobilità, dell'adeguamento o della realizzazione di infrastrutture e sistemi di mobilità in grado di contribuire efficacemente alla riduzione delle emissioni di gas serra (**mitigazione**).
2. L'Italia presenta, in termini quantitativi, una dotazione infrastrutturale per la mobilità al di sotto di quella dei principali paesi europei ad essa paragonabili per dimensioni fisiche del territorio (Germania, Spagna, Francia, UK), per quanto riguarda sia le autostrade che le ferrovie. Comparabile con gli altri paesi è invece la dotazione di aeroporti e porti. Gran parte del divario tra l'Italia e gli altri paesi è ascrivibile al forte **ritardo infrastrutturale delle regioni meridionali**. La scelta di colmare questo ritardo attraverso una strategia di infrastrutture e mobilità sostenibili e resilienti al cambiamento climatico, oltre che in grado di contribuire a ridurre le emissioni di gas serra, costituisce una grande opportunità per il rilancio economico del Paese.
3. La globalizzazione e la frammentazione dei processi produttivi hanno coinvolto l'Italia al pari di altre economie mondiali. Per il coinvolgimento del nostro Paese nelle catene globali del valore, sembra ragionevole immaginare **due possibili scenari evolutivi**, non mutualmente esclusivi:
 - a) Aumento del peso dell'Asia, ed in particolare della Cina, nell'economia mondiale, con un ulteriore spostamento del baricentro dei flussi di commercio internazionale e degli investimenti esteri verso i paesi asiatici.
 - b) Fenomeni di *re-shoring* e incremento della regionalizzazione delle catene produttive mondiali.

In entrambi i casi, anche qualora i due scenari dovessero verificarsi contemporaneamente, è **plausibile che la geografia del commercio internazionale dell'Italia cambi in modo marginale almeno nel prossimo decennio** (Capitolo 2). Il nostro Paese è inserito in catene produttive fondamentalmente europee ed è integrato nelle catene globali del valore per lo più attraverso la Germania, che rappresenta il maggiore canale di accesso ai mercati internazionali più distanti. Un ulteriore spostamento dell'asse economico verso l'Asia avrebbe come effetto principale un incremento dei traffici commerciali verso la Germania. Il *re-shoring* accentuerebbe il carattere puramente regionale della partecipazione italiana alle catene globali del valore. In sintesi, accessibilità e collegamenti infrastrutturali verso il Nord Europa resterebbero comunque più importanti rispetto ad infrastrutture per collegamenti di lungo raggio.
4. Alle dinamiche relative al posizionamento del nostro Paese nelle catene globali del valore si aggiungono ulteriori elementi di cambiamento interno che incidono sulla domanda di accessibilità e sui suoi impatti socio-economici. In particolare la definizione di una strategia per la mobilità sostenibile dovrebbe tenere conto di:
 - a) **dinamiche tecnologiche**, con particolare riferimento all'applicazione delle tecnologie digitali e ai loro impatti sull'organizzazione sociale, delle attività lavorative e produttive e al conseguente impatto territoriale;

- b) **dinamiche demografiche** relative all'invecchiamento della popolazione, all'aumento della popolazione inattiva e all'incremento del lavoro a distanza accelerato dalla pandemia;
- c) **evoluzione delle tendenze agglomerative**, insediative e di organizzazione delle città e dei centri produttivi (la popolazione che vivrà nei centri urbani rispetto alla popolazione totale crescerà dal 54% di oggi al 68% nel 2050).

Le dinamiche tecnologiche possono favorire la resilienza del Paese e contribuire al processo di riduzione delle emissioni di gas-serra, se accompagnate da politiche volte ad allineare le opportunità economiche con la minimizzazione dell'impatto ambientale. Il digitale, ad esempio, può contribuire a ridurre in modo diretto e indiretto una quota importante delle emissioni complessive. Tendenze demografiche e agglomerative rendono invece il paese più vulnerabile e aumentano quindi le dimensioni e il valore dei danni da cambiamenti climatici attesi nei prossimi decenni, rendendo più rilevante e urgente una strategia di adattamento, resilienza e mitigazione.

5. Conseguentemente, uno degli obiettivi chiave del Rapporto è proporre di utilizzare investimenti, incentivi, standard e norme per guidare il Paese verso **uno sviluppo più competitivo e meno diseguale**, affrontando allo stesso tempo, grazie alle risorse messe in campo, le sfide del cambiamento climatico e quelle della globalizzazione e della trasformazione (digitale, demografica, ecc.) dell'economia italiana. Il disegno e la realizzazione della strategia delineata in questo Rapporto deve riconoscere che la progettazione e la gestione delle infrastrutture sono temi di natura complessivamente socio-tecnica e che gli impatti che hanno in termini di riduzione delle disuguaglianze e di giustizia sociale possono generare molteplici dividendi (in aggiunta a quelli ambientali ed economici). Una strategia per le infrastrutture e la mobilità sostenibili dovrà quindi essere incentrata sui bisogni sociali ed economici dei cittadini. Gli interventi programmati dovranno inoltre tenere in considerazione il profondo dualismo regionale che caratterizza il Paese. Non solo risvolti ed impatti sulle disparità regionali dovranno essere oggetto di costante valutazione e monitoraggio: anche gli aspetti di disuguaglianza e polarizzazione intra-regionale dovranno essere attentamente valutati.
6. Per inquadrare e quantificare la dimensione del problema dei cambiamenti climatici in Italia, il Rapporto fornisce innanzitutto un assessment delle nostre conoscenze sulle dinamiche presenti e future delle principali variabili climatiche e dei loro impatti fisici ed economici nel Paese. L'analisi del Rapporto si concentra su **due scenari climatici**. Lo **scenario obiettivo**, su cui si è impegnata anche l'Italia, che mira a mantenere **l'incremento di temperatura sotto i due gradi** rispetto ai livelli pre-industriali (lo scenario RCP 2.6 nel linguaggio dell'IPCC - l'Intergovernmental Panel on Climate Change - che implica una riduzione delle emissioni del 55% nel 2030, rispetto al 1990, e il raggiungimento delle zero emissioni nette nel 2050, dove RCP sta per *Representative Concentration Pathway*) e lo **scenario tendenziale**, coerente con le misure di policy già in atto, in grado di mantenere l'incremento della temperatura media globale poco sotto i 3 gradi (lo scenario RCP 4.5 dell'IPCC). Per il passaggio dallo **scenario tendenziale** allo **scenario obiettivo** sono necessarie misure e politiche di mitigazione, mentre misure di adattamento dovranno far fronte ai danni climatici che non potranno essere evitati. Anche nello scenario RCP 2.6, comunque caratterizzato da temperature medie più elevate rispetto ad oggi, sarà necessario far fronte al danno residuale generato dai cambiamenti climatici.
7. **Gli impatti dei cambiamenti climatici nelle varie regioni e settori italiani saranno rilevanti già a partire da questo decennio** (Capitolo 3). Ondate di calore, ondate di freddo, siccità, incendi, tempeste di vento, inondazioni costiere, allagamenti, esondazioni fluviali, frane ed erosione del suolo provocheranno danni sostanziali già nel medio termine (la metà di questo secolo), anche utilizzando il best case (lo scenario RCP2.6 coerente con un aumento massimo della temperatura di 2 gradi rispetto ai livelli pre-industriali). Si stimano: per il turismo, una perdita pari a 17 MLD di euro annui dovuti essenzialmente al calo della domanda in molte regioni italiane; per l'agricoltura una perdita di 12.5 MLD

euro annui per effetto della riduzione del valore della produzione; ed infine, una perdita della crescita economica complessiva tra lo 0.2% e il 2% del PIL all'anno (tenendo conto sia dei danni diretti che dei danni indiretti, macroeconomici). Le perdite potrebbero aumentare più del doppio nello scenario RCP4.5 (il *likely* case ad oggi, coerente con un incremento della temperatura media di poco meno di 3 gradi rispetto ai livelli pre-industriali), raggiungendo valori tra il 2% e il 2.5% del PIL all'anno nel 2050.

8. Le proiezioni climatiche (Capitolo 3) indicano **un sostanziale aumento in frequenza e intensità di eventi climatici estremi sul territorio italiano**. Si prevede per il centro e sud Italia una diminuzione delle precipitazioni complessive annue, mentre per l'area del nord Italia emerge generalmente un lieve aumento delle piogge invernali e una lieve diminuzione di quelle estive. Per le precipitazioni intense è atteso un generale incremento sia della piovosità giornaliera che degli eventi estremi. Per quanto attiene le ondate di freddo, sono attese, in generale una diminuzione sul territorio nazionale, a differenza delle ondate di calore per cui invece si prevede un aumento generalizzato, spesso accompagnato da eventi siccitosi e incendi sempre più frequenti. Infine, è previsto un incremento dei fenomeni di mareggiata più estremi specie nell'Alto Adriatico, Mar Ligure ed Alto Tirreno.
9. Sulla base di queste analisi di evoluzione del clima in Italia, si stima in modo prudentiale che **l'impatto economico diretto sulle infrastrutture** causato da eventi climatici estremi, quali ondate di calore e freddo, siccità, incendi, esondazioni fluviali e costiere e tempeste di vento, **sia di circa 2 miliardi all'anno al 2030 e circa 5 miliardi di euro all'anno al 2050** per le sole infrastrutture in Italia nello scenario tendenziale RCP 4.5 (una frazione quindi del danno globale), corrispondente tuttavia ad **un aumento di circa 12 volte il valore del danno attuale** (Capitolo 4). Il valore del danno all'incirca raddoppia se si tiene conto degli impatti sistemici dei danni alle infrastrutture.
10. Mentre gli attuali danni originati dai rischi climatici sono associati principalmente alle esondazioni fluviali (58%), **le proporzioni dei danni causati da siccità e ondate di calore aumenteranno fortemente, fino a rappresentare circa il 92% dei danni climatici nel periodo 2041-2070 (vs 31% nel periodo 1981-2010 di riferimento)**. In assenza di adeguate strategie di adattamento, gli impatti degli eventi climatici estremi tenderanno quindi a cambiare non solo in termini di entità dei danni, ma anche nelle loro tipologie.
11. **In termini assoluti, i valori di rischio climatico saranno maggiori nelle regioni del Nord Italia** caratterizzate da una più densa distribuzione infrastrutturale potenzialmente esposta ai futuri eventi climatici estremi. **In termini relativi, l'aumento del rischio climatico sarà più marcato nelle regioni del Sud Italia, in seguito a variazioni più pronunciate negli eventi climatici estremi direttamente dipendenti da temperatura e precipitazioni**. Si prevede quindi che - in assenza di adeguate strategie di adattamento - il cambiamento climatico aumenti le diseguaglianze economiche regionali.
12. Come è possibile gestire quindi in modo ottimale le infrastrutture esistenti per renderle più resilienti ai cambiamenti climatici, e quali strategie di adattamento possano essere messe in campo alla luce degli impatti che su tali infrastrutture hanno gli eventi evidenziati nel Capitolo 4? **Il tema dell'adattamento delle infrastrutture al cambiamento climatico dovrebbe essere visto come "transformative resilience"**, che apra quindi la via alle opere più significative e di possibile discontinuità rispetto allo *status quo*, piuttosto che concentrarsi su "micro-adattamenti" specifici che faticherebbero ad integrarsi con la visione europea, e paradossalmente potrebbero rallentare il cammino verso la vera mitigazione dei cambiamenti climatici mediante e grazie alle infrastrutture e alla mobilità (Capitolo 5).
13. In particolare, le misure di intervento proposte per l'**adattamento**, possono essere suddivise in:
 - a) **misure di tipo strutturale e tecnologico**, basate su interventi fisici e/o misure costruttive, utili a rendere i sistemi esposti più resilienti agli eventi estremi, le cosiddette **misure grey (o hard)**;

- b) azioni basate su un approccio che utilizza la **natura** ed i molteplici benefici forniti dagli ecosistemi per migliorare la resilienza e la capacità di adattamento, le cosiddette misure **green**;
- c) interventi che includono **misure conoscitive (dati, modelli, previsioni), politiche, legali, sociali, gestionali e finanziarie**, utili alla *governance* e ad aumentare la consapevolezza sui problemi legati al cambiamento climatico, ovvero le misure di adattamento soft;
- d) **misure trasversali** risultanti dall'integrazione delle tre precedenti.

Va evidenziato quanto alcune delle misure al punto c), e in particolare quelle di conoscenza e previsione dei fenomeni che possono causare impatti negativi, e la loro condivisione tra i soggetti sociali, siano alla base di qualsiasi politica di sviluppo di misure di adattamento, siano esse *grey* o *green*.

14. Ognuna di tali azioni dovrebbe svilupparsi considerando tre passi fondamentali:
- (i) **una valutazione del rischio nel medio e lungo periodo**, con un'adeguata trattazione delle incertezze, per integrare le analisi evolutive degli scenari climatici in evoluzione e potenziare la capacità predittiva e adattativa grazie al monitoraggio attivo dell'infrastruttura considerata nel periodo di interesse per l'azione specifica;
 - (ii) **il ricorso ad azioni e tecnologie "no/low regrets"**, ovvero far discendere dal passo precedente di analisi del rischio l'individuazione di scelte strategiche e tecnologiche in linea con gli obiettivi complessivi di sistema e robuste alle incertezze, cosicché possano comunque portare vantaggi indipendentemente dall'evoluzione climatica che si realizzerà;
 - (iii) **effettuare gli interventi specifici** di resilienza e adattamento sulle infrastrutture esistenti e sul territorio attraverso un processo "*climate proof*", ovvero implementando tutte le fasi di screening e valutazione ex-ante ed ex-post degli impatti degli eventi climatici estremi, comprendendone e sapendone gestire la dinamicità, e avendo a disposizione gli adeguati strumenti di monitoraggio e valutazione.

Per tutte queste misure vanno utilizzate progressivamente soluzioni tecnologiche a bassa intensità di carbonio, al fine di allinearsi con le azioni di mitigazione delle emissioni e l'incremento della sostenibilità del sistema socio-economico

15. Nell'ambito delle **infrastrutture per la mobilità e il trasporto**, sia passeggeri sia merci, il Capitolo 5 individua le seguenti azioni fondamentali da intraprendere per migliorarne resilienza e adattamento:
- Misure «green»:
 - utilizzo di vegetazione in grado di resistere ad elevate velocità del vento lungo la rete di trasporto terrestre
 - azioni volte alla riqualificazione idro-morfologica degli alvei fluviali lungo la rete
 - progetti mirati alla rinaturalizzazione dei margini dell'infrastruttura e di ricostituzione e potenziamento del verde anche per la riduzione isole di calore in ambito urbano
 - Misure «grey»:
 - interventi di progettazione, manutenzione e più in generale di gestione dei sistemi di drenaggio
 - sostituzione della copertura stradale con asfalti drenanti e allo stesso tempo resistenti alle alte temperature
 - rialzo del sedime delle strade costiere
 - interventi di stabilizzazione della superficie piana su cui poggia l'infrastruttura ferroviaria
 - verifica e adeguamento dei franchi liberi dei ponti ferroviari e stradali su fiumi a mutato regime idraulico.

16. Per quanto riguarda le **infrastrutture per la logistica**, si suggerisce lo sviluppo di un sistema di distribuzione che garantisca la consegna dei prodotti resiliente agli imprevisti legati ai cambiamenti

climatici. A tal fine, la tempestività non gioca più il ruolo chiave attuale, bensì è la **sicurezza dell'approvvigionamento** a diventare la priorità. La regionalizzazione dell'attività economica potrebbe quindi avere anche un beneficio in termini di adattamento, perché permette di lavorare su distanze di trasporto più brevi e con volumi inferiori, sfruttando un numero maggiore di fornitori e società di logistica con radicamento regionale o locale. Le nuove tecnologie digitali permettono inoltre quell'ottimizzazione della logistica necessaria a compensare gli eventuali maggiori costi indotti dalla regionalizzazione.

17. Nel caso delle **infrastrutture per l'energia**, coerentemente con lo "European Programme for Critical Infrastructure Protection", occorre:
 - Progettare, operare e gestire in modo olistico e risk-based la catena di approvvigionamento energetico tra le forniture di carburante e la fornitura di energia ai consumatori, al fine di comprendere i colli di bottiglia e gli elementi che maggiormente la pongono a rischio di fallimento;
 - Provvedere ad una maggiore capacità di generazione e fornitura di energia elettrica durante i momenti di picco della domanda, da realizzarsi con un mix di fonti di generazione elettrica ed un ampio portafoglio di capacità di generazione flessibile, dando priorità a fonti che siano anche in linea con le esigenze di adattamento, resilienza e decarbonizzazione;
 - Sviluppare sistemi di accumulo di energia efficaci (fisici, come lo stoccaggio di acqua per impianti idroelettrici, o elettrici) e di sistemi energetici distribuiti e integrarli nel sistema energetico.
 - Utilizzare una varietà di soluzioni tecnologiche e di mercato che faciliti il bilanciamento della domanda e generazione elettrica, rafforzando le possibilità di gestione della domanda grazie a tecnologie digitali affidabili e sicure, sfruttando la futura diffusione dei veicoli elettrici (in aggiunta ad altri usi finali di elettricità) attraverso sistemi di "smart charging" e "vehicle-to-grid" (V2G);
18. Seppur con un elevato grado di incertezza, si stima che le risorse da investire in adattamento siano 8-10 miliardi fino al 2030 (circa un miliardo all'anno) più un costo operativo e di manutenzione annuale di 604 milioni di euro nello scenario "business as usual" (RCP 4.5). Tali costi risultano molto inferiori nel caso di decarbonizzazione (RCP 2.6). **Il ritorno degli investimenti in adattamento è elevato sia in termini di danni ambientali ed economici evitati, sia in termini di benefici economici indiretti** (i moltiplicatori "green" tendono ad essere più elevati). Nel periodo 2020-2030 la stima del danno legato alle infrastrutture è di circa 2.3 - 8.7 miliardi di euro (tra lo 0.1-0.4% del PIL medio). Nel 2050, la perdita ammonterebbe a circa 11.5 - 18 miliardi di euro (0.33-0.55% del PIL nel 2050). Questa è l'entità dei danni generati dal cambiamento climatico sulle infrastrutture che, in assenza di mitigazione, un adeguato piano di adattamento e resilienza delle stesse potrebbe evitare, se non completamente almeno in gran parte. Ciò ad un costo che è circa cinque volte inferiore a quello del danno evitato. Secondo le stime riportate nel Capitolo 5, **un euro speso in resilienza climatica delle infrastrutture produce benefici complessivi pari a quasi 5 euro nel 2050**, evidenziandone il forte effetto moltiplicativo. Se l'azione di mitigazione avesse successo, il danno da evitare al 2050 sarebbe ovviamente più ridotto.
19. Un piano di adattamento ha inoltre anche una serie di **benefici indiretti**, legati allo stimolo alla crescita che gli investimenti vanno a generare e legati a co-benefici in termini di minori impatti sulla salute (ad esempio di ondate di calore, danni correlati alla qualità dell'aria) e minore disuguaglianza sociale. La costituzione di un **Fondo Nazionale per l'Adattamento al Cambiamento Climatico** sembra quindi essere non solo un dovere per la tutela di popolazioni e insediamenti urbani e produttivi, ma anche un'ottima opportunità di crescita economica. Peraltro, il necessario coinvolgimento dei cittadini nella co-decisione degli interventi di adattamento e resilienza è anche un modo per creare consapevolezza e generare consenso sulle misure di mitigazione e di politica climatica generale.

20. Le misure di adattamento al cambiamento climatico sono indispensabili per far fronte agli impatti dei prossimi tre decenni, quando ancora non saranno visibili gli effetti di una strategia di decarbonizzazione, e non sostituiscono quindi gli investimenti per la riduzione delle emissioni di gas serra. Per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione del sistema Italia sono necessari importanti investimenti, in particolare per quanto riguarda il sistema di trasporto di persone e merci, che è responsabile per circa il 30% del totale delle emissioni GHG. **Gli interventi di mitigazione relativi ai sistemi di trasporto di persone e merci riguardano tutti i sistemi di trasporto e tutte le loro componenti (infrastrutture fisiche, veicoli, tecnologie a supporto dei sistemi di trasporto e intermodalità).** Questi aspetti sono ovviamente strettamente interconnessi e devono essere valutati in modo sistemico (Capitolo 6).
21. Poiché il **trasporto stradale è responsabile per il 93% delle emissioni domestiche dirette di gas-serra** del settore dei trasporti, gli interventi di mitigazione relativi ai sistemi di trasporto di persone e merci presuppongono un obiettivo generale di riduzione (in valore assoluto) del parco veicolare circolante e si inquadrano in due filoni:
- Interventi che mirano a modificare la **ripartizione modale a favore dei modi di trasporto sostenibili.**
 - Soluzioni tecnologiche in grado di aumentare l'**efficienza energetica dei veicoli e ridurre l'intensità di carbonio dei vettori energetici di cui necessitano** lungo l'intero loro ciclo di vita.

Gli interventi in entrambi i filoni si basano su tre pilastri:

- Il ruolo centrale del sistema ferroviario** per il trasporto di persone e merci sia a livello urbano che extraurbano.
 - Il ruolo centrale dell'energia elettrica prodotta da impianti a fonti rinnovabili**, e comunque a zero emissioni di carbonio, per l'alimentazione dei veicoli e di tutte le infrastrutture connesse al funzionamento dei sistemi di trasporto (coerentemente con il Glasgow Breakthrough)
 - Il ruolo centrale di sistemi informatici di comunicazione** sicuri e affidabili a sostegno dei sistemi di trasporto e della mobilità sostenibile.
22. **Per quanto riguarda i trasporti**, i principali interventi rientrano prevalentemente nella Fase I (2020-2030), in cui le emissioni nel settore dei trasporti dovrebbero ridursi del 43.7%, e consistono in:
- Estensione delle **reti di metropolitana pesante e/o leggera e delle reti tranviarie**. In Italia solo 7 città possiedono una metropolitana e solo 11 possiedono una rete tranviaria.
 - Ampliamento della **rete di Alta Velocità Ferroviaria (AVF)**, nei collegamenti verso il Sud, ma anche in quelli trasversali in modo da favorire almeno nelle tratte brevi lo shift modale dal trasporto aereo e dal trasporto su veicoli privati al trasporto ferroviario, a condizione che le prospettive di domanda giustifichino l'investimento, sia da un punto di vista economico che ambientale.
 - Miglioramento, razionalizzazione e potenziamento mirato della **rete ferroviaria a livello nazionale e regionale**, in particolare per collegare direttamente i principali (non solo quelli inclusi nella rete SNIT) porti e aeroporti con i capoluoghi di provincia e con i principali centri metropolitani. Tutti questi interventi riguardano il trasporto sia di passeggeri che di merci.
 - Potenziamento del **trasporto pubblico su gomma**, che rappresenta il secondo elemento cardine (dopo la rete ferroviaria) di un sistema di trasporto accessibile e sostenibile e **transizione verso la trazione elettrica**, in linea anche con vantaggi in termini di costi. Il potenziamento riguarda in senso ampio la riorganizzazione delle linee (percorsi fisici) e dei servizi (orari, frequenze, tempi) in ottica di sistema multimodale. Una componente essenziale a supporto di tale sistema è la realizzazione di **corsie preferenziali** all'interno delle aree urbane e nelle strade di accesso alle aree

urbane al fine di rendere i tempi di viaggio del trasporto collettivo su gomma concorrenziali con quelli del trasporto privato e ridurre l'incertezza nei tempi di attesa dei passeggeri.

- Realizzazione di **reti di piste ciclabili in tutte le città di tutte le dimensioni**. L'obiettivo deve essere quello di realizzare una vera e propria rete di piste ciclabili (**fruibili anche da altre forme di micromobilità e fortemente connessa internamente ed esternamente** con tutti i punti di interscambio modale) e non alcuni corridoi o tratti di piste ciclabili spesso non connessi tra di loro.
 - Potenziamento e miglioramento di tutti i nodi di **interscambio modale** tra tutte le modalità di trasporto (ferro/gomma/ciclabilità/shared mobility) sia a livello urbano che extraurbano (anche con porti e aeroporti).
 - **Integrazione funzionale tra modalità di trasporto** (integrazione tariffaria, coordinamento frequenze e orari) e potenziamento del supporto tecnologico quali la piattaforma digitale Mobility as a Service (MaaS).
 - Realizzazione di interventi finalizzati a minimizzare il costo generalizzato di accesso/ingresso/trasbordo tra mezzi di trasporto, incluso interventi integrati di pianificazione urbana delle aree di interscambio e in generale delle *catchment areas* del trasporto pubblico.
 - Nel settore delle merci e della logistica, oltre agli strumenti sopracitati, interventi di mitigazione diretta riguardano anche la gestione dell'attività di trasporto e la condivisione delle infrastrutture e degli attivi, e massimizzazione del loro uso.
23. Per quanto riguarda invece il **secondo pilastro (ruolo centrale dell'efficienza energetica e dell'energia decarbonizzata)**, i principali interventi nella Fase I riguardano, per il trasporto su ferro e gomma:
- **Conversione elettrica** dei rimanenti 6.000 km di **linee secondarie ferroviarie non ancora elettrificate**; e laddove non sia conveniente l'elettificazione, utilizzo di treni a batteria e/o a idrogeno (in questo caso, occorre un'attenzione particolare allo sviluppo di progetti dimostrativi della tecnologia, della sua sostenibilità e sicurezza, ed all'effettivo potenziale di ridurre i costi, specie rispetto a soluzioni a batteria).
 - **Conversione verso l'elettrico del parco dei veicoli per il trasporto su gomma passeggeri (sia privato che pubblico) e merci**. In particolare per le autovetture private l'obiettivo è di almeno 6-8 milioni di auto elettriche a batteria (BEV, battery electric vehicle) o ibride ricaricabili (plug-in-hybrid, PHEV), con autonomia estesa (>80 km) e utilizzabili in modalità "solo elettrica" nei percorsi brevi entro il 2030, ed alla transizione completa delle vendite di auto e veicoli commerciali entro il 2035. Per i trasporti merci, da valutare anche la convenienza economica, oggi dubbia, nel medio periodo dell'idrogeno verde.
 - **Incremento dei punti di ricarica elettrica**, con stazioni a bassa potenza in aree private, stazioni a potenza media in luoghi di destinazione (quali centri commerciali, aree di parcheggio) e per gli autobus urbani, stazioni ad alta potenza collocate lungo le principali arterie stradali e stazioni ad altissima potenza (1+ MW) per veicoli commerciali, in linea con la proposta europea di regolamento su infrastrutture alternative di distribuzione di energia nei trasporti.
 - **Possibile sviluppo (da analizzare in progetti dimostrativi ed in coordinamento con altri paesi dell'Unione europea) di electric road systems, stazioni di ricarica ad altissima potenza (1+ MW) e/o di stazioni di distribuzione di idrogeno** per i veicoli pesanti che trasportano merci su lunghe distanze. Nel caso di electric road systems, i vantaggi sono l'efficienza energetica (rispetto all'idrogeno), l'abbattimento dei costi delle batterie, la maggiore efficienza nell'uso delle risorse (rispetto ad autocarri elettrici), la possibilità di costruzione modulare e localizzata sulle principali arterie di traffico, l'uso inferiore di suolo (rispetto ai megachargers) e l'integrazione più gestibile in termini di profilo e localizzazione della domanda elettrica. I rischi sono da associarsi alla necessità di un sistema transeuropeo ed interoperabile non ancora condiviso. Nel caso dell'idrogeno l'installazione di stazioni potrebbe essere necessaria al fine di rispondere ai requisiti contenuti

nella proposta europea di regolamento su infrastrutture alternative di distribuzione di energia nei trasporti, anche senza un aumento corrispondente della domanda. La ragione principale della possibile mancanza di domanda è che questa tecnologia rischia di **non essere economicamente competitiva rispetto all'elettrificazione** diretta per via di costi più alti di trasporto distribuzione e stoccaggio del vettore energetico, oltre alla maggiore difficoltà di produzione a basso costo dell'idrogeno in forme decarbonizzate rispetto all'elettricità ed alle maggiori perdite energetiche.

- Attenzione particolare alle attività di **R&D di soluzioni tecnologiche** che hanno livelli di maturità ("technology readiness levels") bassi o che sono soggette ad altre barriere, tali da non consentirne la commercializzazione su larga scala. In questo quadro, la priorità per la Fase I è la realizzazione di veicoli ed attività dimostrative (quali BEV capaci di usare "electric road systems", tecnologie per PHEVs), accompagnata da lavori di standardizzazione, soprattutto per il trasporto commerciale su lunga distanza. È inoltre importante, in Fase I, avviare progetti dimostrativi in collaborazione con l'industria elettrica per testare sistemi di ricarica controllata ("smart charging") e V2G/G2V con annessi business models e analisi di adeguatezza e sicurezza della rete.
24. **Nel settore aereo e navale**, che incide rispettivamente per lo 0,75% e il 4,3% delle emissioni domestiche di GHG (a cui vanno aggiunti contributi più di 4 volte superiori per i movimenti di passeggeri e merci su tratte internazionali), i principali interventi per la decarbonizzazione nella Fase I riguardano:
- Sviluppo della commercializzazione di "*Sustainable Aviation Fuels*" (SAF) compatibili con le esistenti tecnologie legate ai velivoli e alla rete di trasporto dei combustibili ("*drop-in*"), avvio della sperimentazione per la produzione e l'uso di combustibili sintetici per l'aviazione (in particolare gli elettrocombustibili, derivati da elettricità, idrogeno decarbonizzato, carbonio rinnovabile da biomasse e tecnologie "*Direct Air Capture*") e supporto della filiera industriale che ne consente la produzione, in linea con la direzione suggerita dallo sviluppo previsto di una alleanza industriale europea su combustibili a basso contenuto di carbonio e con l'alleanza relativa all'idrogeno.
 - Adozione di tecnologie capaci di incrementare l'efficienza energetica degli aerei (compresi *retrofits* per mitigare impatti legati a incrementi di costi dei combustibili e anche per ragioni di competitività industriale, data la presenza di industrie aeronautiche in Italia).
 - Realizzazione di infrastrutture funzionali all'elettrificazione delle operazioni aeroportuali di terra ed all'accesso alla rete per l'approvvigionamento di elettricità agli aerei in stazionamento negli aeroporti.
 - Elettrificazione dei traghetti a corto raggio e delle navi attraccate in porto (*cold ironing*) e delle imbarcazioni da diporto.
 - Ricorso al GNL solo come soluzione per ridurre le emissioni di inquinanti locali nella fase di navigazione e durante nella fase portuale, avendo ben presente che occorre considerare altre soluzioni dal punto di vista della decarbonizzazione. Il sistema è ritenuto maturo dal punto di vista tecnologico. La sua maggiore diffusione nel breve periodo è un obiettivo condiviso da tutti gli attori della filiera portuale-marittima, ma è anche esposto a rischi di "*asset stranding*" da un punto di vista climatico.
 - Incremento dell'uso di biocombustibili compatibili con i criteri di sostenibilità ambientale della Renewable Energy Directive nel settore navale.
 - Adozione di tecnologie capaci di incrementare l'efficienza energetica delle navi (compresi *retrofits*, per mitigare impatti legati a incrementi di costi dei combustibili anche per ragioni di competitività industriale, dato la presenza di cantieristica navale in Italia).
 - Avvio di sperimentazioni sulla produzione e l'uso di idrogeno, ammoniacale ed e-fuels come il metanolo e/o l'idrogeno "verde" (o "blu", se compatibile, con emissioni di gas serra basse sul ciclo di vita), come vettori energetici per il trasporto navale, in linea con gli obiettivi delle alleanze europee relative all'idrogeno ed ai combustibili a basso contenuto di carbonio (anche rilevante per la transizione industriale nella chimica).

- Sviluppo di attività di RS&D sulla decarbonizzazione dell'industria marittima anche con l'istituzione di un Fondo (IMRB: International Maritime Research and development Board), finanziabile con un prelievo obbligatorio sul carburante per uso marittimo utilizzato, come proposto dalle più importanti associazioni dell'industria marittima mondiale.
 - Sviluppo di attività di RS&D per tecnologie di sequestro della CO₂, come "*Biomass Carbon Removal and Storage*" (BiCRS) e "*Direct Air Capture*" (DAC), che possono complementare, se si dimostrano affidabili ed efficaci, le tecnologie di miglioramento dell'efficienza e di abbattimento delle emissioni (che vanno comunque considerate prioritarie) per settori "hard to abate", in particolare l'aviazione.
25. Il ruolo centrale dell'energia elettrica nel processo di decarbonizzazione richiede **interventi di potenziamento della rete elettrica**, la cui estensione si prevede aumenterà fino all'80%. Terna già prevede forti investimenti nelle reti di trasmissione elettrica al fine di incrementare la magliatura, rinforzare le dorsali tra Sud e Nord, potenziare i collegamenti fra le isole e la terraferma e all'interno delle isole, e sviluppare le infrastrutture nelle aree più deboli.
26. Per valorizzare appieno la generazione da fonti energetiche rinnovabili, che per sua natura è tipicamente non programmabile, è necessario aumentare la flessibilità anche della domanda elettrica e sviluppare parallelamente **un'adeguata capacità di generazione flessibile di carico di base** per sopperire alla carenza di energia rinnovabile quando sussistono circostanze ambientali (sole e/o vento) sfavorevoli, oltre che di **immagazzinamento** del surplus di energia (con batterie o con l'idroelettrico nel breve periodo) per beneficiare del surplus prodotto da fonti rinnovabili quando le condizioni ambientali sono favorevoli.
27. Nel medio e lungo termine, vanno anche considerate e valutate altre soluzioni di generazione di energia a zero impatto climatico, incluso il nucleare da fissione di nuova generazione e da fusione. Inoltre, l'atteso progresso tecnologico - e calo di costi - nel campo degli elettrolizzatori potrebbe permettere di produrre e stoccare idrogeno nelle situazioni di surplus, al di là di una capacità produttiva rinnovabile dedicata. Sono soluzioni da considerare per l'obiettivo zero emissioni al 2050, che tuttavia **non dovrebbero distogliere dal perseguire rapidamente le misure concretamente realizzabili nel breve termine per raggiungere gli obiettivi al 2030 (e basate essenzialmente su elettrificazione e rinnovabili)**. Parallelamente, è necessario investire nella rete elettrica per connettere le rinnovabili (on e off shore) alla rete in alta tensione, informatizzando e dotando la rete di sistemi per la gestione automatica dei flussi per gestire al meglio il carico ed evitare "colli di bottiglia" con interconnessioni all'interno dell'Italia, con l'Europa e fuori dall'Europa. La demand side management deve essere incentivata per ottimizzare l'uso delle energie rinnovabili.
28. **L'interconnettività legata al rafforzamento della rete elettrica europea** è anche un'importante fonte di flessibilità, poiché consente di diversificare le risorse di generazione e modelli di domanda di elettricità più uniformi. In ambito internazionale, sono emerse di recente proposte di connessioni *high voltage direct current* (HVDC) anche su lunghissime distanze, come nel caso di Singapore con Australia e Regno Unito con il Marocco. L'Italia dovrebbe considerare progetti in questa direzione, in particolare per sfruttare opportunità di approvvigionamento elettrico da zone con alto potenziale di irraggiamento solare (come il Nord Africa).
29. È importante anche, nel breve termine (Fase I), acquisire **capacità produttiva di batterie** (fatto che è anche di grande rilevanza per il settore automobilistico, come discusso in precedenza, e per ragioni di sviluppo economico e resilienza) ed avviare attività di RS&D per tecnologie che possono abbattere i costi dello stoccaggio di elettricità, come stoccaggio termico e tecnologie di conversione ad alta efficienza di energia termica in energia elettrica, stoccaggio di aria compressa o liquida, batterie di flusso ("flow batteries"), produzione e stoccaggio di idrogeno o ammoniaca decarbonizzati (e conversione in elettricità con sistemi a combustione ultra-efficienti e/o celle a combustibile).

30. Il terzo pilastro, **il ruolo centrale dei sistemi informatici di comunicazione** a sostegno dei sistemi di trasporto e della mobilità sostenibile passeggeri e merci, richiede lo sviluppo dei seguenti interventi:
- Uso sistematico di soluzioni di commutazione ottica per trasferimento dati
 - Nuove tecnologie per la gestione on-off delle apparecchiature
 - Sviluppo rete 5G e accesso in fibra ottica
 - Sviluppo di Internet of Vehicles (IoV) e Vehicle to Everything (V2X)
 - Potenziamento della cybersecurity (sperimentazione di Quantum Key Distribution).
31. Data l'importanza dei sistemi informatici di comunicazione e di calcolo anche per il miglioramento della produttività e date le loro caratteristiche di resilienza anche nel contesto della decarbonizzazione (in analogia con altri casi menzionati in precedenza, in particolare l'elettrificazione e le batterie), questo filone va sostenuto anche dal punto di vista della **transizione industriale**, in modo tale da attirare investimenti, al fine di farne un'opportunità di sviluppo economico e di crescita occupazionale.
32. Il Capitolo 6 mostra come **la transizione ecologica (il passaggio da uno scenario RCP 4.5 ad uno scenario RCP 2.6) farebbe guadagnare all'Italia, utilizzando una valutazione conservativa, dallo 0.5% al 2.3% del PIL già entro il 2050**, in termini di danni evitati (considerando sia gli impatti diretti che quelli indiretti). Le minori emissioni permetterebbero anche di dimezzare gli impatti sulla salute dell'inquinamento atmosferico, con un dimezzamento delle morti premature (attualmente stimate a 60.000 all'anno) al 2030.
33. Ai danni evitati vanno aggiunti i potenziali benefici economici. Ben poche tra le analisi oggi disponibili stimano infatti che la transizione comporti consistenti impatti macroeconomici negativi. La maggior parte stima un **lieve beneficio od un lieve costo**. Nel PNRR è previsto ad esempio un effetto positivo sul PIL, così come in studi recenti della Commissione Europea e del Fondo Monetario Internazionale. Tuttavia questa conclusione dipende da alcuni fattori importanti, la cui efficacia è decisiva (Capitolo 6):
- a) **il disegno delle politiche** (l'uso dei proventi dalla vendita dei permessi nell'ETS, gli investimenti pubblici che accompagnano la transizione, le politiche, soprattutto di formazione, a sostegno dell'occupazione nei settori più colpiti, ecc.).
 - b) La rapidità con cui il **progresso tecnologico** metta a disposizione nuove soluzioni economicamente convenienti e possibilmente prodotte nella filiera italiana ed Europea, con particolare riferimento alle componenti a più alto valore aggiunto delle catene di valore.
 - c) La possibilità di accedere a **finanziamenti a tassi contenuti**.
 - d) L'implementazione di politiche di mitigazione in **tutti i maggiori paesi del pianeta** sia, come detto sopra, (i) per evitare effettivamente i danni da cambiamento climatico, sia (ii) per evitare penalizzazioni competitive dei paesi più avanzati nel campo della lotta ai cambiamenti climatici, sia (iii) per offrire soluzioni di mitigazione low cost ai paesi più sviluppati (il secondo obiettivo, ma non il primo e il terzo, può essere raggiunto anche con misure di *carbon adjustment* sui beni importati, come previsto dal pacchetto Fit for 55).
34. Se, a determinate condizioni, **i costi macroeconomici della transizione ad un'economia a zero emissioni nel 2050 possono essere trascurabili**, se non addirittura trasformarsi in benefici, **non altrettanto lo sono gli investimenti necessari** a realizzare la transizione. Gli investimenti aggiuntivi annui per ridurre le emissioni a -55% nel 2030 (rispetto al 1990) e a zero nette nel 2050, sono per l'Italia dell'ordine di 16 miliardi di euro all'anno (da aggiungere a quelli per l'adattamento). Di questi la quota parte che va a trasporti e infrastrutture è difficile da stimare. Includendo trasporti, reti e

infrastrutture energetiche, oltre che l'efficientamento energetico della mobilità e delle infrastrutture esistenti, l'investimento necessario potrebbe raggiungere gli 8 miliardi, circa il 50% del totale annuo. Si tratta di investimenti, sia pubblici, sia privati (sulla base di quanto avvenuto negli ultimi 5 anni in Europa, da dividere circa in parti uguali), da stimolare con adeguate politiche di incentivazione (Capitolo 7).

35. Le **politiche** che si possono introdurre a livello nazionale, regionale o comunale, mirano a incentivare l'adozione delle misure sopracitate e a facilitare la transizione verso una società a zero emissioni di gas serra (Capitolo 7). I pilastri di un'azione di policy per la decarbonizzazione di trasporti e mobilità sono:

- **Gestire la domanda di viaggi** e di in particolare: i) Ridurre le distanze di viaggio; ii) Spostare le scelte verso modalità efficienti dal punto di vista energetico, low-carbon e zero-carbon; e iii) Massimizzare l'utilizzo della capacità dei veicoli.
- **Disincentivare l'utilizzo di mezzi inquinanti** e sviluppare veicoli a basse emissioni funzionanti con fonti rinnovabili, **migliorare l'efficienza energetica** dei veicoli e favorirne la transizione **verso veicoli a basse emissioni alimentati con energia decarbonizzata**.

Quest'ultimo punto è allineato con le indicazioni precedenti relative all'elettrificazione del trasporto, che va promossa sulle brevi distanze e nelle città, a partire dai veicoli leggeri e da veicoli il cui profilo di utilizzo sia soggetto ad alte frequenze d'uso (come autobus, taxi, flotte usate per la logistica e servizi condivisi per il trasporto passeggeri), anche al fine di supportare l'emergenza di nuove attività produttive industriali (in particolare la produzione di batterie e di diversi tipi di veicoli elettrici, in linea con gli obiettivi delle alleanze industriali europee su batterie e materie prime). Lo sviluppo industriale può anche offrire opportunità di crescita della manifattura di impianti di generazione di elettricità da energie rinnovabili, lo sviluppo della rete elettrica e le tecnologie digitali. Queste ultime sono molto rilevanti per la connettività e l'automazione dei veicoli, l'evoluzione verso sistemi di trasporto multimodali e l'integrazione di sistemi all'intersezione tra trasporti ed energia, come nel caso delle "smart grids".

36. Queste misure vanno inserite all'interno di quanto previsto dalla EU Climate Law e dal pacchetto Fit for 55 (in corso di negoziazione), che tra l'altro prevedono la creazione di un mercato ETS parallelo per i combustibili **per gli edifici e i mezzi di trasporto, e l'estensione del meccanismo ETS a aviazione e trasporto marittimo**, garantendo che le risorse generate dalla vendita dei permessi di emissione siano effettivamente destinate a misure di adattamento, mitigazione e ricerca e sviluppo, oltre che a sostenere una giusta transizione (ad esempio, prevedendo misure compensative per le famiglie più penalizzate dall'incremento dei prezzi dell'energia o sostegno ai lavoratori che devono essere impiegati in nuovi settori).

37. Tra le misure di incentivazione da adottare va cercato un giusto **compromesso tra politiche di sussidio o detassazione e politiche fiscali (tasse o permessi)** in modo da mantenere il più possibile in equilibrio il vincolo di bilancio pubblico. Tra le misure per la decarbonizzazione di trasporti e mobilità si propone:

- **La differenziazione delle tariffe** dei servizi gestiti (aeroporti, autostrade, ferrovie) sulla base delle emissioni dei veicoli e recupero fiscale sulla stessa base.
- Rafforzamento del Green Public Procurement perché vengano utilizzati **criteri premianti o sbarranti nelle gare pubbliche** (codice degli appalti) e private.
- Introduzione di meccanismi premianti per la **decarbonizzazione della supply chain** dei general contractor (sia finanziari che di ranking nelle gare).
- **Parziale detassazione di investimenti sostenibili, se certificati** da fonti terze (es: ENVISION per infrastrutture o LEAD per edifici).

- Incentivi per il **trasporto pubblico urbano vs. privato** come mobilità nelle città e penalità per utilizzo auto (stile ecopass o road pricing). Interventi di limitazione all'uso di auto inquinanti o per la dismissione di auto inquinanti.
- Incentivi per **switch ferrovia/nave vs. gomma** del trasporto merci via Marebonus Ferrobonus da declinare in maniera diversa, supportando le aziende con adeguati livelli di servizio (frequenze etc.) ed integrando misure volte a favorire la transizione tecnologica dei veicoli ferroviari e marittimi e gli investimenti per lo sviluppo e la transizione industriale.
- Promozione della **mobilità condivisa** tramite integrazione tariffaria per garantire che integri/supporti il trasporto pubblico (MaaS). Anche in questo caso possono essere associate misure volte allo sviluppo di una capacità produttiva nazionale delle tecnologie digitali e dei veicoli necessari alla mobilità condivisa. Questo perché - data la natura del loro utilizzo - i veicoli per nuove forme di mobilità condivisa sono anche tra i primi candidati ad una transizione verso l'elettrificazione, e quindi allineati con gli obiettivi di diverse alleanze industriali europee.
- Adozione di una **tassazione e una regolamentazione differenziate** (tasse di acquisto di veicoli, oneri stradali, portuali e aeroportuali, restrizioni di accesso e deroghe, mandati di quote di vendita) in base alle prestazioni ambientali, sviluppando un quadro normativo nazionale che ne faciliti l'adozione a livello locale.
- In particolare, vanno disegnati incentivi (tassazione differenziata sulla base delle performance ambientali) e requisiti regolamentari per la **sostituzione di veicoli a combustione con veicoli elettrici/a basse emissioni** (rottamazione, detassazione, bollo, ma anche tassazione aumentata sui veicoli ad alte emissioni, etc.) alla luce di una verifica dell'efficacia di quelli in vigore. Questi devono stimolare la sostituzione dei mezzi più inquinanti ed includere misure volte a favorire un approccio redistributivo, e non vanno finalizzati all'aumento delle vendite di auto (l'Italia ha il più alto tasso di motorizzazione in Europa, seconda solo al Lussemburgo). Queste misure vanno anche associate alla promozione di investimenti per sviluppare una capacità produttiva nazionale ed a misure di sostegno allo sviluppo industriale (in linea con gli obiettivi delle alleanze industriali europee), come ad esempio strumenti finanziari capaci di ridurre i rischi di impresa (per esempio garanzie per prestiti legati ad investimenti).
- Incentivi allo sviluppo di **infrastrutture di ricarica** per veicoli elettrici (auto, veicoli commerciali, autobus) e requisiti regolamentari per gestori di autostrade e comuni (per le ricariche pubbliche) ed enti privati (per le ricariche a casa ed al lavoro), compreso l'obbligo di installare stazioni di ricarica negli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazione (anche al fine di aumentarne l'efficienza energetica ed anticipando nuove norme europee in materia). Anche in questo caso, le misure finalizzate all'installazione di infrastrutture di ricarica (così come quelle legate al rafforzamento della rete) vanno associate alla promozione di investimenti volti a sviluppare una capacità produttiva nazionale ed a misure di sostegno allo sviluppo industriale, in linea con gli obiettivi delle alleanze industriali europee.
- Introduzione di **tasse sul carbonio nei carburanti per l'aviazione e la navigazione**, o altri strumenti che tengano conto del prezzo del carbonio e favoriscano lo sviluppo di tecnologie a basse emissioni. Le tasse sui carburanti per l'aviazione sono in linea con la proposta di revisione dell'Energy Tax Directive e con il fatto che queste sono significativamente più basse rispetto al trasporto su gomma, anche attraverso accordi fiscali multilaterali. In alternativa, si possono usare i **meccanismi basati sul mercato delle emissioni**, in linea con l'inclusione dell'aviazione nell'Emission Trading Scheme europeo. Tra gli strumenti che tengono conto del prezzo del carbonio e favoriscono lo sviluppo di tecnologie a basse emissioni spiccano le **politiche che combinano la tariffazione della CO₂ e strumenti regolatori**, come il **Low Carbon Fuel Standard (LCFS)** usato in California, allineato con strumenti usati nel **mandato di miscelazione di carburanti con frazioni a basse emissioni sul ciclo di vita (o mandati di riduzione delle emissioni)** e **sanzioni per il loro**

mancato rispetto, come nel caso delle proposte Refuel EU e Fuel EU Maritime del pacchetto “Fit for 55”.

- Usare regolamenti che permettano di ottenere, con **standard progressivi di efficienza** per le flotte nazionali e/o a livello dell’Unione Europea, miglioramenti dell’efficienza delle flotte migliori rispetto alla media globale (incentivando il rinnovo delle flotte e l’uso di retrofits), fermi restando i limiti concordati a livello internazionale per i nuovi aerei e/o navi.
 - **Investimenti in R&D pubblica e incentivi all’R&D privata** per lo sviluppo di tecnologie che riducano le emissioni nel settore dei trasporti, edifici, mobilità, infrastrutture energetiche, digitali e idriche. Sostegno allo sviluppo industriale delle tecnologie digitali che facilitino l’integrazione modale, nel quadro delle alleanze industriali europee.
 - **Campagne informative e comportamentali condivise** per facilitare una transizione efficace e assicurare trasparenza ai cittadini.
 - Avvio di un **dialogo finalizzato alla definizione di una roadmap per la transizione della tassazione del trasporto** (specie, ma non solo, per veicoli decarbonizzati) **in funzione della distanza percorsa e dell’impatto su salute ed ambiente**, sfruttando le opportunità offerte dalle tecnologie digitali al fine di coprire i costi delle infrastrutture e gestire la riduzione degli introiti fiscali derivanti dalla tassazione dei combustibili fossili (riduzione inevitabile una volta che il consumo si riduce).
38. La decarbonizzazione di infrastrutture e trasporti non sarà in grado di azzerare il danno che si prevede sarà causato dai cambiamenti climatici in corso. Sarà necessario affrontare quindi in modo preventivo la necessità di **tutelare infrastrutture, logistica, mobilità, trasporti di merci e persone, forniture elettriche e idriche dai rischi** che origineranno da un aumento delle temperature medie globali di almeno un altro mezzo grado entro il 2040-2050. Le proposte principali per sostenere l’adattamento sono:
- Norme e incentivi per il **piano straordinario di manutenzione della rete autostradale e stradale** (già avviato nel PNRR)
 - **Investimenti specifici per interventi contro il dissesto idrogeologico** in aree ad alto rischio (alluvioni, frane, etc.)
 - Detassazione per la **messa in sicurezza e il monitoraggio (fisico e cibernetico) delle infrastrutture** da eventi estremi (atmosferici e non), anche utilizzando una serie di strumenti aggiuntivi come:
 - a) Il **monitoraggio intelligente** (i.e. misurazione e identificazione di eventuali rimedi per una certa tipologia di infrastruttura). In questo senso l’attività spaziale di osservazione della terra e delle infrastrutture (già prevista in PNRR), combinata con droni, sensoristica, AI, possono dare un quadro dati da cui estrarre dei macro-trend non visibili empiricamente che permettano di anticipare l’entità dello stress a cui le infrastrutture stesse verranno sottoposte e della resilienza al fallimento che sono in grado di offrire.
 - b) La **risk based predictive maintenance**, attraverso una riallocazione dei budget a tutta vita delle spese pubbliche di manutenzione, sulla base di una valutazione dinamica dei rischi basata sulla stima e predizione delle condizioni di stress e resistenza degli elementi infrastrutturali, informata dai dati di monitoraggio e dalle informazioni di ispezione raccolti.
 - c) Il rollout di un programma pervasivo di **cybersecurity delle infrastrutture**: più connettiamo e aggiungiamo IoT più le infrastrutture saranno esposte a cyberattack e potenziali eventi estremi (anche non climatici).

Si tratta di misure da realizzare con tecnologie a basse emissioni e decarbonizzate, coerentemente con la strategia di mitigazione delineata nel Capitolo 6.

- Interventi normativi e costruzione di **meccanismi assicurativi** di natura pubblico-privata, con l’obiettivo di:

- a) ridurre l'onere dei danni che ricadrebbero in gran parte su singole imprese o cittadini
 - b) di favorire la crescita dell'attenzione e della conoscenza dei rischi legati al cambiamento climatico, innescando così comportamenti di prevenzione, tutela e adattamento.
 - Allocare allo stato, come "**riassicuratore di ultima istanza**", parte dei rischi climatici allocati al mercato assicurativo e finanziario (per danni oltre determinati livelli).
39. Vi sono infine alcune **misure trasversali**, fattori abilitanti sia della mitigazione sia dell'adattamento. Tra queste:
- Favorire la **trasparenza dell'azione di adattamento e mitigazione**, obbligando aziende e amministrazioni pubbliche e private a migliorare la loro *governance*, l'ascolto degli stakeholder e la capacità di collaborazione rendendo conto degli impatti attuali e potenziali della loro attività e dei loro piani d'azione a breve e lungo termine per evitarli (**monitoring and reporting**).
 - Richiedere di descrivere questi impatti per i differenti orizzonti temporali di riferimento, nonché i processi utilizzati per identificarli, in modo che:
 - a) le considerazioni sui rischi climatici e gli impatti siano utilizzati come **input nelle decisioni aziendali strategiche** e permettano di testare le strategie aziendali secondo i diversi scenari climatici
 - b) Le modalità di identificazione, valutazione e gestione dei rischi climatici siano integrati nel modello di *risk management* aziendale
 - c) Le metriche utilizzate per valutare i rischi e per calcolare il proprio impatto, nonché fornire indicazioni rispetto ai propri obiettivi, siano trasparenti.
 - **Migliorare la gestione dei dati** relativi alle infrastrutture, investendo in fattori abilitanti quali:
 - a) Rafforzare le infrastrutture europee per l'hosting, l'elaborazione e l'utilizzo dei dati, nonché l'interoperabilità, favorendo la costruzione di un ecosistema privato che lavori sia nell'innovazione, sia nella valorizzazione dei dati stessi.
 - b) Concepire, già a livello nazionale ancor prima che europeo, la costituzione di uno **spazio di dati comune** che copra tutti i settori e le istituzioni strategiche a livello di adattamento e decarbonizzazione.
 - **Investire nello sviluppo delle competenze**, per il quale occorre formulare un piano di investimenti che riguardi sia gli individui sia le imprese, in modo particolare le PMI, per favorire la diffusione di abilità e conoscenze fondamentali per la transizione ecologica (tra queste, la digitalizzazione e il passaggio alle tecnologie Cloud/Edge, critiche nella decarbonizzazione della rete IT e parte integrante delle alleanze industriali europee).
40. È importante sviluppare **una strategia nazionale e una tempistica degli interventi infrastrutturali e delle politiche incentivanti, fiscali o regolatorie** che trovi la migliore coerenza tra il rispetto del processo europeo di decarbonizzazione con il suo obiettivo intermedio al 2030, le risorse finanziarie e tecnologiche disponibili, lo sviluppo delle capacità industriali e gestionali, i costi e i benefici presenti e futuri degli interventi, e la protezione delle fasce più deboli della popolazione e delle imprese. Una tale strategia dovrà dare priorità a quegli interventi che offrono già oggi la migliore prospettiva di abbattimento delle emissioni e al tempo stesso comportano un elevato miglioramento dell'efficienza energetica del sistema, e quindi una minore - e più facilmente raggiungibile nel breve periodo - necessità aggiuntiva di energie rinnovabili, comunque indispensabile in tempi brevi. Tale strategia dovrà inoltre considerare la velocità di penetrazione delle nuove tecnologie e la disponibilità di catene di valore che comportino un ritorno di crescita economica, occupazione e posizionamento internazionale della nostra economia, nonché di qualità della vita sociale del nostro Paese.

41. Le decisioni inerenti investimenti e strategie infrastrutturali conseguenti ai cambiamenti climatici dovrebbero essere supportate da **competenze e conoscenze adeguate** da mettere a supporto dei decisori di politica pubblica, che possano elaborare le proprie proposte sulla base sia di dati raccolti in modo diretto, strutturato e ripetibile, anche attraverso apposite indagini, sia di studi di scenario da utilizzare nell'ambito di rigorose analisi costi benefici. Il modello più rilevante in questo senso è quello della 'UK National Infrastructure Commission". Tale Commissione si occupa in modo unitario, permanente ed indipendente della materia con un team permanente di ricercatori e Commissari nominati su orizzonte quinquennale che si avvale di un centro studi e di una infrastruttura di raccolta dati.

Capitolo 1.

Introduzione



Capitolo 1.

Introduzione

Carlo Carraro

Presidente della Commissione "Cambiamenti Climatici, Infrastrutture e Mobilità Sostenibili" del Ministero delle Infrastrutture e Mobilità Sostenibili

L'importanza di analizzare gli impatti dei cambiamenti climatici su trasporti, mobilità e infrastrutture può sembrare ovvia, alla luce dell'evoluzione molto rapida dei cambiamenti climatici e il crescente impatto negativo sulle infrastrutture, in particolare a causa di eventi estremi - quali piogge eccezionali, trombe d'aria, alluvioni, ondate di calore, incendi, siccità - sempre più frequenti. Eventi che sono oramai oggetto di cronaca quasi quotidiana, non solo di analisi scientifiche. Così come sono ovvie, e dimostrate dai tanti casi di questi ultimi anni, le ripercussioni ambientali ed economiche di questi eventi meteorologici estremi e più in generale dei cambiamenti climatici già avvenuti. Purtroppo, un'analisi sistematica ed estesa degli effetti dei cambiamenti climatici su infrastrutture, trasporti e mobilità, una loro proiezione nel futuro, almeno fino a metà secolo, così come un'analisi di come si evolveranno di conseguenza i costi per i sistemi economici e sociali, non era stata fino ad ora fatta, almeno per l'Italia. Molto poche sono anche le analisi delle tecnologie, delle iniziative, degli investimenti, delle politiche - e dei relativi costi e benefici - sempre relative a trasporti e infrastrutture in Italia, in grado di far fronte ai cambiamenti climatici che verranno.¹

È quindi da apprezzare in modo particolare l'iniziativa del Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, che ha dato il via alla preparazione di questo rapporto istituendo una apposita Commissione - la Commissione "Cambiamenti Climatici, Infrastrutture e Mobilità Sostenibili" - con il compito di analizzare e valutare non solo gli impatti dei cambiamenti climatici su infrastrutture e trasporti, ma soprattutto con il compito di disegnare iniziative, misure, politiche in grado da un lato di proteggere le infrastrutture ed i servizi di mobilità dai cambiamenti climatici che verranno e dall'altro in grado di ridurre in modo sostanziale le emissioni di gas serra provenienti da infrastrutture e trasporti. Per comprendere i contenuti di questo rapporto, è quindi importante partire dai 6 obiettivi che il Ministro Giovannini avevo dato alla Commissione:

1. predisporre un quadro di analisi sistematico sulle sfide derivanti dai cambiamenti di medio-lungo periodo in ambito tecnologico, ambientale e climatico con riferimento ai settori delle infrastrutture e della mobilità, ivi incluse quelle legate alla logistica di merci e persone e alle diverse dimensioni dell'abitare;
2. individuare le potenziali azioni programmatiche necessarie per rendere coerenti i programmi di sviluppo e investimento promossi dal Ministero con le conseguenze e gli impatti di tali cambiamenti;
3. proporre schemi di indirizzo e potenziali iniziative disegnate con l'obiettivo di anticipare e mitigare i potenziali rischi a cui il sistema infrastrutturale, anche a livello di singola città, è esposto, aumentando la resilienza e la capacità di adattamento;

¹ Un studio molto interessante è "Elementi per una roadmap della mobilità sostenibile" realizzato da RSE nel 2016 per il Ministero dell'Ambiente e pubblicato da Editrice Alkes.

4. sviluppare modelli di valutazione e monitoraggio delle iniziative e degli investimenti che possano garantire nella fase di disegno ex-ante e nella fase realizzativa una corretta identificazione degli impatti attesi, anche al fine di creare un processo di programmazione coerente con le linee di indirizzo strategico a livello europeo e nazionale;
5. valutare strategie ed investimenti in infrastrutture in mobilità anche alla luce del loro contributo alla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra ed al raggiungimento degli obiettivi climatici dell'Italia;
6. proporre un'evoluzione del quadro normativo di riferimento con l'obiettivo di incorporare le valutazioni puntuali e sistemiche sui rischi connessi al cambiamento climatico nei processi di programmazione e selezione dei progetti nei settori delle infrastrutture e della mobilità. Tali valutazioni dovranno includere anche il contributo dei progetti al percorso di decarbonizzazione e relativi obiettivi al 2030 e 2050, coerentemente con il rispetto della EU Climate Law.

In sintesi, non si tratta solo di valutare e quantificare l'importanza dei cambiamenti climatici, oggi e in futuro, per la tutela e lo sviluppo delle infrastrutture e della mobilità in Italia. Il Rapporto ha piuttosto un ruolo progettuale, con l'obiettivo di ridisegnare le infrastrutture in Italia alla luce dei cambiamenti climatici attesi: sia per renderle più resilienti ed adattare ai cambiamenti climatici che verranno; sia perché contribuiscano alla indispensabile riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra. Il Rapporto vuole quindi essere uno strumento per indirizzare misure, politiche ed investimenti nella duplice direzione di proteggere infrastrutture e mobilità dai cambiamenti climatici ed allo stesso contribuire alla realizzazione dei piani di controllo dei cambiamenti climatici, in linea con gli obiettivi della EU Climate Law, che prevede una riduzione delle emissioni di gas serra del 55% al 2030 e il raggiungimento delle zero emissioni nette al 2050.

Il Rapporto evidenzia quindi il ruolo cruciale che una strategia di investimenti in infrastrutture e mobilità sostenibili - accompagnata dall'adozione di adeguate tecnologie, strumenti di policy e pratiche di *governance*, oltre che da una conseguente, mirata, politica industriale - può avere per lo sviluppo economico dell'Italia. Una sostenibilità raggiungibile attraverso l'attuazione simultanea di tre principali strategie:

- il rafforzamento della capacità di **adattamento** al cambiamento climatico delle infrastrutture e dei sistemi di mobilità esistenti;
- la **resilienza** delle nuove infrastrutture e sistemi di mobilità;
- l'adeguamento o la realizzazione di infrastrutture e sistemi di mobilità in grado di contribuire efficacemente alla **riduzione delle emissioni di gas serra (mitigazione)**.

Strategie che vanno tuttavia intese in modo ampio, non solo con un approccio ambientale, ma associate ad una **strategia di sviluppo e politica industriale** che accompagni il paese in tutte le trasformazioni necessarie per divenire effettivamente sostenibile. Trasformazioni che riguardano numerosi settori industriali, ma anche il mondo dell'occupazione e quello della formazione e che associano, come correttamente fa l'EU Green New Deal, la trasformazione ecologica a quella digitale.

L'importanza di considerare il settore dei trasporti, mobilità e infrastrutture anche dal punto di vista della mitigazione emerge in modo molto chiaro da alcuni dati di partenza. Il settore dei trasporti in Italia rappresentava nel 2019 (ultimo anno pre-Covid) il 25,2% delle emissioni totali di gas ad effetto serra in Italia e il 30,7% delle emissioni totali di CO₂, una cifra all'incirca corrispondente alla percentuale di combustibili fossili consumati a livello nazionale. Il 92,6% di tali emissioni sono attribuibili al trasporto stradale (persone e merci), il 4,3% alla navigazione, lo 0,75% all'aviazione domestica, lo 0,65% alle condotte, lo 0,15% alle ferrovie ed il rimanente 1,52% circa ad altri sistemi. Se in Italia le emissioni si sono ridotte dal 1990 al 2019 del 19%, il settore dei trasporti nel 2019 rappresentava uno dei pochi settori in crescita di emissioni (+3.2% rispetto al 1990), assieme solo a quello residenziale/dei servizi e dei rifiuti. La grande importanza del settore dei trasporti nel quadro delle emissioni nazionali e la sua fortissima dipendenza dai combustibili fossili ne fanno quindi il settore cardine di ogni strategia di riduzione delle emissioni.

Allo stesso tempo, il settore delle infrastrutture e dei trasporti è tra i più vulnerabili ai cambiamenti climatici. Come evidenzia questo Rapporto, gli impatti dei cambiamenti climatici hanno e avranno effetti di vasta portata anche in Italia. La scarsità di acqua legata a lunghi periodi di siccità, ad esempio, ha interessato e interesserà attività economiche diverse tra loro, come l'agricoltura, l'acquacoltura, il turismo, il raffreddamento delle centrali elettriche e il trasporto merci sui fiumi. Le perdite economiche dovute alla maggiore frequenza di eventi estremi legati al clima sono in aumento ed i danni riguardano soprattutto le reti ed infrastrutture di trasporto, interne e costiere, di telecomunicazione e digitali. Il lento innalzamento del livello del mare è inoltre una fonte di crescente preoccupazione per le zone costiere ed i relativi insediamenti urbani, produttivi e portuali. Serve quindi una strategia che permetta di proteggere, adattare e rendere resilienti infrastrutture e trasporti ai cambiamenti climatici.

Va sottolineato come il settore delle infrastrutture, mobilità e trasporti sia allo stesso tempo causa maggiore e vittima importante dei cambiamenti climatici. Da qui la necessità di strutturare il Rapporto secondo una sequenza logica che parta dalla valutazione degli impatti - ambientali, sociali ed economici - dei cambiamenti climatici, per poi delineare le misure con cui il settore può da un lato contribuire alla riduzione delle emissioni di gas serra e dall'altro può essere reso resiliente alle emissioni di gas serra e alle loro conseguenze sul clima.

Le sfide della mitigazione e dell'adattamento richiedono uno sforzo collettivo che coinvolge soggetti pubblici e privati. È fondamentale che il settore privato e quello pubblico collaborino maggiormente, in particolare sul fronte del finanziamento delle misure necessarie (questo tema è oggetto del Rapporto della Commissione "Finanza per le Infrastrutture e la Mobilità Sostenibili" sempre istituita dal MIMS). L'auspicio è che questo Rapporto, grazie alle sue analisi e alle sue proposte, possa aiutare il settore pubblico e quello privato ad individuare i rischi e ad orientare gli investimenti a favore di interventi in materia di adattamento, resilienza e mitigazione, offrendo soluzioni per contribuire a dare risposte alla crescente consapevolezza degli impatti climatici.

Prima di presentare più in dettaglio la struttura del Rapporto e dei suoi capitoli, credo sia utile delineare l'approccio metodologico adottato. Innanzitutto, alla luce degli obiettivi e delle strategie sopra descritti, è indispensabile adottare un approccio dinamico, intertemporale, che colga l'evoluzione del Paese anche indipendentemente dai cambiamenti climatici futuri. Per una corretta analisi degli impatti dei cambiamenti climatici su infrastrutture e mobilità, oltre che delle politiche per prevenirli ed affrontarli, è infatti necessario tener conto non solo dell'evoluzione attesa del clima, cosa che il rapporto fa utilizzando la miglior modellistica climatica oggi disponibile, ma anche dell'evoluzione economica, sociale e tecnologica del Paese. Gli impatti saranno infatti diversi, rispetto ad oggi, alla luce delle trasformazioni - in particolare tecnologiche e demografiche - in corso. Allo stesso tempo, effetti e costi delle politiche saranno diversi se si tiene conto, ad esempio, delle prospettive tecnologiche future - digitali soprattutto. E ci sono anche dinamiche economiche, come il posizionamento dell'Italia nelle catene globali del valore, che impattano sul fabbisogno di trasporti e infrastrutture, sulla loro tipologia e sulla loro "direzione geografica". Serve quindi un approccio dinamico ed allo stesso tempo olistico, che veda il cambiamento climatico all'interno di un cambiamento complessivo molto più ampio.

In particolare, oltre alle **dinamiche economiche** relative al posizionamento del nostro Paese nelle catene globali del valore, altri elementi importanti da considerare sono:

- a) le **dinamiche tecnologiche**, con particolare riferimento all'applicazione delle tecnologie digitali e ai loro impatti sull'organizzazione sociale, delle attività lavorative e produttive e al conseguente impatto territoriale;
- b) le **dinamiche demografiche** relative all'invecchiamento della popolazione, all'aumento della popolazione inattiva e all'incremento del lavoro a distanza accelerato dalla pandemia;

c) l'**evoluzione delle tendenze agglomerative**, insediative e di organizzazione delle città e dei centri produttivi (la popolazione che vivrà nei centri urbani rispetto alla popolazione totale crescerà dal 54% di oggi al 68% nel 2050).

Le dinamiche tecnologiche possono favorire la resilienza del Paese e contribuire al processo di riduzione delle emissioni di gas-serra, se accompagnate da politiche volte ad allineare le opportunità economiche con la minimizzazione dell'impatto ambientale. Il digitale, ad esempio, può facilitare la riduzione di una buona parte delle emissioni complessive. Tendenze demografiche e agglomerative rendono invece il paese più vulnerabile e aumentano quindi le dimensioni e il valore dei danni da cambiamenti climatici attesi nei prossimi decenni, rendendo più rilevante e urgente una strategia di adattamento, resilienza e mitigazione.

Quel che è certo che senza questa visione d'insieme dell'evoluzione futura dell'assetto socio-economico dell'Italia - contenuta già nel Capitolo 2 di questo Rapporto - una valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici rischierebbe di essere fuorviante. Questo è un errore spesso compiuto in molte analisi, anche recenti, dove gli impatti futuri dei cambiamenti climatici vengono valutati sull'Italia (o sull'Europa o sul mondo) come è oggi, non come probabilmente sarà quando questi impatti arriveranno tra dieci o trent'anni.

Questo Rapporto adotta un approccio olistico o sistemico anche da un altro punto di vista. Non è pensabile di ridisegnare il futuro delle infrastrutture e della mobilità del Paese senza tener conto delle conseguenze che questo ha su un ampio spettro di infrastrutture ad esse collegate, *in primis* quelle energetiche. Una decarbonizzazione del nostro sistema di mobilità, per esempio, passa necessariamente attraverso un fortissimo sviluppo della mobilità elettrica, che non è ottenibile senza un conseguente, parallelo, aumento della capacità di erogazione di energia elettrica con fonti rinnovabili. Ecco quindi, ma questo è solo un esempio, che il rapporto si concentra non solo sulle infrastrutture per la mobilità di persone e merci, ma anche sulle infrastrutture per la produzione e distribuzione di elettricità. Viceversa, la resilienza delle infrastrutture elettriche è fondamentale per la resilienza di quelle per la mobilità, soprattutto in un futuro in cui elettrico e digitale saranno dominanti. I danni che i cambiamenti climatici potrebbero avere sulla distribuzione di energia elettrica avrebbero infatti enormi effetti anche sulla mobilità, per cui l'analisi delle politiche di adattamento deve considerare in modo integrato, sistemico, queste infrastrutture. Lo stesso si dica per le infrastrutture di stoccaggio dell'energia o per le risorse idriche o per le reti di telecomunicazione. Ed infatti i vari capitoli del rapporto - in particolare il Capitolo 5 dedicato all'adattamento ed il Capitolo 6 dedicato alla decarbonizzazione - coprono tutti questi aspetti.

Ne consegue che il Rapporto è caratterizzato da una visione sistemica, che va al di là delle competenze di un singolo Ministero, e che coinvolge quindi tutte le infrastrutture, e tutte le ripercussioni sociali ed economiche di una loro evoluzione, poco importa che siano causate dai cambiamenti climatici stessi o dalle ripercussioni indirette di questi cambiamenti, o dalle politiche messe in campo per affrontarli.

Come già detto, l'obiettivo non è soltanto far fronte agli importanti effetti dei cambiamenti climatici sul nostro Paese, soprattutto sulle sue regioni meridionali. L'obiettivo più ampio è utilizzare investimenti, incentivi, standard e norme per guidare il Paese verso uno sviluppo più competitivo, sostenibile e meno diseguale, affrontando allo stesso tempo, grazie alle risorse messe in campo, le sfide del cambiamento climatico e quelle della globalizzazione e della trasformazione (digitale, demografica, ecc.) dell'economia italiana. Il Rapporto cercherà quindi di fornire, in ogni capitolo, sia informazioni di tipo ambientale, sia di tipo tecnologico, sia economiche e sociali, con una valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici e delle misure per affrontarli lungo tutte queste direttrici.

Il disegno e la realizzazione della strategia delineata in questo Rapporto riconosce inoltre che la progettazione e la gestione delle infrastrutture sono temi di natura complessivamente socio-tecnica e che gli

impatti che hanno in termini di riduzione delle disuguaglianze e di giustizia sociale possono generare molteplici dividendi (in aggiunta a quelli ambientali ed economici). Una strategia per le infrastrutture e la mobilità sostenibili dovrà quindi essere incentrata sui bisogni sociali ed economici dei cittadini. Gli interventi programmati dovranno tenere in considerazione il profondo dualismo regionale che caratterizza il Paese. Non solo risvolti ed impatti sulle disparità regionali dovranno essere oggetto di costante valutazione e monitoraggio: anche gli aspetti di disuguaglianza e polarizzazione intra-regionale dovranno essere attentamente valutati.

In sintesi: da un punto di vista metodologico, il Rapporto adotta un **approccio dinamico**, che tiene conto non solo delle trasformazioni tecnologiche, energetiche ed ambientali legate ai climatici, ma anche delle trasformazioni demografiche, economiche, sociali, digitali già in corso. Il Rapporto adotta un **approccio sistemico**, in quanto si concentra non solo sulle infrastrutture per la mobilità di persone e merci, ma anche sulle infrastrutture ad esse collegate: energetiche, idriche, digitali, logistiche, ecc. Ed infine adotta un **approccio integrato**, in cui l'analisi dei temi ambientali e tecnologici è collegata ad una valutazione delle loro ripercussioni sociali ed economiche.

Nel disegnare l'evoluzione dell'Italia nei prossimi 30 anni - evoluzione pensata soprattutto per prevenire un'eccessiva accentuazione dei cambiamenti climatici e dei loro impatti su scala nazionale e globale - il Rapporto si concentra su due scenari climatici. Lo **scenario obiettivo**, su cui si è impegnata anche l'Italia, che mira a mantenere l'incremento di temperatura sotto i 2 gradi rispetto ai livelli pre-industriali (lo scenario RCP (*Representative Concentration Pathway*) 2.6 nel linguaggio dell'IPCC - l'Intergovernmental Panel on Climate Change - per conseguire il quale serve in Europa una riduzione delle emissioni di gas-serra del 55% nel 2030, rispetto al 1990, e il raggiungimento delle zero emissioni nette nel 2050) e lo **scenario tendenziale**, coerente con le misure di policy già in atto, in grado di mantenere l'incremento della temperatura media globale poco sotto i 3 gradi (lo scenario RCP 4.5 dell'IPCC). Per il passaggio dallo scenario tendenziale allo scenario obiettivo sono necessarie misure e politiche di mitigazione, mentre misure di adattamento dovranno far fronte ai danni climatici che non potranno essere evitati. Infatti, anche nello scenario RCP 2.6, comunque caratterizzato da temperature medie più elevate rispetto ad oggi, sarà necessario far fronte al danno residuale generato dai cambiamenti climatici.

In più semplici parole, il Rapporto adotta una posizione "ottimista" o "non catastrofista" nella scelta dello scenario tendenziale, assumendo che tutti gli impegni presi alla COP 21 di Parigi (gli NDCs - *Nationally Determined Commitments*) saranno implementati. È invece "pessimista" o "realista" rispetto allo scenario obiettivo, poiché assume che contenere la temperatura entro 1,5 gradi rispetto ai livelli industriali sia oramai molto difficile e costoso e che sia invece più realistico rimanere a fine secolo entro un aumento di 1,8-2 gradi. Di conseguenza, il delta di emissioni da ridurre (il delta tra lo scenario tendenziale e lo scenario obiettivo) è più piccolo che non se si fosse ipotizzato lo scenario tendenziale a 4 gradi (RCP 7.0) e lo scenario l'obiettivo a 1,5 gradi (RCP 1.9). Essendo la quantità di emissioni da ridurre minore, i costi della transizione sono minori.

Va sottolineato come anche il delta in termini di danni da cambiamenti climatici stimati al 2030 e al 2050 sia minore, perché i vari scenari si differenziano molto dal 2050 in poi, quando gli impatti dei cambiamenti climatici diventeranno molto più rilevanti. Di conseguenza, sono meno evidenti i benefici economici delle politiche di mitigazione che verranno proposte, perché molti dei loro effetti e benefici, qualora fossero effettivamente adottate, si dispiegheranno dopo il 2050.

Un'ultima nota importante rispetto alle politiche. Come detto, le misure di adattamento e mitigazione analizzate e discusse nel Rapporto si inseriscono all'interno di quanto previsto dalla EU Climate Law e dal pacchetto Fit for 55 (in corso di negoziazione), che tra l'altro prevede la creazione di un mercato ETS parallelo per i combustibili per gli edifici e i mezzi di trasporto, e l'estensione del meccanismo ETS a aviazione e trasporto marittimo, garantendo che le risorse generate dalla vendita dei permessi di emis-

sione siano effettivamente destinate a misure di adattamento, mitigazione e ricerca e sviluppo, oltre che a sostenere una **giusta transizione** (ad esempio, prevedendo misure compensative per le famiglie più penalizzate dall'incremento dei prezzi dell'energia o sostegno ai lavoratori che devono essere impiegati in nuovi settori). Il Rapporto delinea quindi azioni, misure, norme e politiche che dovrebbero consentire all'Italia di fare un grande passo avanti, vista la rilevanza in termini di emissioni del settore dei trasporti, verso gli obiettivi definiti dall' EU Climate Law. Per quanto riguarda invece l'adattamento di infrastrutture e trasporti al cambiamento climatico, le politiche sono coerenti con le indicazioni contenute nella EU Adaptation Strategy e allineate alla tassonomia indicata nell'Adaptation Support Tool della Commissione Europea.

Il Rapporto è organizzato in 7 capitoli. Oltre a questo capitolo di introduzione, il capitolo 2 introduce i concetti di infrastrutture e mobilità - mettendone in risalto i legami con l'economia e la sua crescita - discute i presupposti e le implicazioni socio-economiche associati a diverse politiche e strategie per le infrastrutture e la mobilità. Il capitolo espone dunque le basi concettuali ed empiriche per l'analisi e le proposte orientate alla mitigazione e all'adattamento al cambiamento climatico sviluppate nei capitoli successivi, raccordando politiche ed interventi per le infrastrutture e la mobilità sostenibili con altre aree di politica pubblica quali lo sviluppo economico, l'inclusione e l'innovazione. Il Capitolo 2 presenta inoltre le più recenti linee strategiche che emergono dal Piano Nazionale Ripresa e Resilienza come punto di partenza per ulteriori raccomandazioni di politica pubblica orientate allo sviluppo sostenibile ed inclusivo.

Il Capitolo 3 entra nel cuore del problema oggetto di questo Rapporto ed analizza gli effetti del cambiamento climatico attesi sul territorio italiano e sui principali elementi del sistema socio-economico nazionale. In particolare, vengono descritti i principali impatti attesi per effetto del verificarsi di *hazards* climatici (ovvero sorgenti di pericolo che, in questo contesto, sono da riferirsi ad eventi fisici associati al clima o a trend o ai loro impatti fisici), soffermando l'attenzione dapprima sugli effetti del cambiamento climatico sul regime termo-pluviometrico su scala stagionale e annuale, e successivamente analizzandone le conseguenze sul territorio per una serie di essi (e.g., ondate di calore, ondate di freddo, siccità, incendi, tempeste di vento, allagamenti, esondazioni fluviali, inondazioni costiere, frane o erosione del suolo). Le tendenze messe in evidenza saranno utili a fornire indicazioni generali sull'incremento, sul decremento o sulla stazionarietà dei pericoli climatici (e di loro particolari caratteristiche quali intensità, persistenza e frequenza), e, di conseguenza, sui relativi effetti in termini di danni e rischi sulle infrastrutture di interesse.

Gli impatti dei cambiamenti climatici diretti ed indiretti sulle infrastrutture e la mobilità sono oggetto del Capitolo 4, che descrive i meccanismi di impatto generati da eventi climatici estremi, quali ondate di calore e freddo, siccità, incendi, esondazioni fluviali e inondazioni costiere, e tempeste di vento, con riferimento a differenti tipologie di infrastrutture critiche di trasporto, energia, informazione e comunicazione, logistica, distribuzione e gestione idrica e dei rifiuti. L'analisi si basa su una revisione esaustiva della letteratura scientifica relativa all'argomento. Utilizzando simulazioni condotte in precedenti studi ed esperimenti modellistici dedicati, vengono quantificati i possibili impatti economici diretti e indiretti sulle infrastrutture critiche del Paese conseguenti alle variazioni in frequenza e intensità degli eventi climatici estremi attese nei prossimi decenni, in accordo con uno scenario tendenziale di emissione di gas serra che, come detto, prevede un aumento della temperatura media globale di ~3°C entro la fine del secolo rispetto al 1990.

Il capitolo 4 evidenzia come, in generale, l'intero Paese sarà soggetto ad un sostanziale aumento degli impatti climatici, tuttavia la loro distribuzione non sarà omogenea sul territorio. In termini assoluti, i valori di rischio climatico saranno maggiori nelle regioni del Nord Italia e del versante tirrenico, caratterizzate da una più densa dotazione infrastrutturale potenzialmente esposta ai futuri eventi climatici estremi. Tuttavia, in termini relativi, l'aumento del rischio climatico appare più marcato nelle regioni del Sud Italia, in seguito a variazioni più pronunciate in queste zone degli eventi climatici estremi direttamente dipendenti da temperatura e precipitazione.

Il Capitolo 5 analizza come sia possibile gestire in modo ottimale le infrastrutture esistenti per renderle più resilienti ai cambiamenti climatici, alla luce delle proiezioni climatiche presentate nel Capitolo 3, e quali strategie di adattamento possano essere messe in campo tenendo conto degli impatti evidenziati nel Capitolo 4. L'obiettivo è non solo identificare le soluzioni tecnologiche o gestionali, ma anche delineare gli investimenti e le misure necessarie ed evidenziare i benefici sociali ed economici che essi possono portare. Tutto ciò è sviluppato partendo da quanto prospettato dalla EU Adaptation Strategy.

Proprio alla luce del fatto che il nostro Paese si muove in questo ambito - e coerentemente con gli obiettivi della EU Climate Law - il capitolo affronta il tema della resilienza in un'ottica di "*climate proofing*" delle diverse infrastrutture e vede l'adattamento al cambiamento climatico come "*transformative resilience*". Ciò al fine di inquadrare gli sforzi di adattamento come incipit di opere più significative e di possibile discontinuità rispetto allo *status quo*, a loro volta in stretta relazione con le attività di mitigazione, piuttosto che ipotizzare "micro-adattamenti" specifici che faticherebbero a integrarsi con la visione imposta dagli scenari europei.

Le diverse infrastrutture vengono considerate come interagenti e connesse, non solo per via della potenziale condivisione degli eventi climatici avversi, ma anche in vista degli impatti che su esse hanno le modifiche ai modelli di mobilità e dei requisiti che sulla loro interazione pongono i meccanismi necessari ad attuare le strategie di resilienza e adattamento (si pensi ad esempio all'impatto che le necessità di monitoraggio continuo delle infrastrutture terrestri impone su quelle informatiche e digitali).

Il capitolo 6 discute gli interventi relativi a infrastrutture e trasporti necessari a raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione del sistema Italia. Come prima sottolineato, in Italia, nel 2019, la categoria dei trasporti è stata responsabile del 25,2% delle emissioni complessive di gas serra nazionali, corrispondenti al 31,4% delle emissioni del settore dell'energia. Le emissioni dovute ai trasporti in Italia sono più del triplo di quelle dell'intero settore industriale, più di tre volte e mezzo rispetto a quelle dell'agricoltura e quasi sei volte più di quelle prodotte dai rifiuti. È quindi evidente che la decarbonizzazione del settore dei trasporti sia una priorità, sia nel breve che nel medio periodo. Nel Capitolo 6 gli interventi di decarbonizzazione del settore dei trasporti - e delle infrastrutture ad esso collegate - sono pertanto discussi in funzione della prossimità temporale in cui verosimilmente possono essere realizzati e possono produrre effetti.

Nella Fase I (o di breve termine) rientrano gli interventi necessari per raggiungere entro il 2030 l'obiettivo di riduzione delle emissioni attribuito al nostro Paese dal pacchetto Fitfor55, che per quanto riguarda i trasporti comporta una riduzione del 43,7% rispetto al 2005 (ovvero una riduzione tra il 30 e il 35% rispetto al periodo pre-Covid, che corrisponde alla rimozione dal sistema della mobilità di circa 10-12 Mtep di carburanti). Si tratta prevalentemente o di interventi già in fase di applicazione che richiedono potenziamento o interventi a cui si associa una migliore conoscenza delle caratteristiche di diverse tecnologie. Nella Fase II (o di medio termine) rientrano invece interventi che sono prioritari, ma le cui tempistiche sono da definire, in quanto ancora in fase di studio o la cui applicabilità dipende dallo sviluppo di nuove tecnologie. L'obiettivo di questi interventi è la riduzione, entro il 2050, delle emissioni di almeno il 90% rispetto al 1990 e quant'altro in più necessario per raggiungere complessivamente come Paese l'obiettivo di zero emissioni nette al 2050.

Gli interventi discussi nel Capitolo 6 riguardano prevalentemente il sistema di trasporto di persone e merci, ma sono discussi anche interventi di mitigazione per le emissioni legate alle reti di telecomunicazione, le reti idriche e opere idrauliche, alla progettazione e realizzazione delle infrastrutture di trasporto e a supporto della mobilità, oltre che interventi per lo sviluppo di infrastrutture per la produzione di energia a zero emissioni. Il Capitolo 6 include anche un'analisi delle implicazioni economiche della transizione climatica.

Il Capitolo 7 si occupa di identificare misure politiche, legali, sociali, gestionali e finanziarie, utili alla *governance* del processo di transizione ecologica e ad aumentare la consapevolezza sui problemi legati al cam-

biamento climatico nel settore del trasporto e delle mobilità sostenibili nelle diverse fasi di transizione. In particolare, nel capitolo sono descritte le modalità di intervento più idonee per favorire concretamente l'introduzione delle misure delineate nei capitoli precedenti, adattandole al sistema giuridico, istituzionale e di mercato italiano, sulla base delle linee guida e normative europee, con l'obiettivo di favorire una transizione ordinata e giusta e garantire una coerenza di fondo, e quindi una sinergia, tra gli strumenti che si adottano.

Vengono, ad esempio, esaminati strumenti per favorire la riduzione dell'uso dei mezzi privati in seguito all'aumento dell'offerta di trasporto pubblico e allo sviluppo di forme di mobilità condivisa che non comporta soltanto il rinnovo delle flotte, ma anche l'introduzione di nuovi tipi di veicoli, il miglioramento dell'offerta complessiva di servizi e delle reti, un profondo cambio di mentalità sull'uso dell'auto e nuove forme di concepire la vita sociale.

Le politiche e gli incentivi per una mobilità sostenibile riguardano il trasporto delle persone e delle merci e sono orientate a modificare le modalità con cui la domanda utilizza i sistemi di trasporto con riferimento alle politiche di utilizzo del suolo, alle politiche economiche, amministrative e finanziarie distinguendo *strumenti onerosi* (*road pricing*, tariffazione della sosta, tasse sul possesso e l'acquisto dei veicoli) e *misure di carattere economico* (abbonamenti sovvenzionati, incentivi all'utilizzo di trasporto ad elevato coefficiente di occupazione, sovvenzioni al *car pooling* o all'uso di minibus, rimborsi sulla sosta e incentivi economici indiretti), ma anche campagne informative sui vantaggi della mobilità sostenibile.

Fanno da cornice l'analisi di standard e norme per la trasparenza in ambito climatico che sono già in uso presso grandi organizzazioni e che in alcuni casi stanno divenendo cogenti anche per aziende medie (ad esempio grazie alle recenti proposte della Banca Centrale Europea sui rischi bancari che includeranno anche quelli climatici). Tali logiche da estendersi anche ad enti, organizzazioni e aziende di minore dimensione ed enti pubblici, secondo principi di progressività e di materialità, hanno la finalità di innescare meccanismi incentivanti di carattere reputazionale, tanto nel settore privato quanto nel pubblico. L'integrazione nei vari processi decisionali e gestionali, di aziende ed enti, del clima, del rischio e delle opportunità da esso derivanti è condizione indispensabile per avviare percorsi virtuosi di riduzione delle emissioni, con potenziali benefici a tutti i livelli (strategici, manageriali e operativi).

A conclusione di questa breve presentazione dei contenuti del Rapporto, e rinviando alla lettura dei singoli capitoli per dati, analisi e proposte di dettaglio, credo sia importante evidenziare una raccomandazione frutto dell'esperienza molto positiva di questi mesi di lavoro della Commissione. Perché le analisi e le indicazioni contenute nel Rapporto divengano realmente efficaci, sarebbe molto importante che non fossero l'oggetto di un approfondimento *una tantum* da parte di una commissione di esperti esterna al Ministero. Una base dati adeguata e delle conseguenti analisi in tempo continuo, alla luce delle continue modifiche e trasformazioni in campo tecnologico, politico, economico ecc., costituirebbero un supporto essenziale al processo decisionale del Ministero delle Infrastrutture e Mobilità Sostenibili, così come di tutti i Ministeri. Le decisioni inerenti investimenti e strategie infrastrutturali conseguenti ai cambiamenti climatici dovrebbero quindi essere supportate da competenze e conoscenze adeguate da mettere a supporto dei decisori di politica pubblica, che possano elaborare le proprie proposte sulla base sia di dati raccolti in modo diretto, strutturato e ripetibile, anche attraverso apposite indagini, sia di studi di scenario da utilizzare nell'ambito di rigorose analisi costi-benefici. Il modello più rilevante in questo senso è quello della "UK National Infrastructure Commission". Tale Commissione si occupa in modo unitario, permanente ed indipendente della materia con un team permanente di ricercatori e Commissari nominati su orizzonte quinquennale che si avvale di un centro studi e di una infrastruttura di raccolta dati.

Come detto all'inizio, questo Rapporto è il frutto del lavoro della Commissione "Cambiamenti Climatici, Infrastrutture e Mobilità Sostenibili" istituita con decreto del Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili del 7/4/2021, n. 131. Alla scrittura del Rapporto hanno partecipato non solo i membri della

Commissione, ma anche molti altri colleghi il cui contributo è stato determinante per dare profondità e precisione alle analisi che verranno illustrate nei capitoli che seguiranno. A tutti sono grato per l'elevata qualità del lavoro svolto. E sono particolarmente grato al Ministro Giovannini - che ha ideato e dato il via a questo progetto - per la visione che ha trasmesso ed il continuo supporto nelle varie fasi della sua realizzazione. Ringrazio inoltre: Antonio Accetturo, Stefano Alvisi, Marta Arbinolo, Giuliana Barbato, Alessandra Bianchi, Francesco Bosello, Ilaria Bosticchi, Roberto Buizza, Giuseppe Cantisani, Andrea Castelletti, Pierpaolo Cazzola, Elisabetta Cherchi, Davide Ciferri, Andrea Cominola, Maria Vittoria Corazza, Laura Cozzi, Riccardo Crescenzi, Pietro Croce, Gino D'Ovidio, Shouro Dasgupta, Guido De Blasio, Paolo De Girolamo, Paola Di Mascio, Marianna Duca, Marta Ellena, Alessandra Ferone, Paolo Formichi, Giovanni Forzieri, Claudio Gandolfi, Patrizia Giangualano, Filippo Landi, Elisa Lanzi, Chiara Liti, Giuseppe Loprencipe, Luca Lotti, Paola Mercogliano, Alberto Montanari, Matteo Muratori, Roberta Padulano, Ivana Paniccia, Ramiro Parrado, Isabella Pecorini, Marco Percoco, Fabio Ricci Feliziani, Stefano Soriani, Gabriele Standardi, Mara Tanelli, Mario Tartaglia, Massimo Tavoni, Andrea Tilche, Massimo Tornatore, Enrico Zio. Sono tutti i colleghi che hanno dedicato le loro competenze alla scrittura, revisione e approfondimento dei vari capitoli e sezioni del Rapporto. Un grazie particolare a Davide Ciferri, ai coordinatori dei capitoli del Rapporto - Riccardo Crescenzi, Paola Mercogliano, Giovanni Forzieri, Mara Tanelli, Elisabetta Cherchi e Patrizia Giangualano - e ad Alessandra Santini che ne ha curato la segreteria tecnica.

Capitolo 2.

Infrastrutture, economia e società in Italia



Capitolo 2

Infrastrutture, economia e società in Italia

Coordinamento

R. Crescenzi

Mobilità sostenibile e accessibilità

A. Accetturo, I. Bosticchi, P. Cazzola, E. Cherchi, R. Crescenzi, G. de Blasio, M. Percoco

La situazione delle infrastrutture e della mobilità in Italia

I. Bosticchi, P. Cazzola, G. De Blasio, I. Paniccia, M. Percoco

Linee Evolutive

A. Accetturo, E. Cherchi, I. Paniccia, M. Tanelli

Dalla diagnosi alla cura

E. Cherchi, D. Ciferri, R. Crescenzi, M. Tanelli

Sintesi

Il Capitolo 2 si pone l'obiettivo di introdurre i concetti di infrastrutture e mobilità - mettendone in risalto i legami con l'economia e la sua crescita - e di discutere i presupposti e le implicazioni socio-economiche associati a diverse politiche e strategie per le infrastrutture e la mobilità. Il capitolo espone dunque le basi concettuali ed empiriche per l'analisi e le proposte orientate alla mitigazione e all'adattamento al cambiamento climatico sviluppate nei capitoli successivi, raccordando politiche ed interventi per le infrastrutture e la mobilità sostenibili con altre aree di politica pubblica quali lo sviluppo economico, l'inclusione e l'innovazione.

Il termine infrastrutture è usato per definire il sistema di opere pubbliche, tra cui strade, linee di servizio ed edifici pubblici di un paese, stato o regione (OECD, 2002). Nel settore dei trasporti le infrastrutture riguardano il complesso di opere che consentono i movimenti di passeggeri e merci. Il concetto di mobilità si riferisce alla "facilità" di realizzare gli spostamenti fisici, ed è quindi un concetto strettamente legato alla qualità (disponibilità, frequenza, velocità, comfort ecc.) dei modi di trasporto (autovetture private, trasporto pubblico, ciclabilità, pedonalità ecc.). Tuttavia, l'attenzione dovrebbe essere posta sul concetto di accessibilità, e per estensione di accessibilità sostenibile, che si riferisce alla "facilità" di raggiungere il luogo dove realizzare attività (definite anche "opportunità) necessarie/desiderate. L'accessibilità dipende dai livelli di mobilità, dalla disponibilità e qualità dei sistemi di trasporto, dalla loro connettività, oltre che dall'organizzazione dell'uso del suolo e dalla pianificazione urbana e disegno urbano.

I trasporti e le infrastrutture ad essi associate influenzano l'estensione e l'intensità delle interazioni tra individui e imprese. Se da un lato sistemi di trasporto efficienti garantiscono l'approvvigionamento di merci, la vendita di prodotti o la possibilità di viaggiare, dall'altro espongono le comunità a rischi di carattere economico, militare e, da sempre, sanitario.

Esiste una correlazione positiva tra accessibilità e produttività delle imprese, in particolar modo per le imprese che usufruiscono in maniera significativa di servizi di trasporto. Tuttavia a seguito di interventi di politica pubblica possono esserci, da un punto di vista territoriale, vincitori e vinti. Questo implica che non necessariamente l'espansione di capitale pubblico infrastrutturale nelle aree meno avanzate comporta una riduzione delle disparità spaziali, almeno in termini economici.

A livello urbano, gli incrementi di accessibilità e l'espansione dell'offerta di servizi di trasporto modificano i flussi di pendolarismo allargando di fatto la dimensione spaziale dei mercati locali del lavoro. Tuttavia, a questo si accompagna un processo di auto-selezione (*sorting*) per cui alcune categorie di lavoratori, tipicamente quelli più produttivi, si concentrano nei centri urbani con migliore accessibilità a discapito dei lavoratori con produttività (e salari) meno elevati che sono spinti da prezzi sempre più elevati verso le aree periferiche.

Qualsiasi tentativo di definire una strategia per trasporti e mobilità deve prendere in considerazione l'insieme di condizioni che regolano la relazione tra accessibilità e dinamiche di crescita economica. Una vasta gamma di forze esercita un'influenza su come la performance economica può reagire a cambiamenti di accessibilità. Esse includono capitale umano, innovazione e fattori di governance e istituzionali che determinano il potenziale di qualsiasi territorio di trarre beneficio da cambiamenti nell'accessibilità che vanno quindi considerati in una prospettiva sistemica ed integrata.

Il contesto istituzionale locale in cui vengono effettuati influenza la portata e la natura dei nuovi investimenti infrastrutturali (e le opere complementari) e, di conseguenza, i loro rendimenti economici. Istituzioni di bassa qualità offrono opportunità per l'estrazione di rendite private, minando l'offerta di beni pubblici. In condizioni di scarsa qualità del governo, nuovi investimenti in infrastrutture possono rispondere maggiormente a interessi politici e individuali piuttosto che a giustificazioni economiche e di benessere collettivo. Queste evidenze suggeriscono che una strategia infrastrutturale e per la mobilità sostenibile del nostro Paese non può prescindere dal prendere in considerazione la qualità della governance locale che può influire drammaticamente sia sui tempi di realizzazione dei progetti (soprattutto quelli con una particolare attenzione alle transizioni ecologica e digitale) che sulla qualità dei progetti selezionati. Un forte antidoto per questo tipo di effetti è costituito da rigorose azioni di valutazione ex-ante, ex-post ed in-itinere che devono diventare parte integrante di un sistema di governance degli interventi su più livelli.

L'Italia presenta, in termini quantitativi, una dotazione infrastrutturale al di sotto di quella dei principali paesi europei ad essa paragonabili per dimensioni fisiche del territorio (Germania, Spagna, Francia, UK), sia per quanto riguarda le autostrade, sia per le ferrovie. Comparabile con gli altri paesi è invece la dotazione di aeroporti. Gran parte del divario tra l'Italia e gli altri paesi è ascrivibile al forte ritardo infrastrutturale delle regioni meridionali. La scelta di colmare questo ritardo attraverso una strategia di infrastrutture e mobilità sostenibili può costituire l'opportunità di realizzare infrastrutture resilienti ed in grado di contribuire alla riduzione delle emissioni di gas serra del Paese.

La globalizzazione e la frammentazione dei processi produttivi hanno coinvolto l'Italia al pari di altre economie europee. È possibile immaginare due possibili scenari, non mutualmente esclusivi, per il coinvolgimento del nostro Paese nelle catene globali del valore:

- Ulteriore aumento del peso dell'Asia e, in particolare, della Cina con lo spostamento ulteriore del baricentro dei flussi di commercio internazionale e investimenti esteri verso i paesi asiatici.
- Fenomeni di re-shoring e incremento della regionalizzazione delle catene produttive mondiali.

In entrambi i casi, anche qualora i due scenari dovessero verificarsi contemporaneamente, è plausibile che la geografia del commercio internazionale dell'Italia cambi in modo marginale almeno nel prossimo decennio. Il nostro Paese è inserito in catene produttive fondamentalmente Europee ed è integrato nella

catene globali del valore per lo più attraverso la Germania che rappresenta il maggiore canale di accesso ai mercati internazionali più distanti. Un ulteriore spostamento dell'asse economico verso l'Asia avrebbe come effetto principale un incremento dei traffici commerciali verso la Germania. Il re-shoring accentuerebbe il carattere puramente regionale della partecipazione italiana alle Catene Globali del Valore. In sintesi, accessibilità e collegamenti infrastrutturali verso il Nord Europa resterebbero comunque più importanti rispetto a infrastrutture di lungo raggio.

Alle dinamiche relative al posizionamento del nostro Paese nelle Catene Globali del Valore si aggiungono ulteriori elementi di cambiamento interno che incidono sulla domanda di accessibilità e sui suoi impatti socio-economici. In particolare la definizione di una strategia per la mobilità sostenibile dovrebbe tenere conto di: a) dinamiche tecnologiche, con particolare riferimento all'applicazione delle tecnologie digitali e ai loro impatti sull'organizzazione sociale e delle attività produttive (con particolare riferimento al lavoro a distanza) e ai conseguenti effetti territoriali; b) dinamiche demografiche relative all'invecchiamento della popolazione, all'aumento della popolazione inattiva e all'incremento del lavoro a distanza accelerato dalla pandemia; c) evoluzione delle tendenze agglomerative, insediative e di organizzazione delle città e dei centri produttivi (la popolazione che vivrà nei centri urbani rispetto alla popolazione totale crescerà dal 54% di oggi al 68% nel 2050); d) nuove disuguaglianze ed ostacoli all'inclusione, con particolare riferimento al divario di genere, al divario digitale, al mix culturale sempre più complesso e all'invecchiamento della popolazione.

Il punto di partenza per affrontare questi nodi è costituito dalle scelte programmatiche espresse nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) che definisce gli obiettivi prioritari del nostro Paese per l'utilizzo delle ingenti risorse del programma comunitario Next Generation EU (NGEU). La selezione degli investimenti da inserire nel PNRR è stata caratterizzata, sia a livello generale sia settoriale, da uno spazio di possibili opzioni delimitato dalle condizionalità espresse dalla Commissione Europea per l'accesso alle risorse.

Complessivamente circa il 60% degli investimenti di competenza del MIMS è destinato ad interventi di riqualificazione, potenziamento ed efficientamento della rete ferroviaria nazionale, regionale e urbana. Secondo elaborazioni RFI, al 2030, l'entrata in esercizio di tutti gli interventi inclusi nel PNRR, dovrebbe produrre un incremento di utilizzo del trasporto ferroviario del 66% a discapito del trasporto privato, che vedrà ridurre la propria quota modale del 6%.

Tenendo conto del complesso degli investimenti previsti nel quadro della politica nazionale dei trasporti oltre il PNRR, si osserva un tentativo di riduzione generalizzata dei tempi medi di viaggio ferroviario su tutto il territorio nazionale con un incremento di accessibilità più marcato nelle aree economicamente più deboli.

L'estensione e lo sviluppo degli interventi sinora programmati in linea con le raccomandazioni presentate in questo Rapporto dovrebbe riconoscere la natura socio-tecnica del progetto e della concezione di politiche per le infrastrutture e la mobilità sostenibili. Dovrebbe inoltre riconciliare ed integrare le strategie nazionali per economia, società ed ambiente, mettendo al centro il benessere dei cittadini in modo inclusivo e sostenibile.

Concetti, teorie ed evidenze di frontiera devono guidare ed informare l'azione pubblica. È inoltre necessaria la definizione di un momento di natura tecnica, che elabori sui dati e sull'evidenza disponibile circa gli effetti sia socio-economici che ambientali degli interventi, non solo attraverso Analisi Costi-Benefici ma anche rigorose valutazioni ex-ante ed ex-post, restringendo la discrezionalità delle decisioni politiche e limitando le distorsioni che riducono il benessere collettivo.

Le decisioni inerenti investimenti e strategie infrastrutturali devono essere supportate da competenze e conoscenze adeguate da mettere a supporto del decisore di politica pubblica sul modello della 'UK

National Infrastructure Commission'. È inoltre necessario affrontare in modo radicale, con risorse idonee ed una prospettiva di lungo periodo il problema della scarsa competenza tecnica delle amministrazioni centrali, regionali e locali preposti alla progettazione e attuazione degli interventi sul campo.

Le azioni e gli investimenti per colmare il gap infrastrutturale tra il nostro Paese e le altre principali economie UE devono essere basati su scelte strategiche che riflettano in modo chiaro le priorità del Paese e dell'UE. Questo implica la crescita e il consolidamento di alcune specifiche infrastrutture (per esempio ben selezionati hub portuali).

Gli interventi programmati dovranno tenere in considerazione il profondo dualismo regionale che caratterizza il Paese. Non solo risvolti ed impatti sulle disparità regionali dovranno essere oggetto di costante valutazione e monitoraggio. Anche gli aspetti di disuguaglianza e polarizzazione intra-regionale dovranno essere attentamente valutati.

Introduzione

Il termine infrastrutture è usato per definire il sistema di opere pubbliche, tra cui strade, linee di servizio ed edifici pubblici di un paese, stato o regione (OECD, 2002). Nel settore dei trasporti le infrastrutture riguardano il complesso di opere che consentono i movimenti di passeggeri e merci. È possibile distinguere infrastrutture di rete (strade, ferrovie, etc.) e puntuali (stazioni ferroviarie, porti, aeroporti). Sono infrastrutture anche le reti per il trasporto dei materiali energetici (oleodotti, gasdotti, elettrodotti), le reti di comunicazione (telefonica, televisiva, radiofonica, Internet), le reti di distribuzione e raccolta idrica (ad es. acquedotti e fognature).

Esiste un'associazione positiva tra infrastrutture e sviluppo socio-economico: nazioni e regioni ricche sono tipicamente caratterizzate da un'ampia dotazione infrastrutturale di elevata qualità. Come sarà discusso nel seguito di questo capitolo, il ruolo chiave è rappresentato dal concetto di accessibilità, che dipende dalla dotazione di infrastrutture fisiche ma anche dai servizi di trasporto che utilizzano tali infrastrutture.

La sostenibilità nel sistema dei trasporti richiede l'uso di materiali e processi capaci di abbattere le emissioni di inquinanti (inclusi ma non limitati ai gas climalteranti), ottimizzare l'uso di risorse non rinnovabili o integrabili in un contesto di economia circolare e rispondere ad altre sfide socio-economiche in modo tale da facilitare il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile e inclusivo (SDGs) definiti dalle Nazioni Unite. Questo riguarda diverse parti del sistema, compresa la costruzione delle infrastrutture, la manifattura dei veicoli, la produzione e l'uso di energia che essi necessitano per permettere al sistema di fornire i servizi per cui è concepito. In particolare, si fa riferimento agli impatti relativi alle emissioni dirette, a quelle legate alla produzione di energia e a quelle associate all'uso di energia per gli attori economici che partecipano al sistema². Il termine "sostenibile" viene anche usato con riferimento al concetto di mobilità. Da questo punto di vista, infrastrutture per la mobilità sostenibile garantiscono un ridotto impatto sull'ambiente, ma anche servizi disponibili a tutti e rispettosi delle necessità delle generazioni future. Secondo l'Agenda ONU 2030 e gli obiettivi di G7 e G20, un sistema infrastrutturale sostenibile dovrebbe rispettare le caratteristiche individuali, migliorare la vita delle comunità sia in termini economici sia sociali e valorizzare i paesaggi interessati.

Questo capitolo si pone due obiettivi. Il primo è quello di **introdurre i concetti di infrastrutture e mobilità**, mettendone in risalto i legami con l'economia e la sua crescita. Il secondo è quello di discutere i **presupposti e le implicazioni socio-economiche associati a diverse politiche e strategie per le infrastrutture e la mobilità**. Il capitolo espone dunque le basi concettuali ed empiriche per l'analisi e le proposte orientate alla mitigazione e all'adattamento al cambiamento climatico sviluppate nei capitoli successivi, raccordando politiche ed interventi per le infrastrutture e la mobilità sostenibili con altre aree di politica pubblica quali lo sviluppo economico, l'inclusione e l'innovazione.

Questo capitolo è strutturato in quattro sezioni principali. La prima sezione include alcune definizioni chiave utili per l'intero Rapporto ed illustra alcuni nessi significativi tra infrastrutture ed effetti socio-economici con particolare riferimento alla mobilità. La seconda sezione offre una panoramica dell'attuale situazione delle infrastrutture e della mobilità in Italia. La terza sezione discute le linee evolutive utili alla definizione di scenari per i capitoli seguenti. Infine, la quarta sezione conclude presentando le più recenti linee strategiche che emergono dal Piano Nazionale Ripresa e Resilienza come punto di partenza per ulteriori raccomandazioni di politica pubblica orientate allo sviluppo sostenibile ed inclusivo.

² Si vedano ad esempio i criteri usati per il Greenhouse Gas Protocol (GHG): <https://ghgprotocol.org/>

2.1 Mobilità sostenibile e accessibilità

Il tema della mobilità sostenibile rappresenta uno degli argomenti più dibattuti nell'ambito delle politiche ambientali locali, nazionali e internazionali volte a ridurre l'impatto ambientale derivante dalla mobilità delle persone e delle merci. La mobilità sostenibile, nella definizione riportata nella strategia europea approvata nel 2006 dal Consiglio Europeo, ha l'obiettivo di garantire che i sistemi di trasporto corrispondano ai bisogni economici, sociali e ambientali della società, minimizzando contemporaneamente le ripercussioni negative sull'economia, la società e l'ambiente.

Il concetto di **mobilità** si riferisce alla "facilità" di realizzare gli spostamenti fisici, ed è quindi un concetto strettamente legato alla qualità (disponibilità, frequenza, velocità, comfort ecc.) dei modi di trasporto (autovetture private, trasporto pubblico, ciclabilità, pedonalità ecc.). Secondo numerosi studi (Handy, 2021; Litman, 2021), tuttavia, l'attenzione dovrebbe essere posta sul concetto di accessibilità, e per estensione possiamo dire di accessibilità sostenibile, che si riferisce alla "facilità" di raggiungere il luogo dove realizzare attività (definite anche "opportunità) necessarie/desiderate.

Una delle definizioni di **accessibilità** più accreditate è quella di Hansen (1959) "*potential of opportunities for interactions*". Altre definizioni più recenti sono per esempio "la facilità con cui alcune attività possono essere raggiunte da un luogo di riferimento con un particolare sistema di trasporto" oppure "i benefici forniti da un sistema combinato di trasporto e uso del suolo" (Ben-Akiva & Lerman, 1979) e tante altre. L'accessibilità dipende dai livelli di mobilità, dalla disponibilità e qualità dei sistemi di trasporto, e loro connettività (quali per esempio la qualità delle connessioni tra sistemi di trasporto), ma anche dall'organizzazione dell'uso del suolo (disponibilità di destinazioni e loro attrattività) e dalla pianificazione urbana e disegno urbano (prossimità delle funzioni). Infine, il concetto di accessibilità fa anche riferimento al grado di inclusione che i sistemi di mobilità offrono, ovvero al loro essere utilizzabili e fruibili indipendentemente dalle caratteristiche socio-economiche degli utenti stessi.

I concetti di mobilità e accessibilità sono spesso usati in modo equivalente, ma hanno significato e conseguenze differenti. Una buona mobilità contribuisce a una buona accessibilità, ma una buona mobilità non è l'unico modo per garantire una buona accessibilità. La costruzione di nuove strade, per esempio, migliora la mobilità (anche se non necessariamente quella sostenibile) ma produce spesso effetti secondari che possono vanificarne gli effetti positivi iniziali di un aumento dell'accessibilità (come inquinamento locale, rumore e relativi effetti negativi sulla salute, effetti di segregazione di zone urbane ed incrementi di traffico in termini generali, incluso sulla rete viaria limitrofa). La differenza tra mobilità e accessibilità è ancora più marcata a livello urbano. Una buona accessibilità, per esempio, è spesso garantita in città compatte (dove le destinazioni sono a distanza pedonale o ciclabile). In questo caso l'accessibilità è garantita o ottenuta dalla prossimità delle attività piuttosto che dalla mobilità, e distanze brevi favoriscono la mobilità sostenibile.

Altri fattori sono importanti nel concetto di accessibilità: "affordability", che si riferisce al costo monetario di raggiungere le varie destinazioni in rapporto al reddito delle varie categorie sociali ed è legato al concetto di inclusione sociale a cui si accennerà di seguito; "convenienza", che si riferisce alla facilità di ottenere informazioni di viaggio, pagare i biglietti, trasportare valigie; e "accettabilità sociale" che si riferisce al fatto che la possibilità o la disponibilità ad usare un mezzo di trasporto non dipendano dallo stato sociale e dalla associazione tra mezzi di trasporto e stato sociale degli utenti (Litman, 2021).

Le tradizionali misure di prestazione dei sistemi di mobilità, quali per esempio il livello di servizio, sono intrinseche al processo di pianificazione dei trasporti e questo rende difficile spostare l'attenzione dal concetto di mobilità al concetto di accessibilità. Inoltre, non esiste una definizione univoca di accessibilità e misurare operativamente l'accessibilità è molto più complicato.

Le misure di accessibilità basate sulle infrastrutture analizzano il livello di servizio delle infrastrutture (Geurs & van Wee, 2004; Martens & Golub, 2012). Le misure fondate sul tempo (quali *Balancing Time*, *Gravity-based*, Opportunità cumulate) invece fanno riferimento alle opportunità che sono raggiungibili in un certo periodo di tempo (Geurs & van Wee, 2004). Alcune misure di accessibilità sono centrate sul concetto di utilità o livello di soddisfazione che l'utente riceve dal raggiungere la destinazione dove realizzare le attività necessarie desiderate (Ben-Akiva & Lerman, 1985). Altre misure si basano sul concetto spazio-temporale di accessibilità (Kwan, 1998; Martens & Golub, 2012).

Non ci sono misure corrette e sbagliate, dipende dall'obiettivo dell'analisi. È importante avere misure standard per l'accessibilità per assicurare la confrontabilità di diverse soluzioni. Le misure di accessibilità adottate influenzano il risultato delle politiche di trasporto, soprattutto se si considerano gli effetti ambientali (sostenibilità ambientale) e quelli distributivi (per esempio l'inclusione sociale, ovvero garantire a tutte le categorie sociali la possibilità di partecipare alle attività a disposizione della società e gli impatti territoriali differenziati). L'efficacia delle politiche di trasporto dipende dalla coerenza tra le misure di accessibilità adottate e gli obiettivi politici (Boisjoly & El-Geneidy, 2016; Martens, 2017).

2.1.1 Infrastrutture, accessibilità e crescita economica

I trasporti e le infrastrutture ad essi associate influenzano l'estensione e l'intensità delle interazioni tra individui e imprese. Se da un lato sistemi di trasporto efficienti garantiscono l'approvvigionamento di merci, la vendita di prodotti o la possibilità di viaggiare, dall'altro espongono le comunità a rischi di carattere economico, militare e, da sempre, sanitario.

Sulle interazioni tra il sistema dei trasporti e i sistemi economici, è possibile considerare tre fatti stilizzati (Redding e Turner, 2015).

Fatto 1: La lunga ondata di globalizzazione commerciale che stiamo vivendo è stata innescata proprio da un'innovazione trasportistica tanto semplice, quanto dirompente: l'introduzione e la diffusione del container. Evidenze empiriche e aneddotiche indicano chiaramente come la standardizzazione del carico nei trasporti marittimi abbia comportato una caduta verticale dei costi di trasporto su scala globale, oltre che un abbattimento dei tempi di movimentazione delle merci (Rodrigue et al., 2017).

Fatto 2: L'incremento significativo del traffico aereo, l'estensione delle autostrade e, a livello intra urbano, la diffusione dei servizi pubblici di trasporto rapido di massa (le metropolitane in primis) sono state associate ad un'accresciuta mobilità delle persone. Il terziario a più alto valore aggiunto si avvantaggia oggi di interazioni alimentate da una maggiore facilità di movimento internazionale dei lavoratori, in parte dovuta alla liberalizzazione nel settore aereo che ne ha abbattuto significativamente le tariffe (Bowen e Rodrigue, 2017). La maggiore capillarità ed efficienza del trasporto pubblico come pure l'aumento della capacità delle autostrade ha allargato i confini dei mercati locali del lavoro, aumentando i flussi di pendolarismo attorno ai grandi agglomerati urbani.

Fatto 3: Se quelli descritti al Fatto 1 e al Fatto 2 sono gli effetti, in gran parte apparentemente positivi, dei sistemi di trasporto, è ora necessario richiamare come questi impongano alla collettività costi sociali, chiamati costi esterni, che minano la desiderabilità assoluta di progetti e politiche nel settore. Questo significa che la valutazione degli interventi è soggetta al trade-off tra i benefici socio-economici che derivano da interventi puntuali e costi che molto spesso sono di natura ambientale.

Le principali fonti di **costi esterni nel settore dei trasporti** sono: cambiamento climatico, inquinamento atmosferico locale (legato a ossidi di azoto, monossido di carbonio, particolato, composti organici vola-

tili), inquinamento acustico, incidentalità, parte dei costi di approvvigionamento del carburante (come quelli legati alla sicurezza energetica, visto che altre componenti - come veicoli ed infrastrutture di trasporto, estrazione, conversione - sono generalmente inclusi nella formazione dei prezzi al consumo), costi per il paesaggio ed infine la congestione. Secondo recenti stime, **i costi esterni della mobilità nell'Unione Europea ammonterebbero a oltre 800 milioni di euro all'anno** (European Commission, 2019a).

Date queste premesse, è ora possibile affrontare in maggior dettaglio le interazioni tra trasporti e sistema economico, partendo dal presupposto che due sono i "momenti" che li caratterizzano: il *momento infrastrutturale* e il *momento del servizio*. Per quanto riguarda il *momento infrastrutturale*, va considerato come questo corrisponda alla fase di investimento e che, in quest'alveo, sia la costruzione dell'infrastruttura a generare un eventuale impatto sui territori. Da questo punto di vista, la tipologia di impatto, nelle sue componenti diretta, indiretta e indotta, è da riferirsi all'eventuale espansione della domanda aggregata e dai costi che si sostengono con il bilancio pubblico.

Per quanto riguarda invece il *momento del servizio*, l'accresciuta accessibilità influenza (almeno in principio) i costi di interazione nello spazio per merci e persone, alterando dunque produttività e salari. È questo pure il momento che definisce in massima parte i rendimenti economici di un progetto infrastrutturale.

Le conseguenze della modifica dei costi di trasporto e dell'accessibilità dei territori possono essere così sintetizzate.

- a) Esisterebbe una **correlazione positiva tra accessibilità e produttività delle imprese**, in particolar modo per le imprese che usufruiscono in maniera significativa di servizi di trasporto. È necessario, però, operare alcune specificazioni al riguardo. Infatti, è stato dimostrato come territori e imprese che non abbiano ancora raggiunto un adeguato livello di competitività possano essere danneggiate dalla concorrenza di mercati più produttivi.
- b) L'effetto netto degli incrementi di produttività non è necessariamente un gioco a somma positiva. In altri termini, a seguito di interventi di politica pubblica possono esserci, da un punto di vista territoriale, vincitori e vinti. Questo implica che non necessariamente l'espansione di capitale pubblico infrastrutturale nelle aree meno avanzate comporta una riduzione delle disparità spaziali, almeno in termini economici.
- c) A livello urbano, gli incrementi di accessibilità e l'espansione dell'offerta di servizi di trasporto modificano i flussi di pendolarismo allargando di fatto la dimensione spaziale dei mercati locali del lavoro. A questi effetti potrebbe accompagnarsi un incremento dei salari dovuto all'aumento di produttività grazie alle economie di agglomerazione. Tuttavia, a questo si accompagna un processo di auto-selezione (*sorting*) per cui alcune categorie di lavoratori, tipicamente quelli più produttivi, si concentrano nei centri urbani con migliore accessibilità a discapito dei lavoratori con produttività (e salari) meno elevati che sono spinti da prezzi sempre più elevati verso le aree periferiche.
- d) Un effetto collaterale dell'accresciuta importanza degli agglomerati urbani nelle economie moderne è stata sicuramente la congestione. Nel discorso pubblico è sempre alta la tentazione di gestire questa esternalità incrementando la capacità delle infrastrutture, ma è stato chiaramente dimostrato come l'espansione della capacità non risolva problemi di congestione nel lungo periodo (Litman, 2021).

Da quanto discusso in precedenza emerge che **una politica relativa alla mobilità e alle infrastrutture di trasporto debba tenere conto di una serie di trade-off la cui gestione implica a sua volta una chiara visione di politica economica**. Ci si riferisce qui sia al trade-off tra sviluppo economico e ambiente, con la relativa necessità di decarbonizzazione della mobilità, sia ai trade-off insiti nella tipologia di sviluppo economico che si intende imprimere ai territori, ovvero alla scelta del bilanciamento tra efficienza ed equità sociale e spaziale.

Un chiaro esempio delle difficoltà insite nella gestione di questi trade-off è fornito dalla politica delle infrastrutture di trasporto dell'Unione Europea: il mutamento nell'accessibilità indotto dallo sviluppo del TEN-T ha ampliato (piuttosto che ridurre) le disparità regionali all'interno dell'Unione per una serie di motivazioni che comprendono:

- a) fornire alle regioni centrali e periferiche un analogo grado di accessibilità può danneggiare le imprese nelle regioni in ritardo, a meno che non siano sviluppati al contempo altri vantaggi per tali zone (Puga, 2002);
- b) il problema delle regioni periferiche sembra da ricercarsi più nell'assenza di adeguati network intra-regionali per la dispersione del traffico intorno ai centri maggiori e l'allargamento del mercato locale che in una connettività interregionale sostenuta dai progetti TEN-T (Martin e Rogers 1995; Vickerman 1995).

Qualsiasi tentativo di valutare il pieno impatto della dotazione e del nuovo investimento in infrastrutture deve prendere in considerazione l'insieme di condizioni che regolano la relazione tra accessibilità e dinamiche di crescita economica regionale (Crescenzi & Rodriguez-Pose 2011). Una vasta gamma di forze esercita un'influenza su come la performance economica può reagire a cambiamenti di accessibilità. Esse includono capitale umano, innovazione e fattori di governance e istituzionali che determinano il potenziale di qualsiasi territorio di trarre beneficio da cambiamenti nell'accessibilità che vanno quindi considerati in una prospettiva sistemica ed integrata (Crescenzi, 2005; Crescenzi e Rodriguez-Pose 2012).

La crescita economica è un processo multiforme, influenzato non solo dalla dotazione infrastrutturale e dai cambiamenti di accessibilità, ma anche dal processo di cambiamento tecnologico e di innovazione, dalla dotazione di capitale umano, dalla specializzazione della forza lavoro, dai flussi di mobilità e migrazione interregionale ed internazionale così come dalla connessione con flussi globali d'investimento e catene del valore (Cheshire & Magrini, 2002).

Mentre alcuni fattori economici (ad esempio il capitale e la tecnologia) sono più capaci di adattarsi in risposta alle sfide esterne - come per esempio le transizioni ecologica e digitale - in virtù della loro mobilità relativamente più elevata, le strutture sociali ed istituzionali tendono ad essere molto meno adattabili. Conseguentemente, specifiche condizioni socio-istituzionali a livello locale saranno associate con diversi livelli di performance economica. Solamente prestando attenzione alla complessa relazione nel tempo e nello spazio dei fattori che influenzano la crescita economica a livello locale sarà possibile massimizzare gli effetti positivi di una maggiore accessibilità e connettività di tutte le regioni, minimizzando nel contempo i rischi economici e di welfare per le regioni più deboli, spesso impreparate a competere in risposta a nuove sfide e in mercati più integrati.

2.1.2 Political economy delle infrastrutture, qualità istituzionale e altre politiche pubbliche

2.1.2.1 Gli incentivi dei decisori pubblici

Gli investimenti di tipo infrastrutturale vengono spesso decisi sulla base di processi di *political economy*, che hanno la stessa importanza di quelli che riguardano la definizione del *livello socialmente ottimale* delle infrastrutture per un'economia. Bisogna infatti chiedersi se i governi, almeno quelli democraticamente eletti, siano in grado di garantire un livello socialmente ottimale di infrastrutture, oppure se gli incentivi di tipo elettorale faranno sì che quel livello venga sistematicamente sorpassato (*overinvestment*) o invece non raggiunto (*underinvestment*).

Per valutare questi aspetti, è bene fare riferimento ad alcune possibili distorsioni del processo decisionale del settore pubblico.

In primo luogo, alcuni elettori potrebbero beneficiare in maniera molto accentuata di una certa infrastruttura. Si pensi ad esempio agli elettori di un'area remota che viene collegata attraverso un'autostrada oppure una linea ferroviaria con il centro economico di un paese. A questi benefici potrebbero corrispondere dei costi relativi al finanziamento dell'infrastruttura limitati, se, come accade spesso, essi vengono distribuiti tra i residenti del paese intero. In questo caso avremmo una tendenza all'*overinvestment*.

In realtà, modalità di finanziamento differenti potrebbero condurre ad una distorsione di tipo opposto: se il finanziamento fosse a carico dei soli residenti locali, allora potrebbe prevalere una tendenza all'*underinvestment*, perché questi non terrebbero in considerazione le eventuali esternalità positive delle nuove modalità di trasporto per i residenti delle altre zone del paese.

Un altro aspetto riguarda i meccanismi conosciuti come NIMBY (Not In My Back Yard): le infrastrutture di trasporto producono *disamenities*, come ad esempio rumore e inquinamento. Il valore attribuito a queste *disamenities* è chiaramente molto più elevato per coloro che risiedono nelle vicinanze dell'infrastruttura, rispetto a coloro che semplicemente la utilizzano risiedendo altrove. Inoltre, l'importanza attribuita alle *disamenities* cresce tipicamente con il livello di reddito e di scolarizzazione dei residenti. I meccanismi di tipo NIMBY concorrono tipicamente a determinare un investimento inferiore a quello ottimale.

L'evidenza empirica mostra che le considerazioni di *political economy* sono molto rilevanti per spiegare la localizzazione delle infrastrutture di trasporto (es. Knight, 2005; Glaeser & Ponzetto, 2018). L'Italia è un paese dove, per via delle caratteristiche del sistema politico, gli aspetti relativi agli incentivi elettorali hanno avuto un ruolo molto rilevante per la localizzazione del network dei collegamenti (Golden & Picci 2008; Barone et al. 2020) e i meccanismi di *political economy* che hanno caratterizzato in maniera pregnante l'esperienza politica della Prima Repubblica hanno ancora un ruolo importante per gli anni più recenti (Carozzi & Repetto, 2016).

L'Italia ha già in passato dato prova di essere particolarmente esposta alle distorsioni indotte dal processo elettorale. Da queste considerazioni discende la necessità di assicurare un momento di natura tecnica, che elabori sull'evidenza disponibile circa gli effetti socioeconomici e ambientali delle infrastrutture (si veda ad esempio Borsati & Percoco, 2021) che possa restringere la discrezionalità delle decisioni politiche e limitarne le distorsioni che riducono il benessere collettivo.

2.1.2.2 La qualità delle istituzioni locali

Regioni e comuni svolgono un ruolo decisivo sia nella selezione sia nella realizzazione di specifici progetti. Il contesto istituzionale locale in cui vengono effettuati influenza la portata e la natura dei nuovi investimenti infrastrutturali (e le opere complementari) e, di conseguenza, i loro rendimenti economici. Istituzioni di bassa qualità offrono opportunità per l'estrazione di rendite private, minando l'offerta di beni pubblici (Acemoglu & Dell, 2010). In condizioni di scarsa qualità del governo, nuovi investimenti in infrastrutture di trasporto possono rispondere maggiormente a interessi politici e individuali piuttosto che a giustificazioni economiche e di benessere collettivo (Crain & Oakley, 1995; Henisz, 2002).

Una scarsa qualità istituzionale è spesso associata alla propensione a finanziare progetti ad alta visibilità e di larga scala (ad es. autostrade, ferrovia ad alta velocità), a scapito di meno vistosi investimenti di trasporto "ordinari" (cioè strade secondarie, ferrovie merci etc.) che sono spesso più complessi da pianificare e selezionare. Istituzioni di scarsa qualità possono anche offrire spazi maggiori ai gruppi di pressione aziendali, con conseguente problemi quali collusione in fase di gara, falsa rappresentazione di costi e be-

nefici, e del tempo necessario per l'attuazione (World Bank, 2011). Sono invece le opere 'minori' e quelle legate alla eliminazione di specifici colli di bottiglia che - anche attraverso la riduzione della congestione locale - sono associate ad effetti positivi sulla crescita economica in particolare nelle aree a più alta qualità istituzionale ed amministrativa (Crescenzi, Di Cataldo e Rodriguez-Pose, 2016).

Queste evidenze suggeriscono che una strategia infrastrutturale e per la mobilità sostenibile del nostro Paese **non può prescindere dal prendere in considerazione la qualità della governance locale** che può influire drammaticamente sia sui tempi di realizzazione dei progetti (soprattutto quelli con una particolare attenzione alle transizioni ecologica e digitale) che sulla qualità dei progetti selezionati (Crescenzi, Giua, Sonzogno, 2021). La strategia deve prevedere, allo stesso tempo, idonei meccanismi per limitare le distorsioni e le potenziali inefficienze indotte dai diversi gruppi di pressione a tutti i livelli.

Un forte antidoto per questo tipo di effetti è costituito da rigorose azioni di valutazione ex-ante, ex-post ed in-itinere che devono diventare parte integrante di un sistema di governance degli interventi su più livelli. In questo senso il U.S. Transportation Research Board ha offerto importanti indicazioni su come istituire e gestire efficaci agenzie per il monitoraggio e la valutazione degli investimenti nelle infrastrutture per la mobilità che devono ricevere chiare indicazioni su come distinguere ed identificare i benefici di breve, di medio e di lungo periodo di ciascun investimento. Obiettivi di breve e di medio periodo possono essere associati a regole e criteri di attuazione differenti ma la cornice di valutazione deve essere definita in modo unitario e con una prospettiva di sistema (si veda per esempio TRB,2014).

2.2 La situazione delle infrastrutture e della mobilità in Italia

2.2.1 Infrastruttura logistica

Nel 2019, più di 550 mila imprese manifatturiere, localizzate principalmente nel Nord Italia, hanno utilizzato una rete nazionale di infrastrutture logistiche che include 58 porti, 24 interporti e 44 aeroporti (in aggiunta alla rete stradale, ferroviaria ed alle reti di comunicazione e distribuzione di energia) per la produzione ed il commercio di una larga varietà di prodotti.

In Europa, l'Italia è seconda solo ai Paesi Bassi per la movimentazione di merci via mare e seconda solo al Regno Unito per il trasporto marittimo a corto raggio (IT&IA, 2021). I porti hanno avuto un ruolo chiave come facilitatori di commercio internazionale, movimentando quasi 500 Mt (milioni di tonnellate) di merci nel 2019, principalmente su navi che trasportano liquidi (37%, in particolare petrolio e derivati), container (23%) e traghetti (22%) (IT&IA, 2021). Trieste e Genova sono i due porti con il maggior movimento merci. Trieste, Genova, Ravenna, Taranto, Livorno e Gioia Tauro sono tra i primi 5 porti nel Mediterraneo per movimentazione merci in diverse categorie (Tabella 1).

Tabella 1: Principali porti del Mediterraneo per movimentazione merci per categoria di prodotto, 2018.
Fonte: IT&IA, 2021

Graduatoria	Categorie di prodotto				
	Rinfuse liquide	Rinfuse solide	Ro-Ro	Cargo senza container	Cargo con container
1	Marsiglia (FR)	Ravenna (IT)	Livorno (IT)	Valencia (ES)	Valencia (ES)
2	Trieste (IT)	Taranto (IT)	Genova (IT)	Barcellona (ES)	Pireo (GR)
3	Algeciras (ES)	Marsiglia (FR)	Trieste (IT)	Trieste (IT)	Algeciras (ES)
4	Agii Theodori (GR)	Tarragona (ES)	Palma di Maiorca (ES)	Algeciras (ES)	Gioia Tauro (IT)
5	Cartagena (ES)	Capodistria (SI)	Pireo (GR)	Marsiglia (FR)	Barcellona (ES)

Gli interporti hanno movimentato 65 Mt di merci nel 2019 (circa il 13% rispetto al totale dei porti). Sei interporti italiani (Verona, Parma, Bologna, Padova, Torino e Interporto Campano) sono tra i 20 più rilevanti in Europa, tenendo conto di una serie di indicatori chiave che includono posizione strategica, mobilitazione di merci, efficienza, sostenibilità e servizi disponibili (IT&IA, 2021).

Il traffico merci negli aeroporti italiani ha raggiunto più di 1 Mt nel 2019, con più della metà del totale a Milano (Malpensa, che è settimo in Europa per volumi di merci) e un ulteriore 30% tra Roma (Fiumicino) e Bergamo (Orio al Serio) (IT&IA, 2021).

Combinata con le considerazioni fatte sugli aeroporti ed i volumi di merci mobilizzati nei porti di Trieste, Genova, Ravenna e Livorno, così come la distribuzione delle attività manifatturiere in Italia, **il sistema mostra una marcata concentrazione di operatori logistici al Nord**. Questo si spiega anche con l'integrazione di alcune di queste infrastrutture nei corridoi della rete di trasporto trans-Europea (TEN-T): Trieste è lo sbocco al mare del corridoio Baltico-Adriatico, Genova marca la fine del corridoio Reno-Alpino. Entrambi sono intersezioni del Corridoio Mediterraneo, così come Verona, nel caso degli interporti, che è anche all'intersezione con il corridoio Scandinavo-Mediterraneo.

2.2.1.1 Attori economici e valore del sistema logistico

Il sistema logistico coinvolge una varietà di agenti economici che svolgono funzioni ed attività differenti a cui si associa l'utilizzo di infrastrutture con diversi livelli d'intensità. La Tabella 2 offre una sintesi degli attori coinvolti nel sistema e delle loro funzioni principali.

Tabella 2: Attori coinvolti nel sistema logistico

Attore	Funzione
Produttori di beni	Produzione di beni che richiedono l'approvvigionamento di materie prime ed altri prodotti e necessitano la distribuzione per consumi finali
Distributori e grossisti	Distribuzione di beni al consumatore finale
Fornitori di servizi logistici	Contrattati da società che esternalizzano le proprie operazioni logistiche, agiscono in coordinamento con spedizionieri e grossisti per packaging, scelta di modi e itinerari
Spedizionieri	Organizzazione del trasporto di beni da un punto ad un altro ed il loro stoccaggio, sono clienti dei fornitori di servizi logistici
Trasportatori	Trasporto fisico di prodotti via terra, mare ed aria. Generalmente contratti dagli spedizionieri, sono operatori di veicoli e non ne sono necessariamente proprietari
Operatori delle infrastrutture fisiche	Operatività di infrastrutture fisiche necessarie (es. porti o interporti) alle attività logistiche; negli aeroporti, società di gestione scali spesso integrano la gestione del movimento delle merci
Proprietari di veicoli e/o edifici, terreni ed altre infrastrutture fisiche	Investimenti relativi a veicoli, edifici (per esempio magazzini) ed altre infrastrutture (porti, aeroporti) necessari alla facilitazione dei flussi fisici del sistema logistico
Fornitori di servizi di informazione e comunicazione	Erogazione dei servizi necessari alla preparazione, trasmissione ed assortimento di ordini ed il loro tracciamento
Operatori delle infrastrutture di comunicazione	Operatività di infrastrutture di comunicazione necessarie ai flussi di informazione e di cassa delle attività logistiche
Proprietari di infrastrutture di comunicazione	Investimenti relativi a veicoli ed edifici necessari alla facilitazione dei flussi di informazione del sistema logistico
Banche e altri operatori finanziari	Finanziamento delle attività dei diversi attori del sistema logistico

Il sistema logistico italiano conta tra 5400 ed 8600 (in relazione alla classificazione adottata) imprese nel settore, con poco più di 300 imprese con un fatturato oltre i 10 milioni di euro ed un numero elevato di piccoli operatori (IT&IA, 2021). Questo vale anche per i porti, un largo numero di piccoli attori specializzati in funzioni specifiche e un numero limitato di imprese di maggiori dimensioni.

Le imprese con il fatturato maggiore sono quelle che offrono servizi a più alto valore aggiunto, come quelli legati all'informatizzazione della gestione e la preparazione degli ordini, la gestione dei magazzini, la distribuzione e gestione dei ritorni, e sono complementati da altre attività come la raccolta delle merci, packaging ed altri processi intermedi. Alcuni casi riguardano società logistiche integrate (third party logistics providers, 3PL and lead providers, 4PL) che coprono tutta la catena del valore. In parte si tratta del ramo italiano di grandi multinazionali del settore (IT&IA, 2021).

Il fatturato del settore, calcolato tenendo conto della sola parte relativa ai grandi operatori, è stato di 5,7 miliardi di Euro nel 2019 (IT&IA, 2021). Questo si può contestualizzare considerando che il valore globale della logistica è stimato a più di 5.500 miliardi di Euro, di cui 1.100 miliardi in Europa (IT&IA, 2021). Il valore stimato di tutte le merci scambiate a livello globale è stimato di 16 mila miliardi di Euro (WTO, 2020).

Il fatturato derivato dalla gestione delle infrastrutture portuali nel 2019 in Italia è stimato a 1.1 miliardi di Euro, poco più del triplo dei 335 milioni per gli interporti e poco meno del doppio dei 644 milioni della gestione di merci negli aeroporti (IT&IA, 2021), che include con tutta probabilità una parte importante relativa alla gestione dei bagagli per il trasporto passeggeri.

2.2.1.2 La qualità del sistema infrastrutturale

È possibile valutare la qualità del sistema infrastrutturale e di tutti i servizi ad esso associati utilizzando il Logistics Performance Index definito dalla Banca Mondiale per aiutare i paesi a identificare i punti deboli e le opportunità delle loro prestazioni in ambito logistico e per suggerire come migliorarsi. LPI deriva dalla comparazione di 160 paesi ed è basato su un questionario somministrato agli operatori del settore (spedizione merci internazionali e corrieri espressi), ai quali è stato richiesto di fornire un feedback sulla qualità logistica dei paesi con i quali operano e commerciano. I feedback degli operatori sono integrati con dati quantitativi sulla performance dei principali componenti della catena logistica nei paesi considerati. In definitiva, il LPI si compone di misure qualitative e quantitative e aiuta a valutare lo stato del sistema logistico.

Come mostra la Figura 1, **l'Italia si posiziona in coda al ranking delle economie più avanzate per quanto attiene alla soddisfazione delle imprese rispetto al sistema logistico nazionale.** L'Italia si posiziona stabilmente in coda a tale ranking su tutte le varie dimensioni che compongono il LPI, ovvero "customs", "infrastructure", "ease of arranging", "quality of logistics services", "tracking and tracing", "timeliness". Benché il nostro Paese mostri una ridotta qualità e quantità di infrastrutture rispetto alle altre economie avanzate, esso appare comunque nel migliore quartile a livello globale (Figura 2).

Dalla Tabella 3 emerge come **l'Italia abbia, in termini quantitativi, una dotazione infrastrutturale al di sotto di altri principali paesi europei paragonabili** per dimensioni fisiche del territorio (Germania, Spagna, Francia, UK), sia per quanto riguarda le autostrade, sia per le ferrovie. Pare invece adeguata la dotazione di aeroporti, se rapportata ai medesimi paesi. La Tabella 2 mostra inoltre, facendo ricorso a numeri indice di dotazione infrastrutturale, come **gran parte del divario tra l'Italia e gli altri paesi sia dovuto al forte ritardo infrastrutturale delle regioni meridionali.**

Figura 1: LPI 2019 su un campione di paesi

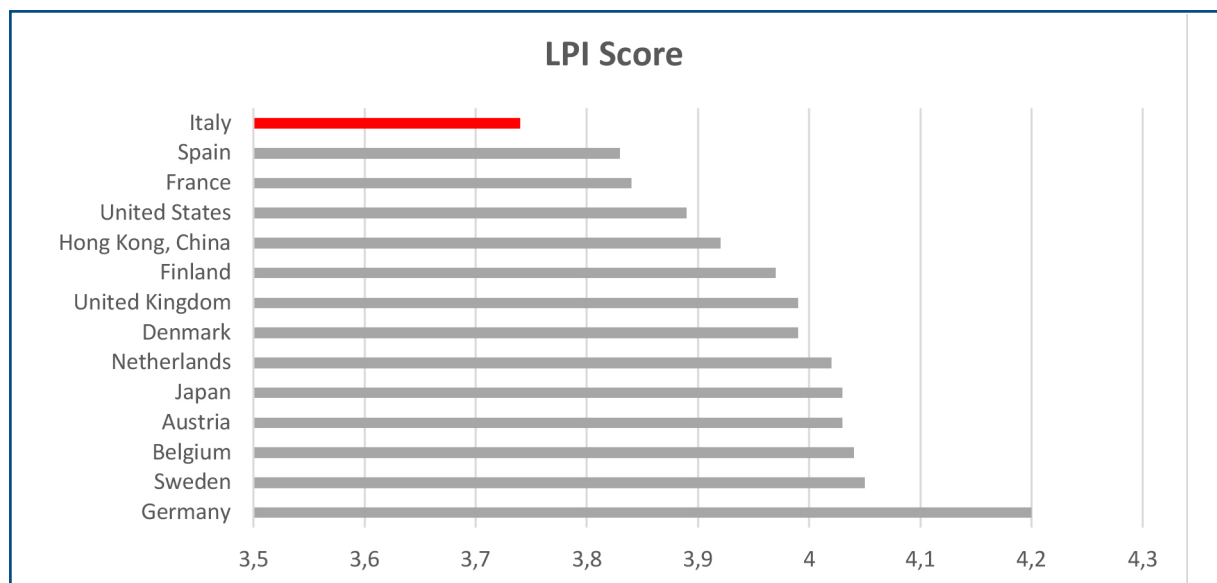


Figura 2: Dimensione "Infrastructure" del LPI

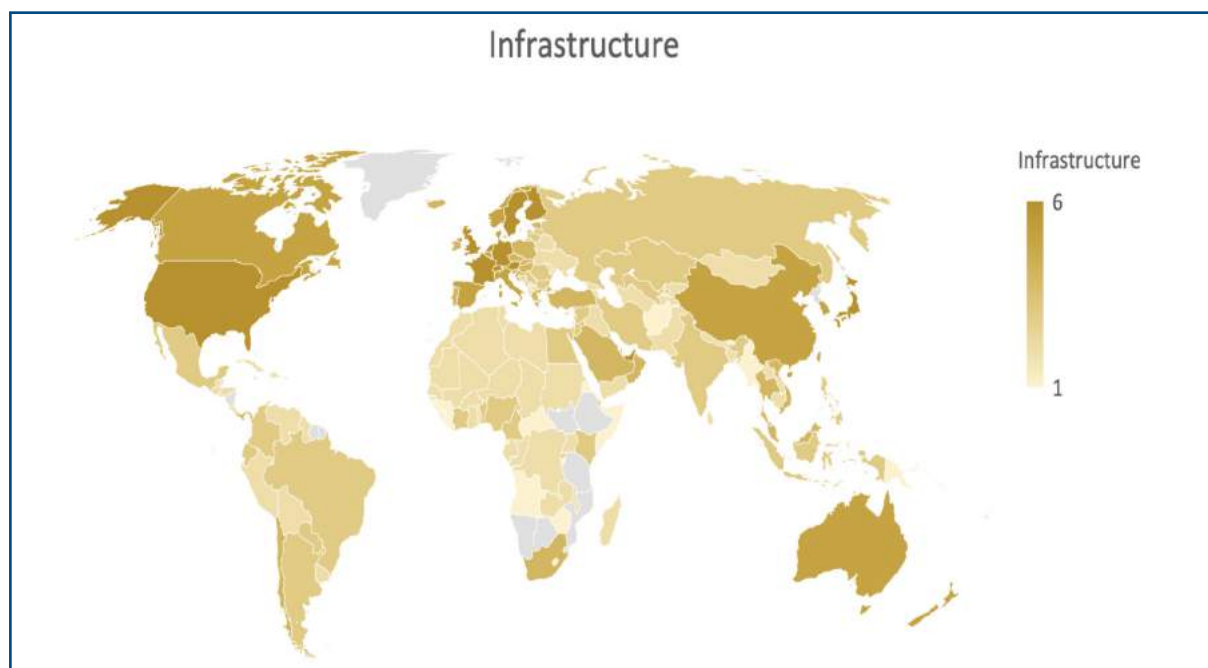


Tabella 3: Dotazione infrastrutturale dell'Italia e di altri paesi europei Fonte: Eurostat

Paese	Aeroporti (N.)	Autostrade (km)	Ferrovie (km)
Germania	40	13.183	67.400
Spagna	39	15.585	21.988
Francia	62	11.671	27.483
Italia	46	6.966	24.500
Portogallo	20	3.065	3.224
Finlandia	21	926	8.552
Svezia	38	2.133	15.542
Norvegia	43	1.008	4.180
UK	48	3.838	31.780

Tabella 4: Indici di dotazione infrastrutturale delle regioni italiane. Fonte: Bucci, M., E. Gennari, G. Ivaldi, G. Messina, L. Moller (2021), I divari infrastrutturali in Italia: una misurazione caso per caso, Banca d'Italia, mimeo.

	Strade	Ferrovie	Aeroporti		Porti	
			Merci	Pass.	Merci	Pass.
Piemonte	111,5	144,0	194,4	130,2	116,0	84,6
Valle d'Aosta	111,6	55,5	167,0	108,5	89,2	64,2
Lombardia	100,5	101,4	202,4	145,5	119,1	84,1
Trentino-Alto Adige	97,8	57,0	132,0	106,9	94,7	63,5
Veneto	107,9	123,4	157,0	136,2	130,7	84,1
Friuli-V.G.	116,2	144,7	120,3	108,2	128,8	67,4
Liguria	106,5	133,9	155,0	120,1	135,9	108,5
Emilia-Romagna	107,8	116,4	166,9	147,1	141,6	106,4
Toscana	103,0	112,1	134,7	137,8	137,9	133,1
Umbria	102,3	93,6	117,8	135,0	116,1	124,0
Marche	109,4	88,8	116,6	123,8	113,1	104,4
Lazio	104,9	140,6	111,7	143,5	106,3	142,8
Abruzzo	111,1	101,4	101,8	126,9	102,8	120,1
Molise	100,3	102,4	78,6	107,7	93,1	121,9
Campania	99,7	106,6	65,7	100,0	94,6	138,7
Puglia	110,2	98,6	44,3	69,4	79,9	92,2
Basilicata	103,5	70,7	45,0	75,2	87,5	113,2
Calabria	98,6	91,9	25,6	53,1	81,3	108,9
Sicilia	85,2	76,4	8,1	35,9	59,0	101,2
Sardegna	63,5	56,1	4,3	15,5	34,1	43,5
Nord	106,0	113,0	170,5	132,9	122,8	85,9
Centro	104,8	108,9	124,2	135,1	123,7	126,7
Sud e Isole	93,4	86,2	34,5	60,6	72,9	101,3
Italia	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

2.2.2 Mobilità di merci: la competitività sui mercati internazionali, divari territoriali e filiere produttive nazionali

L'economia italiana è caratterizzata da un'apertura internazionale elevata e in linea con i maggiori paesi europei. Il rapporto tra le esportazioni (di beni e servizi) e il PIL (in valore) era pari al 32% nel 2019, una percentuale simile a quella di Francia e Regno Unito e lievemente inferiore al corrispondente dato di Spagna e Germania. A partire dalla crisi economico-finanziaria del 2008-09, l'interscambio con l'estero ha fornito il principale contributo alla crescita del PIL; la competitività sui mercati internazionali resta quindi fondamentale per la crescita del prodotto italiano anche negli anni a venire.

L'interscambio commerciale dell'Italia nel 2019 in termini di volumi importati ed esportati avviene principalmente attraverso due modi di trasporto: marittimo (52% nel 2019) e stradale (27%). Il ruolo del trasporto ferroviario (12%) e aereo (0.1%) è invece nettamente più limitato. Tuttavia, in termini di valore, l'incidenza delle navi scende al 29% mentre la strada sale al 44% la ferrovia al 15% e l'aereo al 10% (Banca d'Italia, 2020) Tali modalità riflettono in misura rilevante la geografia del commercio internazionale italiano. Oltre la metà delle esportazioni ha come destinazione l'Unione Europea (UE) che viene raggiunta

prevalentemente via terra; le destinazioni extra-UE - tendenzialmente più lontane e quindi più spesso raggiunte via nave - hanno progressivamente aumentato la loro incidenza negli ultimi due decenni, soprattutto a causa del forte incremento delle vendite verso l'Asia orientale e il Nord America.

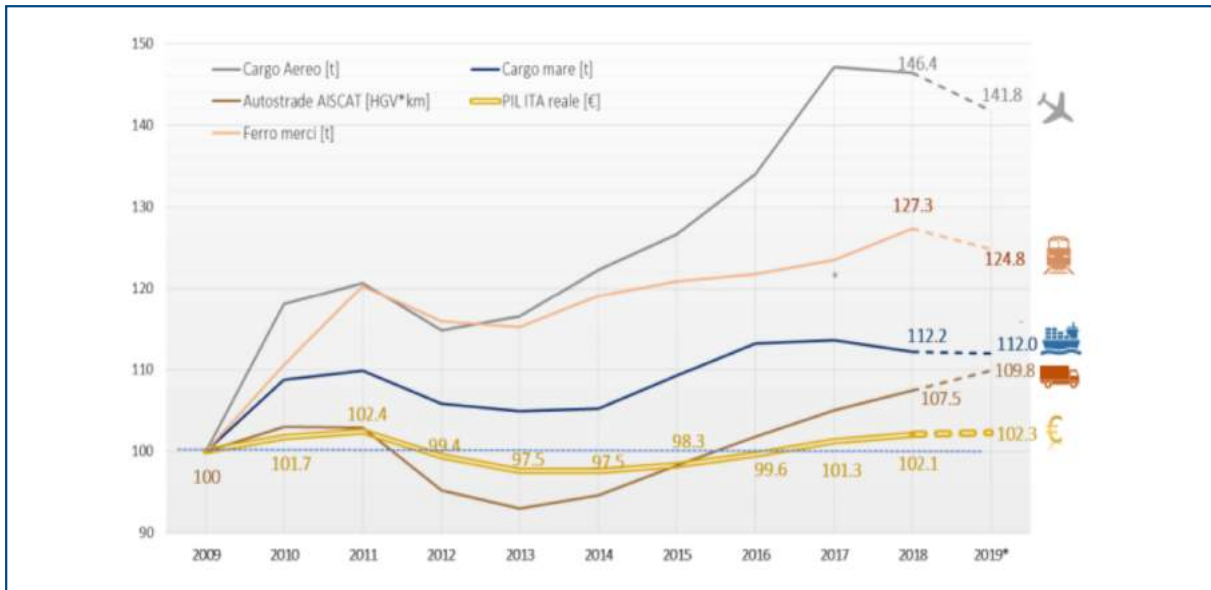
I valichi alpini rappresentano i principali corridoi di transito per il commercio intra-UE. Nel 2017 circa un terzo dei transiti su gomma avvenivano attraverso il passo del Brennero; in generale, attraverso i valichi verso l'Austria (incluso il Tarvisio) passa circa la metà dei trasporti su gomma verso l'estero dell'Italia, una percentuale elevata che riflette sia il forte interscambio commerciale con la Germania sia i crescenti traffici di perfezionamento verso i Paesi dell'Europa centrale e orientale. Anche i collegamenti via terra con la Francia sono particolarmente intensi (quasi il 40% del totale), soprattutto attraverso la frontiera di Ventimiglia, il Frejus e il Monte Bianco. I trasporti verso la Svizzera hanno subito un rilevante ridimensionamento negli ultimi anni in seguito alle restrizioni che la Confederazione ha posto sul transito di merci via gomma destinate verso la Germania e il Nord Europa; verso questo Paese gli scambi, quantitativamente limitati, avvengono perlopiù via treno.

Guardando ai dati Assoport (Associazione dei Porti Italiani) sul trasporto marittimo per il 2018, dei primi 10 porti italiani per interscambio internazionale di beni (che pesano per quasi i tre quarti del totale), 6 sono localizzati al Nord (Trieste, Genova, Ravenna, Venezia, La Spezia e Savona), uno al Centro (Livorno) e tre nel Mezzogiorno (Porto Foxi, Augusta e Gioia Tauro). Attraverso i porti di Trieste e Genova passa oltre un quarto del traffico internazionale di merci via mare dell'Italia; dei tre porti dell'Italia meridionale, due (Porto Foxi e Augusta) hanno una forte specializzazione in idrocarburi in virtù della vicinanza a impianti di raffinazione; il terzo (Gioia Tauro) ha un ruolo abbastanza marginale per il complesso del Paese, pesando per circa il 4 per cento dell'interscambio nazionale. Indagini presso le imprese e gli operatori portuali indicano che l'utilizzo dei servizi portuali da parte delle imprese avviene prevalentemente per un criterio di prossimità geografica. Le imprese del Nord Ovest utilizzano soprattutto i porti liguri e, in misura minore, Livorno; quelle del Nord Est, Venezia e Trieste. Gli spostamenti verso i porti avvengono quasi esclusivamente via gomma, con un ruolo molto limitato per le ferrovie per ragioni legate ai costi (inferiori per il trasporto su gomma, in Italia, specie sulle brevi distanze) ed altri fattori, comprese limitazioni legate alle caratteristiche delle infrastrutture ferroviarie, nella misura in cui questo limita l'uso dei treni per il trasporto combinato strada-rotaia (Dionori et al., 2015).

Nel complesso la mobilità internazionale di merci dell'Italia si basa su poche direttrici che riflettono la geografia economica interna e quella del commercio internazionale. L'accesso ai mercati del Nord Europa e dell'Europa Centro Orientale si basa in misura preponderante sulla direttrice del Brennero; i trasporti in quella tratta, almeno fino all'apertura del Tunnel di Base del Brennero nel 2028, vengono effettuati perlopiù su gomma e, dovendo transitare per l'Austria, sono soggetti ai frequenti provvedimenti di chiusura per salvaguardia ambientale che sono stati adottati dal Governo austriaco nell'ultimo quinquennio. L'accesso ai mercati più distanti avviene attraverso principalmente attraverso i porti del Mar Ligure e dell'Alto Adriatico, più prossimi alle aree produttive della Valle Padana; il raggiungimento di tali porte contribuisce a congestionare la rete stradale e autostradale nel Nord Italia.

Nell'ultimo decennio sono cresciuti tutti i settori trasportistici sia in termini di traffico che di fatturato, nonostante una limitata crescita del PIL (cfr grafico seguente). Nel complesso, si è determinata una pressione sulle reti di trasporto, in particolare quelle dedicate all'import/export (valichi alpini, porti, aeroporti), non prevista sulla base degli scarsi incrementi di PIL registrati, con un concreto rischio di saturazione, e dunque di incapacità di sostenere ulteriori aumenti di traffico vitali per l'economia nazionale. Una possibile spiegazione va ricercata nell'allungamento delle catene logistiche e di trasporto conseguenti a nuovi modelli distributivi, all'e-commerce e ad una maggior penetrazione di mercato di grandi operatori di settore stranieri.

Figura 3: Crescita volumi per modo di trasporto (indice 2009 = 100). Fonte: Cascetta et al. (2020). Elaborazione su dati ISTAT, AISCAT, Assoaeroporti, ENAC, RFI, FerCargo, Assoport, Autorità di Sistema Portuale, ANAS



BOX - Il trasporto merci su ferro in Italia

La produzione di trasporto merci su ferro negli ultimi 10 anni è aumentata, grazie anche a incentivi strutturali (ferrobonus), mentre la quota modale al 12% (anno 2017 - Conto Nazionale Trasporti) è pressoché invariata e lontana dai target europei, che si propongono di trasferire il 30% delle merci dalla strada alla ferrovia per distanze superiori a 300 chilometri entro il 2030 e il 50% entro il 2050.

Il trasporto ferroviario merci risulta competitivo su tratte superiori ai 500 km, ragione per cui il mercato di riferimento è quello europeo. La qualità dell'infrastruttura ferroviaria ha un impatto diretto sulle prestazioni e sulla competitività del trasporto ferroviario, ad esempio sulla lunghezza del modulo, sulla sagoma ammissibile e sul peso assiale dei treni, che consentono di abbattere l'incidenza dei costi fissi. Negli ultimi anni molte imprese ferroviarie merci hanno avuto risultati in perdita e la pressione della concorrenza sia intermodale che intramodale comprime i margini a tal punto da scoraggiare gli investimenti, anche su aspetti determinanti come l'innovazione.

La necessità di produrre adeguate economie di scala ha guidato un processo di concentrazione del settore (si è passati da 56 licenze nel 2008 a 23 nel 2019) con la presenza di grandi gruppi che sono spesso gli *incumbent* nazionali che operano in Italia direttamente o tramite società controllate registrate in Italia. Recentemente si sta affermando la duplice tendenza, da un lato le grandi compagnie di navigazione cargo, capaci di alimentare elevati volumi di traffico, si stanno dotando di una propria impresa ferroviaria³, e dall'altro i fondi internazionali stanno investendo sull'integrazione verticale della catena logistica.

Aumento dei costi fissi. La diminuzione dei volumi trasportati aumenta l'incidenza dei costi fissi, e per limitarne l'incidenza si tenta di ridurre ulteriormente il reticolo, instaurando un circolo vizioso al ribasso, che porta a una minore capacità di soddisfare la domanda. I servizi soppressi non possono essere quasi mai ripresi, a causa dei costi di riposizionamento dei carri e della logistica del cliente, che renderebbe il prezzo non competitivo rispetto alla flessibilità del trasporto su gomma. Il trasporto ferroviario è un sistema a rete: se si riduce il numero dei punti di accesso, la prestazione del sistema diminuisce, diventa più difficile acquisire nuovi clienti e il sistema di trasporto nel complesso diventa meno attrattivo.

Reticolo⁴. In Italia esistono circa un centinaio di centri intermodali e quasi quattrocento scali merci, molti dei quali sottoutilizzati, con traffici concentrati sui principali (80% del traffico concentrato nel 20% degli impianti).

Il corridoio Baltico - Adriatico è uno dei più importanti assi ferroviari con tre importanti aree logistiche su cui insistono i porti di Ravenna, Venezia (447 tr/mese) e Trieste (723 tr/mese), amministrati dalle rispettive Autorità di Sistema Portuale, nonché rilevanti impianti logistici: Padova Interporto (431 tr/mese) e Bologna Interporto (210 tr/mese).

Il corridoio Mediterraneo serve importanti impianti logistici ubicati nelle realtà industriali dei bacini dell'asse orizzontale del Nord Italia: Torino Orbassano (1.170 tr/mese), Milano Smistamento (1.400 tr/mese), Brescia (660 tr/mese), Verona Q.E. (1.600 tr/mese). Gode di una rete strategica per-

³ Ad esempio l'impresa ferroviaria Medway è controllata da MSC, la ERS Railways è controllata dalla Maersk, la OceanRail Logistics è controllata dalla Cosco, oppure ci sono anche esempi di imprese ferroviarie controllate da operatori di Terminal marittimi come la Oceanogate controllata dalla Contship Italia.

⁴ Fonte: Piano commerciale RFI ed. 2020

ché permette l'interscambio con tutti i corridoi europei che percorrono la rete italiana. Il corridoio Mediterraneo attraversa interamente la Penisola fino ad arrivare a Palermo. I principali impianti del meridione hanno volumi più ridotti: Livorno (379 tr/mese), Maddaloni Marcianise (390 tr/mese), Bari Lamasinata (370 tr/mese) e Biccoca (190 tr/mese), nonostante la presenza di sistemi portuali potenzialmente strategici come Taranto e Gioia Tauro.

Il corridoio Reno-Alpi collega i più grandi porti del nord Europa alla pianura padana e al secondo porto italiano (Genova), potendo contare sul sistema dei nuovi tunnel di base appena messi in esercizio per l'attraversamento della Svizzera.

In Europa il 65% dell'intero volume di traffico merci su ferro è legato a soli cinque comparti industriali: Acciaio, Carbone, Legno e carta, Chimica, e Automotive. Si tratta di soggetti in grado di originare elevati volumi di traffico relativamente costanti, che possono essere trasportati con treni completi programmati e quindi sfruttando a pieno i vantaggi offerti dalla ferrovia.

Se in Italia il trasporto del carbone è praticamente assente già da prima della crisi, gli altri quattro comparti hanno seguito in generale la tendenza europea, che si può ricondurre a tre indirizzi:

1. diminuzione irreversibile della domanda legata a una riduzione strutturale dei consumi (per legno/carta con la diffusione della comunicazione immateriale);
2. specializzazione di prodotto e riduzione dei volumi trasportati (per la chimica, con la delocalizzazione fuori Europa delle produzioni dei materiali base);
3. delocalizzazione dei centri di produzione in unità più vicine ai mercati (per l'automotive, la creazione di centri di produzione fuori Europa da parte dei grandi produttori, che riduce i volumi dell'export attraverso i porti serviti da treni).

La localizzazione delle attività industriali è quasi sempre molto frammentata e la maggior parte della produzione è dovuta a piccole o medie imprese, che generano flussi di piccola entità ma molto frequenti, per i quali si cerca di evitare lunghi periodi di stoccaggio e si richiedono risposte immediate di avvio al trasporto, per le quali il mezzo stradale si presenta più flessibile e più immediato.

Anche l'autotrasporto in Italia è molto più frammentato che nel resto d'Europa, le aziende iscritte all'Albo degli Autotrasportatori sono circa 150.000 e dalle statistiche emerge la forte presenza di trasportatori con un solo autocarro o piccolissime flotte. Questa situazione implica l'evidente interesse dei piccoli imprenditori a fare tutto da soli e a sfuggire a qualsiasi logica di sistema, costituendo un freno al trasporto intermodale.

2.2.3 Mobilità (privata, collettiva e pubblica) di persone

In riferimento alla mobilità di persone, il primo dato che appare importante sottolineare è quello sul tasso di motorizzazione. L'Italia, infatti, con 676 auto ogni mille abitanti, è il secondo paese in Europa per tasso di motorizzazione, dopo il Lussemburgo (fonte EUROSTAT). Il tasso di motorizzazione è ben al di sopra di 500 auto per mille abitanti in quasi tutti i paesi europei e continua a registrare un costante aumento che oscilla dal 2% al 8% a seconda dei paesi. Secondo i dati ACI, il parco autoveicoli è cresciuto anche nel 2020 e sfiora il 40 mln di veicoli, a fronte di meno di 100.000 autobus (in diminuzione rispetto al 2019), e di circa 7 mln di motocicli (in crescita)⁵.

In questo quadro non sorprende che l'utilizzo dell'automobile privata, con il 62% degli spostamenti totali, costituisca la modalità di spostamento più significativa nel nostro Paese. L'utilizzo dei trasporti collettivi resta a valori molto bassi e mostra nel lungo periodo un'endemica incapacità di crescere in misura apprezzabile. L'utilizzo è maggiore nei centri urbani di maggiori dimensioni, dove tuttavia l'utilizzo del mezzo privato rimane preponderante.

La ripartizione modale per gli spostamenti a breve (<10 km), media (<50 km) e lunga (>50 km) distanza può essere desunta dai dati Isfort- Osservatorio «Audimob»⁶

La Tabella 5 mostra la ripartizione modale degli spostamenti di persone con riferimento all'anno 2019 confrontato con l'anno 2008, al fine di cogliere le tendenze di lungo periodo e, comunque, precedentemente al periodo pandemico che ha profondamente alterato gli equilibri preesistenti.

Tabella 5: Distribuzione percentuale degli spostamenti per mezzi di trasporto. Anni 2008, 2019 e 2020 Fonte, Osservatorio Audimob-Isfort, 2021.

Modalità	2008	2019	2019
		Totale	Di cui: Comuni oltre 250mila abitanti
Piedi	17,5	20,8	25,6
Bicicletta/micromobilità	3,6	3,3	3,1
Moto	4,5	2,6	4,6
Auto	63,9	62,5	47,7
Mezzi pubblici*	10,2	10,8	19,1
Totale	100,0	100,0	100,0

* mezzi di trasporto collettivi, urbani (autobus urbano, metro, tram ecc.) ed extraurbani (autobus di lunga percorrenza, treno locale e di lunga percorrenza, aereo, traghetto/nave ecc.) nonché altri mezzi, anche individuali, ma a disponibilità pubblica (taxi, NCC, car sharing, piattaforme car pooling). Gli spostamenti si riferiscono sia al trasporto a compensazione economica (Tpi in generale), sia a quello interamente sul mercato (es. treni AV, segmenti del trasporto pubblico su gomma di lunga percorrenza).

⁵ Per completare il quadro degli autoveicoli circolanti, vi sono circa 7.8 mln di veicoli commerciali ed industriali sempre in crescita rispetto al 2019. Per quanto riguarda le alimentazioni, si registra un incremento particolarmente elevato dei veicoli ibridi (oltre 300%) ed in misura molto minore dei veicoli elettrici (+87%). Le quote di mercato sono comunque ancora molto basse, al 2020 i veicoli ibridi rappresentano l'1,4% degli autoveicoli circolanti in Italia, ed i veicoli elettrici lo 0,13%. Secondo l'Osservatorio della Shared Mobility, la quota di auto in sharing è attualmente molto bassa (12% al 2020), mentre risulta particolarmente elevata quella degli e-scooter (97% al 2020). Il bike sharing invece rappresenta il 30% del totale delle biciclette circolanti.

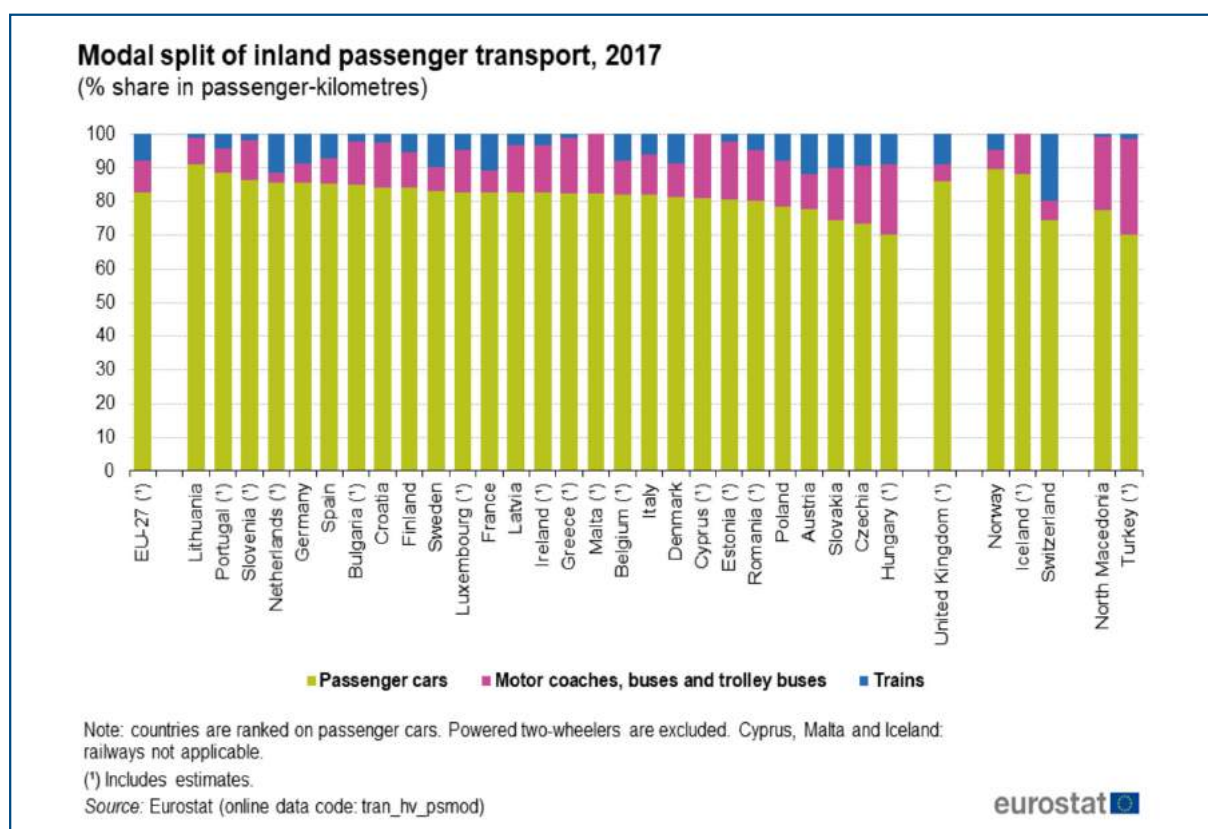
⁶ Dati basati su un'indagine campionaria annuale sulla mobilità della popolazione italiana tra 14 e 80 anni (metodo CATI e CAWI), con campione statisticamente rappresentativo (nel 2019 sono stati intervistati complessivamente 16.200 individui) con margine di errore inferiore all'1%. L'Osservatorio «Audimob» è inserito nel Piano Statistico Nazionale 2020-2022 dell'Istat. SISTAN. Rispetto all'Indagine Multiscopo Istat sulle famiglie italiane "Aspetti della vita quotidiana", rileva anche gli spostamenti non sistematici, aspetto assai rilevante per cogliere le tendenze della mobilità in essere ed è focalizzata sul solo settore trasporti.

Le statistiche Isfort riferite al 2019 pongono in evidenza anche una vigorosa crescita della intermobilità che negli ultimi 15 anni è triplicata, pur rappresentando tuttavia solo lo 7,2% del totale dei viaggi motorizzati. Anche se i recenti dati dell'ISFORT (2021) rilevano una "caduta verticale" al 1,7% della intermobilità. È anche da sottolineare che mentre diminuiscono gli spostamenti con trasbordo tra mezzi pubblici, tuttavia di gran lunga le prevalenti (55,2% del totale), guadagna spazio la "nicchia" rappresentata da combinazioni con l'uso della bicicletta (ormai al 10% del totale, tre volte in più rispetto a qualche anno fa).

Come mostrato in Figura 4, la ripartizione modale osservata per gli spostamenti individuali in Italia riflette fondamentalmente la stessa struttura degli altri paesi dell'Unione Europea.

Sempre secondo dati ISFORT (2020 e 2021), è possibile anche osservare la distribuzione degli spostamenti per motivazione. La percentuale di spostamenti per lavoro e studio (definiti "sistematici") in Italia è passata dal 40% nel 2001 al 36% nel 2008, è leggermente risalita al 36.6% nel 2019 per scendere al 32% nel 2020. Per contro gli spostamenti per gestione familiare e tempo libero sono aumentati rispettivamente dal 28.7% e 31.2% nel 2001 al 34.3% e 33.9% nel 2020. La proporzione di spostamenti sistematici è leggermente superiore in ambito extraurbano (nel 2019 il 45% degli spostamenti extraurbani è stato realizzato per motivi sistematici, contro il 34% degli spostamenti in ambito urbano)⁷.

Figura 4: Distribuzione dei passeggeri/km per tipologia di mezzo impiegato motivazione, Anno 2017. Fonte: Eurostat, 2017



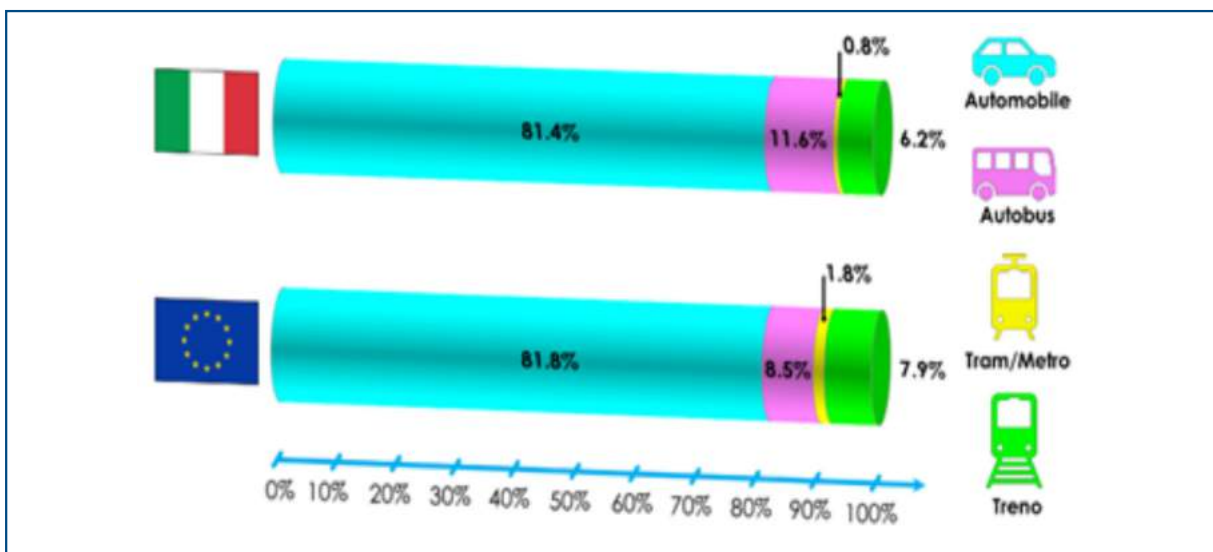
Occorre anche rilevare l'aumento generalizzato (fenomeno non solo italiano) degli spostamenti concatenati (*trip-chain*), che combinano spostamenti sistematici e non sistematici (circa il 50% degli spostamenti sistematici è realizzato in tour semplici casa-lavoro/studio-casa, ma il dato varia sensibilmente tra paesi,

⁷ Per un raffronto a livello europeo, in Inghilterra nel 2019 la percentuale (urbana ed extraurbana) di spostamenti sistematici era il 18%, gli spostamenti per svago il 26% mentre gli spostamenti concatenati effettuati, per motivi sistematici non, erano oltre il 57% (Transport Statistics Great Britain 2020).

in funzione della dimensione urbana, della dotazione infrastrutturale, ecc.). Si segnala tuttavia che le statistiche disponibili in Italia non consentono di misurare tali fenomeni, una carenza importante che non consente di avere una fotografia completa dello stato della mobilità nel paese.

Il sistema italiano di trasporto pubblico locale (TPL) offre servizi per oltre 2 miliardi di chilometri vettura annui, movimentando 5.4 miliardi di passeggeri l'anno. Il numero di mezzi complessivo è di oltre 49.000 unità che erogano circa 1.9 miliardi di vetture/km ed oltre 220 milioni di treni/km (11.5% del totale). In Italia il trasporto pubblico soddisfa poco più del 14.2% della domanda di mobilità, in linea con la media europea, così come evidenziato in Fig.4, ma con una percentuale relativa più importante per il trasporto su gomma.

Figura 5: Ripartizione modale del trasporto passeggeri su terra, in passeggeri/km %, 2018. Fonte: Elaborazione CIttraMS - UnivAQ su dati UE (EC, 2020a: EU transport in figures, Statistical pocketbook 2020, pp. 1-3).



2.3 Le linee evolutive

La relazione tra infrastrutture, mobilità e sviluppo economico non è statica e fissa nel tempo, ma soggetta a cambiamenti anche molto rapidi. Numerosi shock esterni la stanno influenzando. In un contesto di elevata incertezza è auspicabile una strategia di gradualità, che faccia tesoro dei risultati delle analisi di valutazione dell'impatto delle infrastrutture e della mobilità sull'economia e sul clima. È prioritario, infatti, collezionare informazioni quantitative oggettive ed affidabili che permettano di fare valutazione per orientare gli interventi del futuro anche in una dimensione di comparazione internazionale.

Le tendenze evolutive della mobilità di merci e persone sono influenzate dagli sviluppi e dalle linee tendenziali di tipo macro-economico e socio-economico del nostro Paese. Il settore trasporti e infrastrutture risente degli andamenti economico-sociali essendo peraltro la domanda di mobilità una domanda derivata, che deriva per le merci dalla domanda del bene che viene trasportato e, per le persone, dalle motivazioni di spostamento legate allo svolgimento delle attività economiche e sociali nello spazio.

Si ritiene possano incidere sugli scenari al 2030-2050 i seguenti fattori di cambiamento (o tendenze evolutive).

2.3.1 Cambiamenti nella geografia economica del trasporto merci internazionale

Come accennato in precedenza, le modalità del trasporto merci internazionale riflettono la geografia delle esportazioni italiane e la prossimità delle infrastrutture di trasporto ai principali siti produttivi del Paese. È possibile individuare **due possibili scenari evolutivi** alternativi allo status quo:

1. Ulteriore incremento del peso economico di economie geograficamente più distanti quali la Cina, l'India e altre economie dell'Asia Orientale;
2. Aumento della regionalizzazione delle catene del valore in risposta alle incertezze relative alle politiche commerciali e all'emersione dei colli di bottiglia nelle catene di fornitura a lungo raggio.

Il primo scenario presuppone una sostanziale accentuazione dei trend economici degli ultimi 20 anni che hanno visto un forte incremento dell'integrazione dell'Asia orientale nei flussi globali di commercio. In questo scenario crescerebbe il ruolo del commercio internazionale a lungo raggio e diverrebbero sempre più rilevanti le infrastrutture per raggiungerli. Il risultato immediato sarebbe quindi un incremento della domanda di servizi portuali, e un corrispondente aumento del traffico terrestre su gomma per raggiungerli. In sostanza, i porti del Nord Italia (in Liguria, Veneto e Friuli-Venezia Giulia), più prossimi ai siti produttivi, aumenterebbero i propri movimenti e le autostrade che li raggiungono incrementerebbero i propri attraversamenti.

Una parte della maggiore domanda verrebbe però anche convogliata attraverso i valichi alpini. La ricostruzione delle catene del valore internazionali ha infatti mostrato come i produttori italiani del Nord siano parte integrante delle filiere produttive tedesche che si caratterizzano per un'elevata esposizione soprattutto verso il mercato finale cinese. Un aumento della domanda da parte della Cina verrebbe quindi soddisfatta dai produttori tedeschi che a loro volta importano beni intermedi dall'Italia e si tradurrebbe in un'espansione dei traffici dei valichi alpini, soprattutto quelli verso l'Austria.

Il secondo scenario è basato su alcune recenti tendenze del commercio internazionale che hanno visto un rallentamento dei flussi di investimento estero e dei processi di integrazione commerciale partire dalla crisi del 2009/2010. Tale rallentamento si è accentuato ulteriormente nel corso della pandemia da Covid-19. I *lockdown* nazionali, asimmetrici e asincroni, uniti al forte aumento della domanda, soprattutto

per alcuni beni (informatica e telecomunicazioni, materie prime), hanno comportato alcune interruzioni nei rapporti di fornitura internazionale, facendo supporre una possibile regionalizzazione di alcune filiere locali di particolare interesse strategico. La possibilità effettiva di un reshoring di attività estere a favore di una ri-localizzazione all'interno dei confini dell'Unione europea rimane una possibilità per alcuni specifici segmenti dell'economia. Tale fenomeno potrebbe comportare un aumento del traffico merci con i Paesi dell'Unione Europea, generando un aumento della pressione sui valichi alpini, sia verso l'Austria sia verso la Germania.

È opportuno inoltre rilevare come la composizione dei flussi commerciali potrà essere soggetta a processi evolutivi anche legati ai diversi scenari di decarbonizzazione discussi nei capitoli successivi. Ad esempio, i combustibili fossili al momento costituiscono una parte rilevante dei flussi ed è probabile che, in uno scenario di mitigazione, si osservi una riduzione della loro domanda. Uno scenario di mitigazione può anche essere associato ad un aumento della domanda di materiali necessari alla manifattura ed al movimento di batterie, dispositivi necessari alla produzione di elettricità rinnovabile, materiali richiesti per interventi di efficientamento energetico, e materiali necessari al rafforzamento del network elettrico. Questo vale soprattutto in relazione ai flussi - già discussi in precedenza - con la Germania e l'Europa centrale che utilizzano in modo intensivo i porti italiani sia per l'approvvigionamento di materie prime e prodotti finiti che per le esportazioni di questa tipologia di prodotti.

2.3.2 Cambiamenti nella domanda di mobilità di passeggeri

Dinamiche demografiche e impatti socio-economici della digitalizzazione sono i fattori che più possono incidere sulla domanda di mobilità complessiva di passeggeri nel medio-lungo termine, anche a seguito della pandemia da Covid-19. Per valutarne meglio l'incidenza, sia pure in forma schematica, è opportuno distinguere tra le componenti sistematiche e occasionali nelle quali è tradizionalmente suddivisa la domanda di mobilità, oltre a fare cenno alla differenza tra spostamenti di corto raggio (o su brevi distanze) e a lungo raggio (o su distanze/percorrenze medio-lunghe). Per quanto questa differenziazione non consenta di cogliere la tendenza crescente agli spostamenti concatenati (supra), il forte ridimensionamento della prima componente a vantaggio della seconda è comunque indicativo di possibili cambiamenti strutturali.

Con riguardo alla mobilità di tipo sistematico, si può intravedere una continuazione della tendenza - già in corso da circa un decennio in Italia e in altri paesi europei - alla sua contrazione, sia per il corto che per il lungo raggio, accentuata dai fattori legati all'evento pandemico e alle politiche di digitalizzazione e mitigazione degli effetti climatici.

Detta riduzione dei flussi di mobilità di tipo sistematico può essere correlata, in maniera schematica ai seguenti fenomeni:

- progressivo invecchiamento della popolazione (Fig. 8), posto che a fasce di popolazione più anziana si associa generalmente un numero di spostamenti sistematico assai ridotto;
- aumento della popolazione inattiva (per riduzione del numero di persone occupate e dinamiche demografiche, tra cui l'invecchiamento);
- (anche rispetto a ipotesi di numero di occupati invariati o in aumento) eventuale riduzione degli spostamenti di lavoro e del pendolarismo lavorativo, in relazione ad un possibile incremento di flessibilità oraria ed alla diffusione del lavoro da remoto (e della didattica a distanza), accelerata dagli effetti del Covid-19. Sebbene ci sia ancora una forte incertezza sulla situazione post-pandemia, studi di settore stimano un ritorno (anche se non completo) alla situazione pre-Covid-19 in questo ambito.

Una componente significativa della mobilità sistematica è quella motivata da ragioni di studio e formazione. Anche in questo caso, soprattutto per effetto di fattori demografici (minore quota della popolazione in età scolare e dei giovani fino a 24 (35) anni), ma anche per una possibile diffusione di nuove forme di didattica e formazione a distanza, è possibile aspettarsi una qualche riduzione dei flussi attuali.

Per quanto invece riguarda la componente occasionale della domanda di mobilità, storicamente assai meno rilevante di quella sistematica, può evidenziarsi una tendenza alla sua riduzione connessa ai seguenti fattori:

- diffusione del commercio elettronico, che riduce gli spostamenti motivati da compere e acquisti;
- orientamento a stili di vita più sostenibili che potrebbero in generale ridurre gli spostamenti (o che potrebbero orientarsi verso la mobilità attiva, cfr. infra), per maggiore sensibilità a impatti ambientali di tale modalità e possibile diffusione del turismo responsabile e di prossimità, anche per effetti di medio termine del Covid-19;
- riduzione degli spostamenti per grandi eventi, come anche dei viaggi legati a eventi aziendali.

Di segno opposto, possono invece menzionarsi tendenze che porterebbero a espandere tale componente, dovute appunto alla diffusione di nuovi lavori e attività (specularmente alla riduzione della mobilità sistematica, come si è verificato negli ultimi decenni), e maggiori livelli di ricchezza che generano una maggiore domanda di spostamento per viaggi, fruizione di eventi culturali, musicali, artistici, sportivi, ecc., ancorché con modalità più sostenibili.

In ogni caso, può ritenersi attendibile uno scenario di ricomposizione delle due componenti della mobilità a vantaggio di quelle non sistematiche e a più corto raggio, oltre che un accentuarsi degli spostamenti concatenati. Assai incerti sono invece gli effetti sulle diverse forme di mobilità, perché i fattori legati al cambiamento climatico incidono sulle preferenze degli utenti e possono disincentivare l'uso delle autovetture private anche considerando la disponibilità sul mercato in futuro di mezzi sempre meno inquinanti), ma significativi cambiamenti a favore di modalità sostenibili richiedono anche forti interventi strutturali, organizzative e gestionali (come discusso nel capitolo 6).

2.3.4 Cambiamenti nell'offerta e conseguenze per le scelte di politica pubblica

Sul lato dell'offerta le principali trasformazioni in corso della mobilità implicano i seguenti cambiamenti paradigmatici fondamentali:

- **dal motore a combustione interna (ICE) ai veicoli elettrici a batteria (BEV):** i motori a combustione saranno gradualmente eliminati e sostituiti dai BEV entro (le ultime direttive europee vogliono aggiungere 30 milioni a quelli già in circolazione entro il 2030, (EU Mobility Strategy and Action Plan (2020));
- **dalla proprietà all'utenza:** l'uso condiviso dei veicoli, che è già una realtà oggi per il trasporto merci (nella misura in cui è servito da operatori logistici) e per il trasporto passeggeri (specie in ambito urbano, non solo nel caso del trasporto pubblico, ma anche in quello di nuove forme di mobilità, come il "ride halining" o la micromobilità), e per cui si attende un incremento grazie alle tecnologie digitali (specie nel caso della nuova mobilità);
- **dalla guida umana alla guida autonoma,** a seguito di una transizione verso veicoli connessi tra loro e con l'infrastruttura circostante e capaci di muoversi autonomamente, con molte nuove opzioni che potranno rendersi disponibili per servizi di mobilità radicalmente nuovi, (Alcorn & Kockelman, 2015; Fagnant & Kockelman 2021). I veicoli interessati sono sia quelli su strada (possibilmente a cominciare

dalle merci), sia quelli che viaggiano sull'acqua (roboats) o nell'aria (droni) ed hanno applicazioni che vanno ben al di là di quelle che sono già attualmente capaci di guida autonoma (come metropolitane e aerei di linea in condizione di crociera);

- **dalla mobilità analogica a quella digitale (Mobility-as-a-service - MAAS)**, che permette di integrare i servizi di trasporto esistenti con quelli nuovi grazie a tecnologie digitali, uso intelligente dei dati e soluzioni informatiche innovative e integrate (Jittrapirom, 2017).

Un'adozione su larga scala di uno qualsiasi di questi quattro nuovi modelli, che a sua volta ha forti legami con la progettazione e la realizzazione delle relative infrastrutture, può avvenire solo con una forte discontinuità rispetto allo status-quo.

Vi è tuttavia una notevole incertezza per quanto riguarda i tempi di commercializzazione e il relativo peso nel mercato dei veicoli automatizzati.

Tenendo conto dell'elevato costo della completa automazione e dei relativi impatti a livello di sistema, è possibile che la transizione alla mobilità autonoma per applicazioni diverse da quelle già in uso (treni, aerei in crociera) non avvenga in maniera completa prima del prossimo decennio. Allo stesso tempo, è anche possibile che questo tipo di transizione si verifichi gradualmente, integrando diversi tipi di capacità di automazione per diversi tipi di applicazione (per esempio macchine agricole, veicoli merci e veicoli passeggeri), in tempi diversi. In ogni caso, l'introduzione nel mercato di innovazioni di prodotto dirompenti, come quella dei veicoli autonomi, accompagnerà inevitabilmente all'affermazione di nuovi operatori e nuovi modelli di business.

Tra questi ultimi, saranno da annoverare i soggetti che a vario titolo entreranno a far parte dei produttori e coordinatori della Mobility as a Service (MaaS) ovvero di un modello di distribuzione della mobilità che integra soluzioni multimodali di mobilità (diverse non solo per modalità di trasporto, ma anche per tipologia, andando a ricomprendere sia servizi di linea, sia servizi flessibili o a chiamata) (Panaccia, 2020).

Altra innovazione organizzativa già presente, destinata a perdurare o evolversi ulteriormente è la mobilità sharing, basata su modelli di condivisione dei veicoli (per esempio nel caso della micromobilità) o dei viaggi (come nel caso di servizi di minibus condivisi o di "pooling" per il "ride hailing") molto variegati tra loro. L'impatto ambientale e sociale di queste nuove forme di mobilità è controverso e dipende dall'effetto sostitutivo che essa determina. Già da ora si possono identificare effetti potenzialmente negativi, da un punto di vista ambientale, rispetto all'uso dei mezzi collettivi, ma anche opportunità per la sottrazione di utenti alla mobilità privata, con possibili effetti positivi (anche in termini di occupazione degli spazi pubblici, grazie alla ridotta necessità di spazio per il parcheggio) in termini di sostenibilità.

2.3.5 Cambiamenti nelle tendenze agglomerative, insediative e nell'organizzazione delle città

Le infrastrutture sono essenziali per collegare le regioni più periferiche e vulnerabili, per garantire un facile accesso ai servizi pubblici per i cittadini e, in generale, per migliorare la qualità della vita.

È previsto che l'urbanizzazione faccia crescere la quota del 54% della popolazione che viveva in una città nel 2014 al 68% previsto nel 2050, e megalopoli diventeranno il teatro sociale, economico e politico delle principali innovazioni, tra le quali la mobilità avrà un ruolo centrale, poiché è anche la chiave per un'efficace decarbonizzazione che non può più essere ritardata (European Commission, 2019b).

Per rispondere a queste esigenze, le infrastrutture, la mobilità e i trasporti nel loro insieme dovranno essere intelligenti, ovvero "(garantire) una connettività in paesi, città e territori diversi che sia accessibile,

efficace, attraente e sostenibile”, e soprattutto centrata sui cittadini e i loro bisogni (European Commission, 2019a). I paradigmi della mobilità odierna, in forte e rapido mutamento, rendono particolarmente impegnativo realizzare una mobilità davvero sostenibile e inclusiva, tanto più se si considera come le scelte legate ad essa siano intrecciate con il contesto sociale in cui ogni individuo vive e si sviluppa.

A questa tendenza di fondo si accompagnano alcuni fenomeni di ripopolazione di aree rurali collocate per lo più ai margini dei grandi centri urbani con fabbisogni di mobilità in uscita (connessioni ai nodi urbani nazionali e internazionali) intermittenti e di entità più limitata. Questa tendenza è stata in parte accentuata dalla pandemia e sostenuta dal ricorso a modalità di lavoro da remoto e flessibili, ma andrà valutata dopo il raggiungimento di un nuovo equilibrio post-pandemico.

Alla crescita e al rafforzamento dei grandi centri urbani si è accompagnata la richiesta da parte di alcuni gruppi di aumentare la qualità della vita e della fruizione dei servizi pubblici attraverso maggiore auto-contenimento delle funzioni di produzione e consumo delle comunità (lavoro a casa, acquisti e attività ricreative nel proprio quartiere), in una visione contigua a quella delle città multipolari, che presuppongono minori distanze per gli spostamenti (ci si riferisce anche al modello “15 minute-city concept”, città dove tutti i servizi rilevanti per il cittadino sarebbero raggiungibili a piedi entro 15 minuti) e dunque la possibilità di meglio conciliare lavoro, tempo libero, gestione familiare. Si tratta di un approccio che alcune città europee stanno seguendo (Deloitte, 2020; DfT, 2021), ed in generale, le politiche urbane promosse a livello europeo tendono a enfatizzare una mutazione nell’organizzazione e nelle funzioni delle città che conduce a città più piccole, o organizzate su più centri attrattori, più green, smart, più sicure e vivibili (limiti di velocità a 30 km/h, anche per esigenze popolazione più anziana). Non è tuttavia facile prevedere quanto questo modello sia attuabile in grandi città con funzioni amministrative e direzionali complesse, oltre ad essere in parziale controtendenza con le implicazioni che lo sviluppo dell’e-commerce comporta sulla distribuzione degli insediamenti. Questo modello presenta inoltre rischi di segregazione e riduzione delle opportunità di interazione tra gruppi diversi all’interno della città con un aggravamento delle disuguaglianze e un arresto della funzione di ‘ascensore sociale’ svolto dai centri urbani (Glaeser 2021; O’Sullivan 2021).

2.3.6 Inclusione e nuove disuguaglianze

I singoli individui saranno gli attori fondamentali del cambiamento, con identità socio-economiche complesse che sono per lo più - se non del tutto - ad oggi trascurate nei modelli di progettazione dei servizi, (Sánchez de Madariaga & Roberts, 2013). I fattori umani più rilevanti in gioco sono: **a) il divario di genere; b) il divario digitale; c) il mix culturale sempre più complesso; d) l’invecchiamento della popolazione.** Fino ad oggi, però, molte scelte politiche e i processi decisionali ad esse legati hanno modellato l’ambiente su cui agiscono primariamente sulla base dell’omofilia (e quindi dell’esperienza di vita dei decisori stessi), o al più con riferimento ad una sorta di “cittadino idealizzato”, affatto rappresentativo della complessità socio-culturale dei nostri giorni.

I più recenti studi sociologici, infatti, concordano sul fatto che gli individui di oggi sono un mix di molti aspetti sociali diversi che stanno creando gruppi complessi di nuove identità sociali con *intersezionalità* rilevanti (cioè presenza, in uno stesso individuo, di più di una caratteristica di minoranza, ad esempio le donne immigrate), (Kaijser & Kronsell, 2014), (L.C. Angeles 2019). Ignorarlo non solo rende più lenta l’adozione di nuove tecnologie, ma, peggio, genera una catena di dati/processi/decisioni distorte, (Criado Perez, 2019). Infatti, dati “*biased*” (cioè raccolti senza eguale rappresentazione sociale e letti senza disaggregazione sociale) non rappresentano la realtà sociale e portano ad analisi non veritiere falsate dalla presenza di stereotipi, (Criado Perez, 2019). Lavori recenti sulla governance della mobilità intelligente

affermano che “il pensiero sulle innovazioni nella mobilità deve essere contestualizzato all’interno del lavoro sulla progressione di più ampie transizioni socio-tecniche”, e anche che “lo Stato dovrebbe gestire attivamente il possibile divario digitale (e razziale), (Edelman et al,2015) la discriminazione che esso implica nelle offerte di servizi *smart*, (Edelman et al,2015).

Ad esempio, è noto che i percorsi di viaggio cambiano molto tra uomini e donne: i primi hanno schemi di viaggio abbastanza semplici (due percorsi giornalieri per i pendolari dentro e fuori la città sulle strade principali); le donne, invece, si spostano secondo il cosiddetto “trip chaining”, (Criado Perez, 2019), a causa di molteplici compiti di accudimento e cura (spesso usando strade periferiche minori). Da un’analisi condotta nel Regno Unito, a Londra (si veda ancora Criado Perez, 2019) ed i riferimenti ivi contenuti), le donne hanno il 25% in più di probabilità rispetto agli uomini di fare trip-chaining, che salgono al 39% se in famiglia c’è un bambino di età superiore ai nove anni. Una donna che lavora con un bambino sotto i 5 anni aumenterà il proprio trip-chaining del 54%, mentre un uomo che lavora nelle stesse condizioni lo aumenterà del 19%. I sondaggi effettuati mostrano che le donne fanno più affidamento sui trasporti pubblici rispetto agli uomini e, poiché sono più spesso vittime di violenza, garantire la sicurezza e la protezione dei trasporti pubblici è fondamentale per il loro benessere e la partecipazione alla forza lavoro, (Wei-Shiuen Ng & Ashley Acker, 2018). Considerare le esigenze delle donne e dei bambini nella pianificazione delle infrastrutture non solo determina gli effetti distributivi dei progetti infrastrutturali come l’uguaglianza nell’accessibilità, ma è anche un valido business case che può aiutare ad evitare di prendere decisioni e/o fare pianificazioni errate.

In una recente pubblicazione dell’Istituto Europeo sull’Uguaglianza di Genere (EIGE, 2020), che ha analizzato un’ampia indagine condotta nell’UE28 su donne e uomini rappresentativi di un ampio spettro della popolazione, il trasporto pubblico è emerso come il secondo servizio infrastrutturale più importante nell’abilitare la vita quotidiana delle persone, dopo i servizi sanitari e i centri medici. Il trasporto pubblico ha avuto un impatto positivo sulla partecipazione all’istruzione e all’occupazione, sia per le donne sia per gli uomini. I risultati mostrati nella Figura 6 dimostrano che le donne percepiscono i servizi di infrastrutture di trasporto pubblico come più utili per la propria vita quotidiana, in tutti i contesti considerati nell’indagine e riportati nella Figura 6.

Figura 6: L’importanza dei servizi di mobilità urbana nel consentire la partecipazione a diverse attività della vita (su una scala crescente da 1 a 10). Fonte: EIGE (2020)

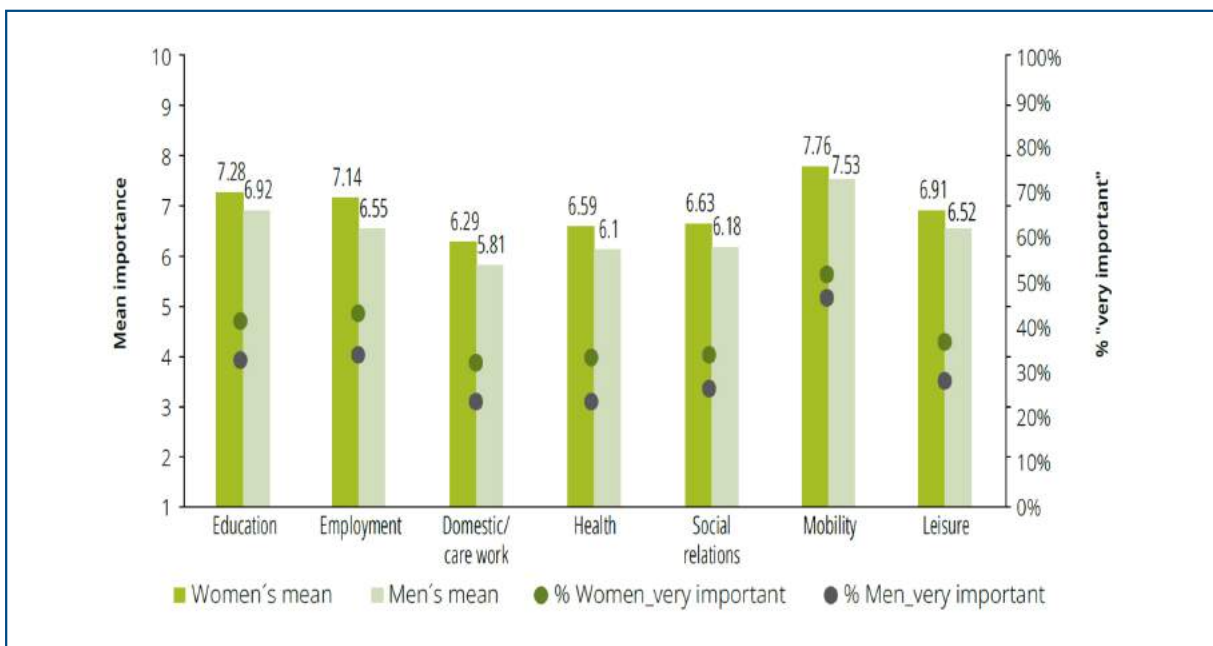
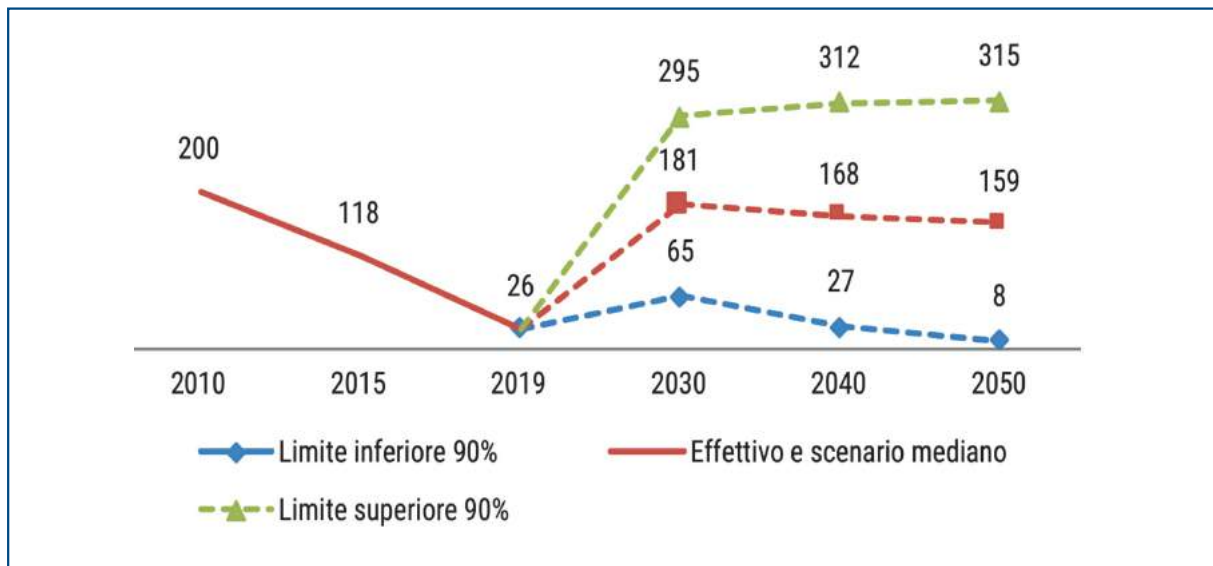


Figura 7: Andamento e previsioni saldo migratorio totale, 2010-2050 (v.a. in migliaia). Fonte: CENSIS ,2021



Se il genere è sicuramente la dimensione della diversità più studiata in relazione a trasporti, mobilità e infrastrutture, anche per le sue implicazioni maggioritarie (le donne costituiscono almeno il 50% della popolazione complessiva), non è l'unica dimensione sociale di interesse da prendere in considerazione. Per fare ciò in modo efficace, è consigliabile affrontare il problema multidimensionale che ne deriva all'interno di un quadro sociologico intersezionale, ovvero considerando come interagiscono questi diversi aspetti socio-economici quando più di uno è presente in un singolo individuo, (Kaijser & Kronsell, 2014). In questo contesto, avere una lente di genere significa semplicemente prendere la diversità tra uomini e donne come punto di partenza per parlare dei molteplici assi trasversali della disuguaglianza (cioè età, etnia, classe, località, alfabetizzazione digitale, ecc.), (Kaijser & Kronsell, 2014) (L.C. Angeles, 2019)

Nel contesto italiano, le principali dimensioni sociali, oltre al genere, di cui vale la pena prendere in considerazione sono sicuramente l'età, l'etnia e lo squilibrio geografico, che incidono pesantemente sull'alfabetizzazione digitale, (OECD, 2018a).

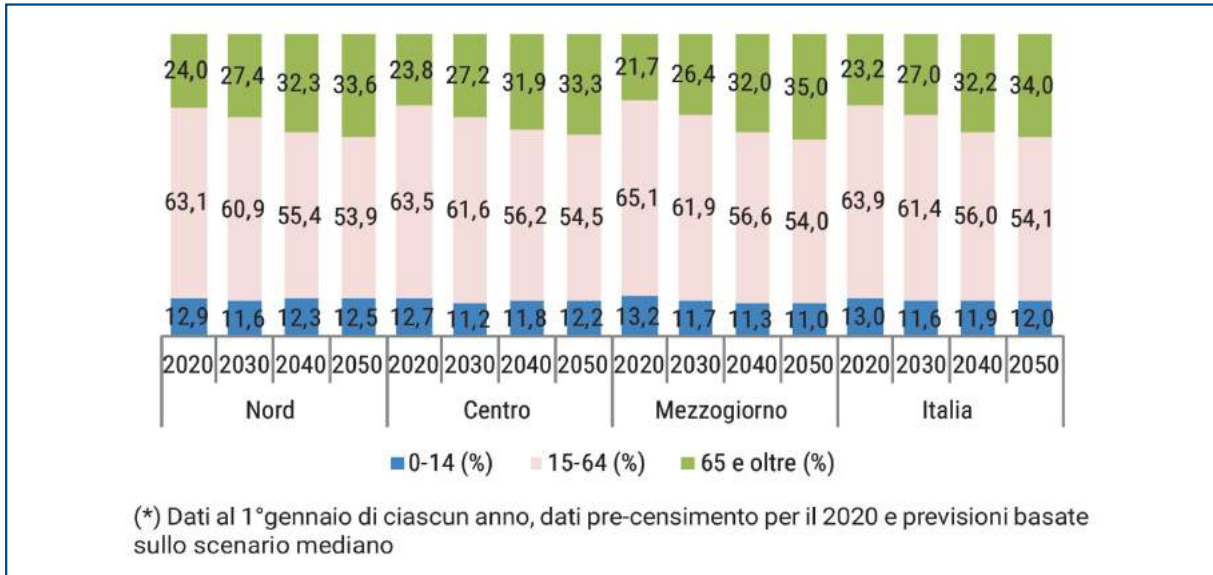
Un recente rapporto del CENSIS (CENSIS, 2021) mostra le proiezioni del saldo migratorio dal 2019 fino al 2050. I dati nella Figura 7 mostrano che le migrazioni con l'estero daranno un contributo importante all'andamento demografico, anche se le previsioni presentano livelli di variabilità piuttosto ampi. Si tratta infatti di fenomeni fortemente condizionati anche da scelte di politica nazionale e dall'evoluzione dei contesti internazionali, il che implica la compresenza di ipotesi di incremento consistente dell'afflusso di immigrati dall'estero ma anche la possibilità che aumenti il numero di italiani che sceglie di trasferirsi all'estero.

Per questo, considerando lo scenario mediano, il saldo migratorio appare positivo in una prima fase, passando dal valore iniziale di +26.000 unità del 2019 al +181.000 del 2030, per scendere poi gradualmente a +168.000 del 2040 e a +159.000 nel 2050 (si veda ancora la Figura 7). Tuttavia, dal punto di vista del multiculturalismo, questo saldo implica senz'altro una maggiore diversità etnica degli abitanti sul territorio italiano, spesso provenienti da culture in cui la dimensione della uguaglianza di genere, o, spesso, della sua mancanza, è determinante nel definire il comportamento individuale e familiare.

Accanto a ciò, sempre il rapporto del CENSIS mostra proiezioni relative all'evoluzione dell'età media della popolazione, differenziandola anche geograficamente rispetto al territorio nazionale, con i dati mostrati in Figura 8, anche qui su un intervallo temporale che va dal 2020 al 2050. Come si vede dalla figura, in

termini di composizione per classi d'età, proprio nel Mezzogiorno si prevede la riduzione più rilevante della classe d'età più giovane, che passerebbe dal 13,2% del 2020 all'11,0% del 2050. Allo stesso modo le previsioni mostrano un incremento atteso dell'incidenza degli anziani dal livello nazionale, attuale del 21,7% al 35,0% del 2050 (si veda ancora la Figura 8).

Figura 8: Fasce di età della popolazione residente e ripartizioni geografiche sul territorio italiano dal 2020 al 2050.
Fonte: CENSIS,2021



La previsione è dunque quella di un Paese con un profilo prevalentemente maturo, contrassegnato da una rilevante presenza di over 65, in cui la forbice tra giovani e anziani si allargherà progressivamente.

Pertanto, il tentativo di ottenere il cambiamento dei paradigmi necessari per garantire una mobilità e un sistema di trasporto intelligenti e sostenibili con un approccio progettuale "piatto ed indistinto" sembra destinato a fallire.

Tuttavia, sia in contesti pubblici che privati, la mobilità e i fattori sociali evolvono solitamente su linee parallele: l'approccio progettuale esistente effettua scelte basate primariamente su questioni tecniche, eventualmente ambientali e sull'uso del suolo pubblico; le singole identità socio-economiche sono generalmente escluse, a volte in parte considerate solo in fase di marketing, quando però è troppo tardi per correggere gli effetti distorsivi di una progettazione non attenta alle diversità. Ciò si traduce in una scarsa diffusione dei nuovi paradigmi, con pochi strumenti per correggere in corso d'opera le traiettorie di adozione e diffusione degli stessi.

Ad esempio, si presume spesso che le donne trarranno automaticamente vantaggio dai nuovi progetti infrastrutturali allo stesso modo degli uomini, senza riconoscere possibili impatti distinti su donne e uomini in base alle loro esigenze e ruoli sociali. Il design urbano, ad esempio, svolge un ruolo importante nella vita delle persone, ma i rischi di urbanizzazione incontrollata, espansione urbana e baraccopoli sono spesso maggiori per le donne in quanto hanno maggiori probabilità di essere oggetto di aggressioni e molestie. Il miglioramento delle infrastrutture urbane con una prospettiva di genere richiederebbe illuminazione pubblica, spazi pubblici sicuri e trasporti pubblici sicuri per aiutare a mitigare i rischi legati alla sicurezza che le donne devono affrontare nella loro vita quotidiana, ma avrà anche un impatto positivo sulla sicurezza e sull'inclusione degli anziani, che diventano più deboli e vulnerabili con l'età, indipendentemente dal genere.

La rivoluzione tecnologica in corso e la relativa infrastruttura digitale richiedono inoltre di promuovere la parità di accesso ai servizi digitali e garantire opportunità di acquisizione di competenze tecnologiche. È inoltre necessario affrontare i rischi che emergono in un ambiente digitale, con ragazze, donne e in generale persone digitali non qualificate più esposte a frodi, cyberbullismo, molestie sessuali e altre forme di violenza agevolate dai servizi online.

Le donne, su cui pesa una proporzione ingente dei compiti di cura dei bambini e degli anziani, e che costituiscono la maggior parte della forza lavoro nelle professioni sanitarie e di cura, sono spesso anche gli utenti primari e i maggiori contribuenti di infrastrutture sociali come l'istruzione, la salute, i centri di assistenza all'infanzia e altri servizi sociali, così come degli spazi pubblici come parchi e centri ricreativi. L'ubicazione di questi servizi, la progettazione delle reti di trasporto pubblico e la frequenza dei trasporti devono quindi essere pensati con una lente di genere e, di nuovo, di età, specie in un paese come l'Italia in cui la cura dei bambini è ancora largamente affidata ai nonni.

Tali considerazioni richiedono un approccio politico integrato allo sviluppo di infrastrutture sostenibili e di qualità con una lente intersezionale, tenendo conto allo stesso tempo di obiettivi sociali come la crescita economica, la creazione di posti di lavoro, la sostenibilità ambientale e il benessere. Tale approccio deve riconoscere la complessità delle caratteristiche individuali e gestire i compromessi e le sinergie intrinseci che possono sorgere tra i diversi obiettivi e le politiche atte a realizzarli.

I pilastri principali di un approccio integrato alla progettazione inclusiva e alla realizzazione di infrastrutture intelligenti sono i seguenti:

- **considerare gli aspetti socio-economici specifici delle strategie, delle politiche e dei progetti infrastrutturali.** Per fare ciò è necessario comprendere le diverse esigenze e preferenze, nonché le tendenze, quali l'urbanizzazione, i cambiamenti nella partecipazione delle donne alla forza lavoro, la crescita dell'occupazione a tempo parziale, la tendenza alle famiglie monoparentali e la migrazione;
- **garantire il coinvolgimento delle donne e delle minoranze nella progettazione di strategie e piani infrastrutturali e nella loro attuazione,** nonché la dovuta considerazione del benessere delle dipendenti donne lungo le catene di approvvigionamento delle infrastrutture. Ciò richiede di accrescere la presenza di soggetti portatori di elementi di diversità, a partire dalla partecipazione delle donne, nelle posizioni decisionali sia nel settore pubblico che in quello privato, nonché di rafforzare la presenza delle donne nei consigli di amministrazione e nelle posizioni apicali delle società di infrastrutture;
- **prendere in considerazione un'ampia partnership globale per accelerare questa agenda,** impegnandosi con organizzazioni internazionali, associazioni di paesi, società private e società civile per accelerare le necessarie trasformazioni atte allo sviluppo di una società e di processi economico/decisionali inclusivi e rispettosi delle caratteristiche individuali.

2.4 Dalla diagnosi alla cura

Il punto di partenza di qualunque strategia per le infrastrutture e la mobilità sostenibili deve tenere conto delle scelte programmatiche espresse nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) che definisce gli obiettivi prioritari del nostro Paese per l'utilizzo delle ingenti risorse del programma comunitario Next Generation EU (NGEU). La selezione degli investimenti da inserire nel PNRR è stata caratterizzata, sia a livello generale sia settoriale, da uno spazio di possibili opzioni delimitato dalle condizionalità espresse dalla Commissione Europea per l'accesso alle risorse.

Esiste in primo luogo un vincolo temporale. Gli investimenti (e le riforme che sono parte integrante del Piano) inclusi nel PNRR devono rispettare un cronoprogramma definito, che prevede la chiusura e messa in servizio delle opere entro il 2026. Così tutte le progettualità che - per mancanza di maturità ovvero perché contraddistinte da complessità realizzative - presentano orizzonti temporali più lunghi non sono state inserite nel Piano.

Al tempo stesso, la Commissione ha richiesto un impegno tangibile rispetto agli obiettivi strategici e programmatici europei espressi nel *Next Generation EU* e che trovano esplicito richiamo nel regolamento che istituisce il meccanismo di ripresa e resilienza (RRF) (Unione Europea, 2021) In particolare, è previsto che almeno il 37% delle risorse sia dedicato a interventi di contrasto al cambiamento climatico (sia in ambito di adattamento sia di mitigazione) e che il 20% siano dedicati alla transizione digitale.

Contestualmente, un ulteriore livello di condizionalità è definito in funzione della minimizzazione degli impatti ambientali degli investimenti. Il regolamento RRF e la relativa Comunicazione della Commissione (European Commission, 2021) impegna, infatti, gli Stati Membri a una verifica puntuale degli eventuali impatti negativi secondo il principio del "do no significant harm" (DNSH) definito nell'ambito del Regolamento Europeo sugli investimenti sostenibili (c.d. Tassonomia).

Questa verifica implica che ogni investimento e riforma deve poter dimostrare la mancanza di criticità, sia nella fase realizzativa sia nella fase di utilizzo, rispetto ad ognuno dei sei obiettivi ambientali definiti prioritari in ambito EU (mitigazione ai cambiamenti climatici, adattamento ai cambiamenti climatici, uso responsabile delle risorse idriche, economia circolare, inquinamento dell'aria e del suolo, tutela della biodiversità e degli ecosistemi). Ad esempio, l'impiego di tecnologia in ambito di mobilità non coerente con gli obiettivi di de-carbonizzazione dei trasporti previsti dalle strategie europee ed internazionali non può essere incluso nel PNRR⁸.

Questa struttura di condizionalità rappresenta una discontinuità significativa rispetto al passato. Per la prima volta, infatti, il quadro programmatico europeo, e i relativi impegni a livello nazionale, assumono la caratteristica di un vero e proprio piano di performance. La possibilità per gli Stati Membri di accedere alle risorse europee non dipenderà (o non dipenderà esclusivamente) dalla capacità e dall'efficienza della spesa, ma in maniera più importante dagli obiettivi raggiunti coerentemente con i traguardi e i target definiti nel documento inviato alla Commissione.

Complessivamente circa il 60% degli investimenti di competenza del MIMS è destinato ad interventi di riqualificazione, potenziamento ed efficientamento della rete ferroviaria nazionale, regionale e urbana. Nello specifico, sono previsti interventi su oltre 6.500 km di rete, tra cui, 500 km di linee ad alta velocità/capacità, 700 km di linee regionali potenziate (di cui oltre il 60% al Sud), implementazione del sistema tecnologico di sicurezza ERTMS su circa 3.400 km di rete (che, secondo le stime RFI, dovrebbe tradursi in una riduzione di circa 3.000 avarie all'anno), potenziamento dei nodi ferroviari e collegamenti

⁸ Coerentemente con questo principio, ad esempio, il contributo per la sostituzione della flotta di trasporto pubblico locale è previsto soltanto per veicolo a zero emissioni (elettrico e idrogeno).

nazionali strategici per circa 1.900 km.⁹ Oltre agli interventi sulle reti, ne sono previsti altri per lo sviluppo dei servizi di trasporto collettivo con, ad esempio, l'acquisto o il revamping della flotta, tra cui, l'acquisto di 50 nuovi treni completi passeggeri e 1.900 unità di materiale rotabile merci (es. locomotive, carri, mezzi intermodali). Si sottolinea tuttavia che la maggior parte di questi interventi non ha un impatto sulla scelta del modo di viaggio sia dei passeggeri che delle merci. Il Piano, per quanto riguarda i finanziamenti di competenza MIMS, si completa con interventi sulle altre modalità di trasporto tra cui: l'acquisto di 4.500 nuovi autobus (es. elettrici, idrogeno, metano), che non incide sulla scelta modale degli utenti, la manutenzione su 2.000 km di strade (che come indicato nel Capitolo 6 dovrebbe dare priorità alle strade su cui transita il trasporto pubblico su gomma, in modo da migliorarne i tempi di viaggio ed il comfort dei passeggeri) e la realizzazione di circa 1.800 km di nuove piste ciclabili. Ci si dovrebbe quindi attendere un aumento della domanda di mobilità ciclabile (non presente in tabella 6, vedi sotto).

Secondo elaborazioni RFI (sintetizzate nella tabella 6), al 2030, l'entrata in esercizio di tutti gli interventi inclusi nel PNRR, dovrebbe produrre un incremento di utilizzo del trasporto ferroviario del 66% a discapito del trasporto privato, che vedrà ridurre la propria quota modale del 6%. La diversione modale a favore del trasporto ferroviario produrrà effetti positivi anche sull'incidentalità stradale che si stima in riduzione del 3,6% (fonte: MIMS su elaborazioni RFI) in termini di numero di incidenti (oltre 6.000 sinistri/anno risparmiati) e del 4,5% in termini di vittime e feriti prodotti (circa 150 vittime/anno e 11.000 feriti/anno). Lo shift modale gomma-ferro favorirà anche una riduzione delle emissioni di gas climalteranti nell'ordine di circa 3 milioni ton/anno CO₂ equivalente.

Se oltre agli interventi previsti nel PNRR si considerano anche tutti gli altri investimenti ferroviari previsti dell'Allegato Infrastrutture al DEF (2021) che completano il quadro della pianificazione nazionale per le infrastrutture di trasporto al 2030, è possibile apprezzare l'impatto (rispetto al 2019) di una politica nazionale dei trasporti di medio-lungo periodo in termini di riduzione dei tempi medi di viaggio ferroviario su tutto il territorio nazionale con un incremento di accessibilità più marcato nelle aree economicamente più deboli (es. Sud, asse adriatico, asse nord tirreno-Liguria).

Tabella 6: Ripartizione modale trasporto passeggeri 2019 e 2030 a seguito dell'implementazione del PNRR (valori %)
Fonte: MIMS, Allegato al DEF 2021 (elaborazioni RFI su dati CNIT 2018-2019).

Modalità di trasporto	Modal share 2019	Modal share 2030	Var.% 2019*-2030
Trasporto ferroviario	6%	10%	66%
Trasporti collettivi extraurbani	10%	11%	10%
Trasporti collettivi urbani	2%	2%	-
Autotrasporti privati	82%	77%	-6%

Tabella 7: Ripartizione modale trasporto merci 2019 e 2030 a seguito dell'implementazione del PNRR (valori %)

Modalità di trasporto	Modal share 2019	Modal share 2030	Var.% 2019*-2030
Trasporto ferroviario	10,7%	16,5%	+54%
Trasporto marittimo	29,3%	30%	+2%
Trasporto aereo	0,6%	0,6%	-
Autotrasporto (>50km)_	54,5%	47,7%	-13%
Oleodotti	4,8%	5,1%	+6%

⁹ È prevista inoltre la riqualificazione di 55 stazioni nel Sud che si stima incrementerà l'accessibilità per circa 3 milioni di utenti potenziali.

Condizionalità e vincoli di natura regolamentare e tecnica hanno fortemente influenzato la predisposizione del PNRR. Inoltre, l'orizzonte temporale del piano rende le strategie in esso delineate intrinsecamente orientate al breve e medio-periodo, in contrasto con gli obiettivi di net-zero che si articolano su scala trentennale al 2050. Allo stesso modo, le dinamiche socio-economiche legate alle modifiche infrastrutturali sono, anch'esse, destinate ad esplicarsi oltre l'orizzonte del PNRR stesso. Alla luce di queste considerazioni, il PNRR deve essere considerato solo un primo elemento della "cura" che questo Rapporto ambisce a delineare per lo sviluppo ed il rafforzamento di infrastrutture e mobilità sostenibili in Italia. È necessaria pertanto una strategia di lungo periodo che, da una parte, affronti in modo pieno e sistematico deficienze e squilibri evidenziati in questo capitolo in riferimento agli impatti socio-economici delle infrastrutture e la mobilità e che, dall'altra, recepisca le raccomandazioni delineate nei capitoli seguenti in materia di mitigazione ed adattamento.

Gli aspetti e le raccomandazioni di natura socio-economica che tale strategia dovrebbe incorporare - prescindendo al momento dagli aspetti più specificamente tecnici e tecnologici legati agli impatti dovuti ai cambiamenti climatici affrontati nei capitoli seguenti - possono essere riassunti come segue.

- a) Riconoscimento della centralità dell'obiettivo di sviluppo sostenibile e inclusivo come definito dai Sustainable Development Goals delle Nazioni Unite. Da questo discende la natura socio-tecnica del progetto e della concezione di politiche per le infrastrutture e la mobilità sostenibili. Questi interventi - soprattutto nel lungo periodo - hanno effetti profondi sull'economia e sulla società rendendo necessario un approccio multidisciplinare e multi-dimensionale al disegno, all'attuazione e alla valutazione degli impatti e dei risultati (attesi e inattesi) degli interventi, unito allo sviluppo di competenze che consentano di considerare le variabili sociali all'interno del progetto delle soluzioni tecniche e della loro valutazione;
- b) Riconciliazione e integrazione delle strategie nazionali per economia, società ed ambiente, mettendo al centro il benessere dei cittadini in modo inclusivo e sostenibile, promuovendo anche innovativi strumenti di partecipazione attiva dei cittadini.
- c) Definizione di un momento di natura tecnica, che elabori sui dati e sull'evidenza disponibile circa gli effetti sia socio-economici che ambientali degli interventi, non solo attraverso Analisi Costi-Benefici ma anche rigorose valutazioni ex-ante ed ex-post, restringendo la discrezionalità delle decisioni politiche e limitando le distorsioni che riducono il benessere collettivo. La costituzione di una banca dati centralizzata e di Open Government che offra accesso a tutti i dati finanziari e di avanzamento dei singoli progetti monitorati, sarebbe un primo passo fondamentale in questa direzione
- d) Concetti, teorie ed evidenze di frontiera devono guidare ed informare l'azione pubblica. La Commissione Europea ha chiarito la necessità di adottare un approccio 'human centred' alle azioni e alle politiche per lo sviluppo sostenibile a livello urbano (European Commission, 2019b). Per raggiungere l'obiettivo di città "climate-neutral and smart" la Commissione ha identificato una specifica 'missione' nell'ambito del programma europeo per la ricerca *Horizon Europe* con l'obiettivo di promuovere l'innovazione di tipo sistemico nella governance, nei trasporti, nell'energia, nella costruzione e nella gestione dei rifiuti con il supporto delle tecnologie digitali (si parla di innovazione in tutta la catena del valore degli investimenti urbani) (European Commission, 2020). Per quanto riguarda i trasporti e la mobilità (European Commission, 2017) l'agenda definita dalla Commissione è basata sull'integrazione di sette aree di ricerca in tema di trasporti e mobilità: *smart mobility and services; transport infrastructure; transport electrification; vehicle design and manufacturing; cooperative, connected and automated transport; network and traffic management systems; and low-emission alternative energy for transport*. Il 'Transport Research and Innovation Monitoring and Information System (TRIMIS)' è lo strumento per definire ed attuare questa agenda, permettendo alla Commissione di individuare nuove dinamiche tecnologiche e rafforzare le capacità di Ricerca e Sviluppo nell'area di mobilità e trasporti. Tali approcci dovrebbero essere replicati e seguiti su scala nazionale e regionale in Italia.

- e) Le decisioni inerenti investimenti e strategie infrastrutturali devono essere supportate da competenze e conoscenze adeguate da mettere a supporto del decisore di politica pubblica, che possano elaborare le proprie proposte sulla base sia di dati raccolti in modo diretto, strutturato e ripetibile, anche attraverso apposite indagini, sia di studi di scenario. Il modello più rilevante in questo senso è quello della 'UK National Infrastructure Commission'. Tale Commissione si occupa in modo unitario della materia con un team permanente di ricercatori e Commissari nominati su orizzonte quinquennale che si avvale di un centro studi e di una infrastruttura di raccolta dati solida e permanente.
- f) Affrontare in modo radicale, con risorse idonee ed una prospettiva di lungo periodo il problema della scarsa competenza tecnica delle amministrazioni centrali, regionali e locali preposti alla progettazione e attuazione degli interventi sul campo in modo da aumentare al contempo incisività, tempestività ed impatto. Nel breve periodo un approccio più centralizzato con una forte cabina di regia ministeriale potrebbe essere necessario per aggirare colli di bottiglia a livello locale
- g) Le azioni e gli investimenti per colmare il gap infrastrutturale tra il nostro Paese e le altre principali economie UE devono essere basati su scelte strategiche che riflettano in modo chiaro le priorità del Paese e dell'UE. Questo implica la crescita e il consolidamento di alcune specifiche infrastrutture (per esempio ben selezionati hub portuali) con un processo di coordinamento e specializzazione associato a diverse direttrici di traffico (merci e passeggeri) e alla loro evoluzione in linea con quanto discusso in precedenza in questo Capitolo.
- h) Per ridurre la quota di utilizzo dell'autovettura privata, occorre intervenire con un approccio di sistema su tutte le modalità di trasporto (ferro, gomma, ciclabilità, micromobilità e shared mobility e sulle lunghe distanze ovviamente anche il sistema aereo). Occorre inoltre garantire che il trasporto ferroviario, quello collettivo su gomma, ciclabilità e i sistemi di micro e shared mobility lavorino sinergicamente, in modo che miglioramenti sul sistema ferroviario non catturino domanda dal trasporto pubblico e dagli altri sistemi di trasporto sostenibile (come dimostrato da tutta la letteratura di settore), ma intercettino correttamente domanda dall'autovettura privata e sulle brevi distanze dal trasporto aereo.
- i) A livello urbano è essenziale adottare un modello di progettazione e governance degli interventi per la mobilità basato sulla quadrupla-elica: amministrazione locale, settore privato, università e centri di ricerca e cittadini devono essere sistematicamente coinvolti e mobilitati con modalità partecipative. Questo modello adotta una prospettiva place-based al problema degli interventi per la mobilità urbana in cui gli interventi sono adattati alle caratteristiche socio-istituzionali dell'economia e della società locale.
- j) Gli interventi programmati dovranno tenere in considerazione il profondo dualismo regionale che caratterizza il Paese. Non solo risvolti ed impatti sulle disparità regionali dovranno essere oggetto di costante valutazione e monitoraggio. Anche gli aspetti di disuguaglianza e polarizzazione intra-regionale dovranno essere attentamente valutati.
- k) Una seria strategia per la mobilità e le infrastrutture non può trascurare il momento della manutenzione e dell'ammodernamento (presente e futuro) di tutte le tipologie infrastrutturali. Sia a livello urbano che extra-urbano questa componente attrae molta attenzione dal pubblico ma è costantemente trascurata. In quest'area l'integrazione con nuove tecnologie di comunicazione e nuovi apparati di monitoraggio (es. droni) possono offrire risultati interessanti.

Bibliografia

- Acemoglu, D. e Dell, M. (2010). "Productivity Differences between and within Countries," *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2, 169-188
- Angeles, L.C. (2019) Transporting Difference at Work: Taking gendered intersectionality seriously in climate change agendas. In: *Climate Change and Gender in Rich Countries*. Publisher: Routledge; Editors: Marjorie Griffin-Cohen, ISBN 9781315407906).
- Alcorn L, e K Kockelman (2015). Automated vehicles and vehicles of the future. *The Routledge Handbook of Public Transport*, 535-550
- Banca d'Italia (2020) Indagine sui trasporti internazionali di merci, Statistiche <https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/indagine-trasporti-internazionali/2020-indagine-trasporti-internazionali/statistiche-ITM-20200603.pdf>
- Barone G, de Blasio G, Gentili E (2020). Politically connected cities: Italy 1951-1991. Working paper, University of Bologna <http://amsacta.unibo.it/6595/>
- Ben-Akiva, M. e Lerman, S.R. (1979). Disaggregate Travel and Mobility-Choice Models and Measures of Accessibility. In D. Hensher and P.R. Storper (Eds.), *Behavioural Travel Modeling*. London: Croom-Helm.
- Ben-Akiva, M. E., e Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, MA MIT Press
- Boisjoly, G. e El-Geneidy, A. (2016). Daily fluctuations in transit and job availability: A comparative assessment of time-sensitive accessibility measures. *Journal of Transport Geography*, 52, 73-81.
- Borsati M e Percoco M (2021). Trasporti in *Evidence-based Policy! Ovvero perché politiche pubbliche basate sull'evidenza empirica rendono migliore l'Italia*, a cura di de Blasio G, Nicita A & Pammolli F. Il Mulino, Bologna
- Bowen J. e Rodrigue, J-P (2017), Air Transport, in J-P Rodrigue (ed), *The Geography of Transport Systems. The spatial organization of transportation and mobility*, New York: Routledge.
- Carozzi F e Repetto L (2016). Sending the pork home: Birth town bias in transfers to Italian municipalities, *Journal of Public Economics*, 134: 42-52
- Cascetta E., Marzano V., Aponte D., Arena M. (2020) *Alcune considerazioni sugli impatti dell'emergenza CoViD-19 per il trasporto merci e la logistica in Italia* (<https://www.shipmag.it/wp-content/uploads/2020/05/Analisi-merci-e-logistica-Covid-19-1.pdf>)
- CENSIS - L'Italia e le dinamiche demografiche: Scenari e strumenti per affrontare il futuro (2021) https://www.censis.it/sites/default/files/downloads/Italiaele%20dinamichedemografiche_0.pdf
- Cheshire PC e Magrini (2002). The distinctive determinants of European urban growth: does one size fit all? In *Research papers in environmental and spatial analysis n.73*, Department of Geography and Environment, London School of Economics.
- Crain, Mark e Lisa K. Oakley. (1995). "The Politics of Infrastructure", *Journal of Law and Economics*, 38, 1-17
- Crescenzi R. (2005). "Innovation and regional growth in the enlarged Europe: the role of local innovative capabilities, periphery and education." *Growth and Change* 36(4), 471-507.
- Crescenzi R. e Rodríguez-Pose A. (2011) *Innovation and Regional Growth in the European Union*, Berlin, Heidelberg and New York: Springer
- Crescenzi R. e Rodríguez-Pose A. (2012) *Infrastructure and regional growth in the European Union*, *Papers in Regional Science*, 91(3), 487-513, 2012.
- Crescenzi R., Di Cataldo M, Rodríguez-Pose A. (2016). Government quality and the economic returns of transport infrastructure investment in European regions, *Journal of Regional Science*, 56(4), 555-582.
- Crescenzi, R., Giua, M., Sonzogno, G.V. (2021). Mind the Covid-19 crisis: An evidence-based Implementation of Next Generation EU", *Journal of Policy Modeling*, 43(2), 278-297.
- Criado Perez, C. (2019) *Invisible Women: Data Bias in A World Designed for Men*. Harry N. Abrams). (Criado Perez, C. (2019) *Invisible Women: Data Bias in A World Designed for Men*. Harry N. Abrams).
- Deloitte Insights, 2018, *Regulating the future of mobility*.

- Deloitte (2020) Urban Future with a purpose. 12 trends shaping the future of cities by 2030. <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/public-sector/articles/urban-future-with-a-purpose/15-minute-city.html>
- DfT (2021), Decarbonising Transport, A Better, Greener Britain, Department for Transport, OGL, London.
- Dionori, F.; Casullo, L.; Ellis, S.; Ranghetti, D.; Bablinski, K.; Vollath, C.; Soutra, C. (2015), Freight in road: why EU shippers prefer truck to train, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/540338/IPOL_STU\(2015\)540338_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/540338/IPOL_STU(2015)540338_EN.pdf)
- Edelman, B., Luca, M., 2015. Digital discrimination: the case of Airbnb.com. Harvard Business School NOM Unit, Working Paper No. 14-054). (Edelman, B., Luca, M., 2015. Digital discrimination: the case of Airbnb.com. Harvard Business School NOM Unit, Working Paper No. 14-054).
- Edelman, B., Luca, M., Svirsky, D., 2016. Racial discrimination in the sharing economy: evidence from a field experiment. Harvard Business School NOM Unit, Working Paper No. 16-069
- ELGE Gender equality and urban mobility (2020) ISBN: 978-92-9482-385-4 DOI: 10.2839/44663 <https://eige.europa.eu/publications/gender-equality-and-urban-mobility>
- EU Mobility Strategy and Action Plan (2020) https://ec.europa.eu/transport/themes/mobilitystrategy_en
- European Commission, EC (2017) Strategic Transport Research and Innovation Agenda (STRIA) Roadmap Factsheets, 2017.
- European Commission, EC (2019a), Handbook on external costs of transport, DG Move
- European Commission, EC (2019b) *The Human-Centred City* Report of the High-Level Expert Group on Innovating Cities, Luxembourg: Publications Office of the European Union
- European Commission, EC (2020). Proposed Mission: 100 Climate-neutral Cities by 2030 - by and for the Citizens. Report of the Mission Board for climate-neutral and smart cities, Luxembourg: Publications Office of the European Union
- European Commission, EC (2020a): EU transport in figures, Statistical pocketbook 2020, pp. 1-3).
- European Commission, EC (2021), C(2021) 1054 Comunicazione della Commissione Orientamenti tecnici sull'applicazione del principio "non arrecare un danno significativo" a norma del regolamento sul dispositivo per la ripresa e la resilienza
- Fagnant, DJ e K Kockelman (2021) Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 77, 167-181
- Geurs, K.T., e van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127-140.
- Glaeser E L, e Ponzetto G A M (2018). The political economy of transportation investment, *Economics of Transportation*, 13, 4-26
- Glaeser E L (2021). The 15-minute city is a dead end - cities must be places of opportunity for everyone, LSE COVID-19 Blog, May 2021. <https://blogs.lse.ac.uk/covid19/2021/05/28/the-15-minute-city-is-a-dead-end-cities-must-be-places-of-opportunity-for-everyone/>
- Golden M A e Picci L (2008). Pork-Barrel Politics in Postwar Italy, 1953-94, *American Journal of Political Science*, 52(2), 268-289
- Handy, S. (2021). Is accessibility an idea whose time has finally come? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102319.
- Hansen, W. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, Vol. 35, No. 2, pp. 73-76.
- Hansen, W.G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the american institute of planners* 25 (2), 73-76.
- Henisz, Witold J. 2002. "The Institutional Environment for Infrastructure Investment," *Industrial and Corporate Change*, 11, 355-389
- Jittrapirom, P., Caiati, V., Feneri, A. M., Alonso-González, M. J., Ebrahimiagharehbaghi, S., & Narayan, J. (2017). Mobility as a Service: a critical review of definitions, assessments of schemes, and key challenges. *Urban Planning*, 2(2), 13-25. <https://doi.org/10.17645/up.v2i2.931>

- Kaijser, A. e A. Kronsell (2014) Climate change through the lens of intersectionality, *Environmental Politics*, Vol. 23, n.3, pp. 417-433 DOI: 10.1080/09644016.2013.835203
- Knight B (2005). Estimating the value of proposal power, *American Economic Review*, 95(5) (2005), 1639-1652
- Kwan, Mei-Po (1988). Space-Time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework Geographical Analysis. Vol. 30 Issue 3, pp. 191–216.
- Isfort (2021) Osservatorio «Audimob»
- IT&IA (2021), Logistics and infrastructure 2020, Italian Trade & Investment Agency, <https://www.ice.it/en/sites/default/files/2021-02/ita-logistics-and-infrastructure-2020.pdf>
- Litman, T. (2021). Evaluating Accessibility for Transport Planning. Measuring People’s Ability to Reach Desired Services and Activities. Internal Report Victoria Transport Policy Institute, Canada.
- Martens, Karel, Golub, Aaron (2012). “A Justice-Theoretic Exploration of Accessibility Measures.” In *Accessibility Analysis and Transport Planning: Challenges for Europe and North America*, edited by Geurs, K. T., Krizek, K. J., Reggiani, A., 195–210. Cheltenham: Edward Elgar.
- Martens, K. (2017). *Transport Justice: Designing Fair Transportation Systems*. Routledge.
- Martin P. e Rogers CA (1995). Industrial Local and Public Infrastructure *Journal of International Economics* 39(3-4):335-351
- OECD (2002) Glossary of Statistical Terms, <https://stats.oecd.org/glossary/index.htm>
- OECD (2018a), “Bridging the Digital Gender Divide: Include, Upskill, Innovate”, OECD, Paris. <http://www.oecd.org/going-digital/bridging-the-digital-gender-divide.pdf>.
- O’ Sullivan F. (2021) Where the ‘15-Minute City’ Falls Short Bloomberg CityLab: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-03-02/the-downsides-of-a-15-minute-city>
- Paniccia, I. (2020), Substitution or Integration between Traditional Public Transport and Platform-Based Forms of Mobility. Implications for Economic Regulation” in *Network Industry Quarterly*, vol. 22/3/September 2020.
- Puga D. (2002). European Regional Policy in the light of recent location theories *Journal of Economic Geography* 2: 373-406
- Redding, S. e M. Turner (2015), “Transportation Costs and the Spatial Organization of Economic Activity” in (eds) Gilles Duranton, J. Vernon Henderson and William Strange, *Handbook of Urban and Regional Economics*, Chapter 20, pages 1339-1398.
- Rodrigue, J-P, T. Notteboom e B. Slack (2017), Maritime transport, in J-P Rodrigue (ed), *The Geography of Transport Systems. The spatial organization of transportation and mobility*, New York: Routledge.
- Sánchez de Madariaga, I., e M. Roberts (2013). *Fair shared cities: the impact of gender planning in Europe*. Burlington: Ashgate Pub. Company)
- Transportation Research Board. 2014. *Transportation Investments in Response to Economic Downturns*,” Special Report No. 312, U.S. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Unione Europea (2021). REGOLAMENTO (UE) 2021/241 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 12 febbraio 2021 - dispositivo per la ripresa e la resilienza.
- Wei-Shiuen Ng e Ashley Acker (2018), Understanding Urban Travel Behaviour by Gender for Efficient and Equitable Transport Policies, *International Transport Forum Discussion Paper No. 2018-01*, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/urban-travel-behaviour-gender.pdf>
- World Bank. 2011. *Curbing Fraud, Corruption, and collusion in the Roads Sector*. Washington, D.C.: The World Bank Group
- WTO (2020), *World Trade Report 2020* https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/wtr20_e.htm

Capitolo 3

Gli impatti dei cambiamenti climatici in Italia



Capitolo 3

Gli impatti dei cambiamenti climatici in Italia

Coordinamento

P. Mercogliano

Analisi e valutazione del pericolo climatico

P. Mercogliano, G. Barbato, R. Padulano, M. Ellena

Impatti sull'economia

F. Bosello, E. Lanzi

Impatti sulla società

F. Bosello, E. Lanzi

Conclusioni

G. Forzieri, P. Mercogliano, E. Lanzi,

Sintesi

Il Capitolo 3 analizza gli effetti dei cambiamenti climatici attesi sul territorio italiano e sui principali elementi del sistema socioeconomico. In particolare, vengono descritti i principali impatti attesi per effetto del verificarsi di hazard climatici (ovvero sorgenti di pericolo che, in questo contesto, sono da riferirsi ad eventi fisici associati al clima o a trend o ai loro impatti fisici, così come riportato nel rapporto IPCC WG2 AR5. Da qui in poi tale termine viene tradotto come "pericolo climatico"), soffermando l'attenzione dapprima sugli effetti dei cambiamenti climatici sul regime termo-pluviometrico su scala stagionale e annuale, e successivamente analizzandone le conseguenze sul territorio per una serie di essi (e.g., **ondate di calore, ondate di freddo, siccità, incendi, tempeste di vento, allagamenti, esondazioni fluviali, inondazioni costiere, frane o erosione del suolo**).

Il pericolo climatico, in particolare, è descritto da una serie di indicatori, per i quali viene analizzata l'evoluzione spazio-temporale nel caso di **due scenari di concentrazione** giudicati di particolare interesse (RCP 2.6, che corrisponde a livello globale ad un incremento di temperatura poco inferiore ai 2°C a fine secolo rispetto ai livelli pre-industriali, e RCP 4.5, che corrisponde a livello globale a 3°C a fine secolo, entrambi definiti nella letteratura IPCC) e per **due orizzonti futuri rilevanti** (breve termine, centrato intorno al 2030 e medio termine, centrato intorno al 2050).

Le tendenze messe in evidenza sono utili a fornire indicazioni generali sull'incremento, sul decremento o sulla stazionarietà del pericolo climatico (in termini di caratteristiche rilevanti quali intensità, persistenza e frequenza), e, di conseguenza, sui relativi effetti in termini di danni e rischi sulle infrastrutture di interesse. Oltre alle variazioni ottenute a partire dalla media di un insieme di modelli climatici (risultato ritenuto maggiormente affidabile rispetto al valore basato su un singolo modello) è riportata anche una **stima dell'incertezza** (che si basa sull'accordo o meno tra i diversi modelli climatici utilizzati nella valutazione

della variazione). Le variazioni sono riferite a cinque macro-zone in cui l'Italia è stata suddivisa: Nord Est, Nord Ovest, Centro, Sud e Isole.

L'analisi degli impatti sul regime termo-pluviometrico evidenzia un generale aumento delle temperature, piuttosto omogeneo sul territorio italiano, per entrambi gli scenari IPCC, più pronunciato nel medio futuro secondo lo scenario RCP 4.5, **con un incremento medio di circa 2°C per la stagione estiva e di circa 1.5°C per la stagione invernale**. Per quanto attiene invece la precipitazione stagionale, si notano comportamenti molto diversi al variare della zona geografica e della stagione e caratterizzati da maggiore incertezza rispetto alle proiezioni di temperatura. In particolare, le proiezioni indicano **per il centro e sud Italia, in particolare per lo scenario RCP 4.5, una diminuzione delle precipitazioni complessive annue**, mentre per il nord Italia si riscontra generalmente un lieve aumento delle piogge invernali e una lieve diminuzione di quelle estive.

Sulla base del summenzionato pericolo climatico, la valutazione dei conseguenti impatti sul territorio per effetto degli *hazard* naturali mostra risultati eterogenei. Coerentemente con i trend attesi sul regime termometrico, è da attendersi una generale riduzione dei fenomeni di ondata di freddo sull'intero territorio nazionale, mentre, all'opposto, è atteso un **aumento generalizzato del pericolo legato alle ondate di calore**. Per entrambi i fenomeni le maggiori variazioni si riscontrano nel medio futuro (2050) nello scenario RCP 4.5.

Nello stesso periodo e per lo stesso scenario è inoltre atteso un significativo aumento del pericolo incendi. Le tempeste di vento mostrano un lieve aumento per entrambi gli scenari e periodi; tuttavia, tale segnale è affetto da notevole incertezza e richiede approfondimenti mediante modelli di dettaglio. Per quanto riguarda le precipitazioni intense, è atteso un generale incremento sia dei cumuli giornalieri sia **dell'intensità e della frequenza degli eventi estremi di precipitazione**, specie per il periodo 2050 nello scenario RCP 4.5, ed in particolar modo per le aree del centro-nord nella stagione invernale. È inoltre atteso un incremento dei fenomeni di mareggiata più estremi, specie nell'alto adriatico, mare ligure ed alto tirreno.

Più eterogenei e variegati sul territorio sono i risultati dell'analisi degli effetti dei cambiamenti climatici sui fenomeni di esondazione fluviale e di erosione del suolo, a riprova della complessità dell'interazione tra i cambiamenti climatici, le precipitazioni estreme e il territorio con le sue specificità.

Le conseguenze economiche degli impatti fisici sopra descritti sono importanti soprattutto per settori quali il turismo, l'agricoltura, il settore energetico, il settore industriale e dei trasporti, il commercio internazionale (con evidenti ricadute su crescita ed occupazione complessive).

Il **settore del turismo** sarà quello più fortemente impattato dal generale aumento delle temperature (sia estive sia invernali), con possibili perdite dirette di 17 MLD anche nello scenario RCP 2.6, in cui si riesce a contenere l'aumento di temperatura sotto i 2°C. I danni economici sono associati in larga parte alla contrazione della domanda nel periodo estivo a causa dell'atteso disagio termico (e si prospetta una analoga riduzione del turismo invernale per effetto della minore copertura nevosa).

Per quanto attiene il **settore dell'agricoltura**, le riduzioni attese nelle rese, per effetto dei cambiamenti nel regime termo-pluviometrico, sono stimate portare ad una riduzione del valore della produzione aggregata pari a 12.5 MLD di euro nel 2050 già nello scenario RCP 2.6. I danni sono ovviamente molto più elevati nello scenario RCP 4.5.

Per effetto dell'incremento atteso di temperatura sia in estate che in inverno, non si prospetta un significativo aumento della spesa energetica, a causa del bilanciamento tra l'aumento delle necessità di condizionamento nella stagione estiva e la riduzione delle necessità di riscaldamento in inverno. Al contrario, si stima che la spesa energetica pro-capite dovrebbe diminuire in media del 9.7% al 2050 nell'RCP 4.5.

Più complessa è la valutazione delle ripercussioni dei cambiamenti climatici sul settore della **produzione industriale**, che potrebbe essere negativamente impattata dall'aumento di temperatura attraverso gli effetti negativi sulla produttività del lavoro, dalla scarsità e variabilità nella disponibilità di risorse idriche, fondamentali in molti processi produttivi, e soggette a costante competizione di domanda. Per quanto riguarda, in particolare, i soli danni derivanti dallo stress infrastrutturale diretto o indiretto indotto da eventi meteorologici estremi, si stima che questi ultimi potrebbero raggiungere su base annua i 50 MLD di euro nel 2050 nell'RCP 2.6. Quelli dovuti alle sole alluvioni fluviali potrebbero arrivare a 3 MLD di euro nell'RCP 2.6. Valori che rendono quindi essenziale disegnare misure di adattamento anche nel caso in cui si riuscisse a ridurre in modo rilevante le emissioni di gas serra.

Per quanto riguarda, infine, il dato relativo alla **crescita economica**, che aggrega tutti gli effetti diretti, quelli settoriali e quelli macroeconomici indiretti, si stimano perdite che oscillano tra lo **0.2% e il 2% del PIL nel 2050 nello scenario RCP 2.6, ma che raggiungono il 2-2.5% del PIL nello scenario RCP 4.5 sempre nel 2050**, con possibili valori regionali ancora più elevati. Le perdite sono originate principalmente dagli impatti sull'attività produttiva e dalla perdita di asset di capitale associata all'innalzamento del livello del mare, all'intensificarsi degli eventi di dissesto idrogeologico e allo stress termico.

Per quanto attiene infine la dimensione sociale, gli aspetti analizzati sono la mortalità, l'immigrazione e le disuguaglianze. In tutti i casi, il cambiamento climatico presenta impatti negativi sulla società, con un generale aumento del tasso di mortalità e dei danni alla salute delle persone, soprattutto a causa di eventi climatici estremi.

Introduzione

Questo capitolo descrive l'evoluzione spaziale e temporale delle condizioni climatiche attese sull'area italiana utilizzando diversi scenari di cambiamento climatico. In particolare, a valle di un'introduzione sulla metodologia utilizzata, vengono valutati alcuni indicatori che descrivono specifiche caratteristiche del clima ritenute rilevanti per gli impatti che possono determinare danni e rischi sulle infrastrutture di interesse (Sezione 3.1). Danni e rischi che saranno poi esaminati in dettaglio nel capitolo 4 sulla base degli scenari identificati in questo capitolo.

Oltre agli impatti fisici dei cambiamenti climatici, il capitolo contiene anche una valutazione economica dei rischi associati a tali variazioni climatiche e degli impatti sui settori economici chiave per l'Italia (Sezione 3.2). La quantificazione degli impatti sulle infrastrutture e la loro valutazione economica verrà esaminata in modo specifico nel capitolo 4.

3.1 Analisi e valutazione del pericolo climatico

3.1.1 Contesto e metodi

Come riportato dall'ampia letteratura dell'IPCC, i cambiamenti climatici di natura antropica inducono variazioni complesse delle caratteristiche del clima su diverse scale spaziali e temporali. Infatti, esso è influenzato sia dalla frequenza, intensità, estensione spaziale, dal periodo temporale dei fenomeni atmosferici estremi localizzati nello spazio e nel tempo (meteorologici) sia, al contempo, da fenomeni, quali l'innalzamento del livello del mare, che interessano scale spazio-temporali più lunghe (climatici)¹⁰. Quando tali variazioni delle diverse caratteristiche del clima assumono un'entità tale da poter causare degli impatti negativi sui sistemi ambientali e socioeconomici, vengono tipicamente indicate con il termine di "pericolo climatico".

Pertanto, il pericolo climatico costituisce un elemento fondamentale per lo studio e la valutazione del rischio climatico, dato dal prodotto complesso dell'interazione tra vulnerabilità (quanto un sistema umano e naturale è suscettibile a subire impatti negativi dei cambiamenti climatici), esposizione (ovvero la presenza di persone, ecosistemi, servizi, infrastrutture, attività socio-economiche e culturali, che possono essere esposti agli impatti negativi dei cambiamenti climatici), ed, infine, dal pericolo climatico stesso (Collin et al., 2019). In particolare, comprendere le caratteristiche del pericolo climatico (che possono essere controintuitive e complesse) è fondamentale per una corretta e adeguata definizione delle strategie di adattamento¹¹.

Nel recente IPCC AR6 si afferma che è oramai un fatto accertato (*undisputable*) che le emissioni antropiche di gas serra causate dall'uomo abbiano portato ad un aumento della frequenza di alcuni eventi meteorologici e climatici estremi, come suggerito da diversi sistemi di osservazioni (Easterling et al., 2000). A cau-

¹⁰ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf

¹¹ <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>

sa degli ingenti impatti che tali estremi possono determinare, appare quindi necessario sviluppare una valutazione quantitativa della loro evoluzione nello spazio e nel tempo, così da poter effettuare accurate analisi di adattamento e di rischio (GIZ 2017; Collin et al., 2019; EEA 2021).

Nello specifico, per caratterizzare l'evoluzione spaziale e temporale del pericolo climatico, vengono solitamente utilizzati una serie di indicatori climatici che sintetizzano alcune delle caratteristiche degli eventi estremi (e.g. frequenza, intensità, durata) che si intendono monitorare anche sulla base di quanto approfondito da precedenti studi di letteratura osservando le caratteristiche degli eventi atmosferici estremi verificatisi che hanno prodotto importanti impatti sul territorio.

Di seguito sono analizzati alcuni indicatori di pericolo climatico selezionati sulla base di un'approfondita letteratura scientifica e che risultano particolarmente efficaci nel rappresentare eventi estremi di interesse; tra i quali, ad esempio, le ondate di caldo, gli incendi e le alluvioni. La loro valutazione rappresenta un primo passo per individuare priorità e strategie di intervento a livello di macroaree nazionali.

Gli impatti fisici ed economici che tali fenomeni possono causare sulle infrastrutture del Paese sono analizzati nel successivo capitolo 4. Il set di indicatori di estremi climatici analizzati è riportato in Tabella 1.

3. GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA

Tabella 1: Indicatori utilizzati per l'analisi pericoli climatici considerati

Pericolo	Acronimo, definizione indicatore climatico ed unità di misura della variazione climatica	Riferimenti
Ondate di freddo	CSDI (giorni): <i>Indice di durata dei periodi di freddo</i> - Media annuale del numero di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile* della temperatura minima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.	ETCCDI
	TR100WETSNOW (giorni): <i>Eventi di neve umida</i> con un tempo di ritorno a 100 anni nella stagione invernale- Numero di giorni con temperatura massima giornaliera tra 0°C e 1.5°C e con precipitazione giornaliera maggiore di 10 mm.	Bonelli et al., 2011; Llasat et al., 2014
Ondate di caldo	WSDI (giorni): <i>Indice di durata dei periodi di caldo</i> - Media annuale del numero di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile* della temperatura massima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.	ETCCDI
Siccità	SPI3 (%): Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 3 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI3 calcolato per il periodo di accumulo più corto (3 mesi).	McKee et al. (1993)
Incendi	FWI(%): Indice di pericolo incendio (basato su velocità massima del vento, umidità relativa, precipitazione cumulata, temperatura). Tale indice prevede il calcolo di 5 sottoindici: tre sottoindici primari (FFMC, DMC, DC) che rappresentano l'umidità del combustibile; due sottoindici intermedi (ISI, BUI) che rappresentano il tasso di dispersione ed il consumo del combustibile disponibile.	Van Wagner, 1987
Tempeste di vento	EWS (%): 98° percentile della velocità massima giornaliera del vento.	EEA, 2017
	TR50WSMAX (%): Percentile corrispondente a un tempo di ritorno di 50 anni per la velocità massima giornaliera del vento.	
Inondazioni costiere	TR10TWL (m): Percentile corrispondente a un tempo di ritorno di 10 anni per il livello idrico complessivo (che tiene conto di maree, mareggiate e innalzamento del livello del mare).	Water level change indicators for the European coast from 1977 to 2100 derived from climate projections (copernicus.eu)
	TR100TWL (m): Percentile corrispondente a un tempo di ritorno di 100 anni per il livello idrico complessivo (che tiene conto di maree, mareggiate e innalzamento del livello del mare).	Water level change indicators for the European coast from 1977 to 2100 derived from climate projections (copernicus.eu)
Allagamenti, esondazioni fluviali, frane ed erosione del suolo	TR20FD (%): Percentile corrispondente a un tempo di ritorno di 20 anni per il massimo annuale di portata giornaliera dei corsi d'acqua.	https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-hydrology-variables-derived-projections?tab=form
	TR100FD (%): Percentile corrispondente a un tempo di ritorno di 100 anni per il massimo annuale di portata giornaliera dei corsi d'acqua.	https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-hydrology-variables-derived-projections?tab=form
	SDII (%): Precipitazione media giornaliera nei giorni di precipitazione maggiore o uguale a 1mm.	ETCCDI
	RX1DAY (%): Media annuale della massima precipitazione in 1-giorno.	ETCCDI
	R20 (giorni): Numero di giorni con precipitazione superiore a 20 mm.	ETCCDI
	TR10PR (%): Percentile corrispondente a un tempo di ritorno di 10 anni per il massimo annuale di precipitazione giornaliera.	https://hypeweb.smhi.se/explore-water/climate-change-data/europe-climate-change/
	TR100PR (%): Percentile corrispondente a un tempo di ritorno di 100 anni per il massimo annuale di precipitazione giornaliera.	https://hypeweb.smhi.se/explore-water/climate-change-data/europe-climate-change/
	R-factor (MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·yr⁻¹): R-factor medio annuo (ovvero "Rainfall Erosivity Factor" dell'equazione RUSLE) ricavato dai modelli empirici in Padulano et al. (2021a) come funzione della precipitazione media annua.	Padulano et al., 2021a

Tali indici sono stati calcolati in termini di variazione tra un periodo futuro ed un periodo di riferimento, sulla base di differenti scenari di concentrazione utilizzando molteplici modelli climatici. Le metodologie utilizzate sono illustrate brevemente nei paragrafi successivi.

Scenari di emissione e concentrazione¹²

Le variazioni climatiche sono state valutate per due diversi scenari di concentrazione definiti nell'ambito del quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (IPCC AR5) e ripresi anche nel sesto rapporto (IPCC AR6):

- **RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5.** È lo scenario che rappresenta l'evoluzione tendenziale sulla base delle politiche adottate negli ultimi anni in molti paesi e sulla base degli impegni (NDCs) sottomessi nel 2015 dai paesi firmatari dell'accordo di Parigi. Questo scenario assume che vengano intraprese iniziative mirate per controllare il livello di emissioni presenti. È considerato uno scenario di stabilizzazione in base al quale si presume che la concentrazione atmosferica si stabilizzi entro la fine del secolo a circa il doppio dei livelli pre-industriali. L'incremento di temperatura coerente con questo scenario è di circa 3 gradi a fine secolo (rispetto ai livelli pre-industriali, circa 2°C rispetto ad oggi).
- **RCP (Representative Concentration Pathway) 2.6.** È invece lo scenario obiettivo, che permetterebbe di contenere l'incremento di temperatura entro livelli compatibili con la sopravvivenza della specie umana e della maggior parte degli ecosistemi viventi sul pianeta. Questo scenario assume strategie di mitigazione "aggressive/immediate" ed ambiziose per cui le emissioni di gas serra si avvicinano allo zero più o meno in 50 anni a partire da oggi. Secondo questo scenario è improbabile che si superino i 2°C di aumento della temperatura media globale rispetto ai livelli pre-industriali (1°C rispetto ad oggi), realizzando quindi quanto concordato nell'accordo di Parigi.

Non è stato invece considerato lo scenario RCP 8.5, caratterizzato dal verificarsi di un consumo intensivo di combustibili fossili e dalla mancata adozione di qualsiasi politica di mitigazione con un conseguente innalzamento della temperatura globale pari a +4-5°C rispetto ai livelli pre-industriali atteso per la fine del secolo. Secondo Hausfather & Peters (2020), tale scenario era stato inizialmente definito per studiare un improbabile futuro caratterizzato dalle peggiori condizioni possibili in termini di emissioni, utile per permettere agli studiosi di trarre conclusioni relative a condizioni estreme. Fortunatamente, questo scenario con il passare degli anni sta diventando sempre meno plausibile, come testimoniato da diversi fattori, tra i quali la diminuzione del costo delle energie "pulite" e la stabilizzazione del consumo di carbone. Al momento, sulla base delle politiche di mitigazione in atto, le stime disponibili suggeriscono che sia da attendersi un incremento, per fine secolo, di +2.7°C - 3°C rispetto ai livelli pre-industriali, coerente come detto con lo scenario RCP 4.5 (intervallo atteso per questo scenario tra 1.7 e 3.2°C, vedi Fuss et al., 2014), comunque preoccupante, ma ben lontano dall'incremento di +5°C atteso secondo lo scenario RCP 8.5 (Hausfather & Peters, 2020). Gli impatti dei cambiamenti climatici nello scenario "business as usual" o "in assenza di ulteriori azioni" sono quindi calcolati nello scenario climatico RCP 4.5. Nel caso invece di adozioni di policy efficaci nel contenere l'incremento di temperatura tra 1.5°C e 2°C, lo scenario climatico di riferimento è l'RCP 2.6.

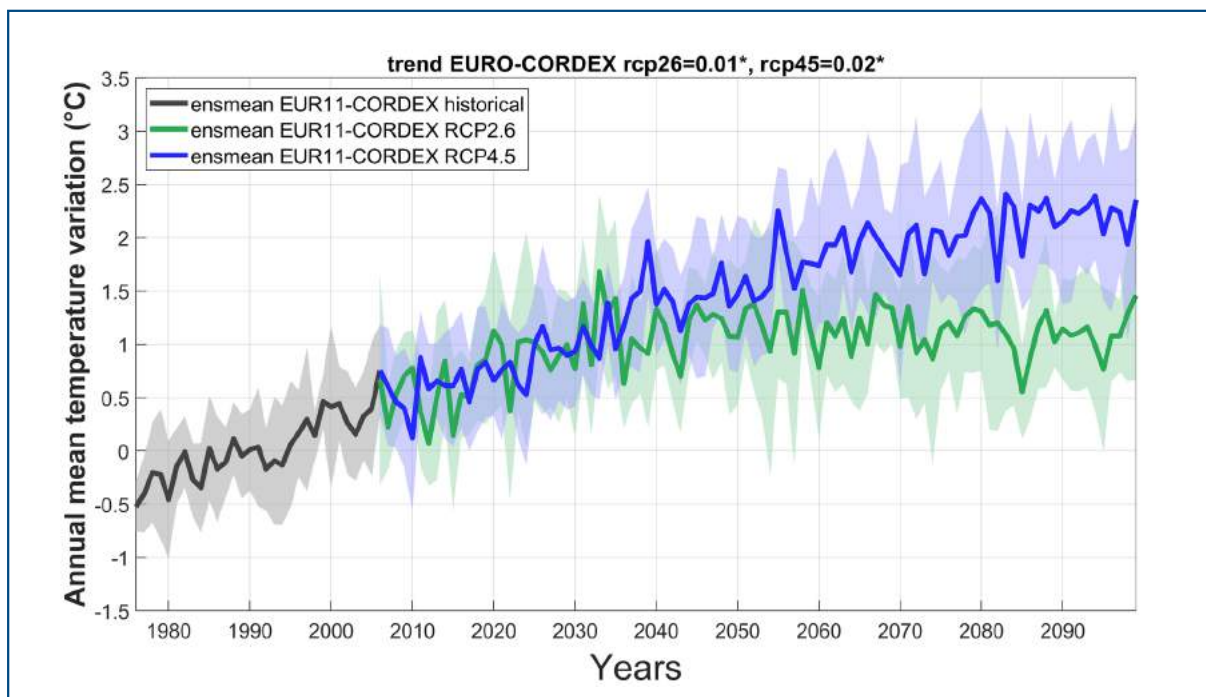
Va sottolineato che gli incrementi di temperatura sopra riportati, associati agli scenari RCP 2.6 e RCP 4.5, sono da intendersi valori di aumento medio a livello mondiale, mentre a livello europeo e italiano sono previsti essere leggermente superiori, come si evince dalle elaborazioni proposte in Figura 1 (che prendono come riferimento il periodo 1971-2000).

¹² IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri, and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Modelli climatici regionali

Per il presente studio si sono utilizzate simulazioni di modelli climatici regionali che sono parte del programma EURO-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>; Hennemuth et al., 2017; Jacob et al., 2020). L'utilizzo di modelli climatici regionali, caratterizzati da una risoluzione spaziale di circa 10 km, permette di rappresentare con maggiore accuratezza i processi climatici a scala locale rispetto a modelli di circolazione globale, caratterizzati invece da risoluzione dell'ordine di circa 50 km. È importante sottolineare che il diverso numero di modelli (9 per lo scenario RCP 2.6 e 18 per lo scenario RCP 4.5) porta talvolta a valutazioni che vedono lo scenario RCP 2.6 più estremo, in particolare su scala annuale. L'impiego di un insieme di modelli climatici regionali offre l'opportunità di valutare il valore medio (denominato spesso "ensemble mean"), ottenuto a partire dai valori dei singoli modelli che rappresentano l'ensemble, ma anche la dispersione dei singoli modelli intorno a questo valore medio. Conoscere tale dispersione è molto importante per una valutazione dell'accordo tra i modelli nella valutazione dell'indicatore e quindi stimarne l'incertezza che origina dal segnale climatico. Nel seguito, la dispersione verrà quantificata attraverso il calcolo della deviazione standard: in altre parole, per ogni punto del dominio, quanto più è basso il valore di deviazione standard tanto più sarà elevato il grado di accordo tra i modelli climatici dell'ensemble EURO-CORDEX, e viceversa (Von Trentini et al., 2019). Per ciascun indicatore analizzato, dunque, gli effetti dei cambiamenti climatici verranno rappresentati attraverso le variazioni medie attese in futuro e corredati dall'informazione relativa all'incertezza, per ciascun orizzonte temporale e per ciascuno scenario di concentrazione considerato.

Figura 1: Anomalie annuali di temperatura media (°C) su scala nazionale ottenute a partire dai modelli EURO-CORDEX, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP2.6 (in verde). Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005. La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori annuali di tutte le simulazioni considerate per ogni scenario di concentrazione; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.



Analisi delle variazioni climatiche

Le analisi delle variazioni climatiche fanno riferimento per la maggior parte a 2 differenti periodi: la finestra temporale centrata intorno al 2030¹³ (2016-2045) e quella centrata sul 2050¹⁴ (2036-2065). Le variazioni sono valutate rispetto al periodo di riferimento (1981-2010)¹⁵.

La valutazione delle variazioni di medie climatologiche e di estremi climatici, definiti in Tabella 1, è effettuata per questi due periodi, tramite l'utilizzo di modelli climatici regionali¹⁶. Lo studio del clima implica, per definizione, l'utilizzo di lunghe serie temporali; in particolare, il WMO (WMO, 2007) stabilisce in 30 anni la lunghezza minima su cui effettuare delle analisi statistiche che possano essere considerate rappresentative del clima. Per questo motivo, le variazioni del clima futuro rispetto al clima di riferimento sono ottenute confrontando periodi di 30 anni. Le variazioni climatiche sono state valutate per i due diversi scenari RCP già descritti nella sezione ("scenari di emissione e concentrazione").

È importante sottolineare che in un contesto climatico complesso (quale quello italiano) spesso gli indicatori riportano andamenti di segno opposto sulle diverse stagioni: per questo motivo di seguito, laddove ritenuto necessario, sono state eseguite anche analisi su scala stagionale in modo da evidenziare tali andamenti che, compensandosi su scala annuale, possono portare ad errori di interpretazione. Va comunque sottolineato che su scala locale la complessità dei fenomeni considerati può portare talvolta a tali risultati non facilmente intuibili.

L'analisi degli indicatori rappresentativi dei fenomeni di inondazione costiera ed esondazione fluviale presenta alcuni elementi caratteristici, in termini di finestre temporali, modelli e scenari utilizzati. Gli indicatori climatici di inondazione costiera sono stati derivati dal dataset di variazioni di livello idrico disponibile all'interno della piattaforma Copernicus C3S¹⁷. In particolare, sulla base della disponibilità dei dati, vengono qui riportate le analisi climatiche per la finestra temporale 2071-2100 utilizzando lo scenario di concentrazione RCP 4.5.

Gli indicatori di esondazione fluviale (identificati dagli acronimi TR20FD e TR100FD) sono stati valutati a partire dalle proiezioni di portata fluviale media giornaliera ottenute dall'applicazione di due modelli idrologici che utilizzano in input proiezioni di precipitazione derivanti da un ristretto ensemble di modelli climatici, sui quali è stata effettuata una operazione di correzione dell'errore sistematico tramite il confronto con i dati osservati¹⁸. Le proiezioni di portata giornaliera sono disponibili sotto forma di dataset grigliato, alla risoluzione spaziale di 5 km.

¹³ Tale finestra temporale di seguito è talvolta denominata 2030s per brevità

¹⁴ Tale finestra temporale di seguito è talvolta denominata 2050s per brevità

¹⁵ L'utilizzo di finestre temporali di 30 anni è consistente con la letteratura di riferimento e considerata adeguata ad analisi statistiche sulle variazioni del clima (WMO,2007)

¹⁶ Con tale terminologia si intende che gli indicatori riportati in Tabella 1 sono valutati in ciascuno dei due trentenni futuri considerati, centrati intorno all'anno 2030 (2016-2045) e 2050 (2036-2065), in termini di valore medio sul trentennio. Per quanto riguarda invece gli indicatori basati sul tempo di ritorno, essi sono estrapolati da un'analisi statistica effettuata sul campione trentennale. Successivamente, il valore dell'indicatore così ottenuto viene confrontato con il valore corrispondente al clima di riferimento, calcolato sul periodo 1981-2010.

¹⁷ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-water-level-change-indicators?tab=overview>

¹⁸ Per maggiori dettagli sul dataset e sulla correzione apportata si veda <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-hydrology-variables-derived-projections?tab=overview>. Si specifica che tale operazione di correzione dell'errore sistematico (bias) non è stata effettuata per la valutazione di tutti gli altri indicatori riportati in questo lavoro.

Confronto con gli scenari di concentrazione aggiornati (AR6)

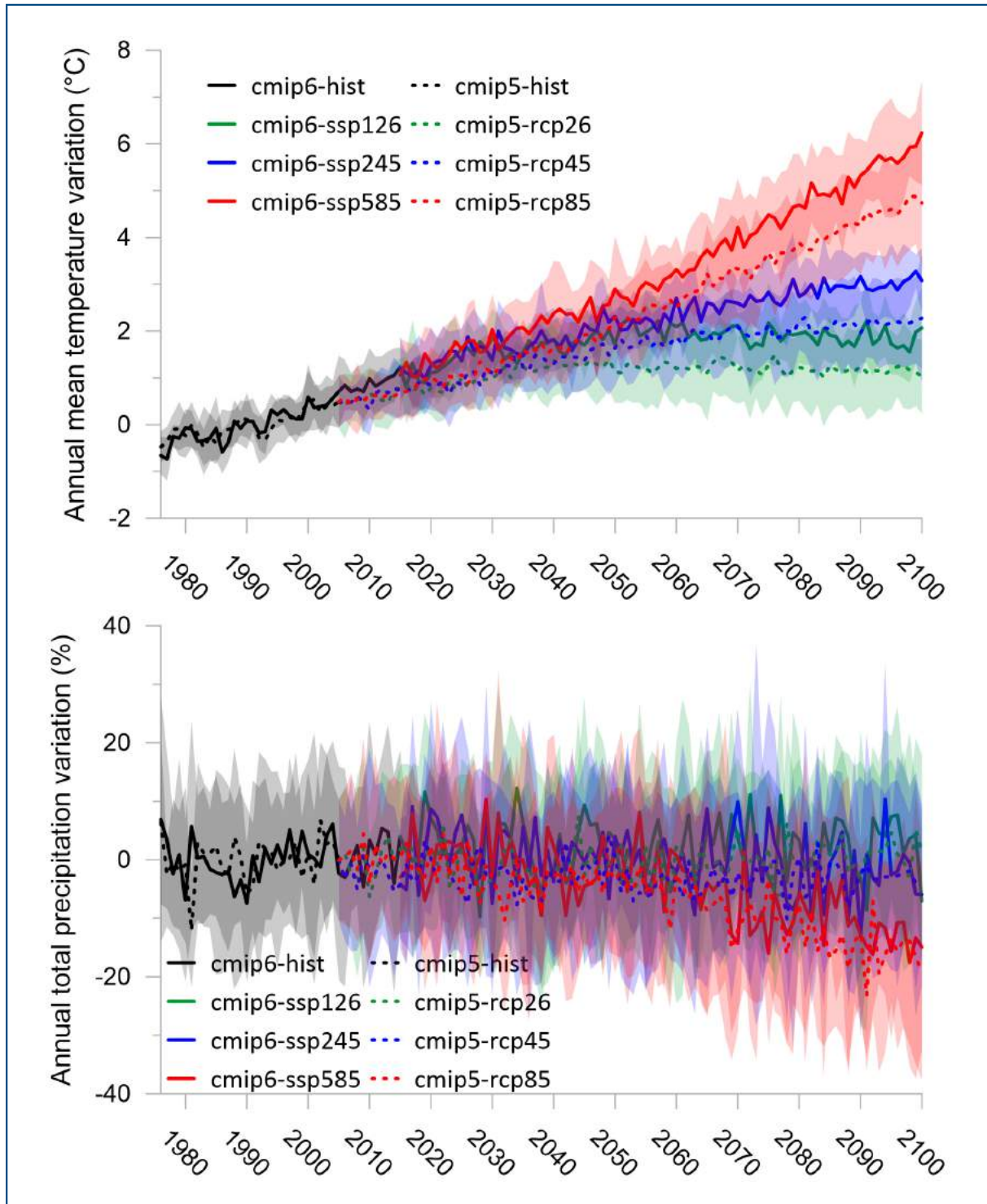
Recentemente sono state prodotte simulazioni di modelli globali di circolazione sulla base di alcuni dei nuovi scenari di concentrazione definiti nell'AR6 (Sesto rapporto di valutazione dei cambiamenti climatici prodotto dell'IPCC) e utilizzati nel progetto CMIP6 (Coupled Model Inter-comparison Project Phase 6)¹⁹. Questa nuova serie di scenari è guidata da diverse ipotesi socioeconomiche, i cosiddetti "Percorsi socioeconomici condivisi" (SSP), sulla cui base è ora possibile effettuare una valutazione dei cambiamenti climatici attesi per la fine del secolo. I principali scenari aggiornati sono chiamati SSP 1-2.6, SSP 2-4.5, SSP 4-6.0 e SSP 5-8.5. Gli SSP sono stati sviluppati per integrare gli scenari RCP definiti in AR5, e basati su cinque «narrazioni» che descrivono futuri alternativi socioeconomici. In particolare, nella Figura 2 vengono mostrati i risultati ottenuti confrontando lo scenario RCP 2.6 con SSP 1-2.6 (definito scenario di sviluppo sostenibile) e lo scenario RCP 8.5 con quello che prevede le emissioni maggiori in AR6, ovvero lo scenario SSP 5-8.5 (scenario che rappresenta un'economia mondiale in crescita fortemente dipendente dai combustibili fossili). Quest'ultimo scenario è altamente improbabile e viene qui considerato solo per mostrare la corrispondenza tra scenari RCP e SSP.

Purtroppo, non sono ancora disponibili simulazioni di modelli climatici **regionali** con i nuovi scenari proposti nell'IPCC AR6. Pertanto, nel presente documento saranno mostrate analisi unicamente ottenute a partire dagli scenari definiti dall'AR5 (Quinto rapporto di valutazione dei cambiamenti climatici prodotto dell'IPCC) e utilizzati nel progetto CMIP5 (Coupled Model Inter-Comparison Project Phase 5)²⁰. Tuttavia, il margine di errore è molto piccolo, come evidenziato nella Figura 2 che confronta le traiettorie future di temperatura superficiale e precipitazione annuale valutate sul territorio nazionale utilizzando i modelli globali disponibili nei progetti CMIP5 e CMIP6, al variare dei diversi scenari.

¹⁹ <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>

²⁰ <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

Figura 2: Anomalie annuali di temperatura superficiale e di precipitazione cumulata su scala nazionale ottenute a partire dai dati simulati dei modelli globali di circolazione elaborati nei progetti CMIP5 e CMIP6. Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005. La linea spessa scura (nel caso dei modelli CMIP5) e il tratteggio (nel caso dei modelli CMIP6) indicano la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori annuali di tutte le simulazioni considerate per ogni scenario di concentrazione; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.



3.1.2 Variazioni attese del pericolo climatico

La Figura 3 riporta le variazioni annuali per la precipitazione totale e la temperatura media su scala annuale. Tale analisi evidenzia **un generale aumento delle temperature per entrambi gli scenari considerati** (RCP 2.6 e RCP 4.5), più pronunciato nel periodo a medio termine (2050s) e, considerando lo scenario RCP 4.5, con un incremento fino a 2°C. Le variazioni in media e la dispersione dei modelli attorno al valore medio (maggior incertezza tra i modelli nella valutazione dell'indicatore) appaiono leggermente maggiori per le aree del nord Italia (Figura 3).

Per quanto riguarda le precipitazioni, invece, le proiezioni indicano per il sud Italia, in particolare per lo scenario RCP 4.5, una diminuzione delle precipitazioni complessive annue. Nello specifico, lo scenario RCP 4.5 proietta una generale riduzione nel sud Italia e in Sardegna (fino al 14% nel 2050s) e un leggero aumento nelle aree geografiche Nord-Ovest e Nord-Est (Figura 3). Lo scenario RCP 2.6, invece, proietta un aumento rilevante delle precipitazioni sul nord Italia e una lieve riduzione al sud. In generale, la stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura essendo le precipitazioni già soggette a forti variazioni naturali (MATTM, SNACC, Rapporto sullo stato delle conoscenze, 2014). Come mostrato in Figura 3, si osserva infatti una maggiore dispersione (espressa in termini di deviazione standard) intorno ai valori medi per le variazioni di precipitazione rispetto a quelle di temperatura. Tali incertezze appaiono particolarmente pronunciate nel nord Italia, secondo lo scenario RCP 2.6.

Figura 3: Variazioni climatiche annuali delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate medie per i periodi 2016-2045 (2030s) e 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6 e RCP 4.5. I valori sono espressi in termini di media e deviazione standard (dispersione attorno al valore medio) calcolati sull'insieme dei modelli climatici regionali.

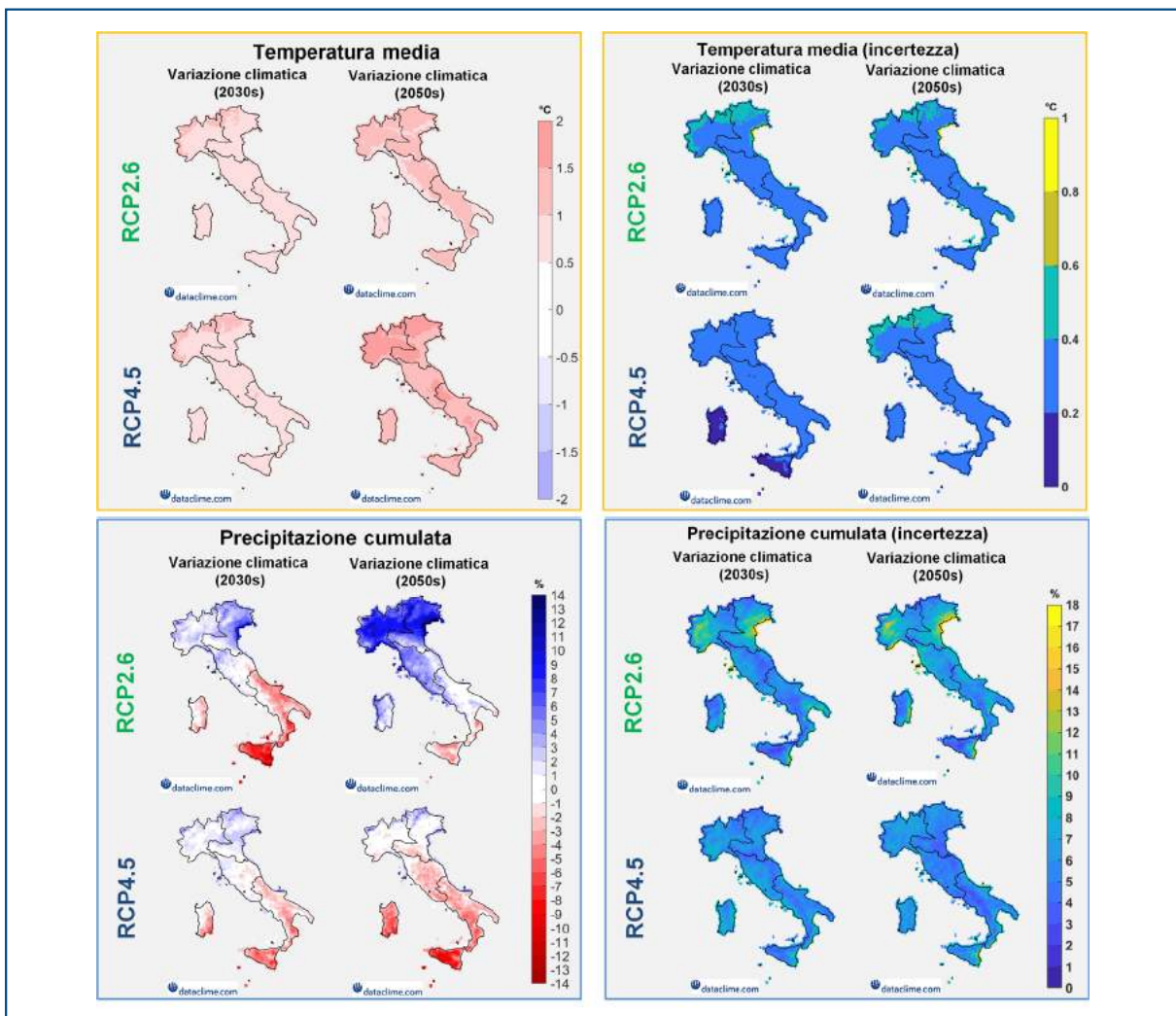


Tabella 2: Nelle tabelle nella prima colonna è riportata la variazione per le diverse macroaree identificate delle variazioni di temperatura media e precipitazione su scala stagionale (DJF: inverno; MAM: primavera; JJA: estate; SON: autunno) per il periodo centrato su 2050 (2036-2065) e 2030 (2016-2045); nella seconda colonna viene invece riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per la temperatura media e precipitazione stagionale riportate nella prima colonna. I colori della tabella sono da intendersi in modo qualitativo: per variazione di precipitazione il colore dal blu chiaro indica variazioni basse di segno positivo fino ad arrivare al blu intenso che indica le variazioni maggiori con segno positivo. Per la variazione di temperatura media il rosa indica le variazioni minori mentre il colore rosso quelle di intensità maggiore. Per l'incertezza il verde indica valori bassi di incertezza mentre rispettivamente arancione e rosso valori medi e più elevati di incertezza.

Variazione della precipitazione stagionale (%)										Stima dell'incertezza per la precipitazione stagionale (%)											
		RCP2.6				RCP4.5						RCP2.6				RCP4.5					
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON			DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON		
Nord-Ovest	2030s	1	2	-2	6	7	0	-1	0		9	5	7	10	9	8	6	9		2030s	
	2050s	9	1	3	3	12	-3	-6	0		10	8	7	12	11	6	9	9		2050s	
Nord-Est	2030s	4	3	-5	9	8	0	-1	1		8	6	10	10	10	8	7	8		2030s	
	2050s	8	2	1	3	8	-1	-7	2		11	6	8	10	7	8	10	8		2050s	
Centro	2030s	0	-1	-7	8	4	-1	-7	2		10	3	11	8	10	6	10	11		2030s	
	2050s	4	-1	-1	3	3	-5	-14	2		10	5	13	9	6	7	12	9		2050s	
Sud	2030s	-4	-5	-7	4	-1	-3	-8	4		8	3	15	4	6	7	13	10		2030s	
	2050s	0	-5	-2	4	-3	-6	-12	5		8	6	16	9	4	7	16	10		2050s	
Isole	2030s	-6	-9	-1	3	-3	-7	-2	1		8	5	14	5	6	8	16	8		2030s	
	2050s	0	-9	6	3	-5	-11	-10	0		8	8	22	8	4	9	17	8		2050s	
Variazione della temperatura stagionale (°C)										Stima dell'incertezza per la temperatura stagionale (°C)											
		RCP2.6				RCP4.5						RCP2.6				RCP4.5					
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON			DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON		
Nord-Ovest	2030s	1	0.7	1.1	1	1.1	0.8	1.1	1		0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4		2030s	
	2050s	1.1	0.8	1.1	1	1.6	1.2	1.9	1.5		0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4		2050s	
Nord-Est	2030s	0.9	0.7	1.1	0.9	1	0.8	1.1	0.9		0.3	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4		2030s	
	2050s	1	0.8	1	1.4	1.6	1.2	1.9	1.4		0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4		2050s	
Centro	2030s	0.7	0.7	1.1	1	0.9	0.7	1.2	0.9		0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.4		2030s	
	2050s	0.8	0.8	1.1	0.9	1.4	1.1	2	1.4		0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4		2050s	
Sud	2030s	0.7	0.8	1.1	0.9	0.9	0.7	1.2	0.8		0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3		2030s	
	2050s	0.8	0.8	1.1	0.9	1.4	1.2	2	1.3		0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3		2050s	
Isole	2030s	0.6	0.7	1	0.9	0.8	0.7	1.2	0.8		0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3		2030s	
	2050s	0.8	0.8	1.1	0.9	1.3	1.2	1.9	1.3		0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3		2050s	

In termini di variazioni stagionali (come riportato in tabella 2) per la precipitazione, è atteso per le aree geografiche centro-nord un aumento delle precipitazioni invernali in entrambi gli scenari considerati, e in maniera più pronunciata per lo scenario RCP 4.5 (+10% rispetto al periodo di riferimento).

Al contrario, è attesa una riduzione generale delle precipitazioni primaverili ed estive in particolare per le aree del centro-sud e, specificatamente per lo scenario RCP 4.5 nel trentennio centrato intorno al 2050 (2036-2065, o in breve "2050s"). In termini di temperatura, è atteso un generale aumento con intensità crescente nel periodo denominato 2050s, e maggiore se si considera lo scenario RCP 4.5. Considerando

entrambi gli scenari, l'incremento maggiore è atteso in estate per tutte le aree geografiche; in particolare con lo scenario RCP 4.5 nel 2050s, si raggiunge mediamente un aumento dei valori di temperatura anche superiore a 2°C in estate, per le aree del centro-sud.

3.1.3 Variazione negli estremi climatici

I cambiamenti climatici hanno effetti alteranti sul regime idrometeorologico e, dunque, sulla disponibilità idrica per i sistemi di approvvigionamento e le reti di distribuzione agricole, urbane e industriali. Le proiezioni climatiche restituiscono andamenti crescenti per la temperatura e decrescenti per le precipitazioni (in particolare per il sud Italia).

Le proiezioni climatiche indicano anche un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi atmosferici estremi (piene, siccità e ondate di caldo) a cui corrisponderà un'accelerazione del ciclo idrologico con l'aumento delle portate invernali, la diminuzione di quelle estive, e, nei bacini alpini e subalpini, l'anticipo dello scioglimento nivale e quindi del picco estivo e un parziale sostegno delle portate estive tramite fusione glaciale fino a poco oltre metà secolo (Gobiet et al., 2014).

Tra questi fenomeni, quelli con un maggiore impatto potenziale sulle risorse idriche e sulle infrastrutture che le trasportano possono essere individuati tra quelli considerati in letteratura per la formulazione di indici di estremi climatici (Mysiak et al., 2018): (i) ondate di caldo e siccità (periodi con prolungati picchi di temperatura e carenza di pioggia) (Coppola et al., 2018), (ii) ondate di freddo e di gelo (Coppola et al., 2018), (iii) eventi estremi di precipitazione, con conseguenti piene e allagamenti (Diodato et al., 2019), e (iv) frane e colate detritiche (Libertino et al., 2019).

L'evoluzione attesa per questi fenomeni in relazione ai cambiamenti climatici determinerà un aumento della componente di pericolosità del rischio legato ai diversi tipi di infrastrutture. A tal scopo, le analisi dei cambiamenti attesi in precipitazione e temperatura sono state integrate con una valutazione delle variazioni di indicatori di estremi climatici, presentati nella Tabella 1 e tipicamente utilizzati per comprendere l'evoluzione di specifici pericoli climatici. Di seguito viene riportata una sintesi dei risultati restituiti da tale analisi.

Ondate di caldo e incendi

Le proiezioni climatiche riportano su tutto il territorio nazionale una riduzione generale delle ondate di freddo, con variazioni più pronunciate nelle regioni del nord Italia. Al contrario, per le ondate di caldo è invece atteso un aumento generale che interessa tutta la penisola, con variazioni più sostanziali sul versante tirrenico e nell'area alpina (WSDI, Figura 4). Sia per le ondate di freddo che per quelle di caldo, le variazioni maggiori si registrano per l'orizzonte temporale 2050s nello scenario RCP4.5. Per quanto attiene l'indicatore utilizzato per la siccità esso presenta un lieve aumento su buona parte del territorio con limitate differenze nel segnale climatico per le differenti finestre temporali e scenari di concentrazione considerati (SPI-3, Figura 4).

Per quanto attiene gli impatti dei cambiamenti climatici sul regime degli incendi, si vede un incremento su tutta l'area nazionale (FWI, Figura 4) con un forte aumento previsto nel 2050s nello scenario RCP 4.5.

Tempeste di vento

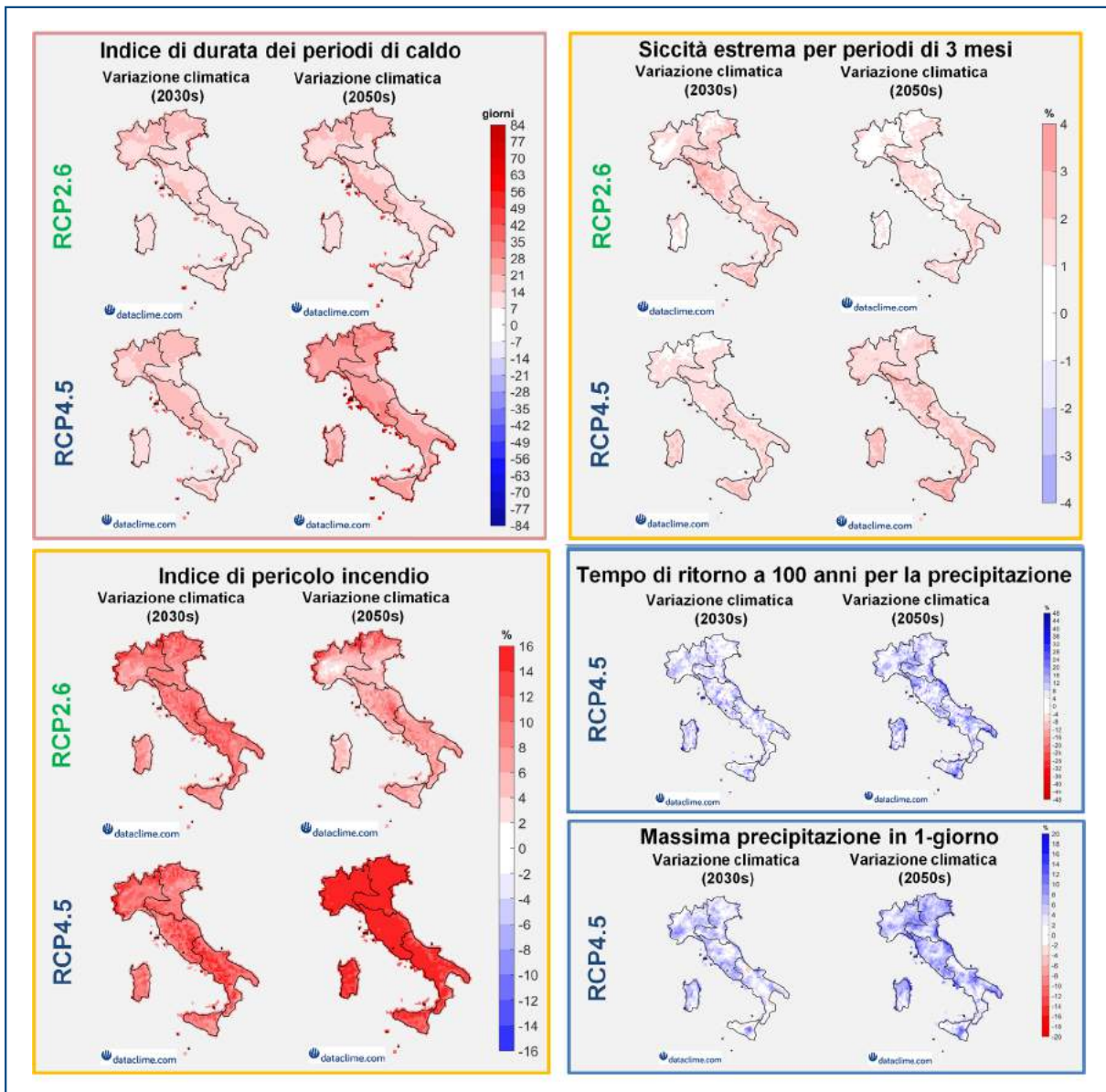
La criticità delle tempeste di vento mostra un lieve aumento (fino al 16% per lo scenario RCP 4.5 e il periodo centrato sul 2050) per entrambi gli scenari e periodi futuri su tutte le aree considerate; tuttavia, il

segnale è caratterizzato da un'elevata incertezza (risultati non mostrati). Questo suggerisce la necessità di approfondimenti con analisi a scala locale anche supportate dall'utilizzo di dati osservati che possano individuare eventuali errori sistematici dei modelli climatici.

Precipitazioni intense

L'analisi delle variazioni attese per quanto attiene diverse caratteristiche delle precipitazioni intense è di grande interesse per lo studio di impatti quali le esondazioni fluviali, gli allagamenti urbani e i dissesti geo-idrologici. Dall'analisi dei diversi indicatori considerati emerge come i modelli climatici mostrano un generale incremento dei valori massimi di precipitazione giornaliera (RX1DAY) e degli eventi estremi di precipitazione (TR100PR) su tutto il territorio nazionale e in maniera più evidente per periodo 2050s nello scenario RCP4.5 (TR100PR e RX1DAY, Figura 4). Tali variazioni appaiono maggiori nel periodo invernale specialmente per le aree geografiche del centro-nord (Figura 5).

Figura 4: Variazioni climatiche annuali per alcuni degli indicatori climatici riportati in Tabella 1 per i periodi 2016-2045 (2030s) e 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6 e RCP 4.5.



3. GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA

Figura 5: Variazioni climatiche su scala invernale degli indicatori climatici RX1DAY e TR100PR per i periodi 2016-2045 (2030s) e 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6 e RCP 4.5.

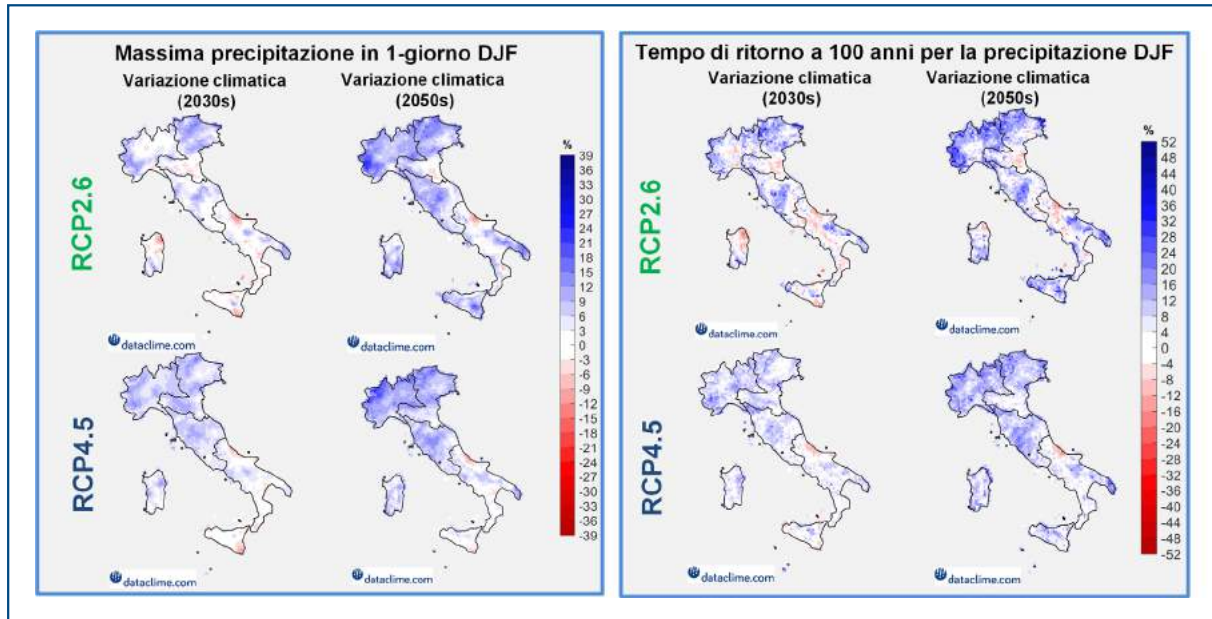


Tabella 3: Nelle diverse tabelle sono riportate le variazioni annuali per alcuni degli indicatori analizzati e sulle diverse macro-aree identificate per il periodo centrato su 2050 (2036-2065) e 2030 (2016-2045); nella seconda colonna di ogni tabella viene invece riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per la temperatura media e precipitazione stagionale riportate nella prima colonna. I colori della tabella sono da interpretarsi in modo qualitativo: colori più intensi indicano variazioni maggiori mentre colori tenui indicano variazioni di intensità minore. Per la scala dell'incertezza si faccia riferimento alla Tabella 2.

Indice di durata dei periodi di caldo				Siccità estrema per periodi di 3 mesi			
Macro-area	Variazione climatica (giorni)		Periodo	Macro-area	Stima dell'incertezza (giorni)		Periodo
	RCP2.6	RCP4.5			RCP2.6	RCP4.5	
Nord-Ovest	15	15	2030s	Nord-Ovest	7	5	2030s
	15	26	2050s		6	10	2050s
Nord-Est	14	15	2030s	Nord-Est	7	5	2030s
	14	26	2050s		6	9	2050s
Centro	13	15	2030s	Centro	6	5	2030s
	15	27	2050s		6	8	2050s
Sud	11	13	2030s	Sud	5	4	2030s
	13	23	2050s		5	6	2050s
Isole	11	13	2030s	Isole	4	3	2030s
	13	23	2050s		4	7	2050s

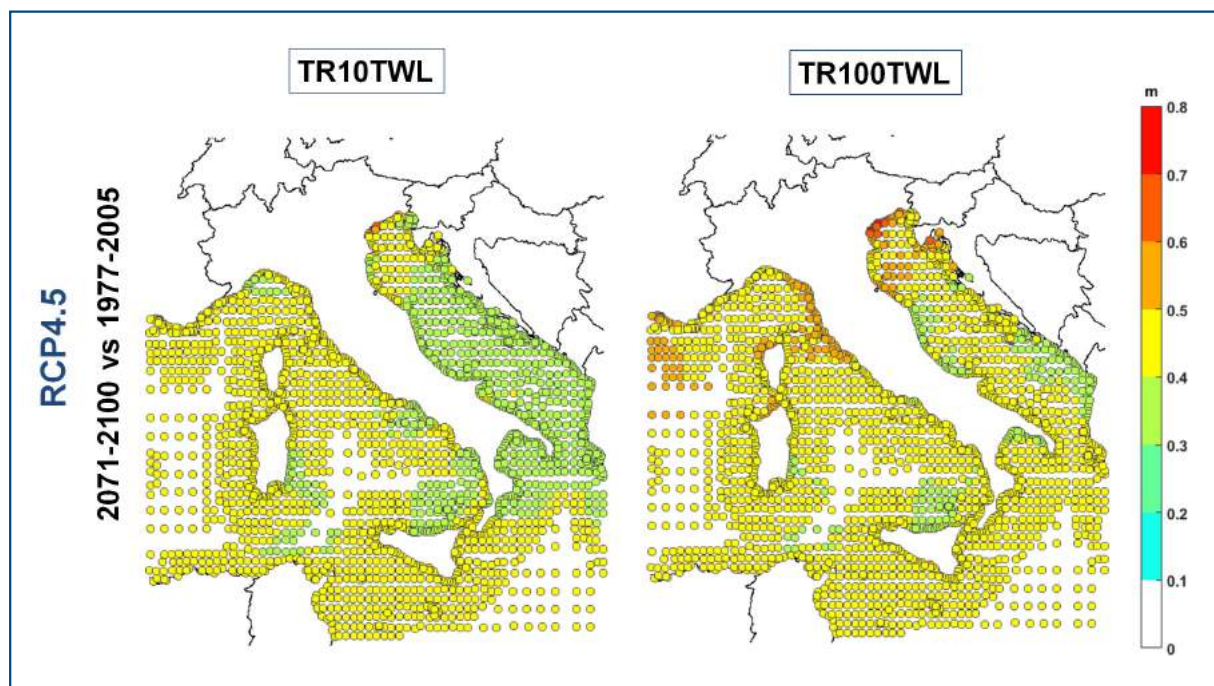
Indice di pericolo incendio				Tempo di ritorno a 100 anni per la precipitazione			
Macro-area	Variazione climatica (%)		Periodo	Macro-area	Stima dell'incertezza (%)		Periodo
	RCP2.6	RCP4.5			RCP2.6	RCP4.5	
Nord-Ovest	9	10	2030s	Nord-Ovest	6	5	2030s
	8	18	2050s		8	8	2050s
Nord-Est	9	10	2030s	Nord-Est	8	6	2030s
	8	18	2050s		7	8	2050s
Centro	9	11	2030s	Centro	11	7	2030s
	8	18	2050s		10	10	2050s
Sud	9	11	2030s	Sud	5	6	2030s
	8	15	2050s		8	9	2050s
Isole	7	9	2030s	Isole	5	6	2030s
	6	13	2050s		9	10	2050s

Inondazioni costiere

Per quanto concerne le inondazioni costiere, gli effetti dei cambiamenti climatici sono stati valutati considerando l'innalzamento atteso del livello del mare, tenendo inoltre conto dei fenomeni di mareggiata con periodo di ritorno pari a dieci e a cento anni. Tale indicatore (denominato con gli acronimi TR10TWL e TR100TWL per i due diversi tempi di ritorno considerati) è messo a disposizione, in via semplificata, all'interno della piattaforma Copernicus C3S²¹.

In questo caso, in base alla disponibilità del dato, è stato possibile valutare la variazione climatica solo per il percorso RCP 4.5 e per il periodo futuro 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1977-2005. Come mostrato in Figura 6, le variazioni dei percentili corrispondenti ai tempi di ritorno di 10 e 100 anni per il livello idrico complessivo indicano un aumento generale. Nello specifico, la variazione dell'indice che tiene in conto fenomeni di mareggiata con periodo di ritorno pari a 10 anni (TR10TWL) rispetto alla condizione climatica attuale risulta di circa +50 cm nel Mar Tirreno e nell'alto Adriatico mentre risulta di circa +40 cm nel resto del mar Adriatico. Nel caso invece dei fenomeni di mareggiata più estremi (valutati tramite l'indice TR100TWL che tiene in conto i fenomeni di mareggiata con periodo di ritorno pari a 100 anni), si osserva un incremento generale rispetto alla condizione climatica attuale dell'ordine di +50 cm fino a +80 cm specialmente nell'alto Adriatico, nel Mar Ligure e nell'alto Tirreno e sulle coste settentrionali della Sardegna.

Figura 6: Variazioni degli indicatori relativi alle inondazioni costiere TR10TWL e TR100TWL valutati per il periodo 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1977-2005 per lo scenario RCP4.5 attraverso il dataset "Water level change indicators for the European coast from 1977 to 2100 derived from climate projections" disponibile all'interno della piattaforma Copernicus C3S.



²¹ Dataset "Water level change indicators for the European coast from 1977 to 2100 derived from climate projections" (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-water-level-change-indicators?tab=overview>)

Esondazioni fluviali

Per quanto attiene gli impatti sui fenomeni di esondazione fluviale, essi sono stati esplorati analizzando le variazioni delle portate giornaliere massime annuali con tempo di ritorno pari a 100 anni (TR100FD) in [m³/s], fornite all'interno della piattaforma Copernicus C3S²² per il periodo di riferimento 1981-2010. L'analisi in frequenza di tale indicatore, valutato sul periodo di riferimento e per i due orizzonti temporali 2030s e 2050s sull'intero territorio nazionale, sotto lo scenario di concentrazione RCP 4.5, mostra che mediamente sul territorio non sono attesi significativi cambiamenti nel valore dell'indicatore, a riprova della complessa interazione tra i diversi termini del bilancio idrologico e dell'effetto diversificato su di essi dei cambiamenti climatici. Tuttavia, a livello locale, le stesse analisi mostrano che sono da attendersi in futuro maggiori porzioni di territorio, rispetto alle condizioni attuali, caratterizzate da valori di variazione delle portate giornaliere massime annuali con tempo di ritorno pari a 100 anni (valutati tramite TR100FD) particolarmente elevati. Le aree in cui è previsto un aumento futuro nei valori di tale indicatore sono per lo più concentrate sul versante adriatico. Non sono attese invece particolari differenze tra le anomalie relative al trentennio 2030s e quelle relative al trentennio 2050s.

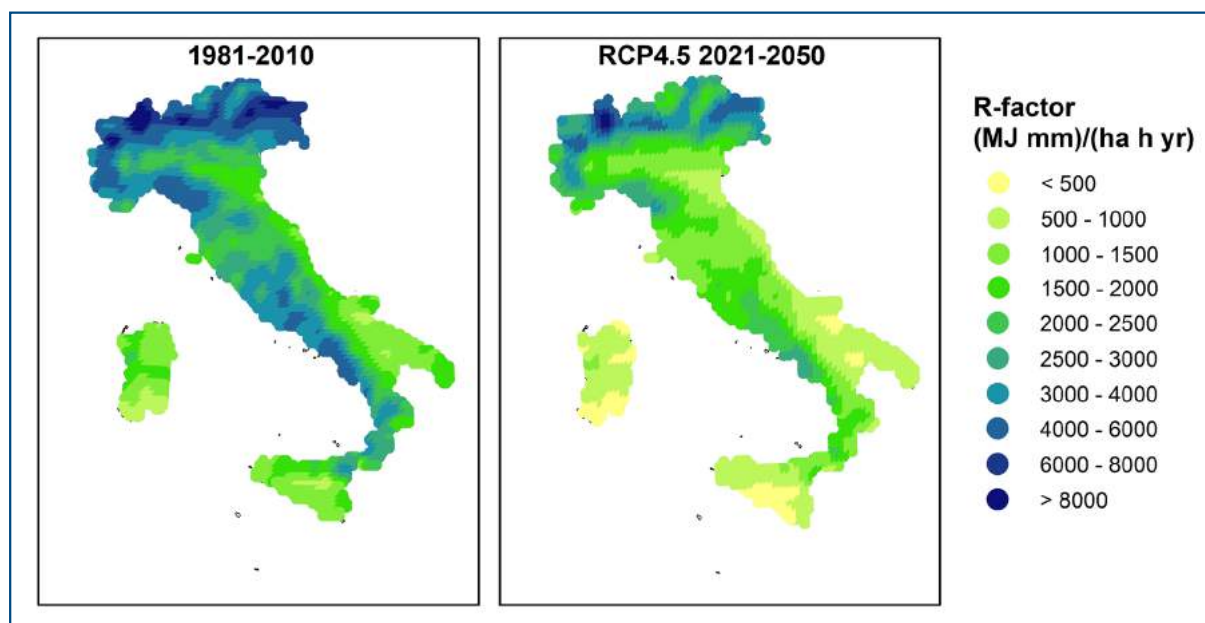
Dissesto geologico, idrologico ed idraulico

Per quanto attiene infine la tematica del dissesto geologico, idrologico ed idraulico, la Figura 7 mostra gli scenari di erosività della pioggia attesi per l'orizzonte temporale 2021-2050 sotto lo scenario di concentrazione RCP 4.5. L'erosività della pioggia, o R-factor, è una delle variabili principali che concorrono alla perdita di suolo per effetto dell'erosione in occasione di eventi di pioggia intensi. Essa può dare quindi indicazioni su larga scala legate ai pericoli di dissesto geo-idrologico che possono insistere sulle infrastrutture, in particolare per le reti stradali e ferroviarie, che presentano ampi tratti insistenti su aree non urbanizzate. I dati rappresentati in Figura 7 sono disponibili nella piattaforma Copernicus C3S²³. In tale dataset, l'erosività viene valutata attraverso modelli empirici semplificati (Padulano et al., 2021a) attraverso i quali essa risulta direttamente proporzionale alla precipitazione media annua. Tale dipendenza è riconosciuta da molti autori (Benavidez et al., 2018) ed è largamente impiegata per la stima dei valori medi annui di erosività, vista la generale indisponibilità di dati di precipitazione ad alta risoluzione temporale sul territorio nazionale. Come mostrato in Figura 7, l'erosività tende a diminuire per lo scenario considerato in coerenza con la diminuzione attesa della precipitazione media annua. Va comunque considerato che altri fattori, trascurati dai modelli empirici, potrebbero esercitare un'influenza sull'erosività su una scala più locale, come ad esempio gli eventi estremi di pioggia. Inoltre, la diminuzione complessiva di R-factor su base annua potrebbe celare un aumento locale su base stagionale.

²² Dataset "Hydrology related climate impact indicators from 1970 to 2100 derived from bias adjusted European climate projections" (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-hydrology-variables-derived-projections?tab=overview>)

²³ Dataset "Soil erosion indicators for Italy from 1981 to 2080" (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-soil-erosion?tab=overview>)

Figura 7: Distribuzione dell'erosività della pioggia (R-factor) sul territorio italiano per il periodo di riferimento 1981-2010 e per l'orizzonte temporale 2021-2050 sotto lo scenario RCP4.5 (ensemble di modelli climatici). R-factor è ottenuto a partire da modelli empirici (Padulano et al., 2021a)



Gli impatti dei cambiamenti climatici sulle città. Due "case study"

BOX 1 - L'impatto del cambiamento climatico sui fenomeni di allagamento urbano: il caso di Napoli

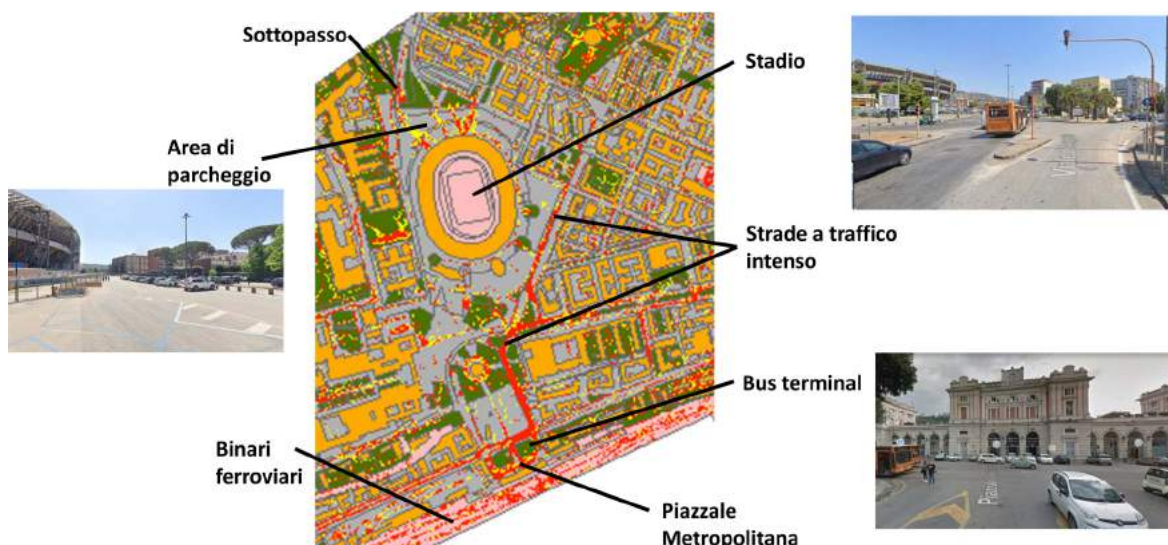
Gli ambienti urbani sono particolarmente esposti a rischi climatici elevati, poiché, in tali contesti, si hanno tipicamente una più alta densità di beni economici (e.g. infrastrutture, attività lavorative) e di popolazione potenzialmente esposti al pericolo climatico. Nelle aree urbane, inoltre, la severità di certi fenomeni, quali le ondate di calore e gli allagamenti, tende ad amplificarsi particolarmente a causa dell'effetto di isola urbana di calore e dell'elevata estensione delle superfici impermeabili. Gli allagamenti urbani si verificano quando, in seguito a intense precipitazioni, la rete di drenaggio urbana non riesce a far defluire l'afflusso meteorico, anche a seguito di possibili ostruzioni o sovraccarichi del sistema fognario cittadino. I fenomeni di allagamento possono mettere in serio rischio le zone urbanizzate e le infrastrutture insistenti sul territorio cittadino, e sono al contempo tra gli eventi più complessi da modellare data la forte incertezza che caratterizza le precipitazioni intense e la rapidità con cui si sviluppano i processi di allagamento (spesso denominati *flash floods*).

Uno studio pilota sull'area di Napoli ha dimostrato che le proiezioni climatiche al 2100, fornite da un ensemble di circa 20 modelli climatici regionali inclusi nell'iniziativa EURO-CORDEX, prevedono un aumento della frequenza delle piogge estreme per tutte le durate inferiori al giorno (Padulano et al., 2019). Ad esempio, nello scenario di concentrazione RCP 4.5, eventi orari di precipitazione che, secondo il clima corrente, si verificano in media una volta ogni 10 anni, potrebbero verificarsi in media una volta ogni 5 anni entro la fine del secolo. Analogamente, eventi che hanno una frequenza attuale di 200 anni probabilmente aumenteranno in frequenza verificandosi in media una volta ogni 50 anni circa.

Valutare come eventi di precipitazione più intensa o più frequente si traducono in fenomeni di allagamento è un'operazione particolarmente complessa, poiché la modellazione di tali processi richiede scale spaziali e temporali estremamente fini per riuscire a rappresentare ad un livello di dettaglio adeguato elementi determinanti quali la morfologia del contesto urbano e le infrastrutture di drenaggio. Negli ultimi anni, l'incremento delle capacità di calcolo a disposizione, e la conseguente possibilità di usufruire di modelli climatici con risoluzioni sufficientemente alte per studi di dettaglio dei fenomeni di allagamento urbano, stanno offrendo nuove e promettenti strumenti per l'analisi di questi fenomeni in un contesto di cambiamento climatico. Un esempio alla scala europea è fornito da un dataset disponibile all'interno della piattaforma Copernicus C3S²⁴, che mette a disposizione, per 20 città europee, valutazioni sui rischi originati da eventi estremi di pioggia.

Un'analisi relativa ad un quartiere densamente popolato della Città di Napoli mostra i risultati dell'applicazione di un modello semplificato di allagamento superficiale, ad alta risoluzione spaziale (2m x 2m), relativo ad un evento di pioggia di durata oraria associato ad una frequenza media, secondo il clima corrente, di 10 anni. Come mostrato in Figura 8, questo tipo di analisi può avere molteplici applicazioni, tra cui la valutazione delle condizioni di pericolosità (di solito distinta in alta, media e bassa) per la stima dei rischi (Padulano et al., 2021b).

Figura 8: Analisi di allagamento del quartiere Fuorigrotta (Napoli) per un evento piovoso di durata oraria e periodo di ritorno 10 anni (pericolosità elevata in rosso, pericolosità media in giallo, pericolosità bassa non mostrata in figura; il verde indica le aree verdi, il grigio le aree impermeabili e in arancione gli edifici) mediante il modello di allagamento CADDIES Caflood (Ghimire et al., 2013). Immagine presentata in occasione della on-line conference ClimRisk2020 (<https://www.sisclima.it/wp-content/uploads/2020/10/Final-programme-2020.pdf>).



Tale tipo di analisi è particolarmente indicato per la quantificazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture urbane, quali ad esempio la rete stradale e ferroviaria. Per quanto attiene le reti drenaggio, studi di dettaglio possono essere utili a verificare il funzionamento del sistema in un contesto di cambiamenti climatici e la eventuale necessità di aumentarne l'efficacia attraverso, ad esempio, l'inserimento di misure di adattamento quali infrastrutture verdi e *Nature Based Solutions*.

²⁴ Dataset "Pluvial Flood Risk Assessment in Urban Areas" (<https://climate.copernicus.eu/pluvial-flood-risk-assessment-urban-areas>)

BOX 2 - Eventi di temperatura estrema in relazione ai sistemi infrastrutturali: il caso di Milano e Roma

Durante l'ultimo decennio (2011-2020), le temperature hanno superato quelle del più recente periodo caldo plurisecolare (circa 6500 anni fa): da 0,2°C a 1°C rispetto al 1850-1900 (IPCC, 2021). L'aumento nella frequenza e della gravità degli eventi di temperatura estrema è diventato sempre più evidente. Tali variazioni climatiche comportano impatti negativi non solo sui sistemi naturali, ma anche sui sistemi antropici (Scorzini et al., 2018), portando ad un incremento significativo dei danni in una molteplicità di sistemi urbani. In Italia, la probabilità di riscontrare danni per effetto degli eventi estremi derivanti dai cambiamenti climatici è aumentata del 9% negli ultimi vent'anni (Spano et al., 2020). Per questi motivi, la comunità scientifica presta ormai sempre più attenzione all'analisi degli impatti degli eventi estremi anche sui sistemi infrastrutturali e alla loro resilienza operativa, che è ad oggi una delle sfide più impegnative sia per il governo sia per la società. I malfunzionamenti e le interruzioni delle infrastrutture, così come i costi dello sviluppo e della manutenzione, sono infatti considerati di rilevanza economica e sociale primaria (Kiel et al., 2016).

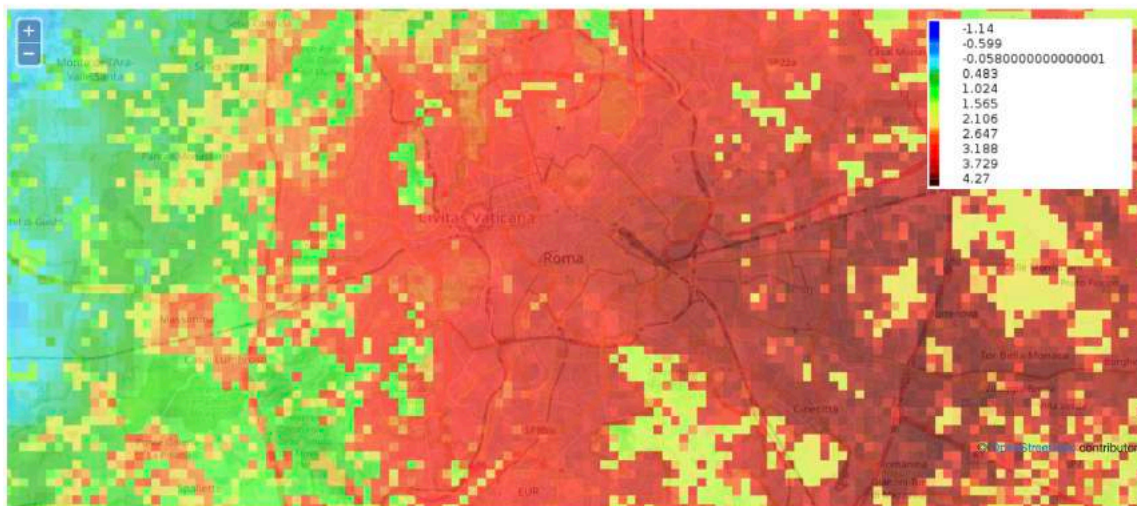
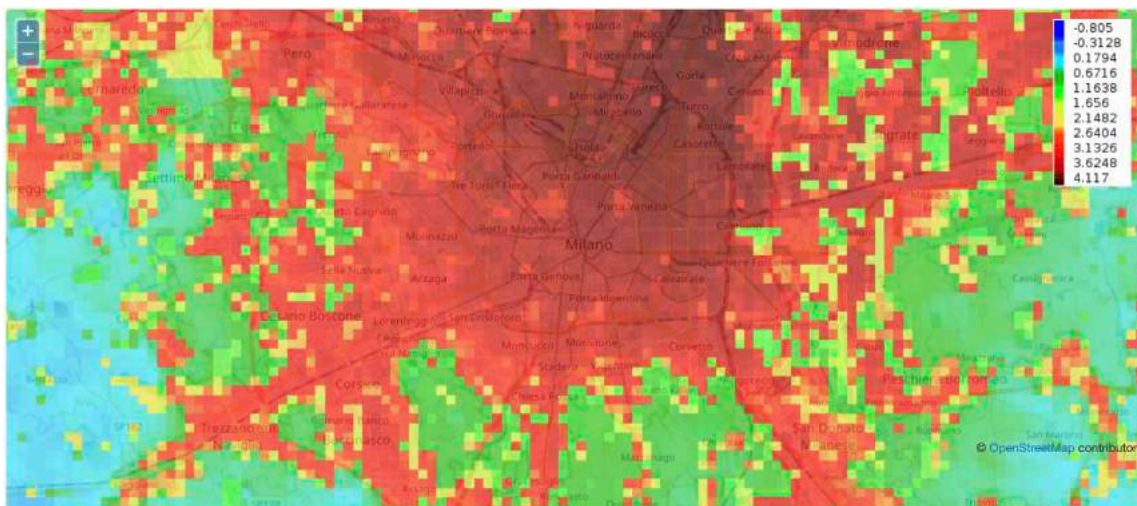
In questo contesto, gli eventi di temperatura estrema sono una minaccia da considerare in primis. In contesti infrastrutturali, l'aumento della frequenza di eventi estremi di temperatura può causare: (i) l'erosione e lo scioglimento dell'asfalto, con conseguenti problemi nodali (i.e., strade e ponti chiusi o bloccati e velocità/capacità stradali ridotte); (ii) interruzioni/malfunzionamenti legati alla trasmissione e alla distribuzione dell'elettricità; (iii) un aumento dei tassi di rottura delle tubazioni a causa dell'alterazione delle proprietà del suolo; (iv) un aumento della richiesta d'acqua, con conseguente calo di efficienza nel funzionamento della rete idrica, e infine (v) una possibile riduzione di qualità dell'acqua per effetto del riscaldamento di quest'ultima (Bollinger et al., 2014). Maggiori dettagli dei possibili effetti delle ondate di caldo su infrastrutture critiche urbane sono riportati nel successivo Capitolo 4. Tuttavia, una valutazione di come tali fenomeni si traducono in danni concreti è un'operazione ancora particolarmente complessa, in quanto include la valutazione di diverse variabili, con particolare riferimento alle possibili interconnessioni tra i diversi sistemi infrastrutturali.

Nonostante ciò, grazie al potenziamento delle capacità di calcolo e all'utilizzo di tecniche matematiche-statistiche avanzate (i.e., operazioni di downscaling), è ad oggi possibile fornire delle stime più precise per quanto concerne la distribuzione della temperatura osservata e futura su scala locale. Ad esempio, un progetto finanziato con il fine di aumentare la resilienza all'interno dei principali centri urbani in Europa, il RAMSES project²⁵, ha permesso la stima della distribuzione spaziale delle temperature ad una risoluzione spaziale di 100 m. La conoscenza ad una così alta risoluzione di tale pericolo è un elemento cruciale per sviluppare analisi di rischio che consentano di evidenziare le vulnerabilità connesse ai diversi sistemi infrastrutturali, evidenziando maggiori rischi laddove le infrastrutture insistono in aree caratterizzate da una più marcata criticità dei fenomeni estremi di temperatura. La Figura 9 mostra la distribuzione delle cosiddette Isole di Calore Urbano (= *Urban Heat Island (UHI)*) nei contesti urbani delle città di Milano e di Roma. Con tale termine si intende la comparazione delle temperature elevate (in °C) nelle aree urbanizzate rispetto ai dintorni rurali (Oke, 1973) e come si evince dalla distribuzione spaziale delle UHI all'interno dei due contesti urbani, queste ultime caratterizzano i centri storici delle città, favorendo delle condizioni più sfavorevoli per i sistemi infrastrutturali concentrati all'interno di queste zone, rispetto alle aree della città più

²⁵ Ramses Project - RAMSES: HOME (ramses-cities.eu)

periferiche. Grazie a dati presenti sulla piattaforma Copernicus C3S²⁶, è ad oggi possibile svolgere queste analisi con riferimento alle condizioni climatiche attualmente osservate, ma anche con riferimento agli scenari climatici attesi in futuro.

Figura 9: Distribuzione dell'intensità delle isole di calore all'interno della Città di Milano e di Roma (da: https://www.urban-climate.eu/services/eu_cities/), rilasciate dall'Urban Climate Service Centre (De Ridder et al;2015). Le colorazioni dell'immagine sono qui date dalla comparazione delle temperature elevate (°C) nelle aree urbanizzate rispetto ai dintorni più rurali (Lauwaet et al. 2015; Oke 1973).



²⁶ <https://www.copernicus.eu/en>

3.2 Gli impatti sull'economia

3.2.1 Introduzione

Il pericolo climatico, come descritto nella sezione 3.1, si traduce in costi elevati sull'economia italiana. I settori più direttamente esposti sono quelli la cui attività è più sensibile al clima. Gli esempi principali sono costituiti dal turismo, dall'agricoltura e dall'energia, quest'ultima sia dal lato della domanda che dell'offerta. **Gli impatti degli eventi estremi sulle reti energetiche e di trasporto, sulla dotazione di capitale fisico, sulla disponibilità di risorse idriche o sulla produttività del lavoro colpiscono però tutti i settori causando interazioni ed effetti a cascata su produzione, occupazione, competitività internazionale fino ad influenzare crescita e benessere.**

Questa sezione presenta una panoramica delle stime esistenti sugli impatti economici dei cambiamenti climatici nei settori più rilevanti dell'economia italiana: turismo, agricoltura, energia, industria e trasporti.

I dati presentati derivano da studi condotti con metodologie diverse, e spesso relativi a scenari di sviluppo socioeconomico e di cambiamenti climatici diversi. Ciò è da tenere in considerazione nel momento in cui si volesse confrontarne i risultati. Soprattutto, le stime di danno economico non dovrebbero essere considerate come semplicemente additive. Infatti, i costi di impatti stimati separatamente non tengono in considerazione interazioni che possono sia amplificare che ridurre gli effetti aggregati.

Altro elemento da tenere in considerazione è l'incertezza relativa alla valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici. Oltre all'incertezza sull'evoluzione climatica (relazione tra emissioni, concentrazioni di gas ad effetto serra e i cambiamenti di temperatura) e sugli impatti fisici derivanti (per esempio relazione tra cambiamenti climatici e rese agricole) interviene, a valle, anche l'incertezza nelle proiezioni economiche (sia in termini di dinamiche tecnologiche, sia per quanto riguarda l'evoluzione delle principali variabili macroeconomiche) di medio-lungo termine.

Per questo motivo è bene ricordare che le stime dei costi economici dei cambiamenti climatici non sono predizioni, ma piuttosto proiezioni coerenti con specifiche narrative di uno o più scenari di sviluppo futuro.

3.2.2 Il turismo

Il turismo in Italia è uno dei più importanti settori del terziario, e nel solo 2019 ha contribuito per il 10.4% alla produzione del PIL del Paese (WTCC, 2021). È però anche un settore particolarmente sensibile alle caratteristiche meteorologiche e di comfort climatico. Queste, assieme alla qualità dei servizi ricettivi e alla ricchezza dell'offerta ricreativa-culturale, concorrono in modo rilevante a determinare la capacità attrattiva delle destinazioni. Gli impatti principali del cambiamento climatico sul turismo in Italia sono collegabili ad una possibile perdita di attrattiva del clima mediterraneo che diverrebbe "troppo caldo" o instabile (ondate di caldo, eventi estremi), alla riduzione dei giorni di copertura nevosa nelle tipiche destinazioni del turismo invernale, all'erosione delle coste ed eventi meteorologici estremi che mettono a rischio le infrastrutture turistiche balneari e non (Ronchi, 2019).

McCallum et al. (2013) riportano alcune stime delle possibili variazioni dei flussi turistici basati sulla semplice variazione delle condizioni di comfort termico associato alle temperature future. **In uno scenario di aumento della temperatura di 2°C (RCP 2.6), si stima una riduzione del 15% degli arrivi internazionali,**

del 21,6% in uno scenario di aumento di 4°C.²⁷ Tenendo conto anche del comportamento dei turisti nazionali l'impatto netto sulla domanda totale italiana presenta una contrazione del 6.6% e dell'8.9% con perdite dirette per il settore stimate in 17 e 52 miliardi di euro nei due scenari climatici rispettivamente.

Discorso a parte merita il segmento turistico invernale. Secondo l'OCSE (Abegg et al., 2007), già in caso di una variazione moderata di temperatura (+1°C rispetto ai valori attuali), risulterebbe difficile garantire una copertura nevosa naturale sufficiente per la stagione invernale in Friuli-Venezia Giulia. Lo stesso accadrebbe per circa un terzo delle stazioni in Lombardia, Trentino e Piemonte. Con un aumento di 4°C, solo il 18% di tutte le stazioni operanti nel complesso dell'arco alpino italiano avrebbe una copertura nevosa naturale idonea a garantire la stagione invernale.

3.2.3 L'agricoltura

Impatti economici negativi rilevanti possono derivare dagli effetti dei cambiamenti climatici sulle rese e sulla produzione agricola (Ronchi 2019). La letteratura (EEA, 2016; Dominguez & Fellman, 2018; PNACC, 2017; Boere et al., 2019; Hristov et al., 2020) evidenzia un'alta variabilità nelle proiezioni delle rese dovuta sia alla diversa caratterizzazione delle precipitazioni nei modelli climatici che alle risposte dei modelli agrologici alle forzanti climatiche. Tuttavia, esistono chiare indicazioni di un deterioramento delle condizioni agro-climatiche in termini sia di aumento dello stress idrico che di riduzione della stagione di crescita in Europa centrale e del sud (Trnka Olesen et al., 2011; Hristov et al., 2020). Questo risultato viene ribadito per le colture cerealicole italiane (soprattutto frumento tenero e mais) dalle simulazioni proposte in ambito di Piano Nazionale di Adattamento in entrambi gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 in cui ampie e diffuse zone della Penisola sono caratterizzate da riduzioni di resa superiori al 20%. Altro fenomeno identificato è la potenziale perdita della vocazione di molti suoli alla coltivazione di prodotti ad alto o altissimo valore aggiunto, primi tra tutti quelli viti-vinicoli con spostamento degli areali attuali verso nord o ad altitudini maggiori.

Le riduzioni attese nelle rese sono stimate portare ad una riduzione del valore della produzione aggregata pari a 12.5 miliardi di euro nel 2050²⁸ in uno scenario compatibile con l'RCP 2.6 che potrebbero aumentare fino a 30 miliardi nell'RCP 8.5 (McCallum et al., 2013). Il danno, soprattutto alle produzioni pregiate, potrebbe inoltre portare ad una progressiva perdita di valore fondiario dei terreni agricoli. Le stime variano tra un deprezzamento dell'1-11% nell'RCP 4.5, al 4-16% nell'RCP 8.5 a fine secolo (Bozzola et al. 2018). Van Passel et al. (2017) riportano stime ancora più pessimistiche di una perdita di valore del 10% dei valori fondiari per grado di aumento della temperatura.

Anche attività quali l'allevamento, l'acquacoltura e la pesca subiranno l'effetto dei cambiamenti climatici. Secondo stime prodotte da due progetti UE (SESAME2 del 6PQ e VECTORS del 7PQ), nello scenario A1B dell'IPCC, assimilabile ad un RCP 4.5 almeno fino al 2050, il settore ittico italiano potrebbe vedere una riduzione di produzione dell'8-9% entro il 2030 (Spano et al., 2020).²⁹

²⁷ In mancanza di dati su uno scenario RCP 4.5, questa sezione sugli impatti economici presenta risultati per scenari più pessimistici e in particolare RCP 8.5 o equivalente ad un aumento della temperatura di 4 gradi. Pur essendo poco realistico, presentare risultati per questi scenari permette di dare un'idea del possibile intervallo nei risultati sugli impatti economici.

²⁸ I dati economici, per convenzione, vengono riferiti al singolo anno, nello specifico, il 2050; tuttavia gli shock climatici che li generano o che generano gli impatti fisici che poi i modelli economici valutano, sono spesso quelli relativi al trentennio centrato sul 2050.

²⁹ Stima relativa alle principali specie commerciali.

Non esistono stime precise riguardo l'acquacoltura, tuttavia la si può ritenere a rischio in quanto sviluppata principalmente in aree vulnerabili ai cambiamenti climatici come le coste dell'alto Adriatico. Bovini e suini sono anch'esse specie particolarmente sensibili alle alte temperature e alla siccità (Spano et al., 2020).

3.2.4 Il settore energetico

I cambiamenti climatici, nei Paesi mediterranei come l'Italia, comporterà un sostanziale aumento della domanda di energia concentrata soprattutto nella stagione estiva, per rispondere alle maggiori esigenze di condizionamento. Allo stesso tempo la domanda di energia per il riscaldamento durante i mesi più freddi dovrebbe diminuire. Il bilancio tra questi due effetti contrastanti varia da regione a regione. A livello aggregato per il Paese, Campagnolo e De Cian (2021) stimano comunque che **le spese energetiche pro-capite (per adulto) dovrebbero diminuire in media del 9.7% nell' RCP 4.5 e del 14.7% nell' RCP8.5.** Ciò equivarrebbe ad un risparmio della spesa per consumi energetici tra i 3 e i 4 euro mensili.

Per effetto dei cambiamenti climatici la produzione di energia potrebbe essere limitata da siccità e scarsa disponibilità di risorse idriche, e interrotta a causa di eventi estremi, con impatti negativi su impianti, reti elettriche e fonti di energia rinnovabile. Si rimanda direttamente al Capitolo 4 che fornisce stime economiche più dettagliate degli impatti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture, incluse quelle energetiche.

3.2.5 Il settore industriale e i trasporti

L'attività del settore industriale può essere impattata negativamente dai cambiamenti climatici attraverso lo stress infrastrutturale diretto o indiretto indotto da eventi estremi (vedere Capitolo 4), dall'aumento di temperatura attraverso gli effetti negativi sulla produttività del lavoro, dalla scarsità e variabilità nella disponibilità di risorse idriche, fondamentali in molti processi produttivi, e soggette a costante competizione di domanda da parte di altri settori. Riguardo gli effetti relativi agli impatti sulle infrastrutture industriali, necessitano una particolare attenzione le attività che utilizzano processi e sostanze classificate come "pericolose" (come in alcuni comparti della chimica), che, in caso di danni a seguito di eventi estremi, potrebbero causare significativi impatti negativi sulla salute e sull'ambiente. Particolarmente soggetto allo stress infrastrutturale è anche il settore trasporti in tutte le sue branche.

Rimandando ancora una volta al capitolo 4 per un'analisi più approfondita, si riportano di seguito alcune stime relative agli impatti diretti connessi ai danni alla dotazione infrastrutturale del Paese conseguente l'innalzamento del livello del mare, l'intensificarsi delle tempeste costiere e delle inondazioni fluviali.

La rilevanza di questi fenomeni per l'attività socioeconomica dell'Italia è facilmente intuibile. Da un lato l'Italia è un "paese costiero". Si classifica 14a al mondo per estensione delle coste che ospitano il 30% della popolazione (ISPRA, 2019) e che sono ricche di infrastrutture e attività economiche, prima fra tutte il turismo. Dall'altro, per le particolari caratteristiche oro-geografiche, già oggi, il 91% dei suoi comuni è classificato a rischio geo-idrologico (Trigila et al., 2018).

In mancanza di adeguamento delle opere di protezione costiera i danni annuali attesi da innalzamento del livello del mare potrebbero raggiungere i 50 miliardi e gli 81 miliardi di euro nel 2050 nell'RCP 2.6

e 8.5 rispettivamente (nostra elaborazione da: Vousdoukas et al., 2020; Lincke et al., 2020). **Quelli dovuti alle sole alluvioni fluviali potrebbero oscillare tra i 3 miliardi di euro nell’RCP 2.6 e i 4 miliardi dell’RCP 8.5 a metà secolo** (nostra elaborazione da: Dottori et al., 2020; Lincke et al., 2020).

Schleypen et al. (2019) riportano invece le stime degli impatti sulla produttività del lavoro nel settore industriale italiano dovuto ad un aumento dello stress termico. Si stima che in uno scenario RCP 2.6 nel 2050 questa possa ridursi in media dell’1% e dell’1.8% nell’RCP 4.5. Questo a sua volta causerebbe una potenziale contrazione del PIL nel 2050 dello 0.24% nell’RCP 2.6 e dello 0.41% nell’RCP 4.5 (Bosello et al. 2021).³⁰

3.2.6 Commercio internazionale, crescita e occupazione

Gli effetti settoriali ed i costi diretti descritti nelle precedenti sezioni hanno delle conseguenze a cascata sulla capacità del Paese di produrre ricchezza con impatti sistemici sulle sue prospettive di crescita e sulle principali variabili macroeconomiche.

Anche in uno scenario di cambiamenti climatici contenuti, coerente con gli obiettivi di Parigi, gli impatti economici sul PIL, pur gestibili, rimangono tutt’altro che trascurabili. Il più ottimista tra gli studi disponibili è Kahn et al. (2019) che riporta per il 2050 un impatto sul PIL pro-capite pressoché nullo per l’Italia nell’RCP 2.6. Valutazioni diverse condotte con tecniche modellistiche (Carraro et al., 2009; MacCallum et al., 2013; Bosello et al., 2021; Guo et al., 2021) riportano invece perdite più consistenti che oscillano tra lo 0.2% e il 2% del PIL nel 2050 sempre nello scenario RCP 2.6.

A scenari di cambiamenti climatici con temperature medie attese più elevate corrispondono perdite macroeconomiche più accentuate. Ad esempio, Bosello et al. (2020) **riportano perdite pari al 2.5% del PIL nello scenario RCP 4.5 nel 2050**. Sempre in riferimento a metà secolo, ma nell’ improbabile scenario RCP 8.5, Kahn et al. (2019), Ronchi (2019), e Guo et al. (2021), stimano contrazioni del PIL nazionale pari rispettivamente al 2.5%, 3.7%, 1.7%.³¹

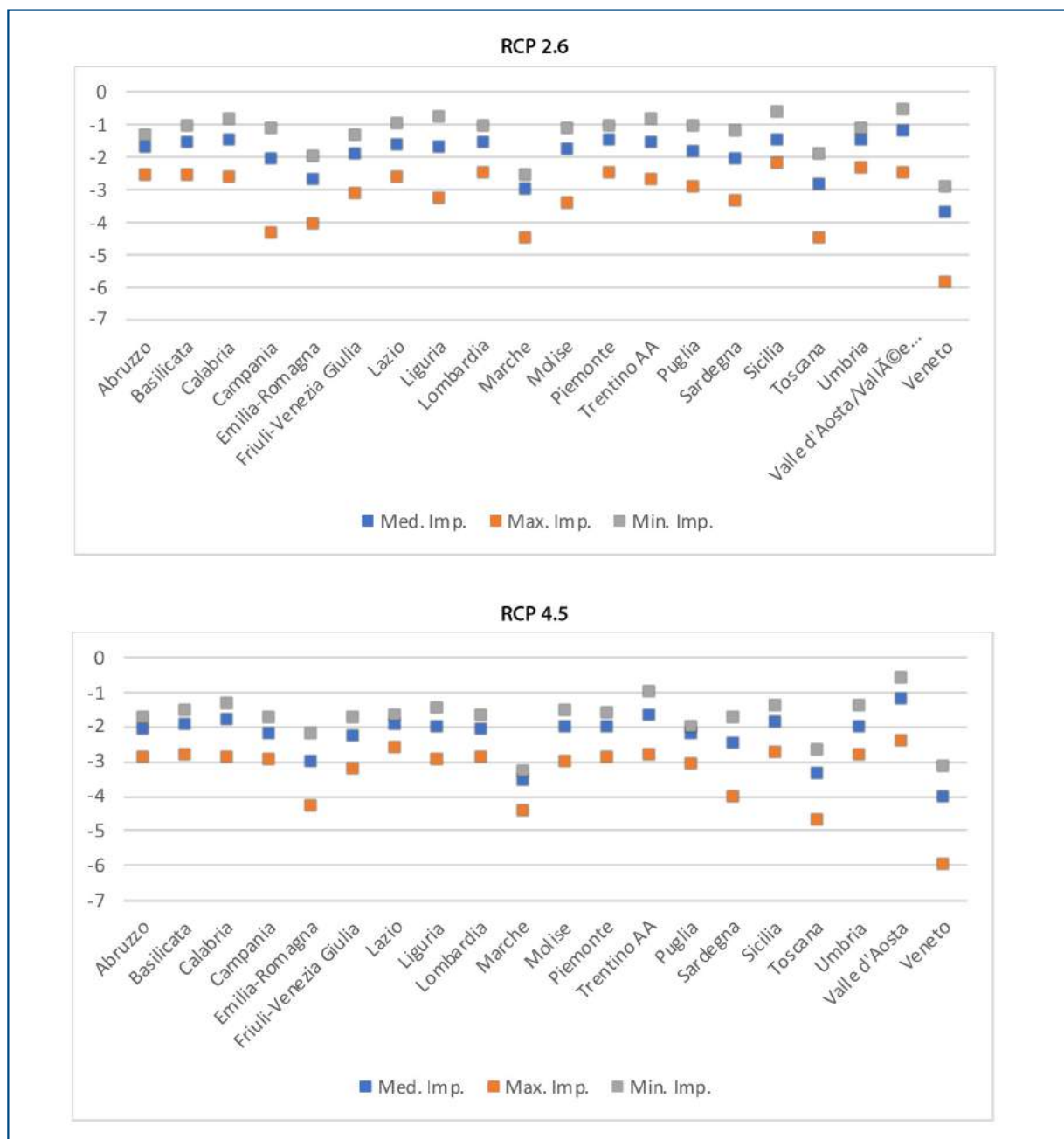
Bosello et al. (2021) e Ronchi (2019) propongono anche delle stime di impatto regionale e provinciale. Il primo dei due studi riporta la valutazione di impatto economico complessivo relativa agli effetti del cambiamento climatico su agricoltura, infrastrutture e trasporti, domanda e offerta di energia, produttività del lavoro in diverse combinazioni di scenario socioeconomico e climatico. L’analisi è condotta applicando in modo integrato modelli di impatto fisico ed economico. Va evidenziato innanzitutto come fino alla prima metà del secolo, gli impatti economici tra scenari climatici, in particolar modo l’RCP 2.6 e l’RCP 4.5, siano piuttosto simili, seppur più alti nel secondo (Figura 10).

³⁰ Il dato si riferisce agli effetti sul PIL della perdita di produttività del lavoro nel settore industriale e in quello agricolo. In Bosello et al. (2021) i due effetti non sono riportati separatamente. Tuttavia, data la rilevanza del settore industriale rispetto a quello agricolo in termini di produzione di valore aggiunto, è ragionevole imputare il risultato sul PIL soprattutto al primo.

³¹ La Commissione Europea, nel suo “European Missions. Adaptation to Climate Change” del luglio 2021, stima che il danno complessivo da cambiamento climatico nello scenario RCP 4.5 (3 gradi di incremento della temperatura rispetto ai livelli pre-industriali) sia circa 1,4% del PIL Europeo, ma l’Italia, come visto, è uno dei paesi più vulnerabili (“Conservative, lower bound estimates show that exposing today’s EU economy to global warming of 3°C above pre-industrial levels would result in an annual loss of at least EUR 170 billion (1.36% of EU GDP). These estimates do not account for the risks associated with tipping points and low-probability/high-impact events, the outcomes of which could be much more devastating.”

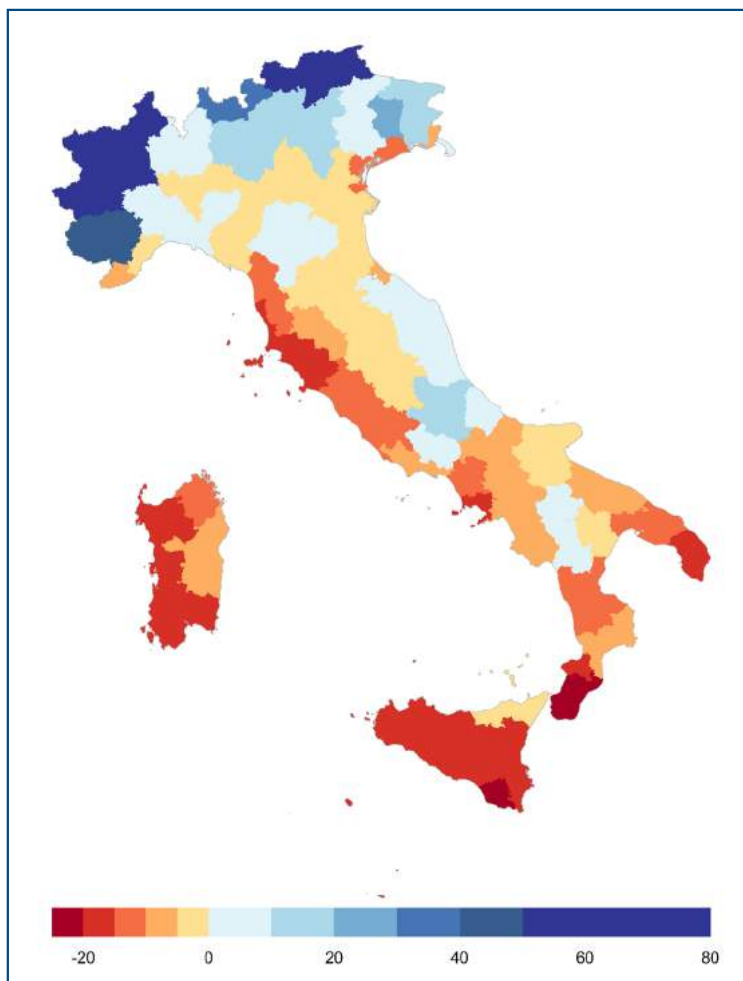
Questo elemento sottolinea la presenza di forti inerzie climatiche in grado di generare impatti negativi anche in scenari di contenimento delle emissioni e rafforza la necessità di pianificare infrastrutture (e più in generale sistemi economici) resilienti. Riferendosi ai valori centrali delle stime, Campania, Emilia-Romagna, Marche, Sardegna e Veneto fanno registrare perdite di prodotto superiori al dato aggregato nazionale (-2% del PIL nell'RCP 2.6 e -2.5% nell'RCP 4.5). L'intervallo di variabilità delle stime riporta però come egualmente probabili perdite considerevolmente più elevate, **superiori per quasi tutte le regioni al 3% del prodotto regionale con un picco del -6% in Veneto**. Le perdite sono originate principalmente (con un contributo che varia da circa il 40% al 65% a seconda degli scenari considerati) dagli impatti sull'attività produttiva e dalla perdita di asset di capitale associati all'innalzamento del livello del mare e all'intensificarsi degli eventi di dissesto idrogeologico. La terza causa di perdita economica è la ridotta produttività del lavoro associata allo stress termico.

Figura 10: Impatti del cambiamento climatico sul prodotto regionale italiano nel 2050, RCP 2.6, sopra, RCP 4.5 sotto (variazione % rispetto al caso a clima corrente) (Nostra elaborazione da Bosello et al., 2021)



L'analisi riportata in Ronchi (2019), purtroppo riferita al solo scenario RCP 8.5, pur utilizzando una metodologia di indagine completamente diversa, basata su regressioni econometriche piuttosto che sull'uso integrato di modelli economici e di impatto, giunge a conclusioni simili (Figura 11). Si conferma, per il 2050, la particolare vulnerabilità economica delle regioni costiere del Veneto (provincia di Venezia), di Sardegna, Campania e più in generale delle isole maggiori e della zona Tirrenica. L'asse appenninico e l'arco alpino appaiono invece non colpiti, effetto dovuto alle interazioni tra temperatura e precipitazioni quali variabili esplicative della performance economica.

Figura 11: Impatti dell'aumento di temperatura sulla performance economica (var. % PIL pro-capite rispetto alle condizioni climatiche correnti) per provincia italiana, scenario RCP 8.5 al 2050 (fonte: Ronchi 2019).



Due altri aspetti del cambiamento climatico possono essere rilevanti a livello macroeconomico per l'Italia. Il primo è relativo alla dimensione "fiscale" del fenomeno. Gli impatti fisici comportano distruzione di capitale, aumento della spesa pubblica, possibile riduzione delle entrate e peggioramento dei rapporti deficit e debito sul PIL. Se, come conseguenza, il rischio paese fosse percepito in aumento, anche la capacità di approvvigionarsi sui mercati internazionali potrebbe deteriorarsi con maggiore difficoltà a servire il debito causa interessi più elevati.

Il secondo aspetto è relativo alle relazioni di commercio internazionale e alla *supply chain*. L'Italia non è infatti l'unico paese a subire effetti negativi dei cambiamenti climatici. Pertanto, il risultato economico finale dipende non solo dagli effetti nazionali, ma anche dagli impatti dei cambiamenti climatici su altri Paesi, soprattutto quelli con cui l'Italia ha forti legami commerciali (Dellink et al., 2017).

3.3 Gli impatti sulla società

3.3.1 Salute

Il cambiamento climatico è una delle principali minacce globali alla salute umana del XXI secolo (Watts et al., 2021). La sua pericolosità è soprattutto connessa agli eventi climatici estremi (Rahmstorf et al., 2011; Pall et al., 2011; Stott et al., 2004) più frequenti e intensi (Easterling et al., 2000). Da questi discendono effetti diretti, come morte e lesioni quando l'evento estremo colpisce la persona e/o la comunità, ed effetti ritardati o indiretti, come malattie legate a vettori (e.g. zanzara), effetti sulla salute mentale o associati alla distruzione di infrastrutture critiche (Watts et al., 2015; Patz et al., 2005).

In Italia particolare criticità è rappresentata dalle temperature estreme e dalle ondate di calore anche a seguito dell'alta percentuale di popolazione di età superiore ai 65 anni. Estati di caldo estremo, come quella del 2015, hanno ad esempio fatto registrare un aumento del 13% della mortalità associata alle ondate di calore nella fascia di popolazione sopra i 65 anni (Sanchez & de' Donato, 2021; WHO, 2018).

Altre categorie particolarmente vulnerabili includono i bambini e i pazienti con patologie in corso (tra cui per esempio diabete e malattie polmonari, cardiovascolari o neurologiche). Queste categorie sono molto vulnerabili anche alle cosiddette "notti tropicali" (notti in cui la temperatura minima non scende sotto i 20°C), poiché tale temperatura non permette al corpo umano di rinfrescarsi a sufficienza dopo una giornata di caldo intenso, facilitando così la mortalità (Spano et al., 2020). Inoltre, sono sensibili alle ondate di calore le persone in condizioni di disagio socioeconomico - che spesso non dispongono di mezzi e abitazioni capaci di ripararle dal calore estremo - e i lavoratori che svolgono attività all'aperto, esposti per tempi prolungati ad alte temperature (WHO, 2018; Spano et al., 2020; Sanchez & de' Donato, 2021). Le ondate di calore tendono a colpire in modo particolare città come Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli (WHO, 2018).

Dal 2004 è attivo il Sistema Nazionale di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute (HHWWS), gestito centralmente dal DEP in collaborazione con il Ministero della Salute e il Dipartimento della Protezione Civile. Il sistema operativo in 34 città italiane distribuite su tutte le regioni e con una copertura del 93% della popolazione urbana nazionale sopra i 65 anni (WHO, 2018), consente di individuare le condizioni meteo-climatiche che possono avere un impatto significativo sulla salute dei soggetti vulnerabili, e diramare conseguentemente dei bollettini di allerta. In base alla letteratura ad oggi disponibile, gli episodi di mortalità legata a calore estremo sembra siano andati diminuendo, soprattutto nelle città che hanno attivato il protocollo di allerta e prevenzione previsto dal piano (WHO, 2018).

Ciò detto, l'Italia rimane uno dei Paesi in Europa con i più alti tassi di mortalità sia per temperature elevate che, più specificamente, per le temperature estive (WHO, 2018, Martínez-Solanas et al., 2021). **Il costo della mortalità da stress termico come proporzione del Prodotto Nazionale Lordo è aumentato dallo 0.64% del 2000 all'1.03% nel 2017** (Watts et al., 2020). Seppur solo indirettamente connesso al cambiamento climatico, l'Italia presenta anche il più alto costo in Europa da impatti sulla salute per inquinamento dell'aria.

In seguito all'aumento delle temperature medie ed estreme lo stress da caldo sulla popolazione è previsto in decisa crescita. Secondo Naumann et al. (2020) il numero di persone esposte ad episodi di caldo particolarmente intenso (ondate di calore con periodo di ritorno di 50 anni) nella Penisola aumenterebbe, rispetto alla situazione attuale, da 10 a 15 volte in uno scenario RCP 2.6 e da 15 a 20 volte in uno scenario RCP 4.5. Questo a sua volta comporterebbe un aumento della morbilità e mortalità associate. **Nello scenario RCP 4.5 si stima un aumento della mortalità tra l'86% e il 137% con un impatto sul PIL che salirebbe da circa l'1% attuale al 2%** (si veda anche la sezione finale del Capitolo 5).

Forzieri et al. (2017) stimano che in Italia il numero di morti associate a fenomeni climatici estremi (soprattutto ondate di calore) potrebbe crescere fino a 60 volte rispetto al presente entro la fine del secolo in uno scenario assimilabile a RCP 6.0/ RCP 4.5. **Tale aumento porterebbe il tasso di mortalità prematuro causato da eventi climatici estremi a superare quello dovuto all'inquinamento atmosferico** (Lelieveld et al., 2015) e a diventare il più grande rischio ambientale per l'Italia (Lim et al., 2012).

Oltre al caldo estremo, l'Italia si trova ad affrontare crescenti problemi di crisi idrica, con impatti negativi sulla qualità dell'acqua, e quindi sulla salute. La scarsità d'acqua colpisce prevalentemente le regioni del Sud e dell'interno, con picchi particolari nella stagione estiva. Tuttavia, interessa anche le regioni del Centro e del Nord, complice la progressiva scomparsa dei ghiacciai alpini. I modelli climatici suggeriscono che siccità e scarsità d'acqua andranno aumentando in diverse regioni, generando seri problemi di accesso all'acqua potabile, in modo simile a quanto accaduto nell'estate del 2017, quando 6 regioni italiane si sono trovate a dover dichiarare lo Stato di Emergenza (WHO, 2018).

3.3.2 Immigrazione

Secondo l'Organizzazione Mondiale per la Sanità, è probabile che il cambiamento climatico alimenti i flussi migratori verso l'Europa, l'area mediterranea e l'Italia in particolare, con provenienza principalmente dall'Africa Sub-Sahariana (WHO, 2018). Tuttavia, la scarsità di dati disponibili e la complessa natura dei flussi migratori non rendono ad oggi possibile una stima della portata di questi flussi. Il cambiamento climatico potrebbe anche causare flussi migratori interni dovuti a dislocamento da perdita di aree costiere.

3.3.3 Povertà, disuguaglianza e distribuzione della ricchezza

Esiste una consolidata letteratura che sottolinea come uno degli effetti dei cambiamenti climatici sia quello di aumentare le disuguaglianze (Ronchi, 2019). Questo si verifica sia in senso geografico-territoriale, per cui le regioni "più povere" tendono a subire perdite economiche proporzionalmente maggiori rispetto alle regioni "più ricche" (Spano et al., 2020), che per gruppi sociali, per cui quelli più "deboli", ad esempio per livello di reddito o istruzione, vengono maggiormente danneggiati. In entrambi i casi si tratta di una combinazione tra esposizione, sensibilità e capacità adattiva che determina una maggiore vulnerabilità e soggezione al rischio climatico dei soggetti o aree più svantaggiate. Questo fenomeno, con intensità diverse, è comune a tutti i paesi, sviluppati e non.

La vulnerabilità agli impatti dei cambiamenti climatici varia notevolmente anche tra zone urbane e zone rurali. Le città risultano particolarmente esposte e vulnerabili a causa dell'alta densità demografica, della maggiore complessità istituzionale e dell'alto tasso di antropizzazione e sviluppo del suolo³² (Spano et al., 2020). La vulnerabilità delle città italiane al cambiamento climatico è molto eterogenea: le caratteristiche della popolazione residente - che possono variare fortemente anche all'interno di una stessa città -, così come la distribuzione della popolazione sul territorio, sono infatti due fattori determinanti. Allo stesso tempo, l'alta concentrazione in alcune zone urbane e suburbane di costruzioni e insediamenti non a

³² L'alto tasso di sviluppo del suolo comprende pratiche quali lo sviluppo urbano e edilizio, la costruzione reti infrastrutturali, la riduzione della permeabilità dei suoli e l'artificializzazione della rete idrografica.

norma o di qualità non ottimale, e di una popolazione più vulnerabile, aumenta notevolmente la vulnerabilità della popolazione esposta. In molti casi, questi due fattori di rischio si sovrappongono e amplificano a vicenda, generando in alcuni casi dei veri e propri *hot spot* di rischio.

Nonostante l'alta esposizione delle zone urbane a rischi climatici di varia natura, si nota un significativo ritardo nell'adozione di misure di adattamento ai cambiamenti climatici da parte delle città italiane (Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2019). Ad oggi, circa un quarto delle città italiane ha completato una valutazione dei rischi e delle vulnerabilità climatiche, e solo il 12% ha un Piano di Adattamento al Cambiamento Climatico (CDP, 2019), il che rende l'adeguata valutazione e gestione dei rischi a livello nazionale ancora particolarmente complessa.

Conclusioni

Questo capitolo ha descritto le variazioni attese di alcuni pericoli climatici di interesse per lo studio dell'impatto dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture. In particolare, le analisi si sono concentrate prevalentemente sulla valutazione dei seguenti pericoli: ondate di caldo, ondate di freddo, siccità, incendi, tempeste di vento, inondazioni costiere, allagamenti, esondazioni fluviali, frane ed erosione dei suoli.

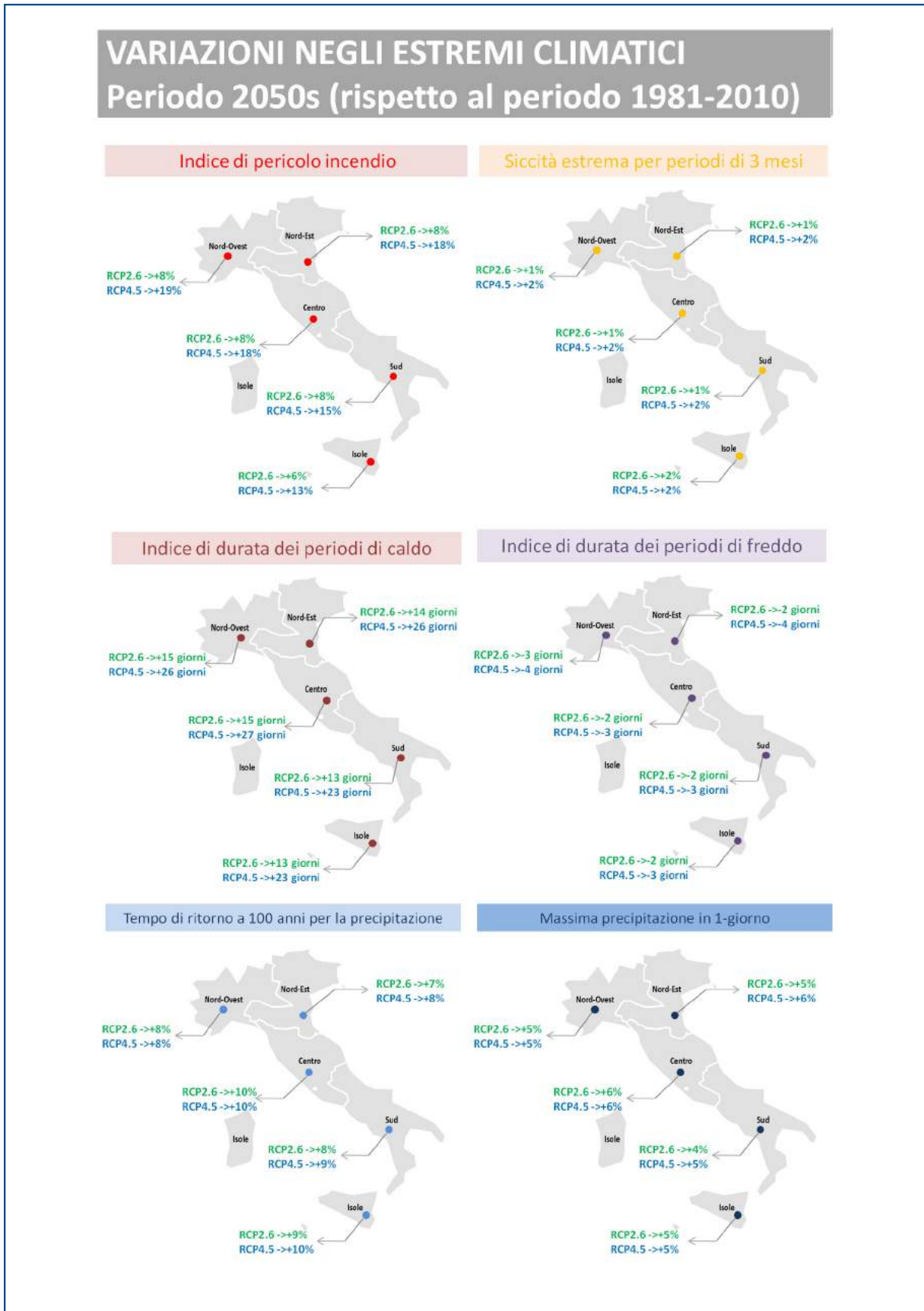
Per caratterizzare l'evoluzione spaziale e temporale delle summenzionate declinazioni del pericolo climatico, sono stati selezionati una serie di indicatori climatici che sintetizzano alcune delle caratteristiche degli eventi estremi (e.g. frequenza, intensità, durata), ampiamente consolidati in letteratura. Tali indicatori sono stati calcolati in termini di variazione tra un periodo futuro ed un periodo di riferimento, utilizzando due diversi scenari e diversi modelli climatici del progetto EURO-CORDEX. Tali indicatori descrivono importanti variazioni del pericolo legate non solo all'aumento delle temperature, ma anche all'incremento degli eventi intensi di precipitazione così come dell'innalzamento del livello del mare (associato a mareggiate più intense).

Ci si attende che, in questo contesto, **l'Italia dovrà affrontare un progressivo aumento in relazione ai diversi fenomeni connessi al pericolo climatico**, ad eccezione delle ondate di freddo che tenderanno invece a diminuire. Tuttavia, frequenza, intensità e persistenza degli eventi climatici estremi dipendono anche dalle aree geografiche (come riportato nella Figura 12). Ad esempio, le regioni sud-occidentali riportano incrementi maggiori per quanto attiene le ondate di calore e la siccità.

Aree particolarmente esposte emergono anche lungo le coste e nelle pianure alluvionali, spesso altamente popolate ed economicamente cruciali, dove inondazioni e tempeste di vento potrebbero essere critiche in combinazione con altri pericoli climatici.

Le analisi chiaramente mostrano che l'adozione di uno scenario di mitigazione rapida ed ambiziosa (lo scenario RCP 2.6) per l'Italia possa comportare un sostanziale minore incremento dei pericoli climatici rispetto a scenari di stabilizzazione con concentrazioni maggiori (lo scenario tendenziale RCP 4.5). Pertanto, da un lato strategie di adattamento più efficaci potrebbero riuscire a ridurre gli impatti climatici sulla società associati a scenari a bassa concentrazione di gas serra in atmosfera (si veda il Capitolo 5). Dall'altro, strategie di mitigazione rapide ed ambiziose, riducendo l'entità del danno, renderebbero meno costose e più efficaci le strategie di adattamento.

Figura 12: Variazioni climatiche annuali per aree geografiche, considerando alcuni degli indicatori climatici riportati in Tabella 1, per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP2.6 e RCP4.5



Giusto per dare degli ordini di grandezza, in assenza di mitigazione, **il danno complessivo da cambiamenti climatici è atteso essere il 2.5% del PIL nel 2050 (scenario RCP 4.5). In presenza di mitigazione (scenario RCP 2.6), il danno più che dimezza: 0.2-2% del PIL al 2050. Lo sforzo e gli investimenti per l'adattamento sarebbero di conseguenza molto inferiori.**

Nel successivo Capitolo 4 analizzeremo più in dettaglio l'esposizione delle infrastrutture critiche e la loro vulnerabilità al pericolo climatico stesso, al fine di quantificare gli impatti dei cambiamenti climatici in modo specifico sulle infrastrutture.

Sebbene le analisi presentate in questo capitolo siano state condotte utilizzando metodologie e modelli consolidati in letteratura, rimangono ancora margini importanti di incertezza. In particolare, non si sono considerati eventi climatici estremi composti. In altre parole, le analisi hanno descritto le dinamiche di fenomeni climatici indipendenti, senza considerare le loro possibili interazioni. Tali fenomeni sono caratterizzati da una più rapida crescita nelle prossime decadi rispetto a quanto previsto per i singoli eventi (Tilloy et al., 2019; Zscheischler & Seneviratne, 2017; Zscheischler et al., 2018, 2020) e probabilmente tenderanno a causare impatti maggiori. Un forte miglioramento della capacità dei modelli climatici di rappresentare valori estremi localizzati, quindi anche a supporto della valutazione del pericolo climatico sulle infrastrutture, è atteso, ad esempio, dai cosiddetti modelli "*convection permitting*" (ovvero con la rappresentazione esplicita della convezione profonda) con risoluzione di circa 2 km che includono anche parametrizzazioni specifiche, come le dinamiche atmosferiche urbane e modelli accoppiati ad alta risoluzione (ad esempio modelli integrati per atmosfera, suolo e oceano).

Il capitolo sottolinea inoltre come queste variazioni climatiche avranno rilevanti conseguenze sull'economia e sulla società italiana. Settori economici rilevanti per la produzione di valore aggiunto come turismo e industria, ma anche la dotazione infrastrutturale e l'agricoltura, sperimenteranno perdite di produzione, produttività o un calo della domanda. A queste perdite settoriali consegue un rallentamento della crescita e un calo del prodotto interno lordo. Questo tende a concentrarsi nelle regioni più vulnerabili ai cambiamenti climatici, come le isole maggiori, la Toscana e molte regioni del Sud Italia.

Alle perdite economiche si sommano impatti sulla società che possono aggravare problemi già esistenti e difficili da risolvere, quali la povertà e la disuguaglianza sociale. I cambiamenti climatici, ed in particolare le variazioni di temperatura, porteranno inoltre a conseguenze negative sulla salute della popolazione.

Questi impatti socioeconomici possono essere ridotti attraverso l'adozione di politiche volte ad aumentare la resilienza delle infrastrutture al cambiamento climatico (adattamento), oltre che attraverso una minore crescita delle emissioni di gas serra e della temperatura (mitigazione), come discusso nei Capitoli 5 e 6.

Bibliografia

- Abegg B, Agrawala S, Crick F, de Montfalcon A (2007) Climate change impacts and adaptations in winter tourism. In: S. Agrawala (ed) *Climate change in the European Alps: Adapting winter tourism and natural hazard management*. OECD Publishing, Paris, pp 25-60
- Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., & Norton, K. (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6059-6086. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
- Boere, E., Valin, H., Bodirsky, B. Baier, F., Balkovic, J., Batka, M., Folberth, C., Karstens, K., Kindermann, G., Krasovskii, A., Leclere, D., Wang, X., Weindl, I., Havlik, P., Lotze-Campen, H. 2019. D2.2 Impacts on agriculture including forestry & fishery. Deliverable of the H2020 COACCH project
- Bollinger, L. A., Bogmans, C. W. J., Chappin, E. J. L., Dijkema, G. P., Huibregtse, J. N., Maas, N., ... & Tavasszy, L. A. (2014). Climate adaptation of interconnected infrastructures: a framework for supporting governance. *Regional environmental change*, 14(3), 919-931.
- Bosello F., Standardi G., Parrado R., Dasgupta S., Guastella G., Rizzati M., Pareglio S., Schleyphen J., Boere E., Batka M., Valin H., Bodirsky B., Lincke D., Tiggeloven T., van Ginkel K. (2021). D2.7. Macroeconomic, spatially resolved impact assessment. Deliverable of the H2020 COACCH project.
- Bozzola, M., Massetti, E., Mendelsohn R., and Capitanio F. (2018). A Ricardian analysis of the impact of climate change on Italian agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 45(1): 57-79. <https://doi.org/10.1093/erae/jbx023>.
- Campagnolo, L. e E. De Cian (2021), Distributional consequences of climate change impacts on energy demand across Italian households, Working Paper 21-04 RFF CMCC.
- Carraro, (ed.) (2009), *Cambiamenti climatici e strategie di adattamento in Italia. Una valutazione economica*, Bologna: Il Mulino. [ISBN: 8815126481 - ISBN-13: 9788815126481]
- CDP (2019), *CDP Italy Report: Climate insights among Italian businesses and local governments*. Available at https://6fefcbb86e61af1b2fc4-c70d8ead6ced550b4d987d7c03fcdd1d.ssl.cf3.rackcdn.com/cms/reports/documents/000/004/749/original/CDP_Italy_Report.pdf?1576065225
- Collins M., M. Sutherland, L. Bouwer, S.-M. Cheong, T. Frölicher, H. Jacot Des Combes, M. Koll Roxy, I. Losada, K. McInnes, B. Ratter, E. Rivera-Arriaga, R.D. Susanto, D. Swingedouw, and L. Tibig, (2019). Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Coppola, E., Raffaele, F., & Giorgi, F. (2018). Impact of climate change on snow melt driven runoff timing over the Alpine region. *Climate Dynamics*, 51(3), 1259-1273.
- De Ridder, K., Lauwaet, D., & Maiheu, B. (2015). UrbClim-A fast urban boundary layer climate model. *Urban Climate*, 12, 21-48.
- Dellink, R. et al. (2017). "International trade consequences of climate change", OECD Trade and Environment Working Papers, 2017/01, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9f446180-en>
- Diodato, N., Ljungqvist, F.C. & Bellocchi, G. (2019). A millennium-long reconstruction of damaging hydrological events across Italy. *Sci Rep* 9, 9963. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46207-7>
- Domínguez, I. and Fellmann, T. (2018). PESETA III: Agro-economic analysis of climate change impacts in Europe Final Report. 10.2760/179780.
- Dottori F, Mentaschi L, Bianchi A, Alfieri L and Feyen L. Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change, EUR 29955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12946-2, doi:10.2760/14505, JRC118425
- Easterling, D. R. et al. (2000). Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science* 289, 2068-2074.
- European Environmental Agency (2021). Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction. EEA Report No 01/2021. Web site: <https://www.eea.europa.eu/publications/nature-based-solutions-in-europe>
- European Environment Agency (EEA) (2016). Climate change impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. Luxembourg. doi: 10.2800/534806

- Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2019), Relazione sullo stato della green economy 2019: focus sugli impatti economici dei cambiamenti climatici in Italia, disponibile online da: http://italyforclimate.org/wp-content/uploads/2019/12/Relazione_sullo_stato_della_green_economy_2019.pdf
- Forzieri, G., Cescatti, A., Silva, F. B. e Feyen, L. Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *Lancet Planet. Health* 1, e200-e208 (2017).
- Fuss S et al. (2014) Betting on negative emissions *Nat. Clim. Change* 4 850–3
- Ghimire, B., Chen, A. S., Guidolin, M., Keedwell, E. C., Djordjević, S. & Savić, D. A. (2013). Formulation of a fast 2D urban pluvial flood model using a cellular automata approach. *Journal of Hydroinformatics* 15(3), 676-686.
- GIZ (2017) Risk supplement to the vulnerability sourcebook. Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel M., (2014). 21st century climate change in the European Alps—A review, *Science of The Total Environment*, Volume 493, Pages 1138-1151, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>.
- Guo, J., Kubli, D and Saner P. (2021), "The economics of climate change: no action not an option", *Swiss Re (pubs.)*, Zurich
- Hausfather, Zeke & Peters, Glen. (2020). Emissions - the 'business as usual' story is misleading. *Nature*. 577. 618-620. [10.1038/d41586-020-00177-3](https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3).
- ISPRA Annuario dati ambientali 2019. Disponibile presso: <https://annuario.isprambiente.it/ada/downreport/html/4940>
- Jacob, D., et al. (2020): Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community, *Reg. Environ. Change*, 20, 51, <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>, 2020.
- Hausfather, Z., & Peters, G. P. (2020). Emissions—the 'business as usual' story is misleading. *Nature* 577, 618-620. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3>
- Hennemuth TI, Jacob D, Keup-Thiel E, Kotlarski S, Nikulin G, Otto et al J (2017) Guidance for EUROCORDEX climate projections data use. Version 1.0 - 2017.08. Link: <https://euro-cordex.net/imperia/md/content/csc/cordex/euro-cordex-guide-lines-version1.0-2017.08.pdf>
- Hristov, J., Toreti, A., Pérez Domínguez, I., Dentener, F., Fellmann, T., Elleby C., Ceglar, A., Fumagalli, D., Niemeyer, S., Cerrani, I., Panarello, L., Bratu, M., Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050, EUR 30078 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-10617-3, doi:10.2760/121115, JRC119632.
- IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press
- IPCC (2014a). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kahn, M.E., Mohaddes K., Ryan N. C. Ng., Pesaran M.H., Raissi, M., Yang J.C. (2019), 'Long-term Macroeconomic Effects of Climate Change', NBER working paper.
- Kiel, J., Petiet, P., Nieuwenhuis, A., Peters, T., & Van Ruiten, K. (2016). A decision support system for the resilience of critical transport infrastructure to extreme weather events. *Transportation research procedia*, 14, 68-77.
- Lauwaet, D., Hooyberghs, H., Maiheu, B., Lefebvre, W., Driesen, G., Van Looy, S., & De Ridder, K. (2015). Detailed urban heat island projections for cities worldwide: dynamical downscaling CMIP5 global climate models. *Climate*, 3(2), 391-415.
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D. & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 525, 367–371.

- Libertino, A., Ganora, D. & Claps, P. (2019). Evidence for increasing rainfall extremes remains elusive at large spatial scales: The case of Italy. *Geophys. Res. Lett.* 46, 7437–7446.
- Lim, S. S. *et al.* (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet Lond. Engl.* 380, 2224-2260.
- Lincke, D., Hinkel, H., van Ginkel, K., Jeuken, A., Botzen, W., Tessellar, M., Scoccimarro, E., Ignjacevic, P. (2018). D2.3 Impacts on infrastructure, built environment, and transport Deliverable of the H2020 COACCH project
- Martínez-Solanas, È., Quijal-Zamorano, M., Achebak, H., Petrova, D., Robine, J. M., Herrmann, F. R., ... & Ballester, J. (2021). Projections of temperature-attributable mortality in Europe: a time series analysis of 147 contiguous regions in 16 countries. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e446-e454.
- McCallum, S., Dworak, T., Prutsch, A., Kent, N., Mysiak, J., Bosello, F., Klostermann, J., Dlugolecki, A., Williams, E., Konig, M., Leitner, M., Miller, K., Harley, M., Smithers, R., Berglund, M., Glas, N., Romanovska, L., van de Sandt, K., Bachschmidt, R., Voller, S., Horrocks, L. (2013). Support to the development of the EU Strategy for Adaptation to Climate Change: Background to the Impact Assessment, Part I - Problem definition, policy context and assessment of policy options. Environment Agency Austria, Vienna.
- Mysiak, J., Torresan, S., Bosello, F., Mistry, M., Amadio, M., Marzi, S., ... & Sperotto, A. (2018). Climate risk index for Italy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2121), 20170305.
- Naumann G., Russo S.(a), Formetta G.(b), Ibarreta D., Forzieri G., Girardello M., and Feyen L., (2020). Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU, EUR 29959 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92- 76-12954-7, doi:10.2760/47878, JRC118540.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779.
- Padulano, R., Reder, A., & Rianna, G. (2019). An ensemble approach for the analysis of extreme rainfall under climate change in Naples (Italy). *Hydrological Processes*, 33(14), 2020-2036.
- Padulano, R., Rianna, G., & Santini, M. (2021a). Datasets and approaches for the estimation of rainfall erosivity over Italy: A comprehensive comparison study and a new method. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 34, 100788.
- Padulano, R., Rianna, G., Costabile, P., Costanzo, C., Del Giudice, G. & Mercogliano, P. (2021b). Propagation of variability in climate projections within urban flood modelling: a multipurpose impact analysis. *Journal of Hydrology*, 602, 126756.
- Pall, P. *et al.* Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature* 470, 382-385 (2011).
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T. & Foley, J. A. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438, 310-317 (2005).
- PNACC (2017). Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, versione per la verifica di assoggettabilità a VAS. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.
- Ronchi, E. (a cura di) (2019), "Relazione sullo stato della green economy 2019, focus sugli impatti dei cambiamenti climatici in Italia", Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile REPORT.
- Rahmstorf, S. & Coumou, D. (2011). Increase of extreme events in a warming world. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 17905-17909.
- Sanchez MG, de'Donato F K V. (2021). Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. WHO Reg Off Eur.
- Schleypen, J.R., Dasgupta, S., Borsky, S., Jury, M., Ščasný, M., Bezhanishvili, L. (2019). D2.4 Impacts on Industry, Energy, Services, and Trade. Deliverable of the H2020 COACCH project.
- Scorzini, A. R., Di Bacco, M. and Leopardi, M. (2018) 'Recent trends in daily temperature extremes over the central Adriatic region of Italy in a Mediterranean climatic context', *International Journal of Climatology*, 38(January), pp. e741–e757. doi: 10.1002/joc.5403.
- Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Chiriaco M. V., Coppini G., Essfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G., Rizzo A., Santini M., Sini E., Staccione A., Villani V., Zavatarelli M., (2020). Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia. DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO

- Spinoni, J., Vogt, J. and Barbosa, P., (2015) 'European degree-day climatologies and trends for the period 1951-2011', *International Journal of Climatology* 35(1), 25-36 (DOI: 10.1002/joc.3959)
- Spinoni, J., et al., (2018) 'Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100', *International Journal of Climatology* 38, pp. e191-e208 (DOI: 10.1002/joc.5362).
- Stott, P. A., Stone, D. A. & Allen, M. R. (2004). Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 432, 610-614.
- Tilloy, A., Malamud, B. D., Winter, H. & Joly-Laugel, (2019). A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships. *Earth-Sci. Rev.* 196, 102881.
- Trigila A., Iadanza C., Bussetini M., Lastoria B. (2018) *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2018*. ISPRA, Rapporti 287/2018
- Trnka M, Olesen JE, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, Eitzinger J, Seguin B, et al. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Glob. Change Biol.* 17, pp. 2298-2318.
- Van Passel, S., Massetti, E., Mendelsohn R. (2017), "A Ricardian analysis of the impact of climate change on the European agriculture", *Environmental and Resource Economics*, 67: 725-760.
- Von Trentini, F., Leduc, M. & Ludwig, R. (2019). Assessing natural variability in RCM signals: comparison of a multi model EURO-CORDEX ensemble with a 50-member single model large ensemble. *Clim Dyn* 53, 1963-1979 <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04755-8>
- Vousdoukas M., Mentaschi L., Mongelli I., Ciscar J-C, Hinkel J., Ward P., Gosling S., and Feyen L., (2020). Adapting to rising coastal flood risk in the EU under climate change, EUR 29969 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-76-12990-5, doi:10.2760/456870, JRC118512
- Watts, N. *et al.* (2015). Health and climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet* 386, 1861-1914.
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., ... & Costello, A. (2021). The 2020 report of the Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. *The Lancet*, 397(10269), 129-170.
- WHO (2018). Climate and health country profile: Italy. Available at <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260380/WHO-FWC-PHE-EPE-15.52-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- WMO (2007). The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. WCDMP-No. 61, WMO.TD No. 1377. Zscheischler, J. & Seneviratne, S. I. Dependence of drivers affects risks associated with compound events. *Sci. Adv.* 3, e1700263 (2017).
- WTCC (2021). Italy 2021, Annual Research, Key Highlights, available at: <https://wtcc.org/Research/Economic-Impact>
- Zscheischler, J. *et al.* (2018) Future climate risk from compound events. *Nat. Clim. Change* 8, 469-477.
- Zscheischler, J. *et al.* (2020) A typology of compound weather and climate events. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1, 333-347.

Capitolo 4

Impatti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture



Capitolo 4

Impatti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture

Coordinamento

G. Forzieri

Modellistica climatica

P. Mercogliano, R. Buizza

Impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto

M. Corazza (Pubblico locale); **F. Ricci Feliziani, C. Liti, M. Duca, G. Loprencipe, A. Ferone, L. Lotti, P. Croce, P. Formichi, F. Landi** (Terrestre); **P. Di Mascio** (Aereo); **P. De Girolamo** (Marittimo); **A. Montanari** (Fluviale)

Impatti climatici sulle infrastrutture di energia

E. Zio

Impatti climatici sulle infrastrutture di informatica e telecomunicazioni

M. Tornatore

Impatti climatici sulle infrastrutture di logistica

P. Cazzola

Impatti climatici sulle infrastrutture per la gestione delle risorse idriche

A. Castelletti, A. Cominola, C. Gandolfi, S. Alvisi

Impatti climatici sulle infrastrutture per la gestione dei rifiuti urbani e speciali

I. Pecorini

Valutazione dei futuri impatti economici diretti

G. Forzieri

Valutazione dei futuri impatti economici indiretti

F. Bosello, R. Parrado, G. Standardi, S. Dasgupta

Visualizzazione

A. Bianchi

Sintesi

Le infrastrutture critiche sono componenti essenziali per il mantenimento delle funzioni vitali della società, della salute, della sicurezza e del benessere economico e sociale dei cittadini. Le principali minacce causate dai cambiamenti climatici a queste infrastrutture includono danni, distruzioni e conseguenti perdite di funzionalità a causa di eventi estremi che il cambiamento climatico potrebbe esacerbare. Comprendere e quantificare questi rischi è fondamentale per pianificare misure di adattamento adeguate e garantire il buon funzionamento della società.

Il capitolo 4 descrive i meccanismi di impatto generati da eventi climatici estremi, quali ondate di calore e freddo, siccità, incendi, esondazioni fluviali e inondazioni costiere, tempeste di vento, con riferimento a differenti tipologie di infrastrutture critiche di trasporto, energia, informazione e comunicazione, logistica, distribuzione e gestione idrica e dei rifiuti.

L'analisi si basa su una revisione esaustiva della letteratura scientifica relativa all'argomento. Utilizzando simulazioni, condotte in precedenti studi ed esperimenti modellistici dedicati, vengono quantificati i possibili impatti economici diretti e indiretti sulle infrastrutture critiche del Paese conseguenti alle variazioni in frequenza e intensità degli eventi climatici estremi attese nei prossimi decenni, in accordo con uno scenario di emissione di gas serra "business-as-usual" che prevede un aumento della temperatura media globale di ~3°C entro la fine del secolo rispetto al 1990.

Sulla base di tali analisi si valuta che **l'impatto economico diretto sulle infrastrutture in Italia potrebbe crescere nel periodo 2040-2070 fino a 5.17±0.46 miliardi di euro l'anno, corrispondente ad un aumento di circa 12 volte il valore del danno odierno.**

Mentre gli attuali danni originati dai rischi climatici sono associati principalmente alle esondazioni fluviali (58%), **le proporzioni dei danni causati da siccità e ondate di calore potrebbero aumentare fortemente, fino a rappresentare circa il 92% dei danni climatici nel periodo 2040-2070 (vs 31% nel periodo 1981-2010 di riferimento).**

Ciò suggerisce che, in assenza di adeguate strategie di adattamento, gli impatti degli eventi climatici estremi potrebbero cambiare non solo in termini di entità dei danni, ma anche nelle loro tipologie. Ad esempio, **la produzione di energia potrebbe ridursi in maniera sostanziale** in seguito alla diminuzione dell'efficienza dei sistemi di raffreddamento delle centrali, a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua e dell'aria, con conseguenti effetti su molte delle infrastrutture da essa fortemente dipendenti, quali informazione e telecomunicazione e sistemi logistici. **Per il settore energia si stima che l'attuale impatto economico diretto associato agli eventi climatici estremi (0.04 miliardi di euro l'anno) potrebbe aumentare del 1300% circa entro il 2040-2070.**

Il trasporto terrestre e pubblico urbano potrebbero subire importanti danni per la **deformazione delle rotaie e il deterioramento del manto stradale** a causa delle elevate temperature; mentre la navigabilità delle vie interne potrebbe ridursi in conseguenza dei decrescenti deflussi fluviali attesi. **Per il settore dei trasporti si stima che l'attuale impatto economico diretto associato agli eventi climatici estremi (0.15 miliardi di euro all'anno) potrebbe aumentare del 1900% circa entro il 2040-2070.**

I sistemi di gestione idrica e dei rifiuti probabilmente dovranno affrontare con maggiore frequenza problematiche legate ad un crescente degrado delle sostanze da trattare. **Per tale settore industriale si stima che l'attuale impatto economico diretto associato agli eventi climatici estremi (0.23 miliardi di euro all'anno) potrebbe aumentare del 700% circa entro il 2040-2070.**

Anche le **inondazioni costiere, in larga misura controllate dal progressivo innalzamento del mare, manifesteranno probabilmente un incremento molto rilevante con conseguenti impatti sostanziali**

sulle infrastrutture critiche in prossimità della costa ed in particolare per il trasporto marittimo. I rischi di esondazioni fluviali e di incendi tenderanno ad aumentare, anche se le proiezioni suggeriscono che i loro effetti complessivi saranno più ridotti rispetto ai fenomeni climatici sopra menzionati. Gli impatti legati alle tempeste di vento, anche se probabilmente mostreranno variazioni limitate, rimangono un pericolo climatico potenzialmente molto dannoso per il trasporto aereo e la rete di trasmissione e distribuzione di energia mediante cavi aerei. Gli impatti originati dalle ondate di freddo scompariranno progressivamente in seguito al riscaldamento globale.

In totale, nello scenario *"business as usual"*, si stima che **il danno complessivo (diretto e indiretto) causato dalla perdita o danneggiamento di infrastrutture per il Paese possa variare tra lo 0.1-0.4% del PIL medio nel decennio 2020-2030 e lo 0.33-0.55% del PIL nel 2050. Ad oggi, si tratterebbe di mancata capacità di produrre beni e servizi per un valore di circa 2.3 - 8.7 miliardi di euro. Proiettata al 2050, la perdita ammonterebbe a circa 11.5 - 18 miliardi di euro.** Più del doppio, quindi, rispetto al danno diretto da cambiamento climatico sulle infrastrutture.

In generale l'intero Paese sarà soggetto ad un **sostanziale aumento degli impatti climatici**, tuttavia la loro distribuzione non sarà omogenea sul territorio. In termini assoluti i valori di rischio climatico saranno maggiori nelle regioni del Nord Italia e del versante tirrenico, caratterizzate da una più densa dotazione infrastrutturale potenzialmente esposta ai futuri eventi climatici estremi. Tuttavia, **in termini relativi, l'aumento del rischio climatico appare più marcato nelle regioni del Sud Italia, in seguito a variazioni più pronunciate in queste zone degli eventi climatici estremi direttamente dipendenti da temperatura e precipitazione.**

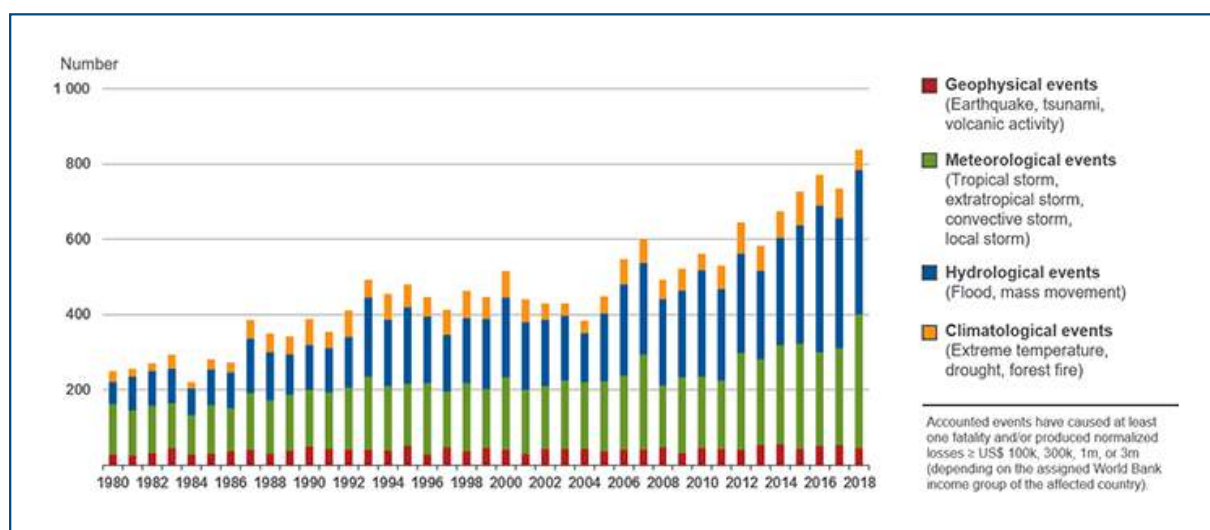
Sebbene le evidenze scientifiche presentate e discusse nel capitolo dimostrino crescenti e inequivocabili impatti climatici sulle infrastrutture del nostro Paese, le valutazioni rimangono soggette ad incertezze, alcune di difficile valutazione in base agli strumenti e dati attualmente disponibili. A tale proposito si propongono possibili indirizzi di ricerca e di programmazione da sviluppare per affinare le stime di rischio e favorire lo sviluppo di strategie di adattamento appropriate.

Introduzione

Le infrastrutture critiche sono componenti essenziali per il mantenimento delle funzioni vitali della società, della salute, della sicurezza e del benessere economico e sociale dei cittadini. Le principali minacce causate dal clima a queste infrastrutture includono danni o distruzione da eventi estremi (Handmer et al., 2012) che il cambiamento climatico tenderà probabilmente a esacerbare (Fisher et Knutti, 2015) (Pall, 2011).

Evidenze di tali effetti emergono in maniera incontrovertibile dal crescente numero di eventi climatici estremi a scala globale (Coumou et Rahmstorf, 2012) (AghaKouchak et al, 2020) e dei conseguenti impatti osservati negli ultimi decenni (Figura 1).

Figura 1: Serie storica di eventi climatici estremi che hanno generato impatti negativi sulla società aggregati a livello globale per il periodo 1980-2018. Fonte: Munich Re NatCatSERVICE.

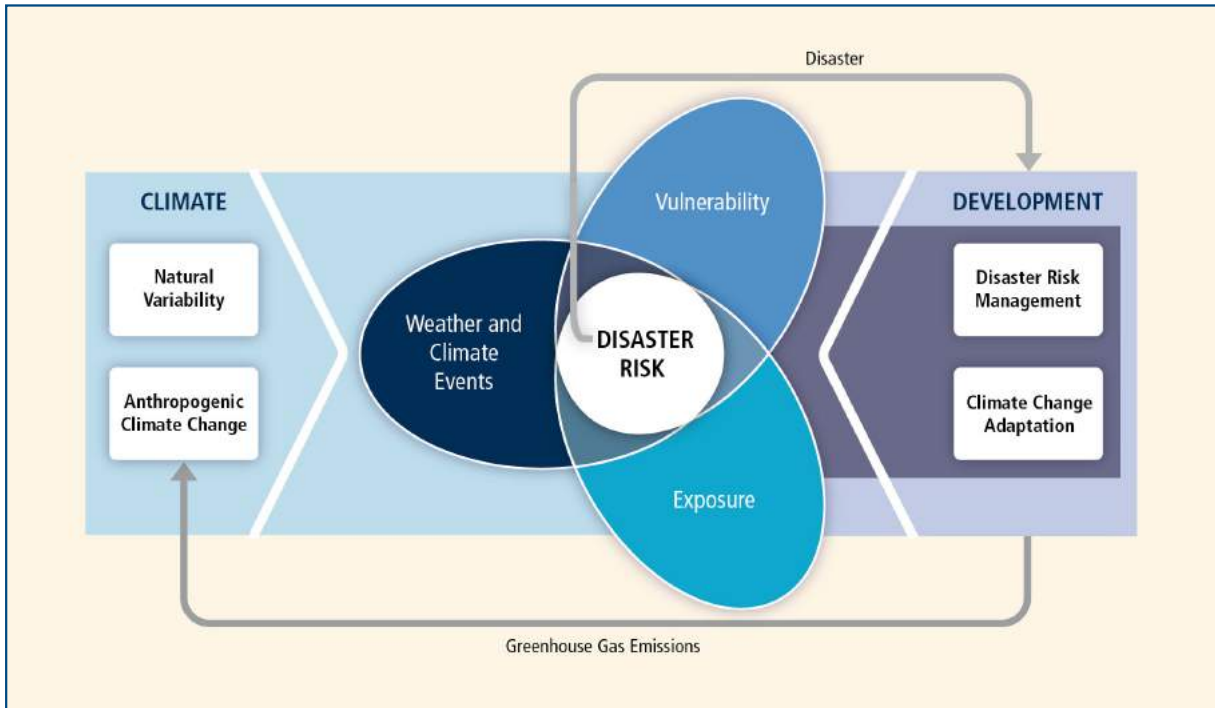


Comprendere e quantificare i rischi associati a questi eventi risulta necessario per poter pianificare adeguate misure di prevenzione, mitigazione e adattamento, a salvaguardia e garanzia del funzionamento delle infrastrutture e, quindi, della società che esse supportano.

Pericoli, vulnerabilità, esposizione e conseguenti rischi del cambiamento climatico

Secondo la metodologia proposta dall'IPCC (IPCC, 2014), gli impatti (rischi) dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture originano dalle interazioni dinamiche tra i pericoli generati da fenomeni climatici, l'esposizione delle infrastrutture e la loro vulnerabilità al pericolo climatico a cui sono esposte (Figura 2). Il **pericolo climatico** rappresenta il potenziale verificarsi di un evento climatico che può causare danni e perdite a proprietà, infrastrutture e più in generale alla fornitura di servizi. L'**esposizione** si riferisce invece alla distribuzione spaziale delle infrastrutture potenzialmente soggette a pericolo. La **vulnerabilità** esprime il grado in cui una infrastruttura è danneggiata quando esposta a un pericolo.

Figura 2. Illustrazione del concetto di rischio come integrazione di pericolo, esposizione e vulnerabilità. Fonte: IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.



La quantificazione dei pericoli, dell’esposizione e della vulnerabilità è soggetta a incertezza sia in termini di grandezza che di probabilità di accadimento, e ciascun elemento è variabile nel tempo e nello spazio in funzione dei cambiamenti climatici e socio-economici futuri. Ovviamente tipologie differenti di infrastrutture sono caratterizzate da differenti livelli di vulnerabilità ai cambiamenti climatici (Forzieri et al., 2018). Inoltre, poiché gli impatti dei cambiamenti climatici si manifestano localmente, le singole infrastrutture hanno anche diverse esposizioni ai pericoli climatici a seconda della loro posizione geografica.

Come sopra detto, i processi climatici e socio-economici influenzano il pericolo, l’esposizione e la vulnerabilità e, di conseguenza, i risultanti impatti. Ad esempio la crescente instabilità del sistema climatico in conseguenza di pressioni di origine naturale e antropica, quali le emissioni di gas serra, amplifica la variabilità climatica e, in ultima analisi, aumenta la frequenza e la severità degli eventi climatici estremi (Fisher et Knutti, 2015; Diffenbaugh et al., 2017).

Gli sviluppi economici e sociali di un paese, discussi nel capitolo 2, possono a loro volta influenzare gli impatti climatici, ad esempio promuovendo la realizzazione di opere infrastrutturali o la loro espansione in determinate aree, quindi controllando la distribuzione spaziale e temporale delle infrastrutture sul territorio, varando politiche di adattamento che incentivino l’utilizzo di tecnologie più o meno vulnerabili ai pericoli climatici (Formetta et Feyen, 2019) (Jongman et al., 2015), o di mitigazione attraverso tecnologie e politiche di riduzione di emissione di gas serra in atmosfera (Fawzy et al., 2020).

Le dinamiche socio-economiche legate al processo di aggiustamento verso un’economia a basse emissioni di carbonio e più sostenibile sotto il profilo ambientale³³ possono generare inoltre rischi di transizione, specie in assenza di processi analitici capaci di valutare l’esposizione del sistema socio-economico a questi rischi e delle conseguenti strategie per anticiparli e convertirli in opportunità di sviluppo.

³³ Recommendations. Task Force on Climate-Related Financial Disclosures <https://www.fsb-tcfd.org/recommendations/>.

L'impatto di un evento climatico estremo su una infrastruttura si manifesta in termini di danno fisico ai componenti che costituiscono l'infrastruttura stessa e, di conseguenza, in termini di costi necessari per la messa in sicurezza e/o per gli interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione (impatti diretti). Inoltre, la distruzione parziale o completa dell'infrastruttura può causare perdite economiche associate alle eventuali riduzioni di fornitura del servizio dovute alla ridotta funzionalità dell'infrastruttura o di altre ad essa interconnesse (impatti indiretti) (Kreibich et al., 2014).

Struttura del capitolo

Nelle sezioni successive si descrive qualitativamente la tipologia degli impatti di eventi climatici estremi su varie infrastrutture critiche sulla base di una estesa revisione della letteratura scientifica relativa all'argomento, strutturando la presentazione per tipologie di infrastruttura (sezione 4.1). Successivamente si fornisce una stima quantitativa, aggregata per settori economici e infrastrutture, degli impatti economici diretti e indiretti attesi sul territorio nazionale (sezione 4.2) alla luce dei cambiamenti climatici attesi nei prossimi decenni in base ad uno scenario di emissione di gas serra "*business-as-usual*" consistente con quanto presentato nel precedente capitolo 3. La descrizione preliminare degli impatti è funzionale a comprendere i canali attraverso cui i danni economici principalmente si svilupperanno. Si conclude con una breve analisi dei possibili effetti associati alle dinamiche socio-economiche e ai rischi di transizione (sezione 4.3), e con una sintesi dei possibili ulteriori sviluppi di ricerca e di programmazione necessari per affinare le metodologie di stima degli impatti dei cambiamenti climatici (sezione 4.4). La disamina fornita nel presente capitolo è utilizzata come base informativa per proporre appropriate strategie di adattamento e mitigazione descritte nei successivi capitoli 5 e 6.

4.1 Impatti originati da eventi climatici estremi sulle infrastrutture critiche

La progettazione delle infrastrutture critiche deve considerare la valutazione dei pericoli climatici che queste dovranno essere in grado di sostenere nel corso del loro ciclo di vita (Croce et al., 2018). La definizione delle mappe dei pericoli climatici utilizzate per la progettazione è generalmente basata su elaborazioni statistiche dei valori estremi annuali condotte nell'ipotesi di stazionarietà del clima. Poiché il cambiamento climatico modifica l'intensità e la frequenza degli eventi climatici, in particolare di quelli estremi, l'ipotesi di stazionarietà del clima viene meno; conseguentemente i pericoli climatici da considerare per la progettazione debbono essere adeguatamente rivalutati, sì da garantire che le strutture conservino il richiesto grado di affidabilità nel corso del tempo. Ad esempio, le recenti simulazioni numeriche generate per stimare l'evoluzione del clima futuro (IPCC, 2021) possono venire utilizzate per stimare l'evoluzione temporale delle statistiche degli eventi estremi. Se da un lato le future progettazioni potranno incorporare le conoscenze aggiornate sui fattori di rischio, si pone il problema delle strutture esistenti progettate secondo normative che trascuravano gli effetti dei rapidi cambiamenti climatici (Croce et al., 2019).

Impatti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture

Gli impatti sulle infrastrutture originati da eventi climatici estremi possono presentare tipologie molto diverse a seconda del processo climatico considerato e delle caratteristiche dell'infrastruttura stessa esposta al pericolo climatico. Nella presente sezione si descrivono gli impatti originati da ondate di calore e di freddo, siccità, incendi, esondazioni fluviali e inondazioni costiere, allagamenti, frane e tempeste di vento, descrivendone le caratteristiche per differenti tipologie di infrastrutture di trasporto, energia, informazione e comunicazione (ICT), logistica e per la distribuzione e gestione idrica e dei rifiuti. Impatti relativi alle variazioni climatologiche sono stati inclusi per le infrastrutture particolarmente sensibili (ad esempio energia). L'analisi presentata si basa su un'estesa revisione della letteratura scientifica sull'argomento e considera due categorie di impatto: diretto e indiretto. Gli impatti diretti sono quelli che un determinato fenomeno climatico può esercitare sulle infrastrutture fisiche, ad esempio rotture di condotte, guasti agli organi di regolazione, collassi o cedimenti strutturali dei manufatti. Gli impatti indiretti riguardano l'alterazione delle funzioni svolte dalle infrastrutture e un loro decrescente livello di servizio. Tali impatti si traducono tipicamente in costi necessari per gli interventi di messa in sicurezza e ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite, o in perdite economiche dovute alla riduzione di funzionalità dell'infrastruttura, e quindi della fornitura del relativo servizio (Kreibich et al., 2014).

Interdipendenze fra pericoli climatici e infrastrutture

La descrizione degli impatti nelle sezioni 4.1.1 - 4.1.6, organizzata separatamente per singoli pericoli climatici e per singole tipologie infrastrutturali, necessariamente rappresenta una fotografia parziale dei possibili effetti del cambiamento climatico. Infatti, come anticipato nel precedente capitolo 3, i fattori e i processi che controllano i pericoli climatici spesso interagiscono e possono esacerbarsi nello spazio e nel tempo (Tilloy et al., 2019)(Zscheischler & Seneviratne, 2017). Per esempio, tempeste di vento e incremento di precipitazioni possono verificarsi congiuntamente determinando incrementi della velocità di corrosione degli acciai, o un aumento della velocità di carbonatazione del calcestruzzo, con conseguente amplificazione dei fenomeni di degrado (Stewart et al., 2011). Le implicazioni economiche di tali effetti possono essere accentuate ulteriormente a causa delle forti interconnessioni esistenti fra molteplici settori infrastrutturali, ovvero impatti su una determinata infrastruttura possono propagarsi repentinamente su altre infrastrutture (Chopra & Khanna, 2015) (Buldyrev et al., 2010). Ad esempio, fenomeni di

tempeste di vento possono generare danni alla rete elettrica con conseguente perdita di distribuzione di corrente elettrica, che a sua volta può avere effetti su molte delle infrastrutture da essa fortemente dipendenti (Bompard et al., 2013) (Sieber, 2013). Tali interdipendenze settoriali sono brevemente descritte nella sezione 4.1.7 che riporta alcuni esempi di interazioni fra molteplici infrastrutture e dei possibili effetti a cascata che possono originare in caso di danneggiamento o riduzione di operatività di una singola infrastruttura. Pertanto, la descrizione proposta nelle sezioni seguenti rappresenta solo un primo passo necessario per comprendere la varietà di meccanismi attraverso cui gli eventi climatici estremi possono generare impatti economici sulle infrastrutture. Per una comprensione più approfondita delle dipendenze di ogni singola infrastruttura dalle pressioni climatiche o da altre infrastrutture si rimanda il lettore ai riferimenti bibliografici citati nel testo.

4.1.1 Infrastrutture di trasporto

4.1.1.1 Trasporto terrestre

Le infrastrutture di trasporto terrestre comprendono le opere stradali e ferroviarie. Per quanto riguarda l'infrastruttura ferroviaria sono state considerate: la sede che include il corpo stradale (opere civili quali rilevati, trincee, opere civili minori e opere d'arte come ponti, viadotti e gallerie) e la sovrastruttura ferroviaria (insieme di elementi atti a realizzare il piano di rotolamento e guida del veicolo ferroviario); gli impianti ferroviari (impianti di trazione elettrica, di sicurezza e di segnalamento, sistemi di telecomunicazione); le stazioni e i fabbricati ferroviari. Per quanto concerne l'infrastruttura stradale sono stati considerati: il corpo stradale (che include anche tutte le opere d'arte stradali come ponti, viadotti e gallerie); la pavimentazione stradale; i sistemi di segnaletica. Di seguito si descrivono gli impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto terrestre, sintetizzati in Tabella 1.

Ondate di calore

Le ondate di calore tendono ad acuire i fenomeni di rottura e degradazione della pavimentazione stradale con conseguente aumento degli interventi - e associati costi - di manutenzione e ripristino necessari (Nemry & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). Per quanto concerne l'infrastruttura ferroviaria tra i principali impatti ascrivibili alle ondate di calore è possibile annoverare i fenomeni di deformazione dei binari causati dalla dilatazione termica (ovvero i fenomeni di *buckling*) (Nemry & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). Tali deformazioni compromettono il livello del servizio ferroviario: in tali circostanze, infatti, si registrano spesso aumenti dei tempi di percorrenza delle linee dovuti alla riduzione delle velocità di esercizio (Nemry & Demirel, 2012) e/o interruzioni di servizio. In casi più estremi si potrebbe arrivare a compromettere la sicurezza della marcia del treno. Altri impatti ascrivibili all'aumento delle temperature sono l'eccessivo surriscaldamento delle componenti di segnalamento e di telecomunicazione che potrebbe ridurre l'affidabilità e generare malfunzionamenti (Ferranti et al., 2016). Particolarmente significativi potrebbero risultare gli incrementi degli spostamenti richiesti ai dispositivi mobili di vincolo e ai giunti di dilatazione dei ponti stradali e ferroviari; ne possono derivare riduzioni inaccettabili del comfort di marcia o la percolazione di acque aggressive, quali quelle ricche di sali antigelo, provenienti dall'impalcato, con esaltazione dei fenomeni di degrado. Tali impatti fisici si traducono in conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali danneggiate e in una possibile riduzione di operatività.

Ondate di freddo

Le ondate di freddo tendono a danneggiare la pavimentazione stradale (fenomeni di rottura e degradazione del manto stradale) e tali impatti richiedono interventi di manutenzione e possibili blocchi o disagi alla circolazione. Tali effetti risultano particolarmente accentuati dall'amplificarsi dei cicli di gelo-disgelo (OECD, 2016). Eventi nevosi e gelate richiedono inoltre interventi di rimozione di neve e ghiaccio con conseguenti simili impatti sulla circolazione nonché un aumento dei costi di manutenzione/ripristino. Una riduzione eccessiva delle temperature può compromettere il funzionamento dei sistemi di segnalamento, comunicazione e instradamento treni, ad esempio a causa del loro congelamento, nonché la funzionalità della linea di contatto che non permette l'accoppiamento pantografo-fune.

Siccità

Prorungati periodi di siccità possono acuire i fenomeni di subsidenza del terreno causando degradazione e deformazione del manto stradale con conseguente necessità di interventi di manutenzione (OECD, 2016).

Incendi

La propagazione di incendi in prossimità delle infrastrutture terrestri generalmente causa una temporanea chiusura delle strade e ferrovie. In presenza di eventi particolarmente severi, il calore sprigionato da un incendio può compromettere parti dell'infrastruttura interessata (es., danni materiali a ponti stradali e ferroviari) e causare guasti ai sistemi di controllo e di monitoraggio o danneggiare la segnaletica stradale aumentando i costi di manutenzione necessari per gli interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite (Fraser et al., 2020)

Esondazioni fluviali e inondazioni costiere/Allagamenti

Esondazioni/inondazioni e allagamenti generano importanti impatti sulle infrastrutture di trasporto terrestri. In particolare, possiamo distinguere due fenomenologie principali di impatto: a) erosioni fluviali che possono portare a danni strutturali dovuti, per esempio, all'incremento delle spinte sulle opere geotecniche e sulle spalle dei ponti, b) scalzamento delle fondazioni di opere geotecniche e delle pile dei ponti. Esondazioni e intense precipitazioni possono inoltre causare l'allagamento temporaneo delle sedi stradali e ferroviarie e/o il loro danneggiamento dovuto allo scorrimento delle acque e il malfunzionamento/collasso dei sistemi di drenaggio (Nemry & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). Inoltre, precipitazioni intense localizzate su piccoli bacini possono generare impatti importanti sulle infrastrutture di trasporto a causa dell'elevato trasporto solido che può ostruire la sede stradale e ferroviaria. Tutti questi impatti fisici si traducono in conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali danneggiate/distrutte.

Frane

L'instabilità dei versanti, spesso generata da intense precipitazioni, rappresenta un ulteriore importante pericolo di origine climatica per le infrastrutture di trasporto terrestre. Fango, detriti e massi possono invadere le sedi, sia stradali che ferroviarie, interrompendo la circolazione (Klose et al., 2015). In presenza di eventi particolarmente severi, le frane possono generare danni a varie componenti dell'infrastruttura o addirittura distruggerle come nel caso del crollo di ponti e viadotti (OECD, 2016). Tutti questi impatti fisici si traducono in conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali danneggiate/distrutte. La penisola italiana, per le sue particolarità geologiche, morfologiche e climatiche, è costituita da un territorio particolarmente soggetto a fenomeni di dissesto idrogeologico (Mysiak et al., 2013).

Tempeste di vento

A seguito di forti raffiche di vento sia le carreggiate stradali che le sedi ferroviarie possono essere temporaneamente inutilizzabili per la presenza di rami e alberi caduti o di detriti trasportati dal vento. Inoltre gli alberi abbattuti dal vento potrebbero colpire, cadendo, le linee aeree di contatto interrompendo così il servizio ferroviario in modo prolungato (UNECE, 2020). In presenza di venti particolarmente forti si possono registrare danni strutturali alle componenti dell'infrastruttura sia ferroviaria che stradale in seguito all'impatto diretto con detriti trasportati dal vento o alla pressione esercitata dallo stesso (es., danni a ponti e viadotti strallati, agli stabilimenti) (Nemry & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). Tali fenomeni possono richiedere interventi di manutenzione straordinaria con eventuali aumentati costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite.

Tabella 1: Impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto terrestre.

Pericolo climatico	Impatti	
	Strade	Ferrovie
Ondate di calore	Deterioramento del manto stradale Danni a ponti e viadotti legati all'espansione termica	Deformazione dei binari causata dalla dilatazione termica Limitazioni delle velocità di percorrenza e/o interruzioni di servizio Eccessivo surriscaldamento dei materiali rotabili Malfunzionamento delle componenti di segnalamento e di telecomunicazione Danni a ponti e viadotti legati all'espansione termica
Ondate di freddo	Deterioramento del manto stradale	Danneggiamento o distruzione di vari componenti dell'infrastruttura ferroviaria (es. congelamento di sistemi di segnalamento, comunicazione e instradamento treni)
Siccità	Deterioramento del manto stradale, danni strutturali alla sede stradale a causa di fenomeni di subsidenza	Danni strutturali alla sede ferroviaria a causa di fenomeni di subsidenza
Incendi	Danni causati dall'esposizione a fuoco e alte temperature	Danni causati dall'esposizione a fuoco e alte temperature
Esondazioni fluviali e inondazioni costiere Allagamenti	Danni strutturali a causa dell'impatto diretto con i flutti, in particolare ponti e viadotti; fenomeni di cedimento della sede stradale; erosione alla base delle pile e delle spalle dei ponti Deterioramento del manto stradale Allagamento della sede stradale con conseguente riduzione di operatività Malfunzionamento dei sistemi di drenaggio	Danni strutturali a causa dell'impatto diretto con i flutti, in particolare ponti e viadotti; fenomeni di cedimento della sede ferroviaria; erosione alla base delle pile e delle spalle dei ponti; Allagamento della sede ferroviaria con conseguente riduzione di operatività Malfunzionamento dei sistemi di drenaggio
Frane	Possibile ostruzione della sede stradale Danni strutturali causati dall'impatto diretto di movimenti di massa	Possibile ostruzione della sede ferroviaria Danni strutturali causati dall'impatto diretto di movimenti di massa
Tempeste di vento	Possibile ostruzione della sede stradale a seguito della caduta di alberi Danni strutturali in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti, in particolare ponti e viadotti	Possibile ostruzione della sede ferroviaria a seguito della caduta di alberi Maggiori sollecitazioni ai sistemi di elettrificazione Danni strutturali in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti, in particolare ponti e viadotti

4.1.1.2 Trasporto Pubblico Locale

La natura multi-modale del Trasporto Pubblico Locale (TPL) e l'esercizio integrato comportano la presenza di più tipi di infrastrutture in ambito urbano: viarie per la circolazione di modi motorizzati e non, i primi sia su gomma che su ferro, di superficie e/o sotterranee (strade, ponti, tunnel, ecc.); di interscambio, sosta e ricovero (fermate, terminali, stazioni, depositi, parcheggi), anche queste in superficie (areali o in elevato) o interrate; di servizio, aeree, di superficie o interrate (ad esempio, per captazione elettrica, approvvigionamenti di carburante e materiali, smaltimento delle acque meteoriche, reti telematiche, ecc.). Sebbene gli impatti dei fenomeni climatici estremi su queste infrastrutture possano essere in parte simili a quelli riportati nella sezione precedente 4.1.1.1 relativa al trasporto terrestre, la peculiarità del TPL risiede nella contemporaneità dei diversi modi interessati, con conseguente amplificazione degli effetti a scala urbana che si ripercuotono sulla domanda, con alterazioni delle abitudini e modalità di spostamento. Di seguito si descrivono gli impatti climatici sulle infrastrutture di cui si avvale il trasporto pubblico locale, con riferimento alle sue specificità rispetto al trasporto terrestre precedentemente discusso. Le valutazioni sono sintetizzate in Tabella 2.

Ondate di calore/Aumento di temperatura media

Temperatura e radiazione solare sono due dei tre fattori (unitamente al vento) che definiscono il regime termico all'interno della pavimentazione poiché determinano la trasmissione di calore tra l'aria e la superficie stradale. Per quello che riguarda la sede stradale, e in particolare i marciapiedi, la variazione del regime termico influenza normalmente il comportamento delle pavimentazioni; se tale variazione si associa a temperature molto elevate (unitamente a irraggiamenti prolungati, tipici del periodo estivo) le pavimentazioni a base bituminosa in quanto termo-suscettibili vedono le proprie caratteristiche meccaniche risentirne fortemente e le deformazioni viscosi dei manti di usura si inaspriscono, contribuendo ulteriormente a fenomeni di deterioramento. Nelle pavimentazioni legate a cemento le dilatazioni si esaltano e se tali deformazioni sono impedito si può generare uno stato di sollecitazione incompatibile con la resistenza della pavimentazione stessa (Corazza et al., 2014). Pertanto condizioni di eccessivo e prolungato calore e irraggiamento contribuiscono al deterioramento del manto stradale con aggravio delle operazioni di manutenzione.

Inoltre, per i veicoli su gomma, tali deformazioni si associano ad un aumento moderato della resistenza al rotolamento con conseguente possibile incremento nei consumi spesso ulteriormente amplificati dal maggiore uso di ausiliari a bordo per migliorare il confort di viaggio. Deterioramenti di questo tipo influiscono anche nel confort di pedoni e passeggeri che, oltre al disagio e alla scarsa sicurezza nel camminare su superfici discontinue, si possono anche trovare ad attendere l'autobus presso fermate prive di protezione dall'irraggiamento e senza possibilità di raffrescamento. La percezione di mancato o scarso confort a bordo e a terra può divenire fattore di diversione modale a favore dell'auto privata, con evidenti problemi di aumento delle esternalità negative.

Per i modi su ferro, e in particolare per i tram, le ondate di calore possono comportare stati di tensione/compressione nell'armamento, fenomeni in genere ben controllati dalle maggiori dimensioni delle rotaie tramviarie rispetto a quelle ferroviarie. Al limite, i casi di avaria possono tradursi in una deformazione dei binari causati dalla dilatazione termica (*buckling*), fenomeno peraltro raro ma che comunque comporta lo svio. Le ondate di calore possono peggiorare la regolarità di contatto sulla linea aerea delle tramvie a causa di una maggiore ondulazione dei cavi, salvo l'intervento di dispositivi tensori. Da considerare anche la verifica dei comportamenti dei giunti di collegamento tra la piena via e le opere d'arte (ponti e rilevati), qualora il tracciato lo preveda, come ulteriore attività manutentiva (Anderson et al., 2015). Per i tram valgono le stesse notazioni sul confort dei passeggeri già espresse a proposito dei modi su gomma. Si

riscontra uno scarso comfort anche nell'esercizio delle metropolitane, con aggravio nell'uso dei sistemi di aerazione e condizionamento. Vi è da notare che molti dei problemi descritti sopra, soprattutto inerenti al comfort di viaggio e l'aumento nel ricorso agli ausiliari di bordo, sono riscontrabili anche in caso di fenomeni meno estremi, come l'isola di calore.

Ondate di freddo

Il prolungarsi di temperature molto rigide comporta l'inversione dei fenomeni sopra riportati, con esiti legati in questo caso alla contrazione dei materiali, contribuendo al deterioramento del manto stradale fino alla possibile rottura. Tipici deterioramenti, come ad esempio i cretti per le pavimentazioni stradali, comportano ugualmente problemi di manutenzione. Fenomeni associati, quali gelo e nevicate, oltre a generare tale fragilizzazione dello strato superficiale dell'asfalto, possono incidere sulla qualità di guida del veicolo su gomma a causa della perdita di aderenza tra pneumatico e superficie stradale con problemi di sicurezza stradale, rallentamenti alla circolazione e irregolarità del servizio erogato (Qiu & Nixon, 2008). Interventi mitigatori come quelli legati alla rimozione della neve e del ghiaccio possono rientrare nell'ambito della ordinaria manutenzione in aree con regimi climatici freddi, ma comportano un aggravio economico in quelle zone ove nevicate e gelate risultano episodiche (Markhof et al., 2019). Durante l'esercizio temperature troppo rigide influiscono sui consumi dei veicoli per l'utilizzo prolungato degli ausiliari di bordo, soprattutto per la dispersione del calore durante l'apertura delle porte alle fermate. Per i tram valgono gli stessi problemi di irregolarità del servizio sopra citati e, per quel che riguarda l'armamento, le criticità legate ad un eccesso di freddo possono portare alla rottura della rotaia. Le ondate di freddo sono particolarmente critiche per le conseguenze sulla domanda che, in caso di scelta, tende ad orientarsi verso il modo privato, percepito come più confortevole e senza l'obbligo di attese alle fermate. L'infrastruttura di interscambio (la fermata costituita da palina semplice o pensilina) svolge, in questo, un ruolo fondamentale in quanto non attrezzata a fornire condizioni confortevoli di attesa. L'esito in termini di aumento delle esternalità è analogo a quanto già riportato per le ondate di calore. In tali situazioni la metropolitana rimane il servizio urbano più efficiente ed anzi può svolgere una funzione aggiuntiva, ormai sperimentata in molte città, di rifugio per i senzatetto nelle stazioni che rimangono aperte ed attrezzate allo scopo durante le ore notturne; tale esercizio prolungato comporta, comunque, un aggravio dei costi di esercizio.

Incendi

Per qualsiasi tipo di infrastruttura viaria l'incendio è un evento distruttivo che comporta l'interruzione del servizio, il danneggiamento o la compromissione totale di attrezzature, veicoli e sedi, con conseguenti elevati costi di ripristino e/o ricostruzione. Per il TPL la sede più sensibile è quella della metropolitana ma, al riguardo, va detto che la progettazione odierna si basa su criteri di sicurezza consolidati in grado di prevenire e/o mitigare l'evento e i danni causati, con particolare attenzione all'esigenza di evacuazione in galleria (Gravit et al., 2016).

Esondazioni fluviali e inondazioni costiere/Allagamenti

I problemi di esondazione/inondazioni, nella loro temporaneità, influiscono sulle infrastrutture viarie di trasporto pubblico, dal punto di vista fisico, molto limitatamente; tuttavia, le criticità principali sono l'interruzione del servizio e l'evacuazione in luogo sicuro dei passeggeri, sia all'aperto che in sotterranea (Thieken et al., 2009) Allagamenti originati da intense precipitazioni e spesso favoriti anche dalla scarsa manutenzione di chiusini e caditoie possono similmente causare l'interruzione del servizio e un aggravio nei costi di ripristino e manutenzione.

Frane

Analogamente a quanto riportato a proposito degli impatti collegati agli incendi i fenomeni franosi comportano possibili danni strutturali alla via, ad attrezzature, veicoli e sedi con conseguenti elevati costi di ripristino e/o ricostruzione e riduzione di esercizio (Klose et al., 2015). Vi è da notare che i fenomeni franosi in aree urbane sono, tuttavia, poco frequenti.

Tempeste di vento

Le tempeste di vento possono causare danni alla via a causa di corpi estranei caduti che invadono l'area di sedime, quali alberature, pali, arredi urbani, con conseguenti costi di rimozione e ripristino, interruzione dell'esercizio e disagi alla circolazione. Forti raffiche di vento possono inoltre causare il ribaltamento di veicoli su gomma.

Tabella 2: Impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto pubblico locale.

Pericolo climatico	Impatti
Ondate di calore Aumento di temperatura media	Deterioramento del manto stradale Aumento dei consumi dei veicoli dovuto ad una maggiore resistenza al rotolamento e ad un maggiore uso degli ausiliari di bordo Deformazione dei binari causata dalla dilatazione termica Peggioramento del contatto sulla linea aerea per i tram con conseguente irregolarità e/o sospensione del servizio Riduzione del comfort di viaggio (attesa e percorrenza) che genera la diversione della domanda verso l'auto privata, con conseguente aumento delle esternalità
Ondate di freddo	Deterioramento del manto stradale Perdita di aderenza tra pneumatico e superficie stradale dovuta al gelo, con problemi di sicurezza stradale, rallentamenti alla circolazione e irregolarità del servizio Maggiore uso degli ausiliari di bordo Rottura della rotaia nell'armamento Riduzione del comfort di viaggio (attesa e percorrenza) che genera la diversione della domanda verso l'auto privata, con conseguente aumento delle esternalità Aumento dei costi di esercizio per le stazioni della metropolitana quando fungono da ricovero notturno per i senzatetto
Incendi	Danneggiamento o compromissione totale di attrezzature, veicoli e sedi con conseguente riduzione di esercizio e aggravio dei costi di ripristino e/o ricostruzione
Esondazioni fluviali e inondazioni costiere Allagamenti	Allagamento della via con conseguente riduzione o sospensione di esercizio e aggravio nei costi di ripristino e manutenzione di tombini e caditoie Maggiori consumi di carburante in caso di diversione di percorso, con aumento delle esternalità
Frane	Danneggiamento o compromissione totale di attrezzature, veicoli e sedi, con conseguente riduzione o sospensione di esercizio e aggravio dei costi di ripristino e/o ricostruzione Maggiori consumi di carburante in caso di diversione di percorso, con aumento delle esternalità
Tempeste di vento	Danni alla via dovuti alla caduta di corpi estranei che invadono l'area di sedime, con conseguente riduzione o sospensione di esercizio e aggravio dei costi di rimozione e ripristino, disagi alla circolazione. Maggiori consumi di carburante in caso di diversione di percorso, con aumento delle esternalità Ribaltamento di veicoli

4.1.1.3 Trasporto Aereo

Le infrastrutture aeroportuali considerate comprendono tutte le superfici destinate alle operazioni di decollo, atterraggio, rullaggio e parcheggio degli aeromobili (piste di volo, vie di circolazione a terra, piazzali di sosta degli aeromobili); tutti gli edifici a servizio dell'operatività degli aeromobili (aerostazioni passeggeri e merci, servizi tecnici, aree manutenzione a/m etc.); le zone di sosta dei veicoli (autovetture, veicoli commerciali, bus, stazioni ferroviarie) e la relativa viabilità di accesso. Di seguito si descrivono gli impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto aereo, sintetizzati in Tabella 3.

Ondate di calore/Aumento di temperatura media

Le ondate di calore tendono ad alterare le proprietà dei materiali costituenti le pavimentazioni delle piste di volo. In particolare, una temperatura elevata rende meno rigido e più viscoso il conglomerato bituminoso, aumentando la resistenza al rotolamento durante la corsa al decollo e all'atterraggio degli aeromobili (Puempel & Williams, 2016) (Burbidge, 2016). Tale variazione si traduce in un maggior consumo di carburante. L'aumento della temperatura, inoltre, riduce la densità dell'aria, e di conseguenza anche la portanza, ovvero la forza che sostiene l'aeromobile in aria (Puempel & Williams, 2016) (Burbidge, 2016). Per questo motivo le piste esistenti potrebbero diventare insufficienti per il decollo e l'atterraggio degli aeromobili a pieno carico. La conseguenza è una diminuzione di carico pagante sul velivolo o la necessità di lavori di costruzione per l'allungamento della pista di volo. Effetti a più grande scala generati dal riscaldamento globale sul sistema climatico possono influire sul Jet Stream e in ultima analisi sulle rotte aeree (Puempel & Williams, 2016) (Burbidge, 2016). Il jet stream di media latitudine in ciascun emisfero è creato e sostenuto dalla differenza di temperatura tra i poli freddi e i tropici caldi. Questa differenza di temperatura sta diminuendo a livello del suolo a causa del riscaldamento polare, ma sta aumentando a livello di crociera in volo a causa del raffreddamento stratosferico inferiore. Tale cambiamento può modificare le rotte di volo ottimali aumentandone i tempi di viaggio e quindi i costi.

Ondate di freddo/Precipitazioni nevose

La presenza di ghiaccio sulle pavimentazioni in conseguenza di ondate di freddo riduce l'aderenza nelle fasi di decollo abortito e di atterraggio (ENAC, 2014). Ciò è particolarmente pericoloso perché l'aereo potrebbe non avere a disposizione lo spazio sufficiente per frenare in sicurezza. Inoltre, la formazione di ghiaccio sulle ali degli aeromobili modifica la superficie delle ali stesse, diminuendo la portanza. Per questo, quando la temperatura scende sotto lo zero, negli aeroporti è necessario intensificare le operazioni di manutenzione straordinaria delle pavimentazioni e degli aeromobili. Questi ultimi comprendono operazioni di "de-icing" (rimozione del ghiaccio dalle ali tramite acqua calda cui è aggiunto un fluido viscoso) e "anti-icing" (applicazione a freddo di un fluido che impedisce la formazione di ulteriore ghiaccio nel periodo che intercorre fra il de-icing e il decollo) (Puempel & Williams, 2016). Precipitazioni nevose intense possono portare anche alla diminuzione della visibilità e quindi alla necessità di interruzione dell'operatività (Figura 6). La chiusura dell'aeroporto comporta l'atterraggio su un aeroporto alterato con aumento del consumo, e quindi del costo del carburante, oltre l'aumento dei costi per il trasporto dei passeggeri e del bagaglio e/o della merce dall'aeroporto alterato a quello di destinazione originario.

Esondazioni fluviali e inondazioni costiere

Negli aeroporti a quote basse in località costiere, l'innalzamento del livello del mare può aumentare il rischio di mareggiate, soprattutto in concomitanza di episodi di precipitazioni molto intense. Le inondazioni possono interessare sia direttamente gli aeroporti sia i percorsi di accesso all'aeroporto stesso,

danneggiando infrastrutture e velivoli, con conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione, e compromettendone l'operatività (Puempel & Williams, 2016); (Burbidge, 2016); (JRC, 2018); (Cipriani, 2013). La chiusura dell'aeroporto comporta l'atterraggio su un aeroporto alterato con aumentati costi necessari per il trasferimento di passeggeri, bagagli e merci. Simili impatti possono originare da fenomeni di esondazioni fluviali per aeroporti in prossimità di corsi d'acqua.

Tempeste di vento/Variazioni nella direzione del vento

Le tempeste di vento possono causare il danneggiamento delle strutture presenti in aeroporto in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti con conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione (Burbidge, 2016); (JRC, 2018); (Lopez, 2016). Inoltre, tali fenomeni estremi rendono generalmente necessaria la chiusura dell'aeroporto perché le operazioni diventano impossibili. La chiusura dell'aeroporto comporta l'atterraggio su un aeroporto alterato con aumentati costi necessari per il trasferimento di passeggeri, bagagli e merci. Anche variazioni nelle direzioni trasversale e prevalente del vento, non necessariamente legate a fenomeni estremi, possono avere importanti impatti su infrastrutture aeroportuali (Burbidge, 2016); (JRC, 2018); (Lopez, 2016). Le piste di volo sono orientate in base allo studio anemometrico del sito, in modo che sia sempre molto limitata la componente trasversale del vento, quella componente cioè che può limitare la governabilità degli aeromobili nelle fasi di decollo e in atterraggio. Un aumento di questa componente oltre i limiti consentiti ha come conseguenza la chiusura della pista, con risultante perdita di operatività dell'aeroporto. Nel caso in cui siano presenti più piste con direzioni diverse, il cambiamento di direzione della componente trasversale porterebbe allo spostamento di una parte del traffico sulle altre piste con conseguente cambiamento dell'impatto ambientale (in particolare il rumore) nelle aree limitrofe all'aeroporto. L'installazione della strumentazione delle piste di volo per gli aiuti alla navigazione aerea per gli atterraggi di precisione è studiata in funzione della direzione prevalente del vento. Come è noto, infatti, gli aerei decollano e atterrano sempre con vento contrario, nel primo caso per aumentare la forza di portanza, nel secondo caso per aumentare la forza di resistenza che aiuta la frenata dell'aereo. Eccetto i grandi aeroporti internazionali, nella maggior parte degli aeroporti italiani, solo una testata è strumentata, quella che registra i venti prevalenti di direzione contraria alle operazioni di decollo e di atterraggio. Una variazione di direzione dei venti può pertanto limitare l'operatività della pista e un aumento dell'intensità del vento in coda richiede una lunghezza di pista maggiore, nel caso di nuove installazioni, o una riduzione del carico pagante a bordo degli aeromobili o l'annullamento di alcune operazioni, nel caso di piste già esistenti.

Tabella 3: Impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto aereo.

Pericolo climatico	Impatti
Ondate di calore Aumento di temperatura media	Aumento della viscosità delle pavimentazioni Riduzione della portanza dei velivoli Variazione del Jet Stream e modifica delle rotte ottimali
Ondate di freddo Precipitazioni nevose	Formazione di ghiaccio sulle pavimentazioni e conseguente riduzione di aderenza sulle piste di volo Formazione di ghiaccio sulle ali degli aeromobili e conseguente operazioni di de-icing e anti-icing Riduzione di operatività a causa di precipitazioni nevose che riducono la visibilità
Esondazioni fluviali e inondazioni costiere	Danni strutturali a causa dell'impatto diretto con i flutti
Tempeste di vento Variazioni nella direzione del vento	Danni strutturali in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti Opere di adeguamento infrastrutturale in seguito ad un aumento della componente trasversale del vento e ad una variazione della direzione prevalente del vento Riduzione di operatività

4.1.1.4 Trasporto Marittimo

Le principali infrastrutture alle quali si fa riferimento sono costituite dai porti commerciali e industriali e le rotte marittime, le quali, pur non essendo infrastrutture in senso stretto, possono essere fortemente condizionate, come si vedrà più oltre, dai cambiamenti climatici. Di seguito si descrivono gli impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto marittimo, sintetizzati in Tabella 4.

Ondate di calore/Aumento di temperatura media

Le ondate di calore tendono a modificare le caratteristiche dei materiali costituenti le pavimentazioni in conglomerato bituminoso che nel caso dei porti interessano i terminali marittimi e in particolare le aree in cui avviene la movimentazione e lo stoccaggio delle merci e lo scambio intermodale del trasporto, come ad esempio dal trasporto marittimo a quello ferroviario o su gomma e viceversa (Ligteringen, 1999). Tali impatti, a seconda della severità, possono tradursi in costi legati all'adeguamento delle componenti infrastrutturali. Le ondate di calore possono inoltre aumentare il consumo di energia (e quindi dei costi) per il raffreddamento della merce deperibile per la quale è necessaria la refrigerazione. Per quanto riguarda gli effetti a grande scala, le ondate di calore, e più in generale un aumento persistente di temperatura media dell'aria, possono influenzare il consumo del carburante delle navi a causa della riduzione di efficienza dei sistemi di raffreddamento degli apparati di propulsione e il consumo energetico degli impianti di refrigerazione delle merci a bordo delle navi e nelle aree di stoccaggio come, ad esempio, per i contenitori refrigerati. L'aumento della temperatura media peraltro sta favorendo lo scioglimento dei ghiacci polari con conseguenze rilevanti sulle rotte marittime. Lo scioglimento della banchisa artica potrebbe infatti rendere possibile l'utilizzo nel periodo estivo della rotta artica (passaggio a Nord-Est o a Nord-Ovest) per il collegamento tra l'Asia e l'Europa (Østreng, 2013). Tali variazioni potrebbero produrre una considerevole riduzione dei tempi di trasporto navale con possibili benefici economici favorendo i porti Nordeuropei rispetto a quelli italiani e più in generale quelli del Mediterraneo.

Ondate di freddo/Precipitazioni nevose

Per quanto riguarda i porti italiani le ondate di freddo non costituiscano un problema rilevante per i traffici portuali poiché il mare svolge comunque il ruolo di volano termico mitigando gli abbassamenti della temperatura atmosferica. Tuttavia, la formazione di precipitazioni nevose o di ghiaccio a terra tende a rallentare o ostacolare le operazioni portuali riducendo l'operatività portuale e i proventi economici.

Siccità

Eventi siccitosi di lunga durata che si verificano almeno su scala regionale possono indurre nei porti problemi di approvvigionamento idrico di acqua naturale per uso potabile e industriale.

Esondazioni fluviali

Le esondazioni fluviali in prossimità della costa possono essere acute dalle variazioni climatiche a causa dell'aumento delle precipitazioni meteoriche intense e quindi dei deflussi fluviali e dell'aumento del livello medio del mare indotto dall'eustatismo (Bevacqua et al.,2020) (Ward et al.,2018). I corsi d'acqua maggiormente sensibili a questi fenomeni improvvisi e violenti sono quelli a regime torrentizio presenti in quasi tutte le regioni italiane e in particolare in Liguria, Calabria e Sicilia. I porti che possono essere interessati da esondazioni fluviali sono costituiti principalmente dai porti fluviali e canale. I porti fluviali, sono considerati in questo capitolo come infrastrutture di trasporto fluviale, e sono discussi nella sezione

seguito 4.1.1.5. I porti canale sono realizzati nei tratti terminali dei corsi d'acqua in prossimità del mare principalmente adibiti al trasporto marittimo. Numerosi di questi porti, che generalmente si sviluppano in ambiente urbano, presentano rilevanti problemi di convivenza con i corsi d'acqua a causa dell'interrimento indotto dal trasporto solido fluviale e costiero e dell'escursione dei livelli idrici causati dalle piene fluviali. Per quanto riguarda i fenomeni di interrimento portuale, si evidenzia che la vigente normativa ambientale italiana, particolarmente stringente, rende oggi di difficile attuazione e molto costosi gli interventi di dragaggio dei porti. Pertanto in generale si cerca di evitare di realizzare nuovi porti lungo i fiumi e i torrenti e se possibile di separare dai fiumi i porti canale esistenti. Nei porti i fenomeni di allagamento fluviale possono causare una serie di impatti quali il temporaneo fuori servizio dei terrapieni e dei terminali marittimi, danni agli impianti, alle pavimentazioni, ai mezzi di movimentazione delle merci, agli edifici e ai magazzini, e l'interrimento dei bacini portuali.

Inondazioni costiere/Tempeste di vento

Le cause correlate alle variazioni climatiche che possono aumentare la frequenza e l'entità delle inondazioni costiere originano principalmente dall'aumento del livello medio del mare causato dall'eustatismo e dall'intensificazione dei fenomeni estremi di vento, i quali determinano l'aumento sia del moto ondoso, sia del "sovrizzo di tempesta" ("storm surge") (Svendsen, 1980). Nel Mediterraneo si iniziano a registrare tempeste che rientrano nel campo dei cicloni tropicali, le quali, in analogia agli uragani, vengono denominati "medicane" (Emanuel, 2005). In Italia il mare che risulta più soggetto all'acuirsi di questi fenomeni è il Mar Adriatico a causa della morfologia del suo bacino, delle coste e dei rilievi montuosi che lo delimitano (Pasquali et al., 2015). I fenomeni di inondazione costiera possono causare danni importanti alle infrastrutture di trasporto marittimo, fra cui: danni alle opere esterne (dighe foranee) ed interne (banchine e terrapieni) portuali, interrimento dei porti, danni ai mezzi marittimi localizzati nei porti, fuori servizio delle infrastrutture portuali che in caso in cui si verificano danni o fenomeni rilevanti di interrimento possono prolungarsi nel tempo fino al ripristino delle opere danneggiate, danni in generale alle infrastrutture interconnesse quali centri urbani e vie di comunicazione a causa soprattutto dell'erosione costiera.

Tabella 4: Impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto marittimo.

Pericolo climatico	Impatti
Ondate di calore Aumento di temperatura media	Aumento del consumo di energia per la movimentazione delle merci nei porti, il trasporto marittimo, la refrigerazione delle merci Modifica delle rotte di collegamento tra l'Europa e l'Asia a causa dell'utilizzo della rotta artica nel periodo estivo che favorirebbe i porti del Nord Europa rispetto a quelli del Mediterraneo
Ondate di freddo Precipitazioni nevose	Riduzione di operatività
Siccità	Possibili problemi di approvvigionamento idrico per uso potabile ed industriale
Esondazioni fluviali	Temporaneo fuori servizio dei terrapieni e dei terminali marittimi; danni agli impianti, alle pavimentazioni, ai mezzi di movimentazione delle merci, agli edifici e ai magazzini dei porti; interrimento dei bacini portuali
Inondazioni costiere Tempeste di vento	Danni strutturali alle opere esterne (dighe foranee) ed interne (banchine e terrapieni) portuali; interrimento dei porti Danni strutturali ai mezzi marittimi che stazionano nei porti Riduzione di operatività Danni alle infrastrutture interconnesse, quali centri urbani e vie di comunicazione, a causa dell'erosione costiera

4.1.1.5 Trasporto Fluviale

Le infrastrutture di supporto ai trasporti fluviali, sia turistici sia commerciali, comprendono porti e banchine, conche di navigazione, canali artificiali e infrastrutture di sostegno dei livelli idrici. Le idrovie fluviali utilizzate per trasporti commerciali nel nostro Paese sono principalmente concentrate nel Sistema Idroviario Padano Veneto. Fra i corsi d'acqua utilizzati per la navigazione si possono ricordare, oltre al Fiume Po, il Fiume Sile, il Fiume Brenta, la litoranea veneta da Venezia a Trieste, il Canale Navicelli da Pisa a Livorno, il Fiume Tevere ed altri.

Ondate di calore/Aumento della temperatura media

Il riscaldamento globale genera incremento della temperatura dell'acqua in misura paragonabile all'incremento della temperatura dell'aria. Le ondate di calore provocano a loro volta, con ritardo che dipende anche dalle caratteristiche idrologiche del corso d'acqua, un ulteriore riscaldamento del corpo idrico. Nei corsi d'acqua navigabili soggetti a glaciazione l'aumento della temperatura nei mesi invernali si potrebbe tradurre in un potenziale vantaggio per la navigazione. Tuttavia detta circostanza si può ritenere pressoché assente nel nostro Paese. In estate invece l'aumento di temperatura si traduce in una riduzione dell'ossigenazione del corso d'acqua e quindi nel peggioramento della qualità dell'ecosistema fluviale. Ciò può generare impatti significativi sulla fruizione turistica, che nel nostro Paese è diffusa e può anche essere danneggiata dalle difficili condizioni ambientali che la temperatura eccessiva comporta. È infine da ricordare che il riscaldamento globale provoca variazioni nella distribuzione dell'accumulo nevoso e glaciale e quindi dei regimi fluviali nelle diverse stagioni. Alla luce delle proiezioni climatiche recenti è ragionevole ipotizzare un ulteriore contributo del riscaldamento globale nel senso di una riduzione dei deflussi estivi nei fiumi come il Po che beneficiano, durante i mesi caldi, di contributi nevosi e glaciali al deflusso. L'interazione fra siccità ed ondate di calore è un esempio rilevante di sovrapposizione non lineare di diversi impatti negativi del cambiamento climatico (Guerreiro et al., 2018).

Ondate di freddo

Le ondate di freddo possono generare fenomeni di glaciazione delle idrovie, circostanza che tuttavia è molto rara nelle idrovie italiane. Hanno inoltre impatto significativo sulla fruizione turistica, poiché generano condizioni ambientali non favorevoli alla navigazione per scopi contemplativi, di studio e rigenerativi.

Siccità

I fenomeni di siccità si verificano generalmente a seguito di temporanea scarsità di precipitazione, ovvero siccità meteorologica, che a sua volta, in particolari condizioni, origina siccità agricola ed idrologica. In particolare la siccità idrologica è portatrice degli impatti più significativi del cambiamento climatico sulla navigazione fluviale. I fenomeni di siccità sono caratterizzati da evoluzione lenta e quindi lunga durata, che si può estendere su più stagioni o più anni. Esempi recenti di siccità di lunga durata sono la magra sudafricana (2015-2018), la "Millenium Drought" in Australia (2001-2009), la magra californiana (2011-2017). Si tratta di fenomeni il cui impatto è esacerbato dal riscaldamento globale che a sua volta genera maggiori prelievi per esigenze agricole e quindi un effetto di sovrapposizione non lineare di riduzione di portata fluviale ed aumento della domanda idrica. La riduzione del deflusso, a sua volta, comporta una riduzione del livello idrico e della velocità dell'acqua che successivamente impattano sulla navigabilità. L'impatto può essere diretto, poiché la riduzione del livello

limita il pescaggio utile delle imbarcazioni, la loro manovrabilità e l'efficienza operativa delle strutture di navigazione; può essere indiretto mediante i cambiamenti indotti nel regime del trasporto fluviale, e quindi nella morfologia del corso d'acqua, che si traducono in intensificazione delle operazioni di dragaggio. Inoltre, le infrastrutture di navigazione sono sottoposte a variazioni di sollecitazioni esterne in periodo di magra. In particolare, l'alterazione dei cicli di immersione ed emersione delle strutture in legno ne può compromettere la durabilità. I cambiamenti dei livelli idrici influenzano anche l'operabilità delle strutture portuali e delle conche di navigazione. Particolare attenzione deve essere riposta alle variazioni della stagionalità associate al cambiamento climatico che possono comportare cambiamenti nelle operazioni di trasporto e manutenzione delle infrastrutture (Kling et al., 2003). Gli impatti innanzi descritti sono oggetto di particolare preoccupazione in particolare nei corsi d'acqua in parte o totalmente sprovvisti di infrastrutture atte a sostenere il livello idrico, quali ad esempio sbarramenti e relative conche di navigazione.

Piene ed esondazioni fluviali

Le piene fluviali, e le possibili esondazioni che ne conseguono, generano impatti significativi sulla navigazione commerciale e turistica, sia per gli effetti diretti sulla navigabilità generati dai livelli idrici eccessivi, sia per gli effetti indotti sulla morfologia fluviale. Mentre gli effetti diretti sui livelli idrici sono generalmente di breve durata, in ragione della evoluzione rapida degli eventi di piena, l'impatto sulla morfologia fluviale può assumere carattere estremamente rilevante e non si risolve spontaneamente al termine dell'evento di piena. È ben noto, infatti, che i fenomeni di trasporto solido si estrinsecano principalmente in occasione delle piene e possono quindi provocare in breve tempo delle trasformazioni che richiedono interventi di manutenzione potenzialmente ingenti e lunghi tempi di intervento. È inoltre da ricordare che le piene possono generare danni alle infrastrutture dovuti all'incremento della spinta dell'acqua e all'impatto di materiali flottanti e di fondo trasportati durante l'evento. Nel complesso, quindi, l'impatto del cambiamento climatico sulle piene fluviali è da considerare con particolare attenzione nei confronti delle infrastrutture di navigazione, si veda, ad esempio Guerrero et al., (2013).

Allagamenti

Gli allagamenti di origine fluviale o costiera, qualora interessino le zone contermini alle idrovie fluviali, possono causare interruzione della navigazione a causa del loro impatto sulle vie di comunicazione ed attività di terra. Si tratta di un impatto generalmente di breve durata.

Tempeste di vento

Gli eventi ventosi possono essere causa di interruzione della navigazione, sia per effetto diretto sull'attività portuale (manovrabilità delle imbarcazioni etc.), sia per effetto dell'incremento del moto ondoso che si verifica in presenza di ampi specchi d'acqua. Come per le ondate di caldo e freddo si possono inoltre verificare impatti sulla fruibilità delle vie di navigazione per scopi turistici, in ragione delle difficili condizioni ambientali generate dalla presenza di vento.

Tabella 5: Impatti climatici sulle infrastrutture di trasporto fluviale.

Pericolo climatico	Impatti	
	Idrovie	Infrastrutture
Ondate di calore Aumento della temperatura media	Aumento della temperatura dell'acqua e conseguente peggioramento della qualità ambientale Variazione della stagionalità dei deflussi e conseguente impatto sulla navigabilità	
Ondate di freddo	Compromissione della fruizione turistica	
Siccità	Riduzione dei livelli idrici e della durata del periodo navigabile Variazione della morfologia fluviale ed impatto sulle condizioni di navigabilità	Azioni impreviste sulle infrastrutture Incremento delle operazioni di manutenzione
Piene ed esondazioni fluviali	Compromissione della navigabilità Alterazione della morfologia fluviale	Possibile danneggiamento dovuto a trasporto materiali flottanti e di fondo. Incremento delle operazioni di manutenzione
Allagamenti		Impatto sulle vie di comunicazione di accesso a terra e conseguente riduzione della navigabilità
Tempeste di vento	Compromissione della fruizione turistica	

4.1.2 Infrastrutture per l'energia

Le infrastrutture per l'energia considerate comprendono sia gli impianti di produzione di potenza elettrica da fonti convenzionali e rinnovabili che le reti per la sua trasmissione e distribuzione (Cox et al., 2017) (Bonjean Stanton et al., 2016). Di seguito si descrivono gli impatti climatici sulle infrastrutture per la produzione, trasmissione e distribuzione di energia, sintetizzati in Tabella 6.

Ondate di calore/Aumento di temperatura media

L'aumento di temperatura provoca molteplici impatti sulla sicurezza della disponibilità di energia, influenzando i processi e il funzionamento di impianti e sistemi. Sostanzialmente questo deriva dal fatto che l'aria potrebbe non essere sufficientemente fresca e l'acqua sufficiente e sufficientemente fresca per il raffreddamento dei sistemi. In particolare, in condizioni di elevate temperature prolungate nel tempo, come nel caso di quelle registrate al verificarsi di ondate di calore, gli impianti a combustibile fossile manifestano tipicamente una perdita di rendimento e quindi di proventi economici (Cruz & Krausmann, 2013). L'aumento di temperatura dell'aria può anche ridurre l'efficienza delle infrastrutture di generazione e di trasmissione di elettricità: le centrali elettriche diventano meno efficienti all'aumentare della temperatura ambiente ed il raffreddamento diventa meno efficace (Sieber, 2013) (Rübbelke & Vögele, 2011). L'aumento delle temperature genera impatti anche sui sistemi di trasmissione e distribuzione riducendone la capacità termica. La corrente che scorre attraverso i cavi di trasmissione aerea genera calore e lo standard per i cavi di trasmissione fa riferimento a una determinata soglia di temperatura: in caso di aumento della temperatura dell'aria viene generalmente ridotta la trasmissione di corrente per evitare che il cavo raggiunga tale soglia (Schaeffer et al., 2012).

Inoltre, alte temperature notturne riducono la capacità di rilascio di calore dal sistema e quindi di ridurre le temperature. Da considerare anche che le ondate di calore sono tipicamente accompagnate da zone stazionarie di alta pressione che portano a venti leggeri sulla superficie terrestre con conseguente ridotta generazione di energia eolica (Ke et al., 2016). L'aumento medio delle temperature - oltre a contribuire agli impatti sopra indicati - tende ad alterare la distribuzione temporale della domanda di energia, e quindi il carico sulla rete. Tali effetti possono già essere osservati nella migrazione del picco di domanda dal periodo invernale a quello estivo, durante il quale le aumentate esigenze di raffrescamento degli spazi hanno portato a una crescita della capacità di generazione di potenza richiesta per soddisfare la domanda di energia (Zachariadis & Hadjinicolaou, 2014). Il verificarsi di temperature più miti durante il periodo invernale e un innalzamento delle temperature in estate implica una domanda di energia maggiore per il raffrescamento degli edifici e una riduzione per il riscaldamento. Infine, l'aumento delle temperature medie delle acque fluviali e marine può portare a delle interruzioni di produzione di energia da impianti che scaricano in questi bacini, a causa di limitazioni normative, con conseguenti perdite economiche (Zuo et al., 2015).

Ondate di freddo/Precipitazioni nevose/Nuvolosità

Le ondate di freddo possono causare la formazione di manicotti di neve/ghiaccio sulle linee di trasmissione e distribuzione e indurre il loro collasso strutturale (Bompard et al., 2013). Inoltre tali eventi possono impattare significativamente la capacità di generazione di energia a causa di danni all'equipaggiamento e di messa fuori servizio forzata di componenti per la loro salvaguardia. Tali impatti si traducono in un aumento dei costi per il ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite e per la riduzione di operatività. Per quanto riguarda la generazione di energia da impianti solari questa può venire impattata da eventi meteorologici estremi e cambiamenti nelle precipitazioni nevose, nella nuvolosità e nella temperatura dell'aria. Ad esempio riduzioni della temperatura dell'aria non solo modificano l'efficienza delle celle fotovoltaiche, ma riducono la generazione di potenza anche nei sistemi a concentrazione, intrinsecamente sensibili alle temperature.

Siccità

Prolungati periodi di siccità possono causare da un lato la variazione delle proprietà meccaniche e strutturali del suolo, con possibili fenomeni di subsidenza ove le condotte per il trasporto di petrolio e gas sono posate e relativo rischio di danno, dall'altro la diminuzione di disponibilità di acqua per il raffreddamento dei sistemi negli impianti termoelettrici per la generazione di potenza che utilizzano carbone, gas naturale, isotopi nucleari, energia geotermica e biomassa (Van Vliet et al., 2016). Per questi impianti l'efficienza dipende dai requisiti di riscaldamento e raffreddamento dei fluidi vettori implicati nei cicli Rankine e Brayton, i quali variano in funzione delle condizioni ambientali di temperatura, pressione, umidità e dalla disponibilità di acqua (Cruz & Krausmann, 2013) (Ebinger & Vergara, 2011). Naturalmente anche la produzione da centrali idroelettriche può essere affetta dalla mancanza di acqua in periodi di siccità. I danni strutturali sopra citati richiedono pertanto interventi di manutenzione straordinaria con conseguenti aumentati costi di gestione a cui si possono sommare anche le aumentate perdite economiche legate al minore rendimento energetico.

Incendi

Condizioni climatiche secche e calde tendono a favorire l'innescare e la propagazione di incendi che possono generare importanti danni alle infrastrutture esposte alle fiamme e alle alte temperature (Bompard et al., 2013) (Mitchell, 2013). Interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite possono essere necessarie in presenza di tali eventi estremi.

Esondazioni fluviali e inondazioni costiere

Gli impianti di generazione e processo, i sistemi di stoccaggio e i sistemi di trasporto del combustibile risultano particolarmente esposti a possibili danni strutturali, con interruzione di servizio, causati da inondazioni costiere poiché spesso situati in prossimità della costa per la facilità di trasporto del carburante e la disponibilità di acqua per il raffreddamento. Di conseguenza, gli attesi innalzamenti del mare in combinazione con un'aumentata tempestosità potrebbero generare impatti strutturali sempre maggiori a queste infrastrutture, a causa della perdita delle barriere di protezione. Tali effetti si traducono in aumentati costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite e in perdite di proventi economici legati alla riduzione di operatività. Similmente, gli impianti di generazione di energia da onde e maree potrebbero essere soggetti a disfunzionalità a causa di condizioni meteo-marine estreme che ne limitino il funzionamento di regime. Le esondazioni fluviali generano tipologie di impatti strutturali simili a quelle causate da inondazioni costiere. In particolare, impianti di generazione di potenza (fossili e rinnovabili) risultano particolarmente esposti, poiché spesso situati in prossimità di fiumi per utilizzarne l'acqua a scopo di raffreddamento (Bompard et al., 2013); (Cruz & Krausmann, 2013); (Schaeffer et al., 2012); (Ebinger & Vergara, 2011).

Tempeste di vento

Forti raffiche di vento possono generare danni strutturali, in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti sulle infrastrutture di generazione di energia e distribuzione, e pertanto richiedere interventi straordinari di ripristino (Bompard et al., 2013); (Sieber, 2013); (Pryor & Barthelmie, 2010). Nel caso dei sistemi di trasmissione e distribuzione, cavi paralleli soggetti a oscillazioni causate dal forte vento possono con maggiore facilità entrare in contatto e generare un cortocircuito con conseguente riduzione di operatività. Possibili interferenze sulla rete di trasmissione e distribuzione con cavi aerei possono essere anche innescate dalla caduta di rami e alberi in seguito alle forti raffiche di vento (Schaeffer et al., 2012). In particolare gli impianti eolici presentano una vulnerabilità pronunciata alle tempeste di vento, dal momento che, in caso di condizioni di vento estremo, devono disaccoppiare le turbine dai generatori per evitarne il danneggiamento con conseguente perdita di rendimenti (Mima & Criqui, 2015).

Tabella 6: Impatti climatici sulle infrastrutture per la produzione, trasmissione e distribuzione di energia.

Pericolo climatico	Impatti
Ondate di calore Aumento di temperatura media	Perdita di rendimento di impianti a combustibile fossile Riduzione della capacità di trasmissione di corrente elettrica Riduzione della generazione di energia a causa di ridotte capacità di scarico nei bacini Riduzione della capacità di generazione di energia eolica a causa dell'indebolimento dei venti per alta pressione Aumento della domanda di energia nel periodo estivo e conseguente maggiore vulnerabilità del sistema quando esposto a eventi estremi
Ondate di freddo Precipitazioni nevose Nuvolosità	Formazione di manicotti di neve/ghiaccio sulle linee di trasmissione e distribuzione Perdita di rendimento in impianti solari
Siccità	Danni strutturali alle condotte per il trasporto di petrolio e gas in seguito a fenomeni di subsidenza Diminuzione di disponibilità idrica per il raffreddamento degli impianti di produzione
Incendi	Danni strutturali causati dall'esposizione a fuoco e alte temperature
Esondazioni fluviali e inondazioni costiere	Danni strutturali a impianti di processo, sistemi di stoccaggio e sistemi di trasporto del combustibile a causa dell'impatto diretto con i flutti
Tempeste di vento	Danni strutturali in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti Riduzione di operatività degli impianti eolici a causa del disaccoppiamento delle turbine dai generatori per evitarne il danneggiamento Disservizio causato dall'azione del vento su corpi estranei all'infrastruttura: caduta degli alberi e relativo impatto sulle linee di trasmissione e distribuzione

4.1.3 Infrastrutture informatiche e per le telecomunicazioni

Le infrastrutture per i servizi informatici e di telecomunicazione (servizi ICT) considerate comprendono data center (o centri servizi), cioè le infrastrutture per l'elaborazione (processing) e l'archiviazione (storage) dei dati necessari per erogare i servizi stessi, e le reti di telecomunicazione, cioè le infrastrutture per il trasporto/trasferimento dati tra data center (comunicazioni inter- o intra-datacenter) e/o tra terminali di utenti di rete. Di seguito si descrivono gli impatti climatici su queste infrastrutture, successivamente sintetizzati in Tabella 7.

Ondate di calore/Aumento di temperatura media.

Il verificarsi di ondate di calore, e più in generale l'aumento medio della temperatura, richiede un maggior consumo energetico necessario per il raffreddamento dei data center e - di conseguenza - un aumento dei costi di gestione. Tale impiego energetico rappresenta attualmente il 40% dell'energia totale consumata nel settore ICT (Song et al., 2015).

Ondate di freddo

Ondate di freddo intenso accompagnate da gelicidio e pioggia sopralfusa possono generare un rivestimento ghiacciato sopra gli apparati trasmissivi degradandone le prestazioni (Añel et al., 2017).

Siccità

Periodi di siccità prolungata possono creare pericolosi scompensi negli impianti di raffreddamento dei data center di grandi dimensioni. Recentemente la crescita esponenziale dei data center ha richiesto anche un adeguamento nella gestione delle risorse idriche per il raffreddamento. I grandi provider di servizi cloud globali (per esempio Google, Microsoft e Apple) hanno già iniziato a investire nei propri impianti di trattamento delle acque per garantire l'approvvigionamento nei data center ed è plausibile attendersi un trend simile per i cloud provider italiani.

Incendi

Condizioni climatiche secche e calde tendono a favorire l'innescò e la propagazione di incendi che possono generare danni alle infrastrutture esposte alle fiamme e alle alte temperature, sia nella rete fissa che nella rete mobile (ACMA, 2020). Interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite possono essere necessari in presenza di tali eventi estremi.

Esondazioni fluviali e inondazioni costiere/Allagamenti

Le esondazioni fluviali e le inondazioni costiere rappresentano ulteriori gravi minacce all'integrità dei sistemi ICT e per una serie di servizi ad esso connessi. Ad esempio esondazioni/inondazioni e allagamenti possono interessare una serie di risorse chiave per le telecomunicazioni, interrompendo il servizio a migliaia di abitazioni, aziende (private di servizi fondamentali come l'accesso al bancomat) e soprattutto impedendo di contattare servizi pubblici emergenziali come la polizia o l'ambulanza (Dawson et al., 2018). Sebbene i condotti che contengono cavi in fibra e rame siano tipicamente progettati per essere resistenti all'acqua, in caso di prolungata copertura da parte di acqua molti uffici metropolitani e cavi potrebbero andare fuori servizio. Va notato che, tipicamente, queste interruzioni interferiscono con il sistema proprio

quando è più necessario, per esempio nei momenti immediatamente successivi ad un evento climatico dirompente, quando una interruzione delle comunicazioni può ostacolare i soccorsi e complicare grandemente la gestione della riparazione delle infrastrutture. Alcune problematiche legate agli allagamenti comprendono l'attenuazione del segnale dovuta alla penetrazione di molecole d'acqua all'interno delle micro-fratture delle fibre, i danni dovuti alla corrosione dei connettori, la perdita del segnale in corrispondenza delle apparecchiature che effettuano conversione opto-elettronica e la rottura della fibra dovuta a congelamento. Periodi prolungati di pioggia possono anche influenzare i segnali radiomobili e su onde micrometriche (per esempio, per effetto del cosiddetto "rain shading"), ma questo è principalmente un problema superiore a 10 gigahertz e quindi raro sui sistemi attuali. I danni dovuti ad alluvioni sulla rete di telecomunicazione possono raggiungere facilmente cifre molto significative e comprendono gli interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite e le perdite economiche legate alla riduzione di operatività.

Frane

Eventi franosi possono provocare danni agli apparati (fibre, stazioni radiomobili, data center) e provocare disconnessioni dalla rete per gli utenti finali (Hervas, 2003).

Tempeste di vento

I forti venti e la conseguente caduta di rami e alberi possono danneggiare le torri della telefonia cellulare e i pali telefonici (più in generale, i cavi in rame e/o fibra), e quindi interrompere linee telefoniche, linee dati (per esempio in tecnologia Digital Subscriber Line, DSL), linee in fibra, stazioni radiomobili e disallineare i ricevitori a microonde. Il cablaggio esterno (tipicamente sospeso) è maggiormente esposto rispetto ai condotti interrati, essendo soggetto ai danni causati da detriti e oggetti in caduta (come gli alberi) e alla rottura per tensione dovuta a raffiche di vento (USAID, 2012). Tali impatti si traducono in perdite economiche principalmente associate ai necessari interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite.

Tabella 7: Impatti climatici sulle infrastrutture per i servizi informatici e di telecomunicazione.

Pericolo climatico	Impatti
Ondate di calore Aumento di temperatura media	Aumento costi di raffreddamento dei data center
Ondate di freddo	Degradazione delle prestazioni (gelicidio) Rischi derivanti dall'impatto sulla rete elettrica
Siccità	Minore disponibilità idrica per il raffreddamento dei data center
Incendi	Danni strutturali agli apparati (fibre, stazioni radiomobili, data center) Possibili disconnessioni dovuti al deterioramento di cavi e/o apparati
Esondazioni fluviali e costiere Allagamenti	Danni strutturali agli apparati (cavi, stazioni radiomobili, data center) dovuti ad allagamenti, corrosione, rotture fibre per congelamento Disconnessioni su reti wireless ad altissime frequenze dovute a "rain shading"
Frane	Danni strutturali agli apparati (fibre, stazioni radiomobili, data center)
Tempeste di vento	Danni strutturali alle torri della telefonia cellulare e pali telefonici in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti Riduzione di operatività Deterioramento della qualità del servizio (per esempio dovuto a disallineamento dei ricevitori a microonde)

4.1.4 Infrastrutture logistiche

Il sistema logistico comprende la sequenza di operazioni e processi necessari a produzione, distribuzione, ritorno, riutilizzo e smaltimento di beni di consumo. Queste definiscono il concetto di “supply chain” (letteralmente, catena di approvvigionamento) e richiedono tre tipi di flussi: fisici, di informazioni (relativi al tracciamento dei flussi fisici) e finanziarie (associati alle transazioni che occorrono nella supply chain) (Sheffi, 2012). I principali attori coinvolti nel sistema logistico includono: produttori di beni, distributori e grossisti, fornitori di servizi logistici (spedizionieri, trasportatori), operatori delle infrastrutture fisiche, proprietari di veicoli e/o edifici, terreni ed altre infrastrutture fisiche. Indirettamente il sistema logistico include anche fornitori di servizi di informazione e comunicazione, operatori delle infrastrutture di comunicazione, proprietari di infrastrutture di comunicazione, banche e altri operatori finanziari. Le infrastrutture logistiche sono riassunte in Tabella 8 e comprendono molte delle infrastrutture di trasporto, energia e ICT descritte nelle precedenti sezioni.

Tabella 8: Infrastrutture logistiche

Tipo di infrastruttura	Veicoli	Edifici	Reti e nodi di trasporto e comunicazione	Altro
Legate a flussi fisici	Navi, treni, aerei, camion, veicoli commerciali leggeri	Magazzini, centri di carico/scarico merci, parcheggi, terreni	Porti, ferrovie, strade, canali, aeroporti, interporti (nodi intermodali terrestri)	Reti di trasporto e distribuzione di energia
Legate a flussi di informazione e finanziari	Sensori, dispositivi di comunicazione e tracciamento	Edifici che ospitano data center, server ed altri apparati di gestione dati	Cavi, dispositivi di trasmissione e stoccaggio di dati	Reti di trasporto e distribuzione di elettricità

Di conseguenza gli impatti originati dai pericoli climatici per le infrastrutture logistiche corrispondono in larga misura a quelli descritti nelle precedenti sezioni relative al trasporto, energia e ICT (sezioni 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, rispettivamente). A scopo di sintesi, nella presente sezione si richiamano brevemente in Tabella 9 gli impatti rilevanti per il sistema logistico aggregandoli per pericoli climatici con effetti simili sulla base di quanto suggerito da “Transportation Research Board & National Academies of Sciences” (2016) e rimandando alle precedenti sezioni per maggiori dettagli sugli specifici meccanismi di impatto.

Tabella 9: Impatti climatici sulle infrastrutture logistiche.

Pericolo climatico	Impatti
Ondate di calore Siccità Incendi	Danni strutturali a edifici a causa dell’instabilità dei materiali esposti ad alte temperature e fenomeni di subsidenza (a seguito di siccità) nei porti, negli aeroporti e negli interporti Danni alle infrastrutture logistiche ed alle reti necessarie al loro funzionamento (e.g., energia elettrica e telecomunicazioni) e trasporto (e.g., strade e ferrovie, aeroporti), e alle merci trasportate Aumento nell’uso di energia per il condizionamento dell’aria nei veicoli e negli edifici, aumento dell’uso di acqua Aumento dell’uso di energia per la gestione delle emergenze, possibili sovraccarichi sulla rete di distribuzione e conseguente interruzione di fornitura, particolarmente critica per la catena del freddo, dove le interruzioni di approvvigionamento sono associate a danni ai beni da trasportare Incremento della frequenza di operazioni di manutenzione delle infrastrutture logistiche
Ondate di freddo, Esondazioni fluviali e inondazioni costiere, Allagamenti, Frane, Tempeste di vento	Disservizi e ritardi legati a riduzione di accesso e chiusure nei porti, negli aeroporti e negli interporti, danni ai beni da trasportare ed ai veicoli (anche per la gestione delle merci in magazzino) Riduzione di operatività, ritardi e danni alle infrastrutture logistiche ed alle reti necessarie al loro funzionamento (e.g., energia elettrica e telecomunicazioni) e trasporto (e.g., strade, ferrovie, vie fluviali) Aumento dell’uso di energia per la gestione delle emergenze, possibili sovraccarichi sulla rete di distribuzione e conseguente interruzione di fornitura, particolarmente critica per la catena del freddo, dove le interruzioni di approvvigionamento sono associate a danni ai beni da trasportare Incremento della frequenza di operazioni di manutenzione delle infrastrutture logistiche

4.1.5 Infrastrutture per la gestione delle risorse idriche

Le infrastrutture di gestione delle risorse idriche possono essere funzionali ad un utilizzo agricolo, oppure ad un uso urbano e industriale. Le infrastrutture idriche ad uso agricolo considerate comprendono gli invasi di accumulo e opere di derivazione, le reti di adduzione e distribuzione (in pressione, a pelo libero e miste) e, infine, i sistemi irrigui, intesi come la parte terminale della rete idrica che collega la rete di distribuzione alle colture irrigue. Le infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale considerate includono le opere di captazione, potabilizzazione e depurazione, adduzione e distribuzione agli utenti finali (prevalentemente utenze con destinazione industriale e, in ambito urbano, ad uso residenziale, commerciale e dei servizi) e, infine, i sistemi di drenaggio e raccolta delle acque meteoriche e reflue. Di seguito si descrivono gli impatti climatici sulle infrastrutture per la gestione delle risorse idriche, sintetizzati in Tabella 10.

Ondate di calore

Le ondate di calore generano un impatto generalmente limitato sulle opere di accumulo, derivazione, adduzione e distribuzione. Alcuni impatti possono verificarsi sulle infrastrutture di potabilizzazione e depurazione, con conseguenti aumentati costi di gestione, a causa di potenziali variazioni nelle concentrazioni di alghe tossiche e materiale organico in acqua alla fonte (Li et al., 2014).

Ondate di freddo

Come per le ondate di calore, temperature minime estreme associate alle ondate di freddo non inducono generalmente danni significativi alle infrastrutture di accumulo e di distribuzione a pelo libero, mentre sono possibili danni per rottura a causa del gelo nei sistemi in pressione e negli impianti di irrigazione. Similmente, anche per le infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale si possono verificare impatti sulle opere di captazione dove gelate possono limitare l'accessibilità e il prelievo (per esempio da sorgenti montane) o sulle reti di adduzione e distribuzione, dove gelate possono causare rotture di condotte e contatori (Rajani & Kleiner, 2001). Tali eventi possono pertanto generare costi necessari per gli interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite.

Siccità

Periodi siccitosi esercitano un impatto indiretto sulle infrastrutture a uso irriguo, producendo un aumento significativo della domanda irrigua nei territori serviti. L'effetto combinato della minor disponibilità idrica (superficiale e sotterranea) e l'innalzamento del livello del mare può favorire l'intrusione del cuneo salino e pregiudicare l'uso irriguo della risorsa (Colombani et al., 2016). Fenomeni di siccità generano elevati impatti sulle opere di captazione direttamente dipendenti dalla disponibilità idrica. Un aumento delle temperature accompagnato da una più lenta ricarica degli acquiferi può causare infatti sia una riduzione nella disponibilità idrica che alterazioni della sua qualità, richiedendo pertanto dei cambiamenti nelle operazioni delle infrastrutture di captazione e, successivamente, di potabilizzazione e trasporto, con possibili aumentati costi di gestione.

L'aumento della domanda idrica nei diversi settori potrà essere fonte di crescenti conflitti e competizione tra i vari utilizzi idrici (de Oliveira et al., 2015). Infine, situazioni di siccità prolungate potranno avere impatti diretti sulle opere di adduzione e distribuzione (ad esempio l'incremento della fallanza delle condotte acquedottistiche nei periodi più caldi e siccitosi a causa anche di cambiamenti nello stato tensionale del terreno con ridotto contenuto di umidità) e sui sistemi di drenaggio delle acque reflue (con ridotta capacità di diluizione e maggiore concentrazione di solidi, che può causare ostruzioni, intasamento e blocco/rottura di sistemi di pompaggio) (Hughes et al., 2021).

Queste problematiche possono causare un aumento dei costi legati a manutenzione ordinaria e straordinaria delle componenti fisiche, così come costi di gestione legati a interruzioni e anomalie nel regolare funzionamento delle componenti infrastrutturali menzionate. Impatti possono verificarsi sulle opere di

adduzione e distribuzione qualora la fornitura continua sia messa a repentaglio, soprattutto nelle regioni esposte a condizioni di siccità prolungate, con conseguenti costi legati al ricorso a fonti di approvvigionamento idropotabile alternative (ad esempio autobotti).

Incendi

Condizioni climatiche secche e calde tendono a favorire l'innescare e la propagazione di incendi che possono generare danni alle infrastrutture esposte alle fiamme e alle alte temperature (Pinto et al., 2021). Recenti studi hanno mostrato inoltre che la concentrazione di sostanze tossiche e nutrienti disciolti nelle acque provenienti da bacini soggetti a incendi diffusi può risultare sostanzialmente alterata compromettendo la potabilità dell'acqua. Pertanto, gli impatti degli incendi possono avere anche effetti sui processi di trattamento e potabilizzazione e causare un possibile incremento dei costi di gestione (Chow et al., 2021) (Pacheco & Fernandes, 2021).

Precipitazioni intense/Esondazioni fluviali e inondazioni costiere/Allagamenti

Eventi estremi di precipitazione generano impatti significativi sulle infrastrutture di accumulo e derivazione, principalmente legati all'aumento dell'afflusso di acqua e con essa di sedimenti, con conseguente progressiva riduzione della capacità utile di invaso e aumento della probabilità di collassi o cedimenti strutturali di manufatti. Gli effetti sulle funzioni si traducono nell'aumento della frequenza e intensità delle piene a valle degli invasi di accumulo e nei territori serviti dall'invaso. Gli impatti delle esondazioni fluviali e - in maniera simile quelli originati da inondazioni costiere e allagamenti - sulle reti di adduzione e distribuzione sono tipicamente associati a danni a tratti di condotta e stazioni di pompaggio, mentre per le condotte a pelo libero sono riconducibili a insabbiamento, instabilità e collassi degli argini e dei manufatti di regolazione.

Le esondazioni fluviali tendono, inoltre, a ripercuotersi anche all'interno delle reti di drenaggio artificiali poste a difesa del territorio, spesso costituite da canali promiscui, irrigui e di bonifica, limitandone la capacità di laminazione distribuita e sollecitando straordinariamente gli impianti di pompaggio nelle zone in cui la bonifica avviene per sollevamento. Inoltre, i fenomeni di instabilità e collasso degli argini dei canali possono danneggiare le infrastrutture accessorie delle reti rurali, sia di servizio (strade alzaie), sia rivolte alla fruizione del territorio a fini ricreativi e turistici (piste ciclopedonali, aree di sosta), oltre a compromettere i servizi ecosistemici forniti dalle reti stesse, aspetti questi rilevanti, ad esempio, per le reti di canali storici della Pianura Padana. L'impatto sui sistemi di irrigazione aziendali e sulla loro funzionalità sono invece generalmente modesti o trascurabili.

Per quanto riguarda le infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale, eventi di precipitazione intensa e conseguenti esondazioni e allagamenti possono causare impatti diretti sui sistemi di drenaggio e raccolta delle acque reflue urbane e sugli impianti di trattamento delle acque reflue, con possibile blocco e malfunzionamenti dei sistemi di pompaggio soggetti a picchi di afflusso con alta concentrazione di solidi, difficoltà nel gestire picchi di afflusso agli impianti di trattamento e rischio crescente di straripamento e sversamento di acque reflue in corpi idrici naturali in caso di sistemi di scarico fognario combinati, con conseguenti impatti sull'ecologia fluviale, sulla salute umana, e sul servizio ricreativo dei corpi idrici, oltre a un possibile aumento dei relativi costi di gestione (Hughes et al., 2021). Impatti indiretti possono verificarsi a livello di opere di captazione, la cui funzionalità può essere temporaneamente compromessa in caso di eventi di piena.

Frane

L'instabilità dei versanti, spesso in relazione ad eventi precipitosi intensi e/o a esondazioni fluviali, può contribuire ad un aumento del trasporto solido e quindi contribuire al processo di insabbiamento delle infrastrutture di accumulo e distribuzione, riducendo l'efficienza di funzionamento e aumentando i costi di manutenzione. Frane e crolli possono anche danneggiare le infrastrutture di adduzione e distribuzione e i sistemi irrigui. Nei casi più critici possono costituire un rischio elevato di crollo delle dighe nei sistemi

di accumulo e derivazione. A livello di infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale, eventi di frana e smottamento possono causare la rottura di tubazioni e infrastrutture sotterranee, con conseguenti perdite di acqua potabile o rilascio di acqua di scarico, e potenziali rischi di infiltrazione di sostanze contaminanti (Gudino-Elizondo et al., 2021). Come per i sistemi irrigui, i casi più critici e violenti possono causare danni diffusi sulle opere infrastrutturali e richiedere ingenti costi per interventi di manutenzione.

Tempeste di vento

Forti raffiche di vento possono generare malfunzionamenti delle reti in pressione derivanti da danni alle infrastrutture di fornitura elettrica da cui dipendono, incidendo potenzialmente sui costi di gestione e di coperture assicurative (O' Neill, 2009).

Tabella 10: Impatti climatici sulle infrastrutture per la gestione delle risorse idriche.

Pericolo climatico	Impatti	
	Infrastrutture idriche - uso agricolo	Infrastrutture idriche - uso urbano e industriale
Ondate di calore		Aumento di concentrazioni di alghe tossiche e materiale organico in acqua alla fonte, conseguente aumento dei costi di gestione per la potabilizzazione e depurazione
Ondate di freddo	Rotture a causa del gelo nei sistemi in pressione e negli impianti di irrigazione	Limitata accessibilità e possibilità di prelievo da sorgenti montane Potenziati rotture di condotte e contatori nelle reti di adduzione e distribuzione
Siccità	Aumento della domanda irrigua Riduzione della disponibilità idrica Intrusione del cuneo salino causato dall'effetto combinato della minore disponibilità idrica e innalzamento del livello del mare Aumento della competizione tra vari utilizzi idrici	Fallanza e rotture delle componenti acquedottistiche opere di adduzione e distribuzione Ostruzioni, intasamento e blocco/rottura di sistemi di pompaggio nei sistemi di drenaggio acque reflue a causa della ridotta capacità di diluizione e maggiore concentrazione di solidi Fornitura idrica a rischio
Incendi	Danni strutturali causati dall'esposizione a fuoco e alte temperature	Danni strutturali causati dall'esposizione a fuoco e alte temperature Aumento di concentrazioni di sostanze tossiche disciolte in acqua
Precipitazioni intense/Esondazioni fluviali e inondazioni costiere Allagamenti	Riduzione della capacità utile di invasi Aumento della probabilità di collassi o cedimenti strutturali di manufatti Danni a condotte e stazioni di pompaggio Pericolo di insabbiamento, instabilità e collassi degli argini e dei manufatti di regolazione Limitata capacità di laminazione distribuita delle reti di drenaggio artificiali poste a difesa del territorio Compromissione di servizi ecosistemici, ricreativi e turistici forniti dalle reti	Blocco e malfunzionamento dei sistemi di pompaggio (acque reflue) Picchi di afflusso con alta concentrazione di solidi agli impianti di trattamento Rischio di straripamento e sversamento di acque reflue in corpi idrici naturali Funzionalità delle opere di captazione compromessa
Frane	Insabbiamento delle infrastrutture di accumulo e distribuzione, con riduzione dell'efficienza di funzionamento Danni ad infrastrutture di adduzione e distribuzione e sistemi irrigui Rischio di crollo delle dighe nei sistemi di accumulo e derivazione	Rottura di tubazioni e infrastrutture sotterranee sepolte, con conseguenti perdite di acqua potabile o rilascio di acqua di scarico e potenziali rischi di infiltrazione di sostanze contaminanti
Tempeste di vento	Malfunzionamenti delle reti in pressione derivanti da danni alle infrastrutture di fornitura elettrica da cui dipendono	

4.1.6 Infrastrutture per la gestione dei rifiuti urbani e speciali

Le infrastrutture considerate in relazione al sistema integrato di gestione rifiuti comprendono sezioni impiantistiche per il trattamento, servizi di raccolta e trasporto verso impianti di trattamento dedicato e discariche. Fra le varie tipologie di impianti si sono presi in considerazione i termovalorizzatori, gli impianti meccanici e biologici (come compostaggio e digestione anaerobica) e le stazioni di riciclaggio dei rifiuti da raccolta differenziata.

Ondate di calore/Aumento della temperatura media

Le ondate di calore hanno un effetto diretto sul rateo di degradazione dei rifiuti putrescibili, favorendo un aumento delle emissioni maleodoranti e una diminuzione dei contenuti di umidità degli stessi. Pertanto, negli impianti di discarica, in seguito ad aumenti estremi di temperatura, si possono verificare una crescita delle emissioni di gas fuggitivi oltre che una diminuzione della produzione di percolato con conseguente aumento della concentrazione degli inquinanti in quanto meno diluiti (Bebb & Kersey, 2003). In generale negli impianti di trattamento l'aumento della temperatura media porta ad una alterazione delle condizioni di processo (soprattutto negli impianti biologici come il compostaggio e la digestione anaerobica) e ad una riduzione dell'efficienza del processo di trattamento. In particolare negli impianti di compostaggio, con l'aumento delle temperature, i rifiuti potrebbero essicarsi velocemente e rendere più difficile il reintegro dell'umidità con le bagnature, aumentando il rischio di inibizione del processo di trattamento. Inoltre, una riduzione di operatività, in particolare dei servizi di raccolta, può verificarsi in seguito ai forti stress climatici a cui gli operatori ecologici possono essere esposti in occasione di ondate di calore. Tali effetti sono tipicamente accompagnati da un aumento dei costi di manutenzione delle infrastrutture.

Ondate di freddo

Temperature molto rigide favoriscono un'elevata produzione di percolato nelle discariche e possono aumentare la suscettibilità a smottamenti a causa delle gelate e conseguente frammentazione delle coperture realizzate in argilla. Tali eventi climatici estremi possono inoltre indurre un rallentamento dei processi biologici con conseguente aumento dei consumi energetici per il ripristino delle condizioni ideali negli impianti di trattamento (Bebb & Kersey, 2003). In base alla severità dell'evento potrebbe verificarsi l'interruzione o il rallentamento del servizio di raccolta. Un possibile aumento dell'umidità dei rifiuti, spesso associato alle basse temperature, può causare una maggiore difficoltà nella combustione o in generale nel trattamento (aumento del fenomeno dell'imbrattamento che rende difficile le operazioni di riciclo). Inoltre, in condizioni anticicloniche, può aumentare il rischio di riduzione della dispersione delle sostanze inquinanti convogliate al camino (o al biofiltro), con conseguente aggravio di ricaduta degli inquinanti nelle zone limitrofe gli impianti. Tali fenomeni contribuiscono a generare un aumento dei costi di manutenzione e di esercizio.

Siccità

Eventi siccitosi tendono a diminuire la copertura di vegetazione in discarica e ad aumentare le fratturazioni della copertura con conseguente aumento dell'erosione dei pendii e delle arginature nonché aumento della dispersione eolica delle polveri difficile da contrastare con le opportune bagnature a causa della ridotta disponibilità idrica (Ahmed, 2013).

Incendi

In ambienti a rischio di esplosione, come spesso sono le discariche e gli impianti di trattamento rifiuti, gli incendi risultano particolarmente critici in quanto difficili da contrastare e di elevato impatto ambientale a causa dei fumi tossici e nocivi che si possono generare in seguito alla combustione a basse temperature e in carenza di ossigeno dei rifiuti solidi spesso contenenti anche sostanze pericolose (Bebb & Kersey, 2003). Fenomeni di autocombustione possono verificarsi in seguito alle elevate temperature soprattutto nelle aree di stoccaggio e lungo la catena di processo (come, ad esempio, nelle biocelle di compostaggio).

Esondazioni fluviali e inondazioni costiere/Allagamenti

Le esondazioni fluviali e le inondazioni costiere e, più in generale, i fenomeni di allagamento risultano particolarmente problematici nelle discariche a causa dei possibili sversamenti di percolati e dell'immissione incontrollata dei rifiuti nell'ambiente (Bebb & Kersey, 2003). Il verificarsi di questi fenomeni climatici estremi può contribuire alla formazione di detriti e rifiuti da alluvione che contribuiscono all'incremento della necessità di gestione dei rifiuti. In riferimento agli impianti e ai sistemi di raccolta, potrebbero verificarsi interruzione della viabilità di accesso e interruzione del servizio o addirittura danneggiamenti alla tecnologia che porterebbero ad un fermo impianto per manutenzione, con conseguente necessità di trasferire ad altro impianto il rifiuto da trattare, causando l'aumento dei costi di investimento e di manutenzione.

Frane

I maggiori impatti dovuti alle frane riguardano la possibile riduzione di operatività dei servizi di raccolta e trattamento in seguito all'interruzione della viabilità di accesso a causa di smottamenti. Eventi franosi in discarica possono inoltre indurre sversamenti di percolato o di gas. Riduzioni di operatività e danneggiamenti alla tecnologia originati da frane possono causare, in ultima analisi, un fermo impianto (o una interruzione del servizio di raccolta) per manutenzione con conseguente necessità di trasferire ad altro impianto il rifiuto da trattare (Bebb & Kersey, 2003).

Tempeste di vento

Le tempeste di vento possono generare danni strutturali in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti sulle infrastrutture dedicate alla gestione dei rifiuti e indurre una riduzione di operatività del servizio di raccolta (Bebb & Kersey, 2003). Forti raffiche di vento possono inoltre generare arie insalubri dovute all'aumento della dispersione eolica delle polveri e dei gas diffusi dalla copertura di discarica mentre negli impianti potrebbe riscontrarsi l'aumento della dispersione eolica delle emissioni convogliate. Nel caso degli impianti di trattamento potrebbero verificarsi danneggiamenti ai capannoni con conseguente fermo impianto. In riferimento alla raccolta potrebbero verificarsi difficoltà dei mezzi pesanti a transitare nei periodi di forte vento ed episodi di tempeste con possibilità di dispersione dei rifiuti nell'ambiente.

Tabella 11: Impatti climatici sulle infrastrutture per la gestione dei rifiuti urbani e speciali.

Pericolo climatico	Impatti		
	Discariche	Impianti di trattamento	Servizi di raccolta e trasporto
Ondate di calore Aumento di temperatura media	Aumento delle emissioni diffuse di gas e disturbo olfattivo Aumento della dispersione di polveri Fessurazione e rottura delle coperture in argilla	Aumento della decomposizione dei rifiuti con conseguente incremento di maleodoranze Essiccazione dei rifiuti e aumento della risorsa idrica necessaria per il processo (impianti biologici)	Aumento di maleodoranze Riduzione del servizio
Ondate di freddo	Aumento della produzione di percolato e conseguente instabilità dei pendii e degli argini di contenimento	Possibile riduzione della dispersione delle sostanze inquinanti convogliate al camino Aumento dell'umidità dei rifiuti con conseguente difficoltà nella combustione/trattamento	Riduzione del servizio
Siccità	Riduzione della copertura di vegetazione e conseguente aumento delle fratturazioni del capping Aumento della dispersione eolica delle polveri	Riduzione della disponibilità idrica necessaria per il processo e per la soppressione di polveri Possibili fenomeni di autocombustione	
Incendi	Emissioni nocive e tossiche causate dalla combustione a bassa temperatura	Emissioni nocive e tossiche causate dalla combustione a bassa temperatura	
Esondazioni fluviali e costiere Allagamenti	Sversamenti di percolati e immissione incontrollata dei rifiuti nell'ambiente Aumento dei rifiuti da demolizione dovuti ad alluvioni	Interruzione della viabilità di accesso Interruzione del servizio e danneggiamenti alla tecnologia con conseguente fermo impianto	Riduzione del servizio Rischio di dispersione di rifiuti nell'ambiente
Frane	Crollo degli argini di contenimento della discarica con conseguente sversamento del percolato e fuoriuscita di emissioni tossiche e maleodoranti	Interruzione della viabilità di accesso Interruzione del servizio e danneggiamenti alla tecnologia con conseguente fermo impianto	Riduzione del servizio
Tempeste di vento	Aumento della dispersione eolica delle polveri e dei gas diffusi dal capping di discarica	Aumento della dispersione eolica delle emissioni convogliate Danni ad infrastrutture e conseguente interruzione di servizio	Riduzione del servizio Dispersione dei rifiuti nell'ambiente

4.1.7 Effetti delle interdipendenze settoriali

Le infrastrutture critiche oggetto della presente relazione sono fortemente interconnesse mediante collegamenti fisici e logico-funzionali tali da costituire un complesso sistema di sistemi. Pertanto danni e perdite di funzionalità originate da pericoli climatici (o antropici) su singole infrastrutture (sezioni 4.1.1-4.1.6) si possono trasmettere a cascata su altre infrastrutture attraverso le interdipendenze che costituiscono canali di trasmissione degli effetti di guasti e malfunzionamenti. L'interdipendenza tra infrastrutture può essere: fisica quando lo stato di una infrastruttura dipende dall'approvvigionamento del prodotto o servizio di un'altra; cyber quando lo stato di operazione di un'infrastruttura è controllato dal flusso di informazioni trasmesse attraverso il sistema di telecomunicazione; geografica, quando due o più infrastrutture sono esposte alle stesse cause di guasto e/o sollecitazioni in quanto condividono lo stesso luogo fisico; logica, quando lo stato di una infrastruttura dipende dallo stato dell'altra, ad esempio attraverso lo scambio di servizi, fattori socio-economici, vincoli normativi e legislativi (Kröger & Zio, 2011).

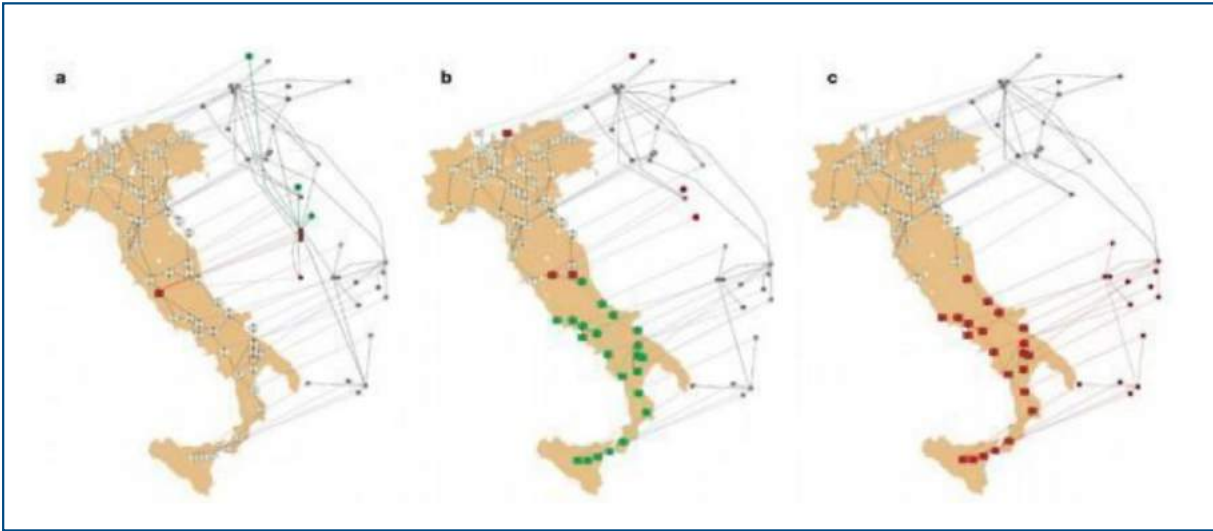
Prendendo ad esempio le infrastrutture energetiche, queste sono dipendenti da: a) infrastrutture idriche, che forniscono i meccanismi di raffreddamento necessari per la generazione di energia e la raffinazione di petrolio e gas, proteggono gli impianti energetici dalle inondazioni e garantiscono che l'ambiente di lavoro del personale sia sano e igienico; b) infrastrutture di telecomunicazione, per il funzionamento dei sistemi di controllo e di gestione, in particolare per lo sviluppo di reti intelligenti e contatori intelligenti, e per le comunicazioni; e c) infrastrutture di trasporto, a supporto della catena di approvvigionamento del carburante per la generazione di energia e la distribuzione dei prodotti petroliferi e del gas, oltre che per consentire l'accesso al personale. Al contrario, l'energia è usata per le reti: a) idriche, per far funzionare impianti di trattamento delle acque e le stazioni di pompaggio; b) di telecomunicazione, per il funzionamento degli apparati; e c) di trasporto, per il funzionamento dei sistemi di trasporto.

Inoltre, negli ambienti urbani l'energia, l'acqua, le infrastrutture di telecomunicazione e quelle di trasporto sono spesso co-localizzate: ad esempio, i cavi elettrici possono essere posti sotto le strade accanto ai cavi di comunicazione, adiacenti alle condutture dell'acqua e del gas, e sopra le fognature. Un guasto di una qualsiasi di queste infrastrutture può portare direttamente al danneggiamento di un'altra.

Considerando il caso specifico della reciproca dipendenza tra reti di telecomunicazione e reti di distribuzione dell'energia elettrica, un esempio di come l'interdipendenza funzionale possa provocare gravi danni alle infrastrutture, e di conseguenza gravi disservizi per la comunità, è rappresentato dal blackout elettrico verificatosi in gran parte d'Italia nel settembre 2003 a seguito di un flashover tra un cavo conduttore e un albero verificatosi su una linea di trasmissione che attraversa la Svizzera (Buldyrev et al., 2010).

La Figura 3 mostra le topologie della rete elettrica (riportata sulla mappa) e della rete di telecomunicazione (riportata al di sopra della mappa) coinvolte nel blackout. Nella figura, i nodi della rete elettrica rappresentano siti di generazione e distribuzione di energia elettrica, mentre i nodi della rete di telecomunicazione rappresentano siti equipaggiati con apparati quali server e/o nodi di commutazione. Dalla Figura 3 risulta chiaro come a causa dell'interdipendenza tra le due infrastrutture un guasto inizialmente occorso anche ad un solo elemento della rete elettrica sia in grado di provocare un disservizio a livello nazionale. Infatti il guasto ad un apparato della rete elettrica può influire sul corretto funzionamento degli apparati di comunicazione da esso direttamente dipendenti per l'approvvigionamento energetico; a seguito del malfunzionamento di tali apparati di comunicazione si può poi incorrere in ulteriori malfunzionamenti nella rete elettrica, e così via, dando luogo a una catena di guasti tra le due infrastrutture. Tale "effetto cascata" è ancor più critico quando una molteplicità di nodi nelle due reti è coinvolta nel guasto iniziale (ad esempio per effetto di eventi climatici estremi diffusi nello spazio), poiché in casi del genere il diffondersi dei guasti attraverso le infrastrutture interdipendenti può avvenire con maggior velocità.

Figura 3: Interdipendenza tra rete di distribuzione elettrica e rete di telecomunicazione: l'esempio del blackout italiano del 2003 (Buldyrev et al. 2010). a) Una centrale elettrica è rimossa (nodo rosso sulla mappa) dalla rete elettrica e di conseguenza i nodi di telecomunicazione che dipendono da essa vengono rimossi dalla rete (nodi rossi sopra la mappa). I nodi che verranno disconnessi dal cluster originale al passaggio successivo sono contrassegnati in verde. b) I nodi aggiuntivi che sono stati disconnessi dal cluster originale della rete di telecomunicazione vengono rimossi (nodi rossi sopra la mappa). Di conseguenza le centrali ad esse dipendenti vengono rimosse dalla rete elettrica (nodi rossi sulla mappa). Anche in questo caso, i nodi che verranno disconnessi dal cluster originale nel passaggio successivo sono contrassegnati in verde. c) Vengono rimossi i nodi aggiuntivi che erano disconnessi dal cluster originale della rete elettrica (nodi rossi sulla mappa), così come i nodi della rete di telecomunicazione che dipendono da essi (nodi rossi sopra la mappa).



Nel caso specifico del blackout elettrico del 2003 il ripristino dell'energia in tutto il paese ha richiesto 18 ore. In conseguenza di questa situazione diversi altri settori infrastrutturali sono stati colpiti, dimostrando la loro forte dipendenza dall'approvvigionamento elettrico (Kröger & Zio, 2011). È stato interrotto il servizio di circa 110 treni con più di 30000 passeggeri. Numerosi voli aerei sono stati cancellati o posticipati e lo spegnimento di semafori per il controllo del traffico stradale ha portato a situazioni di caos nelle grandi città. In alcune regioni d'Italia si sono verificate interruzioni di distribuzione dell'acqua e perdite di funzionalità delle reti telefoniche e di servizi internet. In totale, si stimano perdite economiche per circa 120 milioni di euro, dovute a cibi avariati e interruzione di produzione delle industrie.

Alla luce di queste considerazioni risulta evidente quanto sia importante tenere in seria considerazione gli effetti originati dalle interdipendenze settoriali nella progettazione, realizzazione e gestione di infrastrutture interdipendenti, in particolare in un contesto di crescenti pressioni climatiche (Farhan Habib et al., 2015).

4.2 Proiezioni degli impatti economici associati ai cambiamenti negli eventi climatici estremi

Nella presente sezione si fornisce una valutazione degli impatti economici diretti e indiretti sulle infrastrutture critiche del Paese a causa dei cambiamenti negli eventi climatici estremi attesi per i prossimi decenni nell'ipotesi di uno scenario di emissioni di gas serra "business-as-usual" (in questo rapporto è lo scenario RCP 4.5 che conduce ad un incremento della temperatura media terrestre rispetto ai livelli pre-industriali di circa 3°C). Si descrive brevemente nei paragrafi successivi la metodologia utilizzata.

Impatti economici diretti

Gli impatti economici diretti sulle infrastrutture utilizzano stime di rischio pubblicate in un recente studio condotto dal Joint Research Centre nell'ambito della valutazione della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici della Commissione Europea (Forzieri et al., 2018). Questo studio è l'unico, a conoscenza degli autori, a quantificare l'impatto economico diretto di molteplici eventi climatici estremi specificatamente **su infrastrutture** critiche ed è pertanto preso come riferimento in questa relazione.

In tale valutazione sono comprese le infrastrutture dei settori di trasporto, energia e industria, e i pericoli climatici si riferiscono a ondate di calore e di freddo, siccità e incendi, esondazioni fluviali, inondazioni costiere e tempeste di vento.

La metodologia, in linea con l'approccio proposto dall'IPCC per la valutazione dei rischi climatici (IPCC, 2014) (Figura 2), integra un insieme multi-modello di proiezioni di pericoli climatici ad alta risoluzione generate in uno scenario di emissioni di gas serra "business-as-usual" (Forzieri et al., 2016), una rappresentazione dettagliata delle infrastrutture (Batista & Silva, 2019) e una valutazione qualitativa della loro vulnerabilità ai pericoli climatici basata sulla combinazione di conoscenze specialistiche (indagine su circa 400 esperti) e revisione della letteratura scientifica consistente con quanto descritto in sezione 4.1.

Le tre componenti sopra menzionate (pericoli climatici, esposizione, vulnerabilità) sono messe in relazione con più di 1100 osservazioni di danni climatici registrati nel database EMDAT³⁴ al fine di derivare un insieme completo e comparabile di funzioni di danno a scala nazionale per ogni combinazione di pericolo climatico e infrastruttura. Tali relazioni vengono calcolate per il periodo 1981-2010 (baseline) e successivamente estrapolate per le finestre temporali future 2011-2040 (2020s) e 2041-2070 (2050s) in funzione delle variazioni attese nei pericoli climatici, assumendo esposizione e vulnerabilità delle infrastrutture costanti alla condizione attuale. Pertanto le stime di rischio presentate non tengono conto di possibili strategie di adattamento, né di variazioni nel tessuto infrastrutturale del Paese.

La descrizione degli impatti climatici originati dai pericoli climatici sulle infrastrutture illustrata in sezione 4.1 è funzionale a comprendere le interazioni clima-infrastruttura e i meccanismi responsabili dei danni economici presentati nelle sezioni seguenti.

Impatti economici indiretti

Le stime di impatto economico diretto sono state successivamente utilizzate come input di un modello macroeconomico per quantificare gli impatti indiretti, ovvero quanto i danni sulla dotazione infrastrutturale del Paese possano ripercuotersi sulla capacità di produrre, generare ricchezza e crescita nel lungo periodo.

³⁴ EMDAT. EM-DAT | The international disasters database. <https://www.emdat.be/>.

L'approccio modellistico scelto è quello dell'equilibrio economico generale che rappresenta le interdipendenze tra settori economici, quali ad esempio quelle descritte in sezione 4.1.7, la sostituibilità tra fattori produttivi e le dinamiche di mercato tra domanda e offerta conseguenti variazioni di prezzo. Il modello di equilibrio economico generale utilizzato ICES (intertemporal general equilibrium system, www.icesmodel.org) è stato calibrato sullo scenario di sviluppo economico SSP2 (Ahmed, 2013).

Le perdite dirette sono state implementate nel modello come perdita di asset di capitale nei settori interessati. Il modello ha copertura mondiale, ma per questo studio ne è stata utilizzata una versione che rappresenta l'Europa con dettaglio regionale. L'Italia è quindi caratterizzata nelle sue 20 regioni. Per le simulazioni i dati di impatto sono stati inizialmente aggregati nelle loro diverse tipologie di pericolo climatico e l'analisi è stata condotta in forma dinamica fino al 2050.

Scenario climatico di riferimento

Lo scenario "*business-as-usual*" di emissione di gas serra utilizzato per la valutazione degli impatti diretti e indiretti è lo SRES A1B che prevede un aumento della temperatura media globale di ~3°C (range 2,1-3,8°C) entro il 2100, rispetto al 1990. È lo scenario di riscaldamento che sembra più probabile alla luce delle attuali politiche ed in assenza di ulteriori misure di riduzione dei gas clima-alteranti (Hausfather & Peters, 2020). Scenari di emissione alternativi potrebbero mostrare differenze nelle future condizioni di pericolo climatico in Italia. Per quanto riguarda gli scenari RCPs, descritti nel Capitolo 3, l'A1B può essere assimilabile, almeno fino al 2050, allo scenario RCP 4.5. Climi più caldi derivanti da una forzante radiativa più elevata (RCP 8.5) amplificheranno la variabilità climatica (Russo et al., 2015) (Roudier et al., 2016), causando una probabile maggiore intensificazione degli estremi legati alle condizioni meteorologiche rispetto a quelli osservati in questo studio. Ma lo scenario RCP 8.5 viene considerato oramai molto improbabile sia dall'IPCC che dalle Nazioni Unite. Al contrario, ci si dovrebbe aspettare una tendenza opposta in caso di forzante radiativa inferiore e conseguente riscaldamento meno evidente (ad esempio RCP2.6). Per aumentare la coerenza con gli scenari climatici analizzati nel precedente Capitolo 3 le valutazioni economiche riportate nella presente sezione arrivano fino al 2050s (2041-2070), un orizzonte temporale in cui comunque gli scenari RCP 4.5 e RCP 6.0, in relazione alle variazioni attese di temperatura, sono piuttosto simili (van Vuuren & Carter, 2014). Come già indicato nel Capitolo 3, allo scenario RCP 4.5 (il nostro "*business-as-usual*") viene associato un incremento di temperatura media a fine secolo di circa 3 gradi.

4.2.1 Impatti economici diretti

4.2.1.1 Rischi multi-settoriali multi-pericolo

I risultati delle simulazioni illustrati nel Capitolo 3 mostrano che l'Italia dovrà affrontare, nei prossimi decenni, un aumento continuo e sempre più marcato dei danni diretti ed indiretti associati agli estremi climatici. Come visto i danni diretti e indiretti al 2050, in assenza di rapide misure di mitigazione (Capitolo 6) e adeguate misure di adattamento (Capitolo 5), raggiungeranno il 2 - 2.5% circa del PIL (circa 66 - 82 miliardi di euro all'anno) nello scenario RCP 4.5 al 2050. Questi valori sono in linea con quelli recentemente evidenziati dalla Banca Centrale Europea e da altre organizzazioni internazionali.

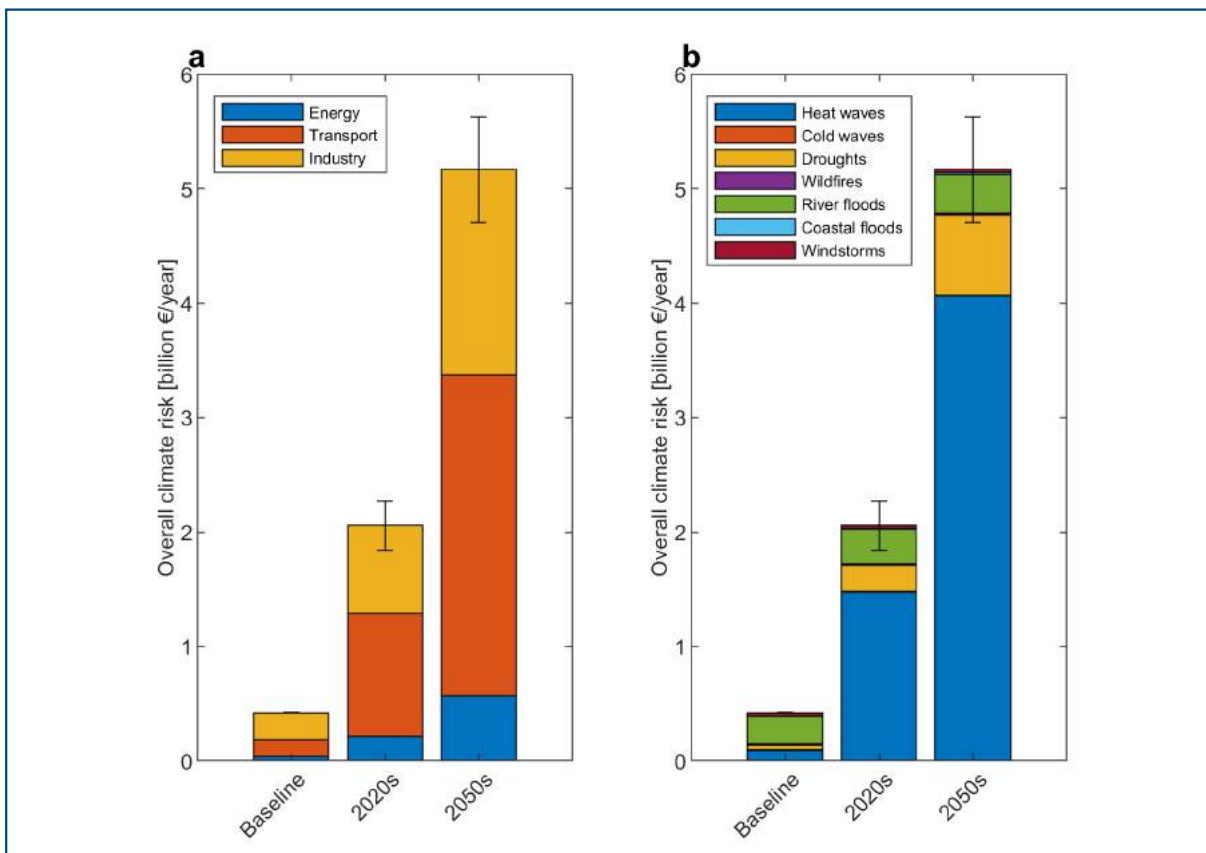
Per quanto riguarda le sole infrastrutture (Forzieri et al., 2018), **il danno annuale atteso (EAD) complessivo per l'Italia è ovviamente più contenuto. Calcolato sul periodo di riferimento 1981-2010, è di 0.42**

miliardi di euro all'anno, ma si prevede che ammonterà a circa 2.06 ± 0.22 miliardi di euro e 5.17 ± 0.46 miliardi di euro all'anno rispettivamente negli anni 2020s e 2050s nello scenario "business-as-usual" considerato (Figura 4) a causa degli effetti dei cambiamenti climatici.

Il più forte aumento dei danni economici diretti (Figura 4a) è previsto per il settore dei trasporti, per il quale l'attuale EAD di 0.15 miliardi di euro all'anno potrebbe superare 1.08 e 2.80 miliardi di euro all'anno (corrispondenti ad una crescita relativa del 700% e 1900% circa) rispettivamente negli anni 2020s e 2050s. Una tendenza analoga può essere osservata per il settore energia, per il quale l'attuale EAD di 0.04 miliardi di euro l'anno dovrebbe raggiungere 0.57 miliardi di euro all'anno (un aumento del 1300% circa) nel 2050s. Per l'industria, si stima che l'EAD, attualmente di 0.23 miliardi di euro all'anno, supererà i 1.79 miliardi di euro all'anno nel 2050s, pari a un aumento del 700% circa.

Mentre gli attuali danni alle infrastrutture originati dai rischi climatici riguardano principalmente le esondazioni fluviali (58%), le proporzioni dei danni associati a siccità e ondate di calore potrebbero aumentare fortemente, fino a rappresentare circa il 92% dei danni climatici nel 2050s (vs 31% nel periodo di riferimento) (Figura 4b). Ciò suggerisce che gli impatti degli estremi climatici potrebbero cambiare non solo in termini di entità dei danni, ma anche nelle loro tipologie. I contributi relativi degli incendi e delle inondazioni costiere sono bassi, nonostante il forte aumento dei danni da inondazioni costiere previsto per i prossimi decenni.

Figura 4: Rischio climatico complessivo per le infrastrutture critiche aggregato a livello nazionale per ogni periodo temporale. (a) distribuzione dei danni per settore (b) distribuzione dei danni per pericoli climatici. I periodi temporali considerati si riferiscono a: 1981-2010 (baseline), 2011-2040 (2020s) e 2041-2070 (2050s). Gli intervalli di confidenza riflettono la variabilità climatica inter-modello. Simulazioni prodotte in Forzieri et al., (2018).



Si evidenzia però che il basso contributo dei danni delle inondazioni costiere può essere correlato al fatto che il database di disastri climatici utilizzati come riferimento (EMDAT) tende probabilmente a sottostimare in larga misura tali eventi. In particolare fenomeni di inondazioni costiere, principalmente associati all'innalzamento del livello del mare, potrebbero generare danni sostanziali in particolare nelle aree urbane e, più in generale, in aree costiere caratterizzate da alta dotazione infrastrutturale (Rojas et al., 2013). I danni associati alle tempeste di vento non presentano sostanziali variazioni, mentre quelli relativi alle ondate di freddo sono marginali e potrebbero scomparire completamente con il riscaldamento globale.

4.2.1.2 Rischi a livello di settore e infrastruttura

La severità degli impatti economici varia in maniera sostanziale tra settori economici e pericoli climatici (Figure 5 e 6) riflettendo le differenti vulnerabilità specifiche dei vari settori. Di seguito si descrivono brevemente le variazioni attese negli impatti economici diretti a livello di singolo settore e tipologia di infrastruttura, richiamando brevemente le tipologie di danno originate dai pericoli climatici descritte in dettaglio in sezione 4.1.

Il maggiore aumento dei danni diretti per il settore energetico riguarda la produzione di energia - combustibili fossili, nucleari e rinnovabili - a causa della sua sensibilità alla siccità e alle ondate di calore (ad es. diminuzione dell'efficienza del sistema di raffreddamento delle centrali elettriche a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua/dell'aria) (sezione 4.1.2). A tale proposito è importante ricordare che tali stime si basano sull'attuale distribuzione infrastrutturale e pertanto non tengono conto della possibile evoluzione del sistema socio-economico del Paese. Questo è particolarmente importante per il settore energetico, dal momento che la produzione energetica potrebbe diversificarsi in maniera sostanziale nei prossimi decenni per raggiungere gli obiettivi concordati nell'ambito del *European Green Deal* (zero emissioni nette di gas serra entro il 2050). Sempre in uno scenario di attuale distribuzione infrastrutturale i danni da siccità e da ondate di calore in Italia potrebbero rappresentare rispettivamente il 30% e il 64% del rischio climatico totale per il settore energetico nel 2050s (ora rispettivamente il 28% e il 20%). Gli altri pericoli climatici considerati tendono attualmente a colpire principalmente i sistemi di trasporto dell'energia e con il tempo i conseguenti effetti mostrano aumenti meno distinti (incendi, esondazioni fluviali e tempeste di vento), aumentano drasticamente di frequenza ma rimangono di magnitudo bassa (inondazioni costiere) o diminuiscono bruscamente (ondate di freddo).

Per il settore dei trasporti le ondate di calore domineranno in gran parte i danni diretti futuri (95% del totale dei danni attesi nel 2050s), principalmente su strade e ferrovie (ad es. deformazione delle rotaie, deterioramento del manto stradale) (sezioni 4.1.1.1 e 4.1.1.2). Queste infrastrutture di trasporto subiranno anche danni a causa di esondazioni fluviali e inondazioni costiere (> 50% degli attuali danni stradali e ferroviari), con crescite rispettivamente moderate e drastiche nel tempo, nonché danni a causa delle ondate di freddo (\approx 2% attuali danni stradali e ferroviari) ma con un trend fortemente decrescente. Seppur poco sviluppato in Italia il trasporto fluviale sarà sempre più colpito dalla siccità: forti riduzioni della portata dei fiumi potrebbero rendere gli stessi non navigabili per prolungati periodi dell'anno (sezione 4.1.1.5). Per quanto riguarda i danni causati dalle tempeste al trasporto aereo, questi mostrano un leggero aumento (sezione 4.1.1). L'innalzamento del livello del mare e l'aumento delle mareggiate potrebbero portare, invece, a un forte aumento dei danni ai porti e più in generale alle infrastrutture critiche localizzate lungo la costa (sezione 4.1.1.4).

Esondazioni e tempeste di vento attualmente dominano i danni economici diretti associati ai rischi climatici nel settore industriale; tali perdite economiche sono principalmente imputabili a danni strutturali a infrastrutture, macchinari e attrezzature. Sebbene i danni ascrivibili a tali fenomeni siano in aumento nei prossimi decenni il loro contributo sarà rapidamente superato da quello originato da siccità e ondate di calore. Gli impatti riguardano principalmente il degrado della qualità dell'acqua (sezione 4.1.5) e dei sistemi di gestione dei rifiuti (sezione 4.1.6), con corrispondenti maggiori costi per il trattamento.

4. IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE INFRASTRUTTURE

Seppur non esplicitamente analizzati qui, gli impatti generati dai crescenti pericoli climatici, ed in particolare quelli associati al forte incremento in severità e frequenza di ondate di calore, potrebbero probabilmente causare forti danni alle infrastrutture ICT e logistiche (sezioni 4.1.3 e 4.1.4, rispettivamente).

Figura 5: Danno atteso annuale (EAD) alle infrastrutture critiche aggregato a livello nazionale per ogni pericolo climatico, settore e periodo temporale. I periodi temporali considerati si riferiscono a: 1981-2010 (baseline), 2011-2040 (2020s) e 2041-2070 (2050s). Gli intervalli di confidenza riflettono la variabilità climatica inter-modello. Simulazioni prodotte in Forzieri et al. (2018)

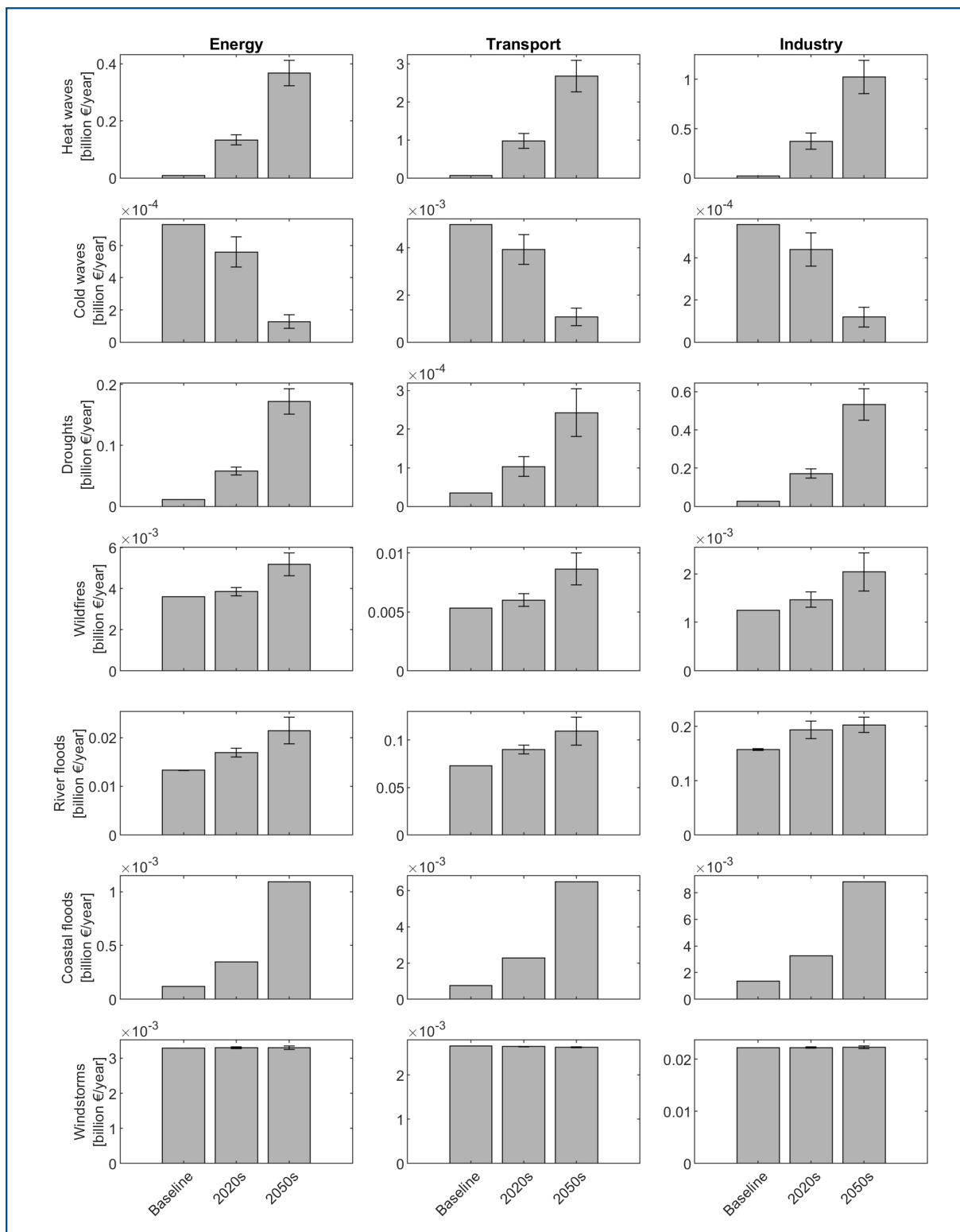
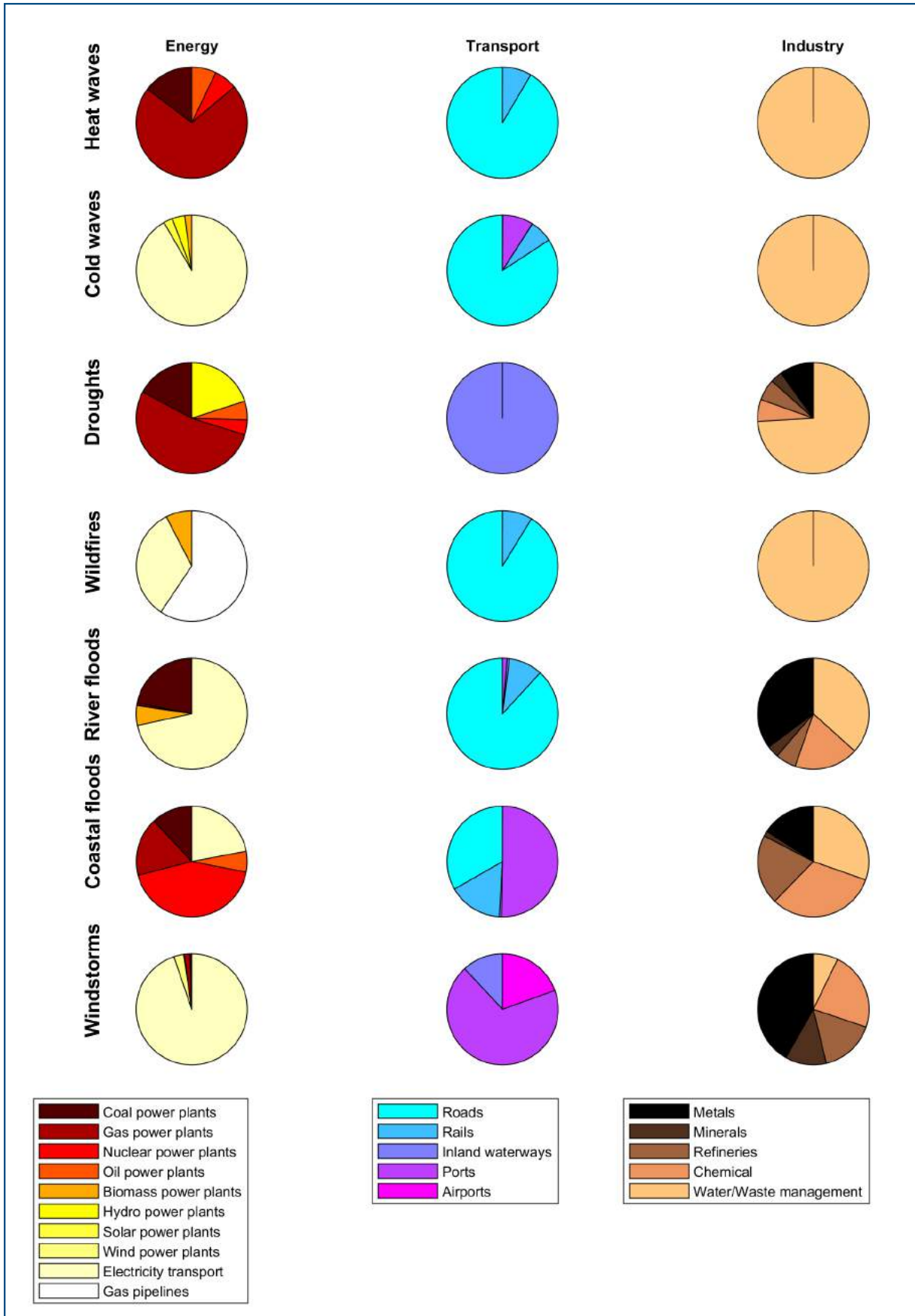


Figura 6: Distribuzione degli impatti degli estremi climatici sui tipi di infrastrutture per settore, calcolati nel periodo 2041-2070 (2050s). Simulazioni prodotte in Forzieri et al. (2018)



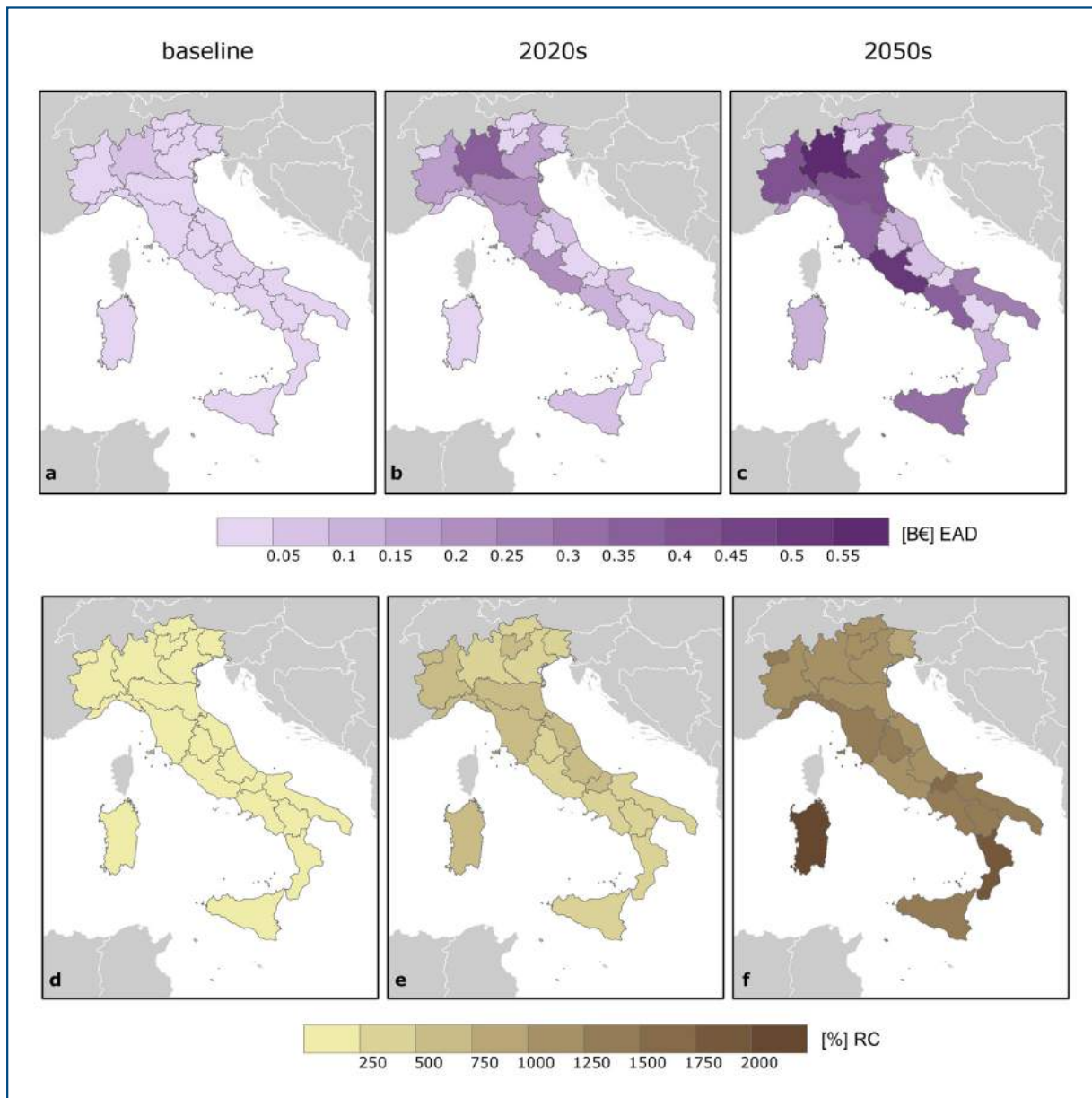
4.2.1.3 Variazione spazio-temporale dei rischi

I risultati aggregati a scala nazionale mascherano le forti differenze negli impatti sul territorio. Gli impatti regionali dipendono evidentemente dalle variazioni spaziali in frequenza e intensità dei pericoli climatici, nonché dalla distribuzione spaziale delle infrastrutture esposte e dalla loro vulnerabilità. Si prevede che comunque tutte le regioni d'Italia sperimenteranno un progressivo aumento dei danni economici diretti associati a eventi climatici estremi, ma che tali danni non si distribuiranno in maniera omogenea sul territorio.

Emerge in maniera evidente, infatti, che nei prossimi decenni il rischio climatico, **in termini assoluti, sarà probabilmente più pronunciato nelle regioni settentrionali e tirreniche rispetto al resto d'Italia** (Figura 7 a-c). Gran parte del gradiente di danno osservato deriva dal maggiore numero di infrastrutture potenzialmente esposte nel Nord Italia e nelle regioni tirreniche (Capitolo 2), effetto questo che tende ad amplificare l'aumento più ridotto in queste regioni di molti degli eventi climatici estremi considerati (Capitolo 3). **In termini di variazione relative, il gradiente appare leggermente invertito, con le regioni meridionali, in particolare Sardegna, e Calabria** (Figura 7d-f), **caratterizzate da un aumento di rischio climatico percentualmente più marcato** rispetto al resto d'Italia e associato in larga misura all'aumento in siccità più pronunciato in queste regioni (Forzieri et al., 2014).

Anche le ondate di calore contribuiscono al gradiente di danno nord-sud, ma in misura minore rispetto alla siccità, poiché si prevede che gli impatti delle ondate di calore aumenteranno in modo significativo e in misura abbastanza omogenea in tutta Italia (Forzieri et al., 2016). Le esondazioni fluviali e le inondazioni costiere rimarranno il pericolo più critico in molte pianure alluvionali e tratti costieri del Paese.

Figura 7: Mappe multi-rischio e multi-settore per le infrastrutture nei diversi periodi di tempo: 1981-2010 (baseline), 2011-2040 (2020s) e 2041-2070 (2050s). (a-c) rischio assoluto espresso in termini di miliardi di euro di danno previsti ogni anno (EAD); (d-f) rischio relativo espresso in termini di variazioni relative (RC) rispetto al periodo di riferimento (baseline). Simulazioni condotte in Forzieri et al. (2018)



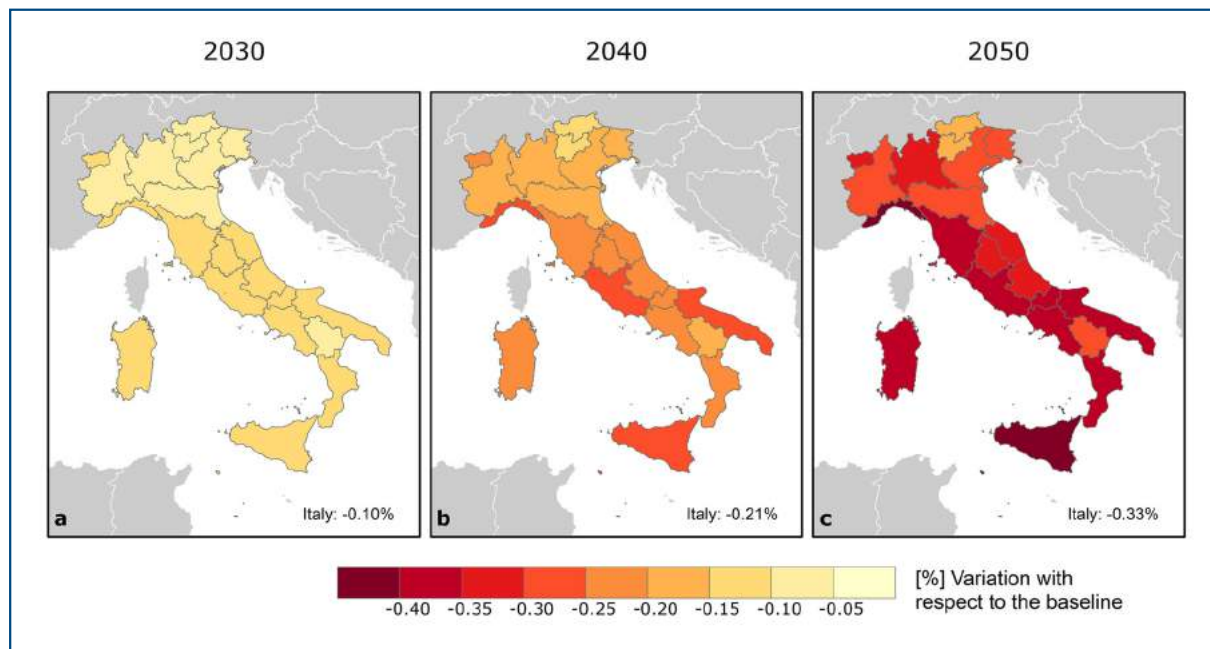
4.2.2 Impatti economici indiretti

I danni economici diretti sulle infrastrutture descritti nelle precedenti sezioni avranno importanti effetti macroeconomici (impatti indiretti) sul PIL italiano complessivo e sul prodotto delle singole regioni (Figura 8). Nello scenario "business as usual", si stima che il **danno complessivo (diretto e indiretto) causato dalla perdita o danneggiamento di infrastrutture per il Paese possa variare tra lo 0.1-0.4% del PIL medio nel decennio 2020-2030 e lo 0.33-0.55% del PIL nel 2050. Ad oggi, si tratterebbe di mancata capacità di produrre beni e servizi per un valore di circa 2.3 - 8.7 miliardi di euro. Proiettata al 2050, la perdita ammonterebbe a circa 11.5 - 18 miliardi di euro. Più del doppio, quindi, rispetto al danno diretto.**

Si tratta comunque di una **frazione del danno complessivo** causato dai cambiamenti climatici atteso per l'Italia nei prossimi decenni, stimato nel Capitolo 3 tra lo 0.5% e il 2% nel 2030 e tra il 2% e il 2.5 % nel 2050 nello scenario "business as usual" (RCP 4.5).

Si può anche notare come le perdite economiche, benché relativamente uniformi, siano maggiormente pronunciate nel sud del Paese e nell'area tirrenica. Questo risultato, pur coerente con l'andamento degli impatti diretti (Figura 7) in parte se ne discosta. È infatti determinato da una concomitanza di fattori interagenti: l'entità degli impatti diretti appunto, la dotazione infrastrutturale esposta al rischio climatico, la relativa importanza nell'economia regionale dei settori la cui dotazione infrastrutturale è impattata e le interconnessioni economiche tra settori all'interno e tra regioni. Sicilia e Lazio risultano le più colpite con perdite pari allo 0.42% e 0.40% circa dell'output regionale nel 2050, rispettivamente, mentre il Trentino-Alto Adige appare la regione meno danneggiata con una perdita relativa di circa la metà (0.19%).

Figura 8: Variazione PIL Italiano e per regione conseguente gli impatti del cambiamento climatico sulle infrastrutture (variazione % rispetto al caso base in assenza di variazioni climatiche).



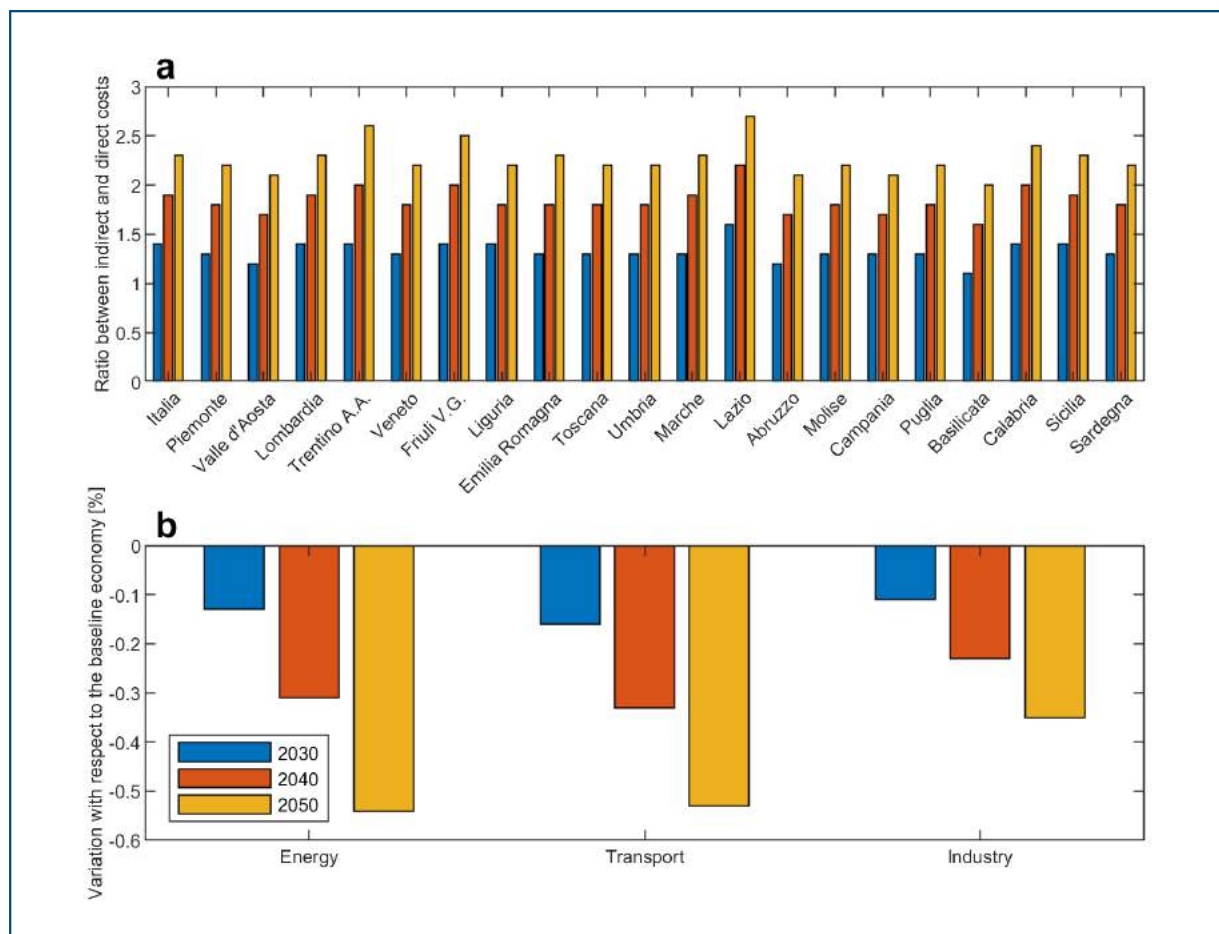
È stata anche analizzata la relazione tra gli impatti macroeconomici e i costi diretti degli impatti climatici sulle infrastrutture usati come dati in entrata per la simulazione. Una delle caratteristiche del modello utilizzato è appunto quella di catturare gli effetti moltiplicativi o di attenuazione degli shock economici derivanti dalle interazioni tra mercati.

Nel caso analizzato gli impatti si trasmettono anzitutto all'interno dei settori colpiti per gli effetti derivanti dalla perdita di asset di capitale sul processo produttivo, ma poi si espandono al resto del sistema economico a seconda delle interdipendenze settoriali e delle reazioni dal lato della domanda. La Figura 9a mostra come le dinamiche citate abbiano un effetto espansivo dei costi. Gli impatti macroeconomici sono sempre più grandi di quelli diretti e la differenza si amplifica nel tempo.

A livello macro-settoriale il settore energetico e il settore trasporto sono quelli maggiormente colpiti nella loro capacità produttiva. A livello aggregato di Paese, entrambi evidenziano perdite nell'output superiori allo 0.5%, mentre il settore industriale riporta perdite di output inferiori (Figura 9b).

La Tabella 12 riporta il dato macro-settoriale per ogni singola regione. In base alle simulazioni condotte per il 2050, la Sicilia risulterebbe la regione con la più alta perdita di prodotto nel settore industriale (-0,6%), il Molise nel settore trasporti (-1%) e la Calabria nel settore energetico (-0.75%). In maniera coerente con i risultati espressi in termini di PIL discussi sopra, il Trentino-Alto Adige emerge come regione con macro-settori produttivi meno danneggiati. Al netto della composizione settoriale dei diversi sistemi economici regionali, e della riallocazione di risorse trasmessa dai flussi commerciali interregionali, il settore industriale risulta il comparto con contributo marginale maggiore nel determinare la performance economica finale. Si veda ad esempio il caso della Sicilia e del Lazio in cui la contrazione dell'output è superiore rispetto a quello stimato in altre regioni seppur caratterizzate da risultati peggiori nel settore energetico e nei trasporti.

Figura 9: Effetti macro-economici a scala regionale e settoriale. a) Rapporto tra impatti macroeconomici (costi indiretti) e costi diretti, b) Impatto sulla produzione macro settoriale italiana in seguito agli impatti del cambiamento climatico sulle infrastrutture (variazione % rispetto al caso base in assenza di variazioni climatiche)



4. IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE INFRASTRUTTURE

Tabella 12: Perdite di output regionale in seguito agli impatti del cambiamento climatico sulle infrastrutture (variazione % rispetto al caso base in assenza di variazioni climatiche).

	2030	2040	2050	2030	2040	2050
	Piemonte			Marche		
Energia	-0,08	-0,21	-0,39	-0,10	-0,22	-0,38
Trasporti	-0,11	-0,26	-0,46	-0,20	-0,39	-0,60
Industria	-0,09	-0,20	-0,32	-0,11	-0,22	-0,33
	Valle d'Aosta			Lazio		
Energia	-0,08	-0,20	-0,43	-0,13	-0,30	-0,53
Trasporti	-0,18	-0,33	-0,48	-0,17	-0,36	-0,58
Industria	-0,12	-0,24	-0,38	-0,16	-0,34	-0,50
	Lombardia			Abruzzo		
Energia	-0,10	-0,25	-0,46	-0,14	-0,32	-0,55
Trasporti	-0,13	-0,31	-0,52	-0,17	-0,33	-0,51
Industria	-0,10	-0,22	-0,34	-0,12	-0,24	-0,35
	Trentino Alto Adige			Molise		
Energia	-0,03	-0,10	-0,22	-0,19	-0,39	-0,62
Trasporti	0,02	0,03	0,02	-0,34	-0,68	-1,04
Industria	-0,09	-0,18	-0,28	-0,12	-0,22	-0,32
	Veneto			Campania		
Energia	-0,12	-0,27	-0,49	-0,13	-0,33	-0,62
Trasporti	-0,15	-0,30	-0,45	-0,13	-0,30	-0,52
Industria	-0,10	-0,20	-0,30	-0,14	-0,29	-0,44
	Friuli V. G.			Puglia		
Energia	-0,14	-0,31	-0,53	-0,21	-0,44	-0,71
Trasporti	-0,17	-0,35	-0,53	-0,19	-0,41	-0,65
Industria	-0,11	-0,22	-0,34	-0,13	-0,25	-0,36
	Liguria			Basilicata		
Energia	-0,16	-0,37	-0,64	-0,16	-0,35	-0,61
Trasporti	-0,19	-0,38	-0,58	-0,21	-0,41	-0,64
Industria	-0,14	-0,29	-0,47	-0,14	-0,28	-0,40
	Emilia Romagna			Calabria		
Energia	-0,12	-0,27	-0,46	-0,17	-0,41	-0,75
Trasporti	-0,17	-0,33	-0,51	-0,18	-0,38	-0,62
Industria	-0,11	-0,21	-0,33	-0,17	-0,34	-0,49
	Toscana			Sicilia		
Energia	-0,13	-0,30	-0,54	-0,15	-0,35	-0,64
Trasporti	-0,20	-0,42	-0,68	-0,21	-0,42	-0,64
Industria	-0,12	-0,26	-0,40	-0,21	-0,41	-0,61
	Umbria			Sardegna		
Energia	-0,18	-0,42	-0,74	-0,16	-0,38	-0,68
Trasporti	-0,18	-0,40	-0,66	-0,13	-0,26	-0,40
Industria	-0,12	-0,24	-0,36	-0,16	-0,30	-0,42

4.2.3 Valutazione delle incertezze

Sebbene il ragionevole accordo tra le stime descritte nelle precedenti sezioni e quelle riportate in studi indipendenti (Rojas et al., 2013) corrobori la metodologia utilizzata e i risultati ottenuti, è importante sottolineare una serie di potenziali limitazioni.

La componente di pericolo climatico è stata valutata sulla base di simulazioni di modelli regionali generate in accordo con uno scenario di emissione di gas serra A1B. Studi che stimino l'evoluzione della frequenza degli eventi estremi utilizzando gli insiemi di proiezioni climatiche più recenti, quali quelle prodotte nell'ambito dell'iniziativa CMIP6 (IPCC, 2021) (Klein et al., 2021), potrebbero dare stime più affidabili sulle future traiettorie climatiche.

Gli scenari di rischio descritti si basano sulla proiezione del danno registrato per il periodo attuale di riferimento (1981-2010) a scenari futuri in base alle variazioni di frequenza degli eventi climatici estremi e alla distribuzione spaziale delle risorse infrastrutturali esposte. Pertanto, eventuali deviazioni del danno registrato dal suo valore reale si propagano inevitabilmente nelle stime di danno futuro.

Attualmente, la comprensione dei rischi climatici e la capacità di prevederne i futuri effetti è limitata dalla mancanza di sistemi di monitoraggio sistematico e consistente degli impatti (fisici, sociali ed economici) e delle inerenti incertezze nelle proiezioni. Nella valutazione degli impatti economici diretti presentati nelle sezioni precedenti si sono utilizzati per il periodo attuale di riferimento dati collezionati nel database EMDAT³⁵. Sebbene sia una delle fonti più complete degli impatti legati al clima, i danni registrati molto probabilmente si discostano dai valori reali (Felbermayr & Gröschl, 2014) (Gall et al., 2009). Poiché i dati che popolano il database provengono da diverse fonti e vengono raccolti da più attori, le stime di rischio risultanti dovrebbero essere lette alla luce di tali possibili sorgenti di incertezza.

Le stime di danno per singolo pericolo climatico registrate a livello nazionale nel database EMDAT sono state disaggregate tra settori/infrastrutture e regioni in base alla struttura sociale ed economica regionale rappresentata dalle statistiche Eurostat e dalla sensibilità allo specifico pericolo climatico valutata sulla base delle conoscenze specifiche e di una revisione della letteratura scientifica. Le assunzioni alla base della disaggregazione proposta rappresentano una potenziale fonte di incertezza che deriva dalla conoscenza incompleta dei veri impatti settoriali e della loro distribuzione spaziale (Meyer et al., 2013). Sebbene siano state formulate ipotesi ragionevoli, tali incertezze epistemiche sono difficili da valutare.

Nelle stime di impatto economico riportate in questo capitolo si assumono pericoli climatici indipendenti e vulnerabilità statica. Tuttavia, ogni pericolo può indurre o rafforzare altri pericoli e questi possono sovrapporsi spazialmente e temporalmente (Tilloy et al., 2019) (Zscheischler et al., 2020) influenzando non solo il livello di pericolosità complessivo, ma anche la vulnerabilità degli elementi a rischio attraverso possibili interrelazioni di più pericoli climatici o effetti a cascata (Kappes et al., 2012). La scarsità di osservazioni che collegano le variazioni negli impatti multi-pericolo e vulnerabilità non consente un'integrazione affidabile di tali effetti in sistemi predittivi su larga scala. Inoltre la vulnerabilità risultante dalle conoscenze specifiche non tiene conto, per le singole tipologie di infrastrutture, delle diverse caratteristiche tecnologiche, di obsolescenza e di integrazione con altri sistemi infrastrutturali che possono influenzare la suscettibilità ad eventi climatici estremi.

È inoltre opportuno richiamare le incertezze relative alla valutazione macro-economica. Il presente studio si riferisce allo scenario di sviluppo socio-economico SSP2. Tuttavia, ipotesi diverse di crescita e composizione settoriale dell'economia italiana possono portare a stime di impatto diverse. Altro elemento di incertezza deriva dall'aver a disposizione dati di impatto diretto per la sola Unione Europea. Il "resto

³⁵ EMDAT. EM-DAT | The international disasters database. <https://www.emdat.be/>.

del mondo”, comunque presente nel modello economico, non risulta pertanto soggetto ad impatti sulle infrastrutture. Se questi determinassero delle variazioni nella performance economica dei paesi extra EU è ragionevole supporre che feedback economici sarebbero trasmessi ai Paesi EU, Italia inclusa, con effetto sui risultati finali. Altrettanto importanti sono le ipotesi di sviluppo tecnologico, in particolare quelle riferite alla sostituibilità tra fattori produttivi. Nel modello sono considerate costanti, ma se questa è un’ipotesi ragionevole nel breve periodo, è meno realistica nel lungo periodo. Un’ultima considerazione riguarda la rappresentazione stessa dell’economia come insieme di “mercati in equilibrio”, efficienti e con agenti razionali. Questo artificio è necessario per lo sviluppo di una modellistica analitica dei processi, ma non cattura molte delle complessità dei mercati reali.

Le incertezze sull’impatto del cambiamento climatico sono quantificate unicamente in termini di variabilità indotta dalle proiezioni dei modelli climatici e non tengono conto di tutte le fonti di incertezza sopra descritte. Tuttavia, si sottolinea che la variabilità introdotta dai modelli di impatto può essere paragonabile, o addirittura superiore, alla variabilità introdotta dai diversi modelli climatici considerati (Piontek et al., 2014).

4.3 Dinamiche socio-economiche e rischi di transizione

Le sezioni precedenti hanno descritto le tipologie di impatto originate dai cambiamenti climatici e fornito delle valutazioni quantitative circa le possibili implicazioni economiche originate dalle variazioni climatiche attese per i prossimi decenni. Tali analisi sono sviluppate considerando le tecnologie e la distribuzione delle attuali infrastrutture del Paese, e pertanto non integrano gli effetti delle future evoluzioni socio-economiche sulle infrastrutture stesse e le loro implicazioni sulle componenti del rischio. Tuttavia, come già indicato in introduzione a questo capitolo, i processi socio-economici possono svolgere un ruolo determinante nell'influenzare il rischio originato dai pericoli climatici (Figura 2). Tali processi possono favorire il progressivo sviluppo infrastrutturale principalmente responsabile delle variazioni in esposizione delle infrastrutture e l'adozione di misure di adattamento volte a rendere le infrastrutture meno vulnerabili alle pressioni climatiche (Formetta & Feyen, 2019) (Jongman et al., 2015).

Altri processi di natura socio-economica possono invece generare un effetto opposto, rendendo il sistema infrastrutturale potenzialmente più esposto ai rischi climatici. Ad esempio, negli ultimi 20 anni in Italia vi è stata una particolare attenzione alla realizzazione di infrastrutture integrate. Tali approcci, sebbene possano apparire più robusti nei confronti di disturbi frequenti e di piccolo impatto, sono risultati molto più vulnerabili rispetto a eventi a cascata, come dimostrato dai blackout elettrici del 2003 verificatisi a scala nazionale a causa delle forti interdipendenze settoriali (Sezione 4.1.7).

In aggiunta, i processi socio-economici, indipendentemente dal verificarsi o meno di un pericolo climatico, possono generare impatti economici originati da cambiamenti significativi di natura politica, legale e tecnologica, volti a rispondere ai bisogni di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico. Questi sono tipicamente denominati rischi di transizione³⁶ e possono avere implicazioni importanti sull'uso di infrastrutture esistenti o ancora da costruire, influenzandone la viabilità economica.

In particolare investimenti indirizzati su attività ed infrastrutture che faticano ad essere compatibili con uno sviluppo economico progressivamente disaccoppiato dalle emissioni di gas serra (per esempio in infrastrutture di trasporto e distribuzione di combustibili fossili e dispositivi che ne consentono l'uso), possono essere soggetti a periodi di vita utile e profili di utilizzo inferiori alle attese, con ripercussioni negative sui ritorni sul capitale investito. Questo li rende meno resilienti alla transizione (continentale o globale) ad una economia a basso contenuto di carbonio e li espone ad un rischio di generare danni economici superiori rispetto ad investimenti ed infrastrutture compatibili con uno sviluppo sostenibile (per esempio in reti elettriche, impianti di generazione elettrica a basse emissioni e prodotti che usano l'elettricità con un'alta efficienza finale), e quindi tale da poter disaccoppiare emissioni ed impatti sulla sostenibilità della crescita economica. Indirettamente, questi cambiamenti possono anche avere impatti (positivi o negativi) sulla produttività economica, dal momento che ritorni sugli investimenti (non solo infrastrutturali) superiori o inferiori alle attese portano a costi più bassi o più alti per il sistema produttivo e, rispettivamente, maggiori o minori opportunità di generare valore.

Una pianificazione e progettazione delle infrastrutture volta a favorire lo sviluppo sociale ed economico del Paese in un contesto di cambiamenti climatici deve necessariamente adottare un approccio capace di integrare rischi emergenti e opportunità di crescita. L'efficacia delle strategie di adattamento e mitigazione, descritte in dettaglio nei prossimi Capitoli 5 e 6, pertanto deve essere valutata alla luce delle possibili variazioni nei rischi climatici e di transizione. Favorire ad esempio tecnologie di mitigazione vulnerabili alle crescenti pressioni climatiche può portare a crescenti impatti economici e - in ultima analisi - favorire un inatteso aumento di emissione di gas serra in atmosfera generati nelle operazioni di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle infrastrutture danneggiate, o nell'utilizzo di infrastrutture e tecnologie alterna-

³⁶ Recommendations. *Task Force on Climate-Related Financial Disclosures* <https://www.fsb-tcf.org/recommendations/>.

tive più impattanti a seguito della riduzione di operatività delle infrastrutture originarie. Analogamente, puntare su tecnologie che fanno fronte a difficoltà strutturali per assicurare un progressivo disaccoppiamento di attività economica ed emissioni, o altri impatti sulla sostenibilità, può avere implicazioni negative per la crescita economica e la capacità del sistema socio-economico di prosperare in un contesto che richiede una significativa riduzione delle emissioni di gas serra.

Conclusioni e proposte

Nel presente capitolo si è fornita una sintesi degli impatti originati dai pericoli climatici più rilevanti per le infrastrutture del Paese. A tal fine si sono integrate conoscenze attuali derivate dalla letteratura sulle tipologie di impatti e modelli di impatto fisico ed economico. Gli studi scientifici considerati e le analisi condotte mostrano che l'Italia dovrà probabilmente affrontare, nei prossimi decenni, un aumento continuo e sempre più marcato dei danni associati a eventi climatici estremi.

In particolare, si stima che l'impatto economico diretto (EAD) complessivo per le infrastrutture in Italia potrebbe crescere fino a 5.17 ± 0.46 miliardi di euro l'anno entro gli anni 2050s, corrispondente ad un aumento di circa 12 volte le stime di danno attuali. La pressione dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture è da considerarsi inequivocabile e generalizzata. Possibili strategie di adattamento e mitigazione per far fronte a queste crescenti pressioni climatiche sono descritte nei successivi Capitoli 5 e 6.

Nonostante la comunità scientifica abbia compiuto progressi importanti nella valutazione degli impatti climatici e le stime fornite in questo capitolo siano state prodotte con approcci modellistici avanzati (sezione 4.2), le valutazioni rimangono soggette ad alcune importanti incertezze (sezione 4.2.6) anche alla luce della parziale comprensione e integrazione delle dinamiche socio-economiche nelle valutazioni di rischio condotte (sezione 4.3). Di seguito si indicano una serie di possibili aspetti di carattere scientifico e operativo-gestionale il cui sviluppo ed eventuale implementazione potrebbero, a opinione degli autori, portare importanti progressi nella modellistica dei rischi climatici. Questi elementi, infatti, permetterebbero valutazioni più accurate in vista degli scenari di riscaldamento globale attesi per i prossimi decenni e - in ultima analisi - favorirebbero lo sviluppo di strategie di adattamento appropriate volte a rendere la società più resiliente ai cambiamenti climatici.

Mappatura delle infrastrutture

La conoscenza accurata della distribuzione territoriale delle infrastrutture e del loro valore economico è un prerequisito per quantificare il rischio climatico e pianificare adeguate misure di protezione e adattamento. Sebbene progressi sostanziali siano stati compiuti per la mappatura e l'armonizzazione spaziale e tematica delle infrastrutture (Batista & Silva et al., 2019), gli attuali database rimangono ancora incompleti, in particolare in relazione alle infrastrutture di più recente costruzione e quelle in corso di realizzazione. A questa carenza si aggiunge la quasi totale mancanza di informazioni quantitative relative alle misure di adattamento implementate (o da implementare) a scala locale e/o di singola infrastruttura (Berkhout et al., 2015) (Bouwer et al., 2014). La mancanza di informazioni dettagliate di come le dinamiche socio-economiche stanno alterando il livello di esposizione e vulnerabilità delle infrastrutture (Capitolo 2) ostacola l'integrazione di questi elementi in valutazioni di rischio a scala nazionale. Una mappatura delle attuali infrastrutture, delle misure di adattamento e dei loro costi contribuirebbe a valutare con maggiore accuratezza i rischi climatici e l'efficacia delle misure di adattamento.

Analisi delle dinamiche spazio-temporali di eventi climatici estremi composti

Le valutazioni di rischio climatico tipicamente esplorano gli impatti associati a pericoli climatici legati a singoli eventi estremi. Tuttavia, come già sottolineato nel Capitolo 3, i fattori e i processi che controllano molteplici eventi climatici estremi spesso interagiscono e possono esacerbarsi nello spazio e nel tempo. Effetti a cascata e di amplificazione che possono originare da queste interazioni (eventi composti) hanno il potenziale di generare impatti maggiori e caratterizzati da una più rapida crescita a medio termine rispetto a quanto previsto da singoli pericoli climatici (Tilloy et al., 2019) (Zscheischler & Seneviratne, 2017)

Un'analisi delle attuali e future evoluzioni di pericoli climatici composti, con particolare riferimento alle interazioni critiche per le infrastrutture, potrebbe migliorare sostanzialmente la capacità di rappresentare gli stress climatici attesi per il futuro.

Sistema di monitoraggio degli impatti degli eventi climatici estremi

Una componente importante di incertezza nella stima dei futuri rischi climatici origina dalla scarsità di dati relativi a impatti (fisici ed economici) sulle infrastrutture osservati in seguito al verificarsi di eventi climatici estremi (singoli e composti). Questo aspetto limita una comprensione più approfondita dei meccanismi di vulnerabilità delle infrastrutture e lo sviluppo di approcci analitici per la rappresentazione di questi processi, come ad esempio la calibrazione robusta di curve di danno per specifiche combinazioni di infrastrutture e pericoli climatici. Quindi, considerando il passato, il primo passo è analizzare l'impatto locale causato dal cambiamento climatico negli ultimi 40 anni utilizzando osservazioni e reanalisi (sia globali che a scala regionale). Guardando al presente ed al futuro, appare inoltre evidente che un passo importante per affinare le stime di rischio consiste nel dotare il Paese di un monitoraggio sistematico e consistente nello spazio e nel tempo degli eventi climatici estremi e dei conseguenti impatti sulle infrastrutture. In questo contesto la crescente disponibilità di osservazioni della Terra (Le Cozannet et al., 2020) (Guo et al., 2015) (es. piattaforma satellitare), i recenti sviluppi di piattaforme cloud-computing (Gorelick et al., 2017) e approcci basati su intelligenza artificiale, con livelli di sofisticazione sempre più avanzati (Reichstein et al., 2019), possono offrire nuove e promettenti opportunità per un'analisi ad alta risoluzione spaziale e temporale di questi fenomeni. Sinergie fra le comunità scientifiche coinvolte nelle valutazioni del rischio climatico ed operatori/gestori/concessionari infrastrutturali nei diversi settori economici considerati dovrebbero essere promosse per favorire una maggiore condivisione di dati e conoscenze.

Comprensione più approfondita delle interdipendenze settoriali

La stima delle interdipendenze settoriali e dei possibili effetti a cascata che si possono innescare rimane un ulteriore elemento di difficile modellazione, in particolare in un contesto di cambiamenti climatici. In uno scenario atteso di aumentata integrazione dei sistemi (Capitolo 2), i margini di sicurezza con i quali le infrastrutture sono state progettate potrebbero essere insufficienti per assorbire i crescenti stress climatici (Capitolo 3) che impattano su di esse e che tendono ad amplificarsi in seguito alle interdipendenze settoriali esistenti (sezione 4.1.7). Data la complessità di questi sistemi, l'eterogeneità dei loro componenti, le loro interazioni, le dipendenze e interdipendenze, e le inevitabili incertezze nella conoscenza e previsione del loro comportamento, nuovi approcci sistemici e olistici sono necessari per integrare diversi metodi di analisi che guardino al sistema dalle diverse prospettive (topologiche e funzionali, statiche e dinamiche, socio-economiche, etc.) che ne caratterizzano e influenzano il funzionamento e il fallimento (Kröger & Zio, 2011). L'implementazione di un sistema di monitoraggio degli impatti degli eventi climatici estremi precedentemente descritto potrebbe fornire nuovi dati e conoscenze per una modellazione più accurata delle interdipendenze settoriali e dei loro possibili effetti a cascata.

Integrazione delle dinamiche biofisiche e umane

Gli attuali modelli di impatto tipicamente utilizzano proiezioni climatiche per simulare in modalità disaccoppiata i pericoli climatici sulla società (Capitolo 3). Tali approcci, sebbene abbiano raggiunto importanti progressi nella modellazione di eventi climatici estremi, riescono a rappresentare solo parzialmente le possibili interazioni bidirezionali esistenti fra clima e sistemi socio-economici (Bonan & Doney, 2018)

(Steffen et al., 2020) e, in particolare, quelle legate allo sviluppo infrastrutturale. Una migliore comprensione delle dinamiche co-evolutive della società umana e dei processi biofisici, in parte derivabile dalle proposte sopra elencate, contribuirebbe ad una rappresentazione più realistica delle future traiettorie climatiche e delle relative conseguenze. Infatti, l'impatto del cambiamento climatico è particolarmente disastroso laddove la condizione ambientale ed antropica iniziale ed al contorno predispone effetti soglia e non linearità. Questi effetti soglia, che possono anche essere dovuti ad inadeguatezza delle infrastrutture nei confronti di mutate condizioni antropiche ed ambientali, comportano che variazioni anche moderate e stagionali del clima quotidiano possano generare sulle infrastrutture sollecitazioni continue ed inusuali che ne possono compromettere l'esercizio. Questi effetti devono essere valutati studiando l'interazione reciproca fra sistemi sociali, infrastrutture e clima (Savenije et al., 2014) (Montanari et al., 2013). I modelli che simulano le interazioni fra suolo e atmosfera, ampiamente utilizzati come strumenti di supporto per la valutazione del cambiamento climatico e del suo impatto su ecosistemi terrestri e società, rappresentano un contesto ideale per l'integrazione di tali dinamiche. Si tratta, questa, di una sfida di ampio respiro che richiederebbe uno sforzo fortemente multi-disciplinare per far fronte alle sfide globali emergenti.

Data la rilevanza delle tematiche trattate e l'urgenza di trovare soluzioni condivise, sostenibili e appropriate per far fronte alle rapide evoluzioni climatiche a cui l'intero pianeta è soggetto, sarebbe utile promuovere iniziative congiunte a scala europea e/o globale per lo sviluppo degli aspetti sopra descritti. Tali iniziative appaiono particolarmente importanti in relazione alla prima azione prioritaria "comprendere il rischio di catastrofi" del Quadro di riferimento di Sendai per la riduzione del rischio di disastri adottato dagli stati membri delle Nazioni Unite (UN, 2015), e all'obiettivo quattro "intensificare l'azione internazionale in materia di adattamento ai cambiamenti climatici" della nuova Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici dell'UE (European Commission, 2021).

Bibliografia

- ACMA (2020). Impacts of the 2019-20 bushfires on the telecommunications network, ACMA. <https://www.acma.gov.au/publications/2020-04/report/impacts-2019-20-bushfires-telecommunications-network> (1593386028).
- Agha Kouchak, A. et al. (2020). Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 48, 519-548.
- Ahmed, Y. A. (2013) Potential Impacts of Climate Change on Waste Management in Ilorin City, Nigeria. *AFRREV STECH Int. J. Sci. Technol.* 2, 45-63.
- Anderson, C., Claman, D. e Mantilla, R. (2015). *Iowa's Bridge and Highway Climate Change and Extreme Weather Vulnerability Assessment Pilot*. <https://intrans.iastate.edu/research/completed/iowas-bridge-and-highway-climate-change-and-extreme-weather-vulnerability-assessment-pilot/>
- Añel, J. A., Fernández-González, M., Labandeira, X., López-Otero, X. e De la Torre, L. (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere* 8, 209.
- Batista e Silva, F. et al. (2019). HARCI-EU, a harmonized gridded dataset of critical infrastructures in Europe for large-scale risk assessments. *Sci. Data* 6, 126.
- Bebb, J. e Kersey, J. (2003) *Potential impacts of climate change on waste management*. <https://www.gov.uk/government/publications/potential-impacts-of-climate-change-on-waste-management>.
- Berkhout, F. et al. (2015). European policy responses to climate change: progress on mainstreaming emissions reduction and adaptation. *Reg. Environ. Change* 15, 949-959
- Bevacqua, E. et al. (2020). More meteorological events that drive compound coastal flooding are projected under climate change. *Commun. Earth Environ.* 1, 1-11.
- Bompard, E., Huang, T., Wu, Y. e Cremenescu, M. (2013). Classification and trend analysis of threats origins to the security of power systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 50, 50-64
- Bonan, G. B. e Doney, S. C. (2018). Climate, ecosystems, and planetary futures: The challenge to predict life in Earth system models. *Science* 359, EAAM8328
- Bonjean Stanton, M. C., Dessai, S. e Paavola, J. (2016). A systematic review of the impacts of climate variability and change on electricity systems in Europe. *Energy* 109, 1148-1159
- Bouwer, L. M., Papyrakis, E., Poussin, J., Pfuertscheller, C. e Thieken, A. H. (2014). The Costing of Measures for Natural Hazard Mitigation in Europe. *Nat. Hazards Rev.* 15, 04014010
- Buldyrev, S. V., Parshani, R., Paul, G., Stanley, H. E. e Havlin, S. (2010). Catastrophic cascade of failures in interdependent networks. *Nature* 464, 1025-1028.
- Burbidge, R. (2016). Adapting European Airports to a Changing Climate. *Transp. Res. Procedia* 14, 14-23.
- Chopra, S. S. e Khanna, V. (2015). Interconnectedness and interdependencies of critical infrastructures in the US economy: Implications for resilience. *Phys. Stat. Mech. Its Appl.* 436, 865-877.
- Chow, A. T.-S., Karanfil, T. e Dahlgren, R. A. (2021). Wildfires Are Threatening Municipal Water Supplies. *Eos* 102.
- Cipriani, L. (2013). Aeroporti e cambiamenti climatici: Floating vs Flooded Airport Urbanism. *Planum Eur. J. Plan.* 2, 1-7.
- Colombani, N., Osti, A., Volta, G. e Mastrocicco, M. (2016). Impact of Climate Change on Salinization of Coastal Water Resources. *Water Resour. Manag.* 30, 2483-2496.
- Corazza, Maria Vittoria, Di Mascio, P., Antonio, D. e Alessandro, R. (2014). *Caratteristiche Funzionali e Costruttive delle Infrastrutture per la Mobilità Pedonale*.
- Coumou, D. & Rahmstorf, S. (2012). A decade of weather extremes. *Nat. Clim. Change* 2, 491-496.
- Cox, S., Hotchkiss, E., Bilello, D., Watson, A. e Holm, A. (2017). *Bridging Climate Change Resilience and Mitigation in the Electricity Sector Through Renewable Energy and Energy Efficiency*. <https://www.climatelinks.org/resources/bridging-climate-change-resilience-and-mitigation-electricity-sector-through-renewable>
- Croce, P. et al. (2018). The snow load in Europe and the climate change. *Clim. Risk Manag.* 20, 138-154.

- Croce, P., Formichi, P. e Landi, F. (2019). Climate Change: Impacts on Climatic Actions and Structural Reliability. *Appl. Sci.* 9, 5416
- Cruz, A. M. e Krausmann, E. (2013). Vulnerability of the oil and gas sector to climate change and extreme weather events. *Clim. Change* 121, 41-53
- Dawson, R. J. *et al.* (2018). A systems framework for national assessment of climate risks to infrastructure. *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* 376, 20170298.
- de Oliveira, R. P., Matos, J. S. e Monteiro, A. J. (2015). Managing the urban water cycle in a changing environment. *Water Util. J.* 9, 3-12.
- Diffenbaugh, N. S. *et al.* (2017). Quantifying the influence of global warming on unprecedented extreme climate events. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 4881-4886.
- Ebinger, J. e Vergara, W. (2011). *Climate impacts on energy systems: key issues for energy sector adaptation*. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/580481468331850839/Climate-impacts-on-energy-systems-key-issues-for-energy-sector-adaptation>
- Emanuel, K. (2005). Genesis and maintenance of 'Mediterranean hurricanes'. *Adv. Geosci.* 2, 217-220.
- EMDAT. EM-DAT | The international disasters database. <https://www.emdat.be/>
- ENAC (2014). Criteri per la valutazione delle condizioni superficiali di una pista. *ENAC* <http://www.enac.gov.it/la-normativa/normativa-enac/circolari/serie-apt/apt-10b>
- European Commission, 2021. EU Adaptation Strategy. *Climate Action - European Commission* https://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what_en
- Farhan Habib, M., Tornatore, M. e Mukherjee, B. (2015). Cascading-failure-resilient interconnection for interdependent power grid - Optical networks. in *2015 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)* 1-3.
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J. e Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environ. Chem. Lett.* 18, 2069-2094.
- Felbermayr, G. e Gröschl, J. (2014). Naturally negative: The growth effects of natural disasters. *J. Dev. Econ.* 111, 92-106.
- Ferranti, E. *et al.* (2016). Heat-Related Failures on Southeast England's Railway Network: Insights and Implications for Heat Risk Management. *Weather Clim. Soc.* 8, 177-191.
- Fischer, E. M. e Knutti, R. (2015). Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nat. Clim. Change* 5, 560-564.
- Formetta, G. e Feyen, L. (2019). Empirical evidence of declining global vulnerability to climate-related hazards. *Glob. Environ. Change* 57, 101920.
- Forzieri, G. *et al.* (2014). Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18, 85-108
- Forzieri, G. *et al.* Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. *Glob. Environ. Change* 48, 97-107 (2018).
- Forzieri, G. *et al.* (2016). Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Clim. Change* 137, 105-119.
- Fraser, A. M., Chester, M. V. e Underwood, B. S. (2020). Wildfire risk, post-fire debris flows, and transportation infrastructure vulnerability. *Sustain. Resilient Infrastruct.* 0, 1-13.
- Gall, M., Borden, K. A. & Cutter, S. L. (2009). When Do Losses Count? Six Fallacies of Natural Hazards Loss Data. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 90, 799-810.
- Gorelick, N. *et al.* (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18-27.
- Gravit, M., Vaitickii, A. e Shpakova, A. (2016). Subway Constructions Fire Safety Regulatory Requirements. *Procedia Eng.* 165, 1667-1672.
- Gudino-Elizondo, N. *et al.* (2021). Rapid assessment of urban mega-gully and landslide events with Structure-from-Motion techniques validates link to water resources infrastructure failures. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* 1-22 doi:10.5194/nhess-2021-47.

- Guerreiro, S. B., Dawson, R. J., Kilsby, C., Lewis, E. e Ford, A. (2018). Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. *Environ. Res. Lett.* 13, 034009.
- Guerrero, M., Re, M., Kazimierski, L. D., Menéndez, Á. N. e Ugarelli, R. (2013). Effect of climate change on navigation channel dredging of the Parana River. *Int. J. River Basin Manag.* 11, 439-448.
- Guo, H.-D., Zhang, L. e Zhu, L.-W. (2015). Earth observation big data for climate change research. *Adv. Clim. Change Res.* 6, 108-117.
- Handmer, J. et al. (2012). Changes in Impacts of Climate Extremes: Human Systems and Ecosystems. in *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Field, C. B., Dahe, Q., Stocker, T. F. & Barros, V.) 231-290 (Cambridge University Press, 2012). doi:10.1017/CBO9781139177245.007.
- Hausfather, Z. e Peters, G. P. (2020). Emissions - the 'business as usual' story is misleading. *Nature* 577, 618-620.
- Hervas, J. *Lessons Learnt from Landslide Disasters in Europe - ESDAC - European Commission*. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/lessons-learnt-landslide-disasters-europe> (2003).
- Hughes, J., Cowper-Heays, K., Olesson, E., Bell, R. e Stroombergen, A. Impacts and implications of climate change on wastewater systems: A New Zealand perspective. *Clim. Risk Manag.* 31, 100262 (2021).
- IPCC, 2014. AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability - IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> (2014).
- IPCC, 2021 *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Cambridge University Press, 2021).
- Jongman, B. et al. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, E2271-E2280 (2015).
- JRC (2018). Joint Research Centre (European Commission), Demirel, H. & Christodoulou, A. *Impacts of climate change on transport: a focus on airports, seaports and inland waterways*. (Publications Office of the European Union, 2018).
- Kappes, M. S., Keiler, M., von Elverfeldt, K. e Glade, T. (2012). Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. *Nat. Hazards* 64, 1925-1958.
- Ke, X., Wu, D., Rice, J., Kintner-Meyer, M. e Lu, N. (2016). Quantifying impacts of heat waves on power grid operation. *Appl. Energy* 183, 504-512.
- Klein, C. et al. (2021). Combining CMIP data with a regional convection-permitting model and observations to project extreme rainfall under climate change. *Environ. Res. Lett.* doi:10.1088/1748-9326/ac26f1.
- Kling, G. W. et al. (2003). *Confronting Climate Change in the Great Lakes | Union of Concerned Scientists*. <https://www.ucsusa.org/resources/confronting-climate-change-great-lakes>
- Klose, M., Damm, B. e Terhorst, B. (2015). Landslide cost modeling for transportation infrastructures: a methodological approach. *Landslides* 12, 321-334.
- Kreibich, H. et al. (2014). Costing natural hazards. *Nat. Clim. Change* 4, 303-306.
- Kröger, W. e Zio, E. (2011). *Vulnerable Systems*. (Springer-Verlag). doi:10.1007/978-0-85729-6559.
- Le Cozannet, G. et al. (2020). Space-Based Earth Observations for Disaster Risk Management. *Surv. Geophys.* 41, 1209-1235.
- Li, Z., Clark, R. M., Buchberger, S. G. e Jeffrey Yang, Y. (2014). Evaluation of Climate Change Impact on Drinking Water Treatment Plant Operation. *J. Environ. Eng.* 140, A4014005.
- Ligteringen, H. (1999). Ports and Terminals. *Lect. Note CTwa4330*.
- Lopez, A. (2016). Vulnerability of Airports on Climate Change: An Assessment Methodology. *Transp. Res. Procedia* 14, 24-31
- Markolf, S. A., Hoehne, C., Fraser, A., Chester, M. V. e Underwood, B. S. (2019). Transportation resilience to climate change and extreme weather events - Beyond risk and robustness. *Transp. Policy* 74, 174-186.
- Meyer, V. et al. (2013). Review article: Assessing the costs of natural hazards - state of the art and knowledge gaps. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1351-1373

- Mima, S. e Criqui, P. (2015). The Costs of Climate Change for the European Energy System, an Assessment with the POLES Model. *Environ. Model. Assess.* 20, 303-319.
- Mitchell, J. W. (2013). Power line failures and catastrophic wildfires under extreme weather conditions. *Eng. Fail. Anal.* 35, 726-735.
- Montanari, A. *et al.* (2013). "Panta Rhei—Everything Flows": Change in hydrology and society—The IAHS Scientific Decade 2013–2022. *Hydrol. Sci. J.* 58, 1256-1275.
- Mysiak, J. *et al.* Flood risk management in Italy: challenges and opportunities for the implementation of the EU Floods Directive (2007/60/EC). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 2883-2890 (2013).
- Nemry, F. e Demirel, H. *Impacts of climate change on transport: a focus on road and rail transport infrastructures.* (Publications Office of the European Union, 2012).
- O'Neill, J. A. (2009). Climate change's impact on the design of water, wastewater, and stormwater infrastructure. *Hydrology days 2010* doi:10.25675/10217/200817.
- OECD, 2016. Adapting Transport to Climate Change and Extreme Weather: Implications for Infrastructure Owners and Network Managers | en | OECD.
<https://www.oecd.org/publications/adapting-transport-to-climate-change-and-extreme-weather-9789282108079-en.htm>
- Østreg, W. *et al.* (2013). *Shipping in Arctic Waters: A comparison of the Northeast, Northwest and Trans Polar Passages.* (Springer-Verlag, 2013). doi:10.1007/978-3-642-16790-4.
- Pacheco, F. A. L. e Sanches Fernandes, L. F. (2021). Hydrology and stream water quality of fire-prone watersheds. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* 21, 100243.
- Pall, P. *et al.* (2011). Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature* 470, 382-385.
- Pasquali, D., Di Risio, M. e De Girolamo, P. (2015). A simplified real time method to forecast semi-enclosed basins storm surge. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 165, 61-69.
- Pinto, F. S., de Carvalho, B. e Marques, R. C. (2021). Adapting water tariffs to climate change: Linking resource availability, costs, demand, and tariff design flexibility. *J. Clean. Prod.* 290, 125803.
- Piontek, F. *et al.* (2014). Multisectoral climate impact hotspots in a warming world. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 3233-3238.
- Pryor, S. C. e Barthelmie, R. J. (2010). Climate change impacts on wind energy: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 430-437
- Puempel, H. e Williams, P. D. (2016). The impacts of climate change on aviation: scientific challenges and adaptation pathways.
- Qiu, L. e Nixon, W. A. (2008). Effects of Adverse Weather on Traffic Crashes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Transp. Res. Rec.* 2055, 139-146.
- Rajani, B. & Kleiner, Y. (2001). Comprehensive review of structural deterioration of water mains: physically based models. *Urban Water* 3, 151-164
- Recommendations. *Task Force on Climate-Related Financial Disclosures* <https://www.fsb-tcfd.org/recommendations/>.
- Reichstein, M. *et al.* (2019). Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature* 566, 195-204
- Rojas, R., Feyen, L. e Watkiss, P. (2013). Climate change and river floods in the European Union: Socio-economic consequences and the costs and benefits of adaptation. *Glob. Environ. Change* 23, 1737-1751.
- Roudier, P. *et al.* (2016). Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2°C global warming. *Clim. Change* 135, 341-355.
- Rübelke, D. e Vögele, S. (2011). Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. *Environ. Sci. Policy* 14, 53-63.
- Russo, S., Sillmann, J. e Fischer, E. M. (2015). Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environ. Res. Lett.* 10, 124003.

- Savenije, H. H. G., Hoekstra, A. Y. & van der Zaag, P. (2014). Evolving water science in the Anthropocene. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18, 319-332.
- Schaeffer, R. *et al.* (2012). Energy sector vulnerability to climate change: A review. *Energy* 38, 1-12.
- Sheffi, Y. (2012) *Logistics Clusters: Delivering Value and Driving Growth*. (MIT Press, 2012).
- Sieber, J. (2013). Impacts of, and adaptation options to, extreme weather events and climate change concerning thermal power plants. *Clim. Change* 121, 55-66.
- Song, Z., Zhang, X. e Eriksson, C. (2015). Data Center Energy and Cost Saving Evaluation. *Energy Procedia* 75, 1255-1260.
- Steffen, W. *et al.* (2020). The emergence and evolution of Earth System Science. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1, 54-63.
- Stewart, M. G., Wang, X. e Nguyen, M. N. (2011). Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration. *Eng. Struct.* 33, 1326-1337.
- Svendsen, I. A. e Jonsson, I. G. (1980). *Hydrodynamics of coastal regions*. (Den Private Ingeniørfond, Technical University Denmark)
- Thieken, A. H. *et al.* (2009). Methods for the evaluation of direct and indirect flood losses. in (Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ)
- Tilloy, A., Malamud, B. D., Winter, H. & Joly-Laugel, A. (2019). A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships. *Earth-Sci. Rev.* 196, 102881
- Transportation Research Board & National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Transportation Resilience: Adaptation to Climate Change*. (The National Academies Press, 2016). doi:10.17226/24648.
- UN (2015). United Nations. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030> (2015).
- UNECE (2020). Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks | UNECE. <https://unece.org/transport/publications/climate-change-impacts-and-adaptation-international-transport-networks-0>
- USAID (2012) Addressing climate change impacts on infrastructure: Preparing for change.
- van Vliet, M. T. H., Wiberg, D., Leduc, S. e Riahi, K. (2016). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nat. Clim. Change* 6, 375-380.
- van Vuuren, D. P. e Carter, T. R. (2014). Climate and socio-economic scenarios for climate change research and assessment: reconciling the new with the old. *Clim. Change* 122, 415-429.
- Vousdoukas, M. I. *et al.* (2020). Economic motivation for raising coastal flood defenses in Europe. *Nat. Commun.* 11, 2119.
- Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M. e Feyen, L. (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earths Future* 5, 304-323.
- Ward, P. J. *et al.* (2018). Dependence between high sea-level and high river discharge increases flood hazard in global deltas and estuaries. *Environ. Res. Lett.* 13, 084012.
- Zachariadis, T. e Hadjinicolaou, P. (2014). The effect of climate change on electricity needs - A case study from Mediterranean Europe. *Energy* 76, 899-910.
- Zscheischler, J. e Seneviratne, S. I. (2017). Dependence of drivers affects risks associated with compound events. *Sci. Adv.* 3, e1700263.
- Zscheischler, J. *et al.* (2020). A typology of compound weather and climate events. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1, 333-347.
- Zuo, J. *et al.* (2015). Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. *J. Clean. Prod.* 92, 1-12.

Capitolo 5

Tecnologie, disegno e riorganizzazione delle infrastrutture e della mobilità per la resilienza e l'adattamento ai cambiamenti climatici



Capitolo 5

Tecnologie, disegno e riorganizzazione delle infrastrutture e della mobilità per la resilienza e l'adattamento ai cambiamenti climatici

Coordinamento

Mara Tanelli

Infrastrutture per la mobilità

G. Cantisani, M. Duca, P. Giangualano, F. Ricci Feliziani, G. Loprencipe, L. Lotti, S. Soriani, M. Tanelli

Infrastrutture per l'energia

E. Zio

Infrastrutture per la logistica

P. Cazzola, M. Tanelli

Infrastrutture per l'informatica e le comunicazioni

M. Tornatore

Infrastrutture Idriche

S. Alvisi, A. Castelletti, A. Cominola, C. Gandolfi

Opere di regimazione idraulica e difesa del suolo per resilienza e adattamento

P. Croce, N. Croce, P. Formichi e F. Landi

Progettazione, gestione e ciclo di vita utile delle infrastrutture

P. Croce, N. Croce, P. Formichi e F. Landi

Benefici sociali ed economici

F. Bosello, E. Lanzi, Massimo Tavoni

Sintesi

Il Capitolo 5 analizza come sia possibile gestire in modo ottimale le infrastrutture esistenti per renderle più resilienti ai cambiamenti climatici, alla luce delle proiezioni climatiche presentate nel Capitolo 3, e quali strategie di adattamento possano essere messe in campo tenendo conto degli impatti evidenziati nel Capitolo 4.

L'obiettivo è non solo identificare le soluzioni tecnologiche o gestionali, ma anche delineare gli investimenti e le misure necessarie ed evidenziare i benefici sociali ed economici che essi possono portare. Tutto ciò è sviluppato partendo da quanto prospettato dalla EU Adaptation Strategy.

Proprio alla luce del fatto che il nostro Paese si muove in questo ambito, e coerentemente con gli obiettivi dei piani europei "Fitfor55@2030" e "net-zero@2050", il capitolo affronta il tema della resilienza in un'ottica di "climate proofing" delle diverse infrastrutture e vede l'adattamento al cambiamento climatico come "transformative resilience". Ciò al fine di inquadrare gli sforzi di adattamento come incipit di opere più significative e di possibile discontinuità rispetto allo *status quo*, a loro volta in stretta relazione con le attività di mitigazione, piuttosto che ipotizzare "micro-adattamenti" specifici che faticherebbero ad integrarsi con la visione imposta dagli scenari europei.

Il capitolo inquadra gli interventi proposti secondo la tassonomia indicata nell'Adaptation Support Tool della Commissione Europea. Le misure di intervento proposte, quindi, sono in generale ove possibile presentate con riferimento a quattro tipologie:

- a) **misure di tipo strutturale e tecnologico**, basate su interventi fisici e/o misure costruttive, utili a rendere i sistemi esposti più resilienti agli eventi estremi, le cosiddette **misure grey (o hard)**;
- b) azioni basate su un **approccio che utilizza la natura** ed i molteplici benefici forniti dagli ecosistemi per migliorare la resilienza e la capacità di adattamento, le cosiddette **misure green**;
- c) interventi che includono **misure politiche, legali, sociali, gestionali e finanziarie**, utili alla *governance* e ad aumentare la consapevolezza sui problemi legati al cambiamento climatico, ovvero le **misure di adattamento soft**;
- d) **misure trasversali** risultanti dall'integrazione delle tre precedenti.

Per ognuna di tali azioni, indipendentemente dalla tipologia, si mette in luce che esse devono svilupparsi considerando tre passi fondamentali: (i) **una valutazione di rischio nel medio e lungo periodo**, per integrare le analisi evolutive degli scenari climatici in evoluzione e potenziare la capacità predittiva e adattativa grazie al monitoraggio attivo dell'infrastruttura considerata nel periodo di interesse per l'azione specifica; (ii) **il ricorso ad azioni e tecnologie "no regrets"**, ovvero far discendere dal passo precedente di analisi del rischio l'individuazione di scelte strategiche e tecnologiche in ogni caso in linea con gli obiettivi complessivi di sistema, e che possano dare vantaggi indipendentemente dall'evoluzione climatica che si realizzerà; (iii) **effettuare gli interventi specifici di resilienza e adattamento sulle infrastrutture esistenti e sul territorio attraverso un processo "climate proof"**, ovvero implementando tutte le fasi di screening e valutazione ex-ante ed ex-post degli impatti degli eventi climatici estremi, comprendendone e sapendone gestire la dinamicità, e avendo a disposizione gli adeguati strumenti di monitoraggio e valutazione.

Le *diverse infrastrutture vanno considerate come interagenti e connesse*, non solo per via della potenziale condivisione degli eventi climatici avversi, ma anche in vista degli impatti che su di esse hanno le modifiche ai modelli di mobilità e dei requisiti che sulla loro interazione pongono i meccanismi necessari ad attuare le strategie di resilienza e adattamento (si pensi ad esempio all'impatto che le necessità di monitoraggio continuo delle infrastrutture terrestri impongono su quelle informatiche e digitali).

Nell'ambito delle **infrastrutture per la mobilità e il trasporto**, sia passeggeri sia merci, il capitolo individua le seguenti azioni fondamentali da intraprendere per migliorarne resilienza e adattamento:

Misure «green»:

- utilizzo di vegetazione in grado di resistere ad elevate velocità del vento lungo la linea;
- azioni volte alla riqualificazione idro-morfologica degli alvei fluviali lungo le linee;
- progetti mirati alla rinaturalizzazione dei margini dell'infrastruttura e di ricostituzione e potenziamento del verde anche per la riduzione isole di calore in ambito urbano.

Misure «grey»:

- interventi di progettazione, manutenzione e più in generale di gestione dei sistemi di drenaggio;

- sostituzione della copertura stradale con asfalti drenanti e allo stesso tempo resistenti alle alte temperature;
- rialzo del sedime delle strade costiere;
- interventi di stabilizzazione della superficie piana su cui poggia l'infrastruttura ferroviaria;
- verifica e adeguamento dei franchi liberi dei ponti ferroviari e stradali su fiumi a mutato regime idraulico.

In questo contesto, e con particolare riguardo a porti ed aeroporti, ci sono alcune azioni comuni di particolare rilevanza, quali il coinvolgimento attivo di tutti gli stakeholder nei processi decisionali legati alle strategie di adattamento, che si concentrino sullo studio mirato delle azioni in risposta ai diversi rischi climatici di interesse, favorendo la costituzione di approcci comuni e buone pratiche condivise a livello nazionale e trans-nazionale.

Il capitolo fornisce inoltre una disamina di azioni concrete e mirate per la gestione degli eventi climatici di maggior impatto su queste infrastrutture, discutendo anche il tema delle nuove rotte marittime aperte dalle modifiche climatiche globali, con particolare riguardo al passaggio a Nord-est.

Per quanto riguarda le **infrastrutture per la logistica**, il capitolo propone una loro riorganizzazione dal punto di vista non solo delle reti di trasporto, ma anche da quello della gestione strategica del servizio, in quanto anch'esso riveste un ruolo fondamentale per migliorare la resilienza del comparto. A tal fine, le analisi effettuate portano a raccomandare di far sì che ci si possa avvalere di un sistema di distribuzione che garantisca la consegna dei prodotti resiliente agli imprevisti legati ai cambiamenti climatici. A tal fine, la tempestività non gioca più il ruolo chiave attuale, bensì è la sicurezza dell'approvvigionamento a diventare priorità assoluta. A supporto di ciò è importante attuare una regionalizzazione dell'attività economica, per poter lavorare su distanze di trasporto più brevi con volumi inferiori, sfruttando un numero maggiore di fornitori e società di logistica con radicamento regionale o locale. Infine, è possibile ottimizzare la resilienza della catena di approvvigionamento sviluppando la capacità di spostare rapidamente le merci da una modalità di trasporto all'altra in caso di emergenza, ed allentandosi progressivamente dagli attuali processi di consegna just-in-time per spostarsi su modelli che privilegino la sicurezza dell'approvvigionamento rispetto alla estrema personalizzazione e tempestività del servizio.

Il caso delle **infrastrutture per l'energia** viene affrontato nel contesto dello "European Programme for Critical Infrastructure Protection", contestualizzando le azioni di adattamento e resilienza tra quelle che hanno appunto lo scopo ultimo di proteggere le infrastrutture energetiche critiche. In questo contesto, le esperienze globali di risposta agli shock climatici hanno consentito di sviluppare soluzioni tecnologiche tali da rendere disponibili le tecnologie necessarie alla realizzazione delle azioni di adattamento necessarie. A tal fine, l'analisi del capitolo mette in luce alcuni punti di attenzione:

- Occorre progettare e gestire la catena di approvvigionamento energetico tra le forniture di carburante e la fornitura di energia ai consumatori in modo olistico, al fine di comprendere quali sono i colli di bottiglia e gli elementi maggiormente a rischio;
- Serve una maggiore capacità di generazione di energia elettrica durante i momenti di picco della domanda, da realizzarsi con un mix di fonti ed un ampio portafoglio di capacità di generazione;
- È opportuno utilizzare una varietà di sistemi di stoccaggio al fine di facilitare il bilanciamento del carico rispetto alla disponibilità di potenza, sfruttando in questo senso anche la futura diffusione massiva dei veicoli elettrici, rafforzando i sistemi "vehicle-to-grid" e "grid-to-vehicle";
- È fondamentale sviluppare sistemi di accumulo di energia efficaci (fisici, come lo stoccaggio di acqua per impianti idroelettrici, o elettrici) e di sistemi energetici distribuiti.

Per ciò che concerne le **infrastrutture idriche**, il capitolo analizza le tematiche connesse alle reti idriche ad uso agricolo e delle reti idriche ad uso urbano e industriale. A tale proposito, individua una serie di azioni, che si possono sintetizzare come segue:

- Potenziamento dei sistemi per la derivazione e accumulo (anche distribuito) della risorsa idrica.
- Rinnovo e miglioramento dell'interconnessione delle reti di adduzione e distribuzione.
- Implementazione di infrastrutture blu/verdi (es. tetti verdi e zone umide multifunzionali per ridurre il picco di afflusso durante eventi di precipitazione estrema) e riuso della risorsa idrica per scopi non idropotabili.
- Potenziamento dell'uso dei sistemi di gestione basato su modelli matematici e miglior uso dell'informazione (ad es. previsione idrometeorologica a medio e lungo termine e telerilevamento).
- Installazione di tecnologie digitali per il monitoraggio delle componenti infrastrutturali (*smart metering systems*) ed impiego sistematico di sistemi di controllo in tempo reale.

L'analisi delle **infrastrutture dati e delle reti di comunicazione** viene sviluppata lungo quattro direttrici: (i) le reti di trasporto (geografica o "core", e metropolitana o "metro"), (ii) la rete di accesso (mobile/cellulare e fissa), (iii) le tecnologie Internet of Things (IoT), e (iv) le comunicazioni satellitari, dettagliando per ognuna specifiche azioni di adattamento/resilienza. I punti cardine dell'analisi mettono in luce i seguenti aspetti principali:

- La rilevanza dell'impiego delle tecnologie Cloud ed Edge per adattamento/resilienza dei data center e delle grandi infrastrutture di calcolo ad alte prestazioni;
- Il ruolo rilevante da attribuire alle rinnovabili per l'alimentazione delle grandi infrastrutture di calcolo;
- L'importanza cruciale dello sviluppo di metodologie efficienti per l'ottimizzazione energetica delle macchine (sia del software/hardware dei singoli dispositivi, sia dei metodi di raffreddamento);
- La necessità di sfruttare al meglio il potenziale delle PMI in questi ambiti, puntando sulla loro formazione per prepararle all'adozione di servizi cloud per la gestione dei propri sistemi IT.

In modo trasversale rispetto alle infrastrutture considerate, il capitolo offre anche una riflessione sulle opere di regimazione e difesa del suolo, indicando come fondamentale la costruzione di soluzioni per gestire le flash-flood, quali, in ambito urbano, la laminazione locale da effettuarsi sull'edificato, sulle strade e sul verde. Tali opere vanno sviluppate strumentando in modo opportuno il territorio con componenti digitali di monitoraggio e controllo attivo che consentano di gestire le reti idriche e fognarie come dinamiche e interconnesse, al fine di regolare in modo centralizzato i collettori ed ottenere così un deflusso costante nei momenti di precipitazioni intense e flash-flood, avvalendosi anche dell'implementazione in tutta la rete di un sistema GIS integrato per favorire lo scambio di informazioni sulle condizioni ambientali generali.

Per poter gestire al meglio il ciclo di vita delle infrastrutture in ottica di resilienza e adattamento, è poi necessaria una integrazione di tali informazioni al fine di ottenere un aggiornamento continuo delle mappe di pericolosità delle azioni climatiche, in base alle quali determinare le strategie di valutazione degli impatti futuri del cambiamento climatico sui parametri caratteristici delle specifiche azioni considerate.

Il capitolo si chiude con una **valutazione degli impatti socio-economici** degli investimenti in resilienza e adattamento, per cercare di misurarne la ricaduta sulla vita dei cittadini, in termini di benessere, inclusione, lavoro e ricchezza. Una stima degli investimenti necessari per affrontare in modo efficace l'adattamento valuta, seppur con elevato grado di incertezza, che le risorse da investire ammontino a 8-10 miliardi fino al 2030 (circa un miliardo all'anno) più un costo operativo e di manutenzione annuale di 604 milioni di euro nello scenario "business as usual" (RCP 4.5). Tali costi risultano molto inferiori nel caso di decarbonizzazione (RCP 2.6). **Allo stesso tempo, il ritorno degli investimenti in adattamento è elevato sia in termini di danni ambientali ed economici evitati, sia in termini di benefici economici indiretti, con un rapporto benefici-costi molto elevato, pari a 5-6 a seconda del tipo di intervento.**

L'analisi è condotta nell'ottica del **"triplo dividendo"**, ovvero considerando:

- **la riduzione del danno** generato dagli eventi collegati al cambiamento climatico. Nel periodo 2020-2030 la *stima del danno legato alle infrastrutture* è di circa 2.3 - 8.7 miliardi di euro (tra lo 0.1-0.4% del PIL medio). Nel 2050, la perdita ammonterebbe a circa 11.5 - 18 miliardi di euro (0.33-0.55% del PIL nel 2050). Se l'azione di mitigazione avesse successo, il danno da evitare al 2050 sarebbe ovviamente più ridotto. Considerando anche le ripercussioni sistemiche sull'insieme dell'attività economica del paese, il valore del danno complessivo circa raddoppia. Tale stima è quindi una frazione del danno complessivo da cambiamento climatico nel paese, stimato nel Capitolo 3 tra il 2% e il 2.5% del PIL nel 2050 in assenza di adeguate misure di adattamento e di una efficace e rapida strategia di mitigazione.
- **Il potenziale effetto espansivo degli investimenti in adattamento sul sistema economico.** Recenti stime mostrano che per ogni euro speso in attività di resilienza se ne generano circa cinque in termini di effetto espansivo, confermando l'effetto di moltiplicatore positivo di questi investimenti. Un'analisi più mirata sull'Italia condotta dal MEF sulla base delle azioni del PNRR mostra che gli effetti espansivi sul PIL oscillano tra il +0.4% attribuito agli interventi in ambito di "energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile", e il +0.1% negli altri casi.
- **Gli ulteriori benefici sociali e/o ambientali che possono derivare da adattamento e resilienza.** Le azioni «green» sono strettamente connesse al benessere ed alla riduzione delle disuguaglianze; hanno in particolare un elevato impatto sulla salute anche in relazione all'invecchiamento della popolazione italiana (se attuate, le politiche climatiche ad oggi previste potrebbero quasi dimezzare le morti da particolato nei prossimi dieci anni), con relativi benefici economici pari a circa il 2% del PIL al 2030, beneficio da condividere però con le misure di mitigazione.

In sintesi, gli investimenti di miglioramento delle infrastrutture, se realizzati rapidamente, potrebbero evitare danni pari a 0.1-0.4% del PIL già in questo decennio e produrre un impatto macroeconomico positivo stimato in modo prudenziale a 0.2-0.3% del PIL. Il **beneficio economico annuo complessivo** sarebbe di 0.3-0.7% del PIL (media annua nel decennio) a cui vanno aggiunti benefici sociali di più difficile quantificazione. Il beneficio complessivo al 2050 è leggermente più rilevante: 0.4-0.8% del PIL annuo, dovuto alla crescita del danno evitato (a cui vanno aggiunti i benefici sociali).

Le analisi di questo capitolo portano a concludere che **la costituzione di un Fondo Nazionale per l'Adattamento al Cambiamento Climatico** possa non solo essere un efficace strumento per la tutela di popolazioni e insediamenti urbani e produttivi, ma anche un'ottima opportunità di crescita economica. Per concretizzare le politiche di resilienza e adattamento, infine, si suggerisce l'attuazione di meccanismi partecipativi che coinvolgano i cittadini nella co-decisione degli interventi, al fine anche di creare consapevolezza e generare consenso e partecipazione attiva alle misure di mitigazione e di politica climatica generale.

Introduzione

Questo capitolo affronta il tema cruciale di come sia possibile gestire in modo ottimale le infrastrutture esistenti per renderle più resilienti ai cambiamenti climatici, e quali strategie di adattamento possano essere messe in campo alla luce degli impatti che su tali infrastrutture hanno i fenomeni climatici evidenziati nel Capitolo 4. L'obiettivo è non solo identificare le soluzioni tecnologiche o gestionali, ma anche delineare le strategie e gli investimenti necessari, ed evidenziare i benefici sociali ed economici che tali strategie possono abilitare.

Contesto iniziale

Le analisi dei capitoli precedenti hanno delineato in modo netto l'urgenza di realizzare misure di adattamento prima, e mitigazione poi, delle infrastrutture del Paese. Il cambiamento climatico, infatti, agisce in modo indubbiamente evidente ed importante su tutti gli ambiti della vita dei cittadini, e in modo particolare sulle infrastrutture, sul trasporto e sulla mobilità. E le ripercussioni, oltre che ambientali, sono economiche e sociali.

Il Capitolo 4 è chiaro nel dimostrare che, considerando uno scenario di emissione di gas serra che evolve secondo l'ottica "business-as-usual", ovvero prevedendo un aumento della temperatura media globale di circa 3°C entro la fine del secolo rispetto al 1990, gli impatti economici diretti e indiretti sul sistema Paese sono ingenti. Le analisi effettuate, infatti, consentono di stimare, con l'orizzonte al 2050, che **l'impatto economico diretto sulle infrastrutture in Italia potrebbe crescere fino ad eccedere i 5 miliardi di euro l'anno, corrispondente ad un aumento di circa 12 volte le stime di danno attuali.**

Va poi ricordato, come discusso nel Capitolo 2, che il problema nel suo complesso è sì economico, ma ha forti ripercussioni sociali, in quanto l'impatto dei danni climatici non è ovviamente uniforme, né a livello territoriale né a livello individuale, e la non-azione, oltre a portare all'aumento della temperatura media globale come sopra descritto, avrebbe effetti altrettanto disastrosi sull'aumento delle disuguaglianze e dei relativi squilibri sociali.

Vista in positivo, questa analisi afferma anche che gli investimenti in resilienza, adattamento e mitigazione non hanno solo un effetto di moltiplicatore positivo dal punto di vista economico (stime recenti affermano che 1 euro investito in resilienza ne genera circa 5), ma possiedono un altrettanto importante effetto di moltiplicatore sulla giustizia sociale.

È dunque fondamentale inquadrare come agire in modo rapido ed incisivo per migliorare la resilienza e progettare l'adattamento delle infrastrutture esistenti, in modo anche propedeutico alle azioni di mitigazione che saranno descritte nel Capitolo 6. Per fare ciò, il Capitolo terrà conto di quanto discusso nella bozza del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, al fine di favorirne l'esecuzione, e della EU Adaptation Strategy, che costituisce le linee guida delle proposte che verranno formulate.

"Climate proofing" delle infrastrutture

Proprio alla luce del fatto che il nostro Paese si muove coerentemente con gli obiettivi degli obiettivi europei "Fitfor55@2030" e "Net-zero@2050", la visione sottostante questo capitolo è quella di affrontare il tema di resilienza e adattamento in ottica di "climate proofing" delle diverse infrastrutture, e di vedere l'adattamento come "transformative resilience". Ciò al fine di proporre misure di adattamento al cambiamento climatico che siano incipit di opere più significative e di possibile discontinuità rispetto allo *status quo* (a loro volta in stretta relazione con le attività di mitigazione), piuttosto che ipotizzare "micro-adattamenti" specifici che faticherebbero ad integrarsi con la visione imposta dagli scenari europei.

In generale, infatti, le strategie di adattamento finalizzate alla gestione dei rischi fisici sono solo in grado di gestire le conseguenze (e non le cause) del cambiamento climatico. Come tali, pertanto, hanno un ambito di applicazione e capacità limitate nel tempo per poter ridurre tempestivamente la vulnerabilità del sistema.

Costruire un futuro *climate-resilient*, del resto, è uno degli obiettivi che l'Europa intende raggiungere entro il 2050 grazie all'adozione di una visione di lungo periodo, la quale si concretizza attraverso la definizione di azioni di adattamento più intelligenti, più rapide e più sistemiche delle attuali, ed all'intensificazione della cooperazione internazionale.

La EU Adaptation Strategy

La *EU Adaptation Strategy* spinge quindi le frontiere della conoscenza in materia di adattamento, consapevole che è fondamentale dotarsi delle conoscenze scientifiche più avanzate per rispondere in modo adeguato alle sfide poste in essere dal cambiamento climatico. Viene inoltre evidenziata la necessità di raccogliere dati relativi alle perdite e ai rischi legati al clima, così da migliorare l'accuratezza della valutazione del rischio climatico. La pressione dei cambiamenti climatici è inoltre così inequivocabile e generalizzata che la risposta, oltre che basarsi sulle più moderne e avanzate conoscenze/tecnologie, deve essere rapida e sistemica, ovvero le strategie e i piani di adattamento devono coinvolgere tutti i livelli di *governance* e tutti i settori (EC,2021).

L'Unione Europea, oltre a definire queste linee di indirizzo, intende potenziare anche gli strumenti per sostenere e guidare il processo che porta alla definizione delle strategie e dei piani di adattamento. Un esempio di tale strumento è l'*Adaptation Support Tool (AST)*, il quale, sviluppato all'interno della piattaforma *Climate-ADAPT*, descrive un processo circolare e ciclico per la definizione, l'implementazione, il monitoraggio e il miglioramento continuo delle azioni di adattamento.

Valutazione, Identificazione, Implementazione, Monitoraggio

Le fasi del processo descritto dall'*Adaptation Support Tool* sono quattro. La prima fase prevede una **valutazione** dei rischi, delle vulnerabilità e degli impatti indotti dai fenomeni meteo-climatici, sia attuali che prospettici. Una volta concluse le attività di *risks/vulnerabilities assessment*, la seconda fase prevede l'**identificazione** delle opportune azioni di adattamento per contrastare i rischi e ridurre le vulnerabilità emerse durante la prima fase dell'AST. Le azioni di adattamento da identificare possono concretizzarsi in:

- a) **misure di tipo strutturale e tecnologico**, basate su interventi fisici e/o misure costruttive, utili a rendere i sistemi esposti più resilienti agli eventi estremi, ovvero le cosiddette misure **grey**;
- b) azioni basate su un approccio che utilizza la **natura** ed i molteplici benefici forniti dagli ecosistemi per migliorare la resilienza e la capacità di adattamento, le cosiddette misure **green**;
- c) interventi che includono **misure politiche, legali, sociali, gestionali e finanziarie**, utili alla *governance* e ad aumentare la consapevolezza sui problemi legati al cambiamento climatico, ovvero le misure di adattamento **soft**;
- d) **misure trasversali** risultanti dall'integrazione delle tre precedenti.

Tali azioni devono essere successivamente valutate e comparate tra loro per definire le priorità seguendo una logica costi/benefici, oppure costi/efficacia, o ancora basandosi su analisi multi-criteri.

Le ultime due fasi del processo riguardano invece l'**implementazione** (fase 3) e il **monitoraggio** (fase 4) di tali azioni. Data la sua natura ciclica, il framework AST prevede, *by-design*, che queste fasi vengano ripetute periodicamente, così da garantire che le misure di adattamento siano sempre aggiornate e possano sfruttare le più moderne conoscenze/tecnologie.

Applicare quanto sopra descritto rappresenta una grande sfida, soprattutto data l'assenza di dati aggiornati in relazione alle perdite economiche ed ai rischi connessi al cambiamento climatico per la maggior parte delle infrastrutture critiche italiane. Colmare questo divario rappresenta pertanto una necessità non solo italiana, ma comunitaria se non globale (FSB,2021).

5.1 Infrastrutture per la mobilità

In questo capitolo, le infrastrutture per la mobilità sono intese nel loro senso tradizionale, e non comprendono le infrastrutture energetiche (quali ad esempio le infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici) ad esse connesse, abilitatrici di importanti aspetti della mobilità sostenibile. Ciò è dovuto al fatto che la trattazione delle seconde è estesamente considerata nel Capitolo 6, essendo tali aspetti di primaria importanza nella discussione delle azioni di mitigazione dei cambiamenti climatici.

5.1.1 Infrastrutture fisiche e veicoli

5.1.1.1 Mobilità Terrestre: strade, ferrovie, ponti, tunnel (urbana e extraurbana) e veicoli stradali

Nel caso delle infrastrutture di trasporto terrestre, quelle stradali e ferroviarie, l'approccio circolare previsto per perseguire obiettivi di adattamento in una logica di *transformative resilience* presenta ulteriori complessità.

Come evidenziato nel Capitolo 2, le infrastrutture di trasporto terrestri giocano un ruolo fondamentale per lo sviluppo e il funzionamento della società, dal momento che garantiscono la circolazione di persone, beni e servizi. Il Capitolo 4 ha mostrato (si vedano anche i risultati in [UNECE,2020; Forzieri et al.,2018; EC,2012]) che la pressione esercitata dai cambiamenti climatici su tali infrastrutture è inequivocabile e pertanto la definizione di opportune azioni di adattamento è un'esigenza fondamentale del sistema Paese. Tuttavia, si tratta di una infrastruttura complessa formata da archi e nodi che si distribuiscono lungo un territorio con caratteristiche geomorfologiche di uso e di copertura molto eterogenee. Tali fattori influenzano la tipologia delle infrastrutture utilizzate oltre che la loro vulnerabilità.

Altre complessità del sistema sono imputabili a: (i) effetti combinati tipo "*wear & tear*" (le condizioni del sistema - ad esempio le tratte stradali - dipendono dall'effetto combinato di impatto climatico ed uso del sistema stesso: una tratta stradale particolarmente frequentata vedrà inaspriti gli effetti di degradazione indotti dal clima); (ii) la densità del sistema, che spesso è in relazione con il carattere funzionale dell'area in esame; (iii) competenze distribuite - sia per i diversi attori pubblici e privati - che per territori amministrativi. Tutti questi fattori rendono la costruzione di un'analisi unitaria della vulnerabilità una sfida particolarmente complessa.

Alla luce di ciò e coerentemente con l'approccio condiviso da OECD (OECD,2018), alcuni aspetti appaiono prioritari:

- a) Progettare infrastrutture *climate - resilient*;
- b) Potenziare gli strumenti per disegnare infrastrutture *climate - resilient*;
- c) Convogliare risorse economiche per abilitare la resilienza.

In particolare, è necessario definire un quadro coerente di mobilità sostenibile all'interno del quale disegnare le nuove infrastrutture *climate-resilient* e/o adattare le esistenti, attraverso un **approccio flessibile, adattivo e dinamico**, idoneo a migliorare l'affidabilità delle infrastrutture e al contempo favorendo la **gestione dell'incertezza** insita nel processo di disegno (dettata anche dai possibili scenari futuri a cui il cambiamento climatico espone).

Dato il contesto di incertezza, occorre inoltre **potenziare gli strumenti** per il disegno di infrastrutture *climate-resilient*, ovvero valutazioni di rischio e di impatto, pianificazioni territoriali, etc. Il clima in evoluzione sottolinea la necessità di disporre di un quantitativo di **dati specifici sulle infrastrutture** e sui danni provocati dal cambiamento climatico, **al fine di ridurre l'incertezza nella capacità predittiva**.

Per quanto attiene alle **risorse economiche** necessarie per finanziare gli investimenti (pubblici e privati) necessari a raggiungere tali obiettivi si rimanda al Capitolo 7.

L'approccio operativo per le infrastrutture italiane coerente con le indicazioni dell'Unione Europea per raggiungere il target di *climate-resilience* (e andare incontro agli ambiti a. e b.) può essere quindi declinato per le infrastrutture terrestri su tre direttrici:

1. **Valutazione di rischio nel medio e lungo periodo**, per integrare il clima in evoluzione e potenziare la capacità predittiva, da realizzarsi mediante la creazione di *hub* per la raccolta, l'integrazione, l'analisi e la diffusione dei dati climatici. Tali dati devono contenere le informazioni relative alle relazioni clima/elementi esposti e alle perdite e ai rischi legati al clima, così da migliorare l'accuratezza delle valutazioni del rischio da cambiamenti climatici nel medio e lungo periodo (si veda anche la Sezione 4.5). Al fine di agevolare il processo decisionale e di pianificazione, è necessario infatti che i "decision maker" abbiano accesso a informazioni aggiornate, anche attraverso strumenti dedicati per l'individuazione delle aree/asset a maggior rischio di cambiamento climatico.
2. **Ricorso ad azioni e tecnologia "no regret"**: a partire dal potenziamento tecnologico delle reti di monitoraggio (es., reti di monitoraggio pluviometrico e idrometrico), delle reti di sensori (es., i sensori per la misura dello scalzamento per le fondazioni in alveo) e delle reti di trasmissione dati in tempo reale (cfr. Sezione 4.5). Vanno qui compresi tutti gli investimenti già giustificati dalla severità attuale della crisi climatica in atto, a prescindere dall'affidabilità delle stime prospettiche.
3. **Progettazione** di infrastrutture nativamente *climate-resilient* o **interventi specifici** di adattamento su infrastrutture esistenti e territorio attraverso un processo "*climate proof*". Si tratta di azioni che necessitano di essere valutate all'interno di una pianificazione sistemica o che, in ragione dell'incertezza intrinseca dei sistemi previsionali di lungo termine (modelli climatici, orizzonte temporale, dinamiche socio-economiche ecc.), devono essere attentamente vagliati in ottica costi-benefici.

Alla luce di quanto sopra descritto, appare ancora più evidente che la prima priorità consista nel dotarsi di un **sistema integrato di raccolta, analisi e diffusione dei dati relativi alla relazione che lega i fenomeni meteo-climatici, siano essi attuali che prospettici, ai sottocomponenti delle infrastrutture di trasporto terrestri**. Soltanto seguendo un approccio di questo tipo è possibile migliorare nel medio e lungo periodo la conoscenza che si ha dei rischi connessi ai fenomeni meteo-climatici e, di conseguenza, individuare le azioni di adattamento più opportune.

La raccolta dei dati prima discussa agevola anche i processi di valutazione definiti dalla Commissione Europea in tema di "*EU Taxonomy Regulation*" e "*Climate proofing of infrastructure*" attraverso gli esercizi di "*climate risk assessment*" e le analisi di vulnerabilità delle infrastrutture di trasporto ai fenomeni climatici. Tali analisi di vulnerabilità richiedono la costruzione di opportune curve di vulnerabilità di carattere tecnico-economico, che descrivano, sulla base di caratteristiche tecniche e meccaniche dell'opera unite a parametri ambientali/orografici, la risposta del sistema a fronte delle sollecitazioni indotte dai fenomeni meteo-climatici, sia attuali che prospettici (di medio e lungo periodo).

Le infrastrutture di trasporto sono inoltre interdipendenti e un impatto su una di esse può ingenerare un effetto domino con conseguenze "a cascata" sulle altre (cfr. Sezione 4.2.7). Tale fenomeno è particolarmente evidente nelle aree urbane, dove risiede una maggiore concentrazione di asset per la mobilità. È fondamentale dunque mappare le interdipendenze tra le varie infrastrutture per adottare un

approccio multi-asset e multi-hazard per la valutazione del rischio di cambiamento climatico (“*climate risk assessment*”). Tale interdipendenza, peraltro, è presente in modo sempre crescente anche con altri tipi di infrastrutture, quali ad esempio quelle energetiche. La comprensione e la gestione sistemica di queste interconnessioni, e della dipendenza degli stessi dall’interazione con le dinamiche climatiche è di importanza determinante sia nel progetto degli interventi sia nella definizione di contingency plan per la gestione delle emergenze. Questi aspetti, di particolare rilevanza in ottica di mitigazione, saranno ripresi ed approfonditi nel Capitolo 6.

Per quanto attiene al secondo punto (i.e., “tecnologia”), si distinguono:

- Misure tecnologiche volte al monitoraggio dei fenomeni climatici in tempo reale (es. stazioni meteo, pluviometri, termometri, igrometri, anemometri)
- Misure tecnologiche di monitoraggio strutturale dell’opera in tempo reale (e.s. Digital Twin)
- Misure di monitoraggio del territorio in tempo reale

Migliorare l’efficacia dei sistemi di monitoraggio, allerta ed intervento in caso di emergenze ai servizi di trasporto rientra tra le misure di adattamento di tipo *soft*, al fine di ridurre gli impatti di fenomeni quali l’allagamento delle linee sia ferroviarie che stradali, il cedimento di argini e terrapieni, fenomeni di erosione alla base dei ponti, impatti indiretti dovuti al cedimento dei versanti (ISPRA,2021; MATTM,2018; MATTM,2014).

Il sistema di allerta SANF-RFI³⁷ rappresenta un primo prototipo di sistema basato sul confronto tra misurazioni, stime di precipitazione e soglie di innesco pluviometriche empiriche per la previsione della possibile occorrenza di frane pluvio-indotte lungo l’infrastruttura ferroviaria. Un altro esempio di tali soluzioni è l’utilizzo di sensori per il monitoraggio dei fenomeni di scalzamento delle fondazioni in alveo. Strumenti di questo tipo rappresentano un primo passo verso la definizione di interventi di *early warning* per le infrastrutture di trasporto.

In relazione al terzo punto (i.e. “**interventi specifici**”), ad oggi sono state individuate alcune categorie di interventi che di seguito vengono riportati a titolo di esempio:

- Relativamente alle misure di adattamento green, queste si concretizzano in tutti quegli interventi che sfruttano la natura, la biodiversità ed i benefici ecosistemici. Esempi di queste misure sono (ISPRA,2021; MATTM,2018; MATTM,2014):
 - utilizzo di vegetazione in grado di resistere ad elevate velocità del vento lungo la linea, o che possano proteggere le stesse dal sole diretto, limitando così il surriscaldamento dei sottocomponenti che le costituiscono;
 - azioni volte alla riqualificazione idro-morfologica degli alvei fluviali lungo le linee;
 - progetti mirati alla rinaturalizzazione dei margini dell’infrastruttura e di ricostituzione e potenziamento del verde ripariale interferito dai corsi d’acqua presenti lungo il sedime di progetto.

Infine, alcuni esempi di **interventi fisici e/o misure costruttive** volte ad aumentare la resilienza delle infrastrutture di trasporto, ovvero le cosiddette misure *grey*, sono (ISPRA,2021; MATTM,2018; MATTM,2014):

- interventi di progettazione, manutenzione e più in generale di gestione dei sistemi di drenaggio così da ridurre la probabilità che la sede stradale venga in tutto o in parte allagata;
- sostituzione della copertura stradale con asfalti drenanti e allo stesso tempo resistenti alle alte temperature. In particolare, l’utilizzo di materiali resistenti alle alte temperature permetterebbe di limitare i fenomeni di *asphalt rutting*;

³⁷ <http://www.irpi.cnr.it/project/sanf-rfi/>

- rialzo del sedime delle strade costiere, quale misura di adattamento per ridurre i rischi connessi all'innalzamento del livello del mare;
- interventi di stabilizzazione della superficie piana su cui poggia l'infrastruttura ferroviaria;
- verifica e adeguamento dei franchi liberi dei ponti ferroviari e stradali su fiumi a mutato regime idraulico.

In relazione al tema "**progettazione**", il processo di "*climate proofing*" definito dalle linee guida della Commissione Europea (C(2021) 5430 final del 29.7.2021) (EC Technical, 2021) supporta la progettazione di infrastrutture che integrino *ab origine* opportune misure di adattamento al cambiamento climatico, con l'evidenza che il "*climate risk and vulnerability assessment*" resta il perno attorno a cui ruota l'identificazione e la valutazione economica delle più opportune misure di adattamento, da integrare nel processo di sviluppo dell'infrastruttura sin dalle prime fasi.

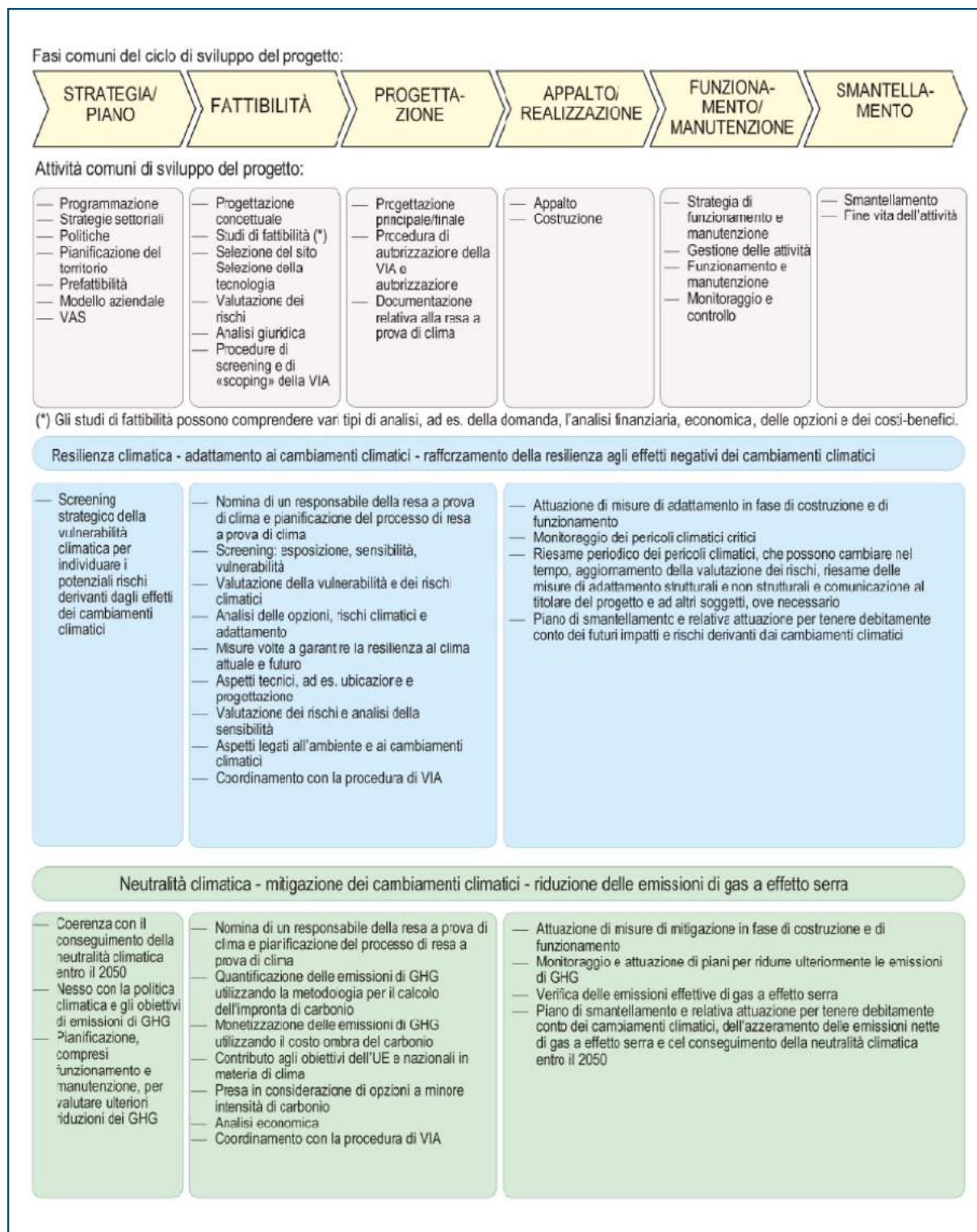
Il processo di "*climate proofing*" è articolato in due pilastri (rispettivamente *Adaptation* e *Mitigation*) e caratterizzato da fasi ben distinte da prevedere in seno alla progettazione. Si sottolinea che la Commissione Europea incoraggia il ricorso al processo dettagliato nelle suddette linee guida, specie per i progetti infrastrutturali che hanno completato la Valutazione di Impatto Ambientale entro il 2021 e avvieranno i lavori di costruzione non oltre il 2022. Durante il ciclo di vita dell'infrastruttura considerata, si rende opportuno integrare le operazioni di *Operation and Maintenance* (O&M) con una revisione periodica delle attività previste nel processo di "*climate proofing*" (e.g. 5-10 anni). Come illustrato dalla Figura 1, il processo di "*climate resilience*" accompagna quello di *Project Cycle Management*.

La Figura 2 dettaglia invece il pilastro "Adaptation to Climate Change" articolato in:

- **Fase 1** - Screening, comprendente analisi di sensitività dell'asset, analisi dell'esposizione territoriale al clima attuale e futuro e analisi di vulnerabilità (combinando le due analisi precedenti)
- **Fase 2** - Analisi dettagliata per tutti i progetti con livelli di vulnerabilità medio-alta, comprendente analisi di rischio (*risk assessment*) basato su analisi della probabilità e della severità dell'hazard climatico. A seguire, una volta definite le vulnerabilità e le rischiosità, il processo prevede l'identificazione, la quantificazione e la pianificazione delle più opportune misure di adattamento.

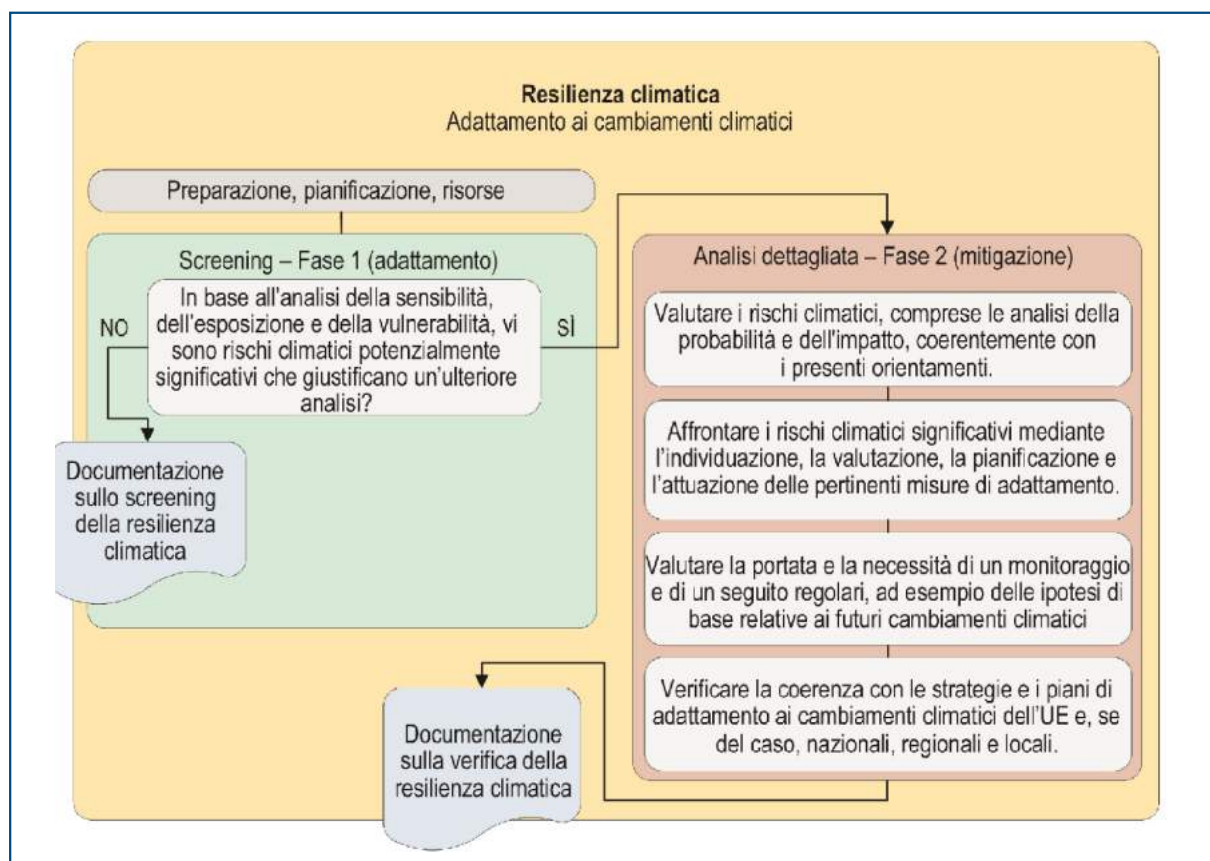
A queste due fasi andrebbe aggiunta una terza per definire per aree territoriali omogenee o per tipologia infrastrutturale le cosiddette "**adaptation pathways**", ovvero l'analisi dei livelli di aumento di temperatura o di altri parametri relativi ai cambiamenti climatici in corso (es. frequenza di eventi idrometeorologici > di un dato livello) superati i quali si rendano necessarie nuove e maggiori misure di protezione, e l'identificazione di tali misure.

Figura 1: FONTE: European Commission (2021)



I fenomeni legati al cambiamento climatico comportano, come evidenziato nei capitoli precedenti, una maggiore frequenza di eventi estremi (si veda il Capitolo 3), da cui consegue una maggiore probabilità di indisponibilità temporanea di alcune infrastrutture (si veda il Capitolo 4). Per questo, accanto alle tre direttrici sopra delineate in coerenza con le indicazioni della Comunità Europea, per migliorare la *climate-resilience* complessiva delle infrastrutture di trasporto terrestre, appare rilevante valutare non solo le singole infrastrutture in base alle loro caratteristiche tecniche e di utilizzo in situazioni di normalità, ma anche il ruolo e le interazioni tra diverse infrastrutture di trasporto terrestre in caso di temporanea indisponibilità di una o più tratte³⁸.

Figura 2: FONTE: European Commission (2021)



A tal fine un valido supporto può essere fornito da tecnologie e metodi di analisi già impiegati in vari ambiti (es. sistemi di navigazione, modelli di traffico) per mappare:

- i percorsi alternativi utilizzabili in caso di indisponibilità di una infrastruttura (es. tratta ferroviaria o stradale, viadotto, tunnel)
- la capacità dei percorsi in termini di flusso di traffico passeggeri e merci.

Ciò consentirebbe di stabilire le priorità in termini di manutenzione e adeguamento delle infrastrutture esistenti e realizzazione di nuove infrastrutture. Questo tipo di mappatura costituirebbe altresì la base per realizzare, almeno per le infrastrutture più rilevanti e/o più esposte al rischio fisico, adeguati *contingency plan* volti a gestire al meglio la temporanea indisponibilità, inseriti in un più ampio framework di pianificazione integrata della mobilità sostenibile.

³⁸ L'adozione di un approccio di rete è auspicato ad esempio in OECD (2018): "The climate resilience of individual infrastructure assets should be viewed in the context of the system as a whole. Considering climate impacts for individual assets, such as a bridge or a railway line, is necessary but not sufficient to ensure that the system functions reliably despite a changing climate. For this reason, efforts to ensure resilience at the project level should be embedded within a strategic approach to infrastructure network planning that accounts for the direct and indirect effects of climate change and climate variability."

BOX 1 - Adattamento di Ponti e Tunnel

Nell'ambito delle infrastrutture terrestri, stradali e ferroviarie, un elemento di particolare complessità e criticità è rappresentato dalle opere in sotterraneo: tunnel, gallerie, passanti, trafori, sottopassi, etc.

Si tratta di opere molto importanti e necessarie per il superamento di vincoli naturali e artificiali, per la risoluzione delle interferenze, per l'inserimento territoriale e paesaggistico, ma, al contempo, esse costituiscono parti dell'infrastruttura di trasporto alquanto vulnerabili rispetto agli effetti dei cambiamenti climatici (NRC,2008) (Love et al.,2010), si veda anche la Sezione 4.2.1.1. Inoltre, tali infrastrutture risultano fortemente impattanti per il consumo di risorse energetiche (Pritchard et al.,2018) (Guo,2016), per la *carbon footprint* e, in senso più ampio, per la compatibilità e sostenibilità ambientale ed ecologica.

Rispetto alla vulnerabilità, è ben noto in particolare il rischio di allagamento e inondazione dei tunnel (Huibregtse et al., 2016) che, dipendendo fortemente dalle condizioni climatiche e dall'evenienza di precipitazioni molto intense e concentrate, è destinato ulteriormente a incrementarsi con il progressivo e temuto aumento degli eventi meteorologici estremi. L'esposizione agli effetti dannosi di tali eventi delle strutture e, soprattutto, degli utenti che fanno uso della viabilità stradale e del trasporto ferroviario, rende particolarmente evidente la sensibilità e la vulnerabilità delle infrastrutture in sotterraneo rispetto a questo tipo di rischi naturali. Il problema risulta particolarmente grave per alcune opere, come i sottopassi stradali e le linee ferroviarie metropolitane, che, anche per la loro conformazione geometrica e per la collocazione nel territorio, in caso di tempesta o alluvione possono impropriamente trasformarsi in vasche di raccolta o canali di deflusso delle acque di corrivazione o di esondazione.

Le gallerie sono però esposte anche ad altri fenomeni potenzialmente correlati ai cambiamenti climatici. In particolare, dato che per le strutture in sotterraneo gli eventi più temuti sono gli incendi, si deve considerare che la probabilità di accadimento aumenta in ragione dell'incremento delle temperature ambientali e, specialmente, degli effetti di surriscaldamento in aree più o meno circoscritte di territorio. Infatti, nei periodi di caldo estremo e laddove si determina l'azione concomitante di irraggiamento e convezione, i veicoli stradali e i convogli ferroviari accedono alle gallerie in condizioni di forte stress termico, che impattano specificamente su alcuni loro organi meccanici (Lancia, 2008) (Lanzaro,2013). Come già avvenuto molte volte, purtroppo, questa circostanza può favorire l'innesco degli incendi, ovvero il loro rapido e incontrollato sviluppo. A volte, il problema del surriscaldamento può riguardare anche il carico trasportato, il che risulta particolarmente grave quando si tratta di merci o sostanze pericolose.

Un ulteriore problema riguarda il funzionamento e l'efficienza di alcune importanti componenti di sicurezza delle gallerie stradali e ferroviarie, quali in particolare gli impianti di ventilazione meccanica. Nella gran parte dei casi, tali impianti sono concepiti secondo il principio di favorire l'espulsione di gas, polveri e fumi, potenzialmente dannosi per le persone e pericolosi per la sicurezza di marcia, accelerandone il moto in senso longitudinale, mediante l'azione di potenti ventilatori, verso una delle estremità del tunnel. È però necessario che la differenza di pressione atmosferica tra i due imbocchi favorisca, o almeno non impedisca, questa azione. Variazioni improvvise delle condizioni atmosferiche locali, salti di pressione e fenomeni meteorologici intensi, possono modificare rapidamente le condizioni di riferimento e vanificare l'azione dei ventilatori, determinando condizioni potenzialmente critiche all'interno del vano di traffico.

Per i rischi descritti, possibili azioni e provvedimenti finalizzati alla protezione fisica dell'infrastruttura **consistono nell'accurata sistemazione idraulica del territorio e nella realizzazione di opere di presidio, nonché nella realizzazione di opere di ingegneria naturalistica finalizzate ad abbattere localmente gli effetti delle elevate temperature in prossimità degli imbocchi delle gallerie.**

Inoltre, soprattutto con l'obiettivo di abbattere il danno associato agli eventi avversi (mediante la protezione del traffico che interessa l'infrastruttura e degli utenti presenti all'interno di essa), risulta senz'altro utile la **diffusa adozione di sensori e strumenti di controllo** dell'esercizio e della circolazione, al fine di impedire l'accesso ai tunnel quando si ravvisino condizioni di pericolo in base al monitoraggio di alcuni parametri ambientali. Inoltre, si dovrebbe sviluppare sistematicamente la valutazione predittiva delle condizioni di sicurezza, per ciascuna opera in sotterraneo, mediante gli strumenti tipici dell'analisi di rischio (Schlosser et al.,2014) (Beard,2010), anche al fine di prioritizzare e pianificare le azioni rivolte alla mitigazione degli effetti critici temuti.

5.1.1.2 Mobilità aerea: aerei, aeroporti e rotte

Poiché gli aeroporti sono infrastrutture nodali delle reti di trasporto aereo, ma anche intermodale, le interruzioni o i danni prolungati in un aeroporto possono avere un impatto a cascata su altri aeroporti, sull'economia in generale e persino sulla resilienza nazionale (si veda ad esempio l'importanza delle infrastrutture aeroportuali nella risposta globale alle fasi iniziali della pandemia da COVID-19).

La Tabella 3 del Capitolo 4, in combinazione con le stime quantitative di rischio presentate nella Sezione 4.3.1.2, può essere utilizzata come punto di partenza per la gestione aeroportuale per sviluppare piani di resilienza e adattamento. In tali piani gli operatori aeroportuali devono comprendere a fondo i rischi e avviare misure di adattamento sia per le infrastrutture esistenti che per quelle nuove, nonché gestire le operazioni critiche per diventare più resilienti ai cambiamenti climatici.

In termini quantitativi allo stato attuale sono disponibili per lo più studi relativi alle infrastrutture stradali e ferroviarie, per le cui caratteristiche di infrastrutture a rete estese per ampi territori sono tipicamente maggiormente soggetti a interruzioni e danni, anche permanenti, dovuti a fenomeni piovosi estremi e conseguenti inondazioni, e a modifiche morfologiche. A fronte delle previsioni di aumento dei danni indotti dagli eventi meteorologici estremi, è fondamentale che le infrastrutture di trasporto (in particolare quelle di nuova costruzione) presentino un comportamento resiliente. L'importanza del criterio della resilienza per le infrastrutture è legata alla loro elevata vita media: si tratta di strutture costruite per durare nel tempo, ed è per questo che bisogna garantire la loro funzionalità nel lungo termine.

Diversi studi a livello internazionale sono concordi nel valutare che la vita media delle nuove infrastrutture possa arrivare a 100 anni, e perfino superare questo limite. Le risposte ai cambiamenti climatici devono essere quindi date, in primo luogo, **privilegiando l'ottimizzazione delle reti esistenti** rispetto alla realizzazione di nuove e grandi opere e effettuando una valutazione ponderata degli standard di efficienza delle infrastrutture e della loro vulnerabilità ai cambiamenti climatici rispetto alla loro funzionalità questo consente, tra l'altro, di limitare il consumo di suolo non antropizzato. La lunga vita media dei sistemi di trasporto giustifica interventi di adattamento delle infrastrutture esistenti.

È fondamentale ribadire che le nuove infrastrutture devono essere costruite secondo criteri *climate proof*, e cioè in modo tale che possano adattarsi ai cambiamenti climatici futuri. Per questo è importante che le norme e i criteri di costruzione delle infrastrutture di trasporto siano modificati per favorire l'adatta-

mento ai cambiamenti climatici. Semplici esempi per gli aeroporti sono la previsione di strutture e asfalti più resistenti al deterioramento dovuto alle variazioni di temperature e alle piogge intense, o la costruzione di argini o opere di scavalco più alti dove è maggiormente probabile una piena.

È necessario che l'analisi costi-benefici di una possibile opzione di adattamento tenga conto anche del complesso di interazioni tra ambiente ed infrastruttura, prendendo in considerazione i seguenti tre fattori, si veda anche (Comes et al., 2020):

- I. benefici aggiuntivi dell'opzione di adattamento (in termini di mitigazione, ma anche rispetto ad altri obiettivi);
- II. costi aggiuntivi dell'opzione a scapito di altri settori;
- III. mutamento degli impatti e della vulnerabilità nell'arco di tutta la vita dell'infrastruttura.

L'adattamento del sistema infrastrutturale e dei trasporti deve trovare attuazione attraverso i diversi strumenti di pianificazione della mobilità aerea, a partire dal Piano Nazionale degli Aeroporti e quindi i singoli Masterplan aeroportuali.

Figura 3: Le principali domande relative a modifiche delle infrastrutture aeroportuali da considerare per la definizione delle azioni di adattamento, fonte: ACI Policy Brief - September 2018

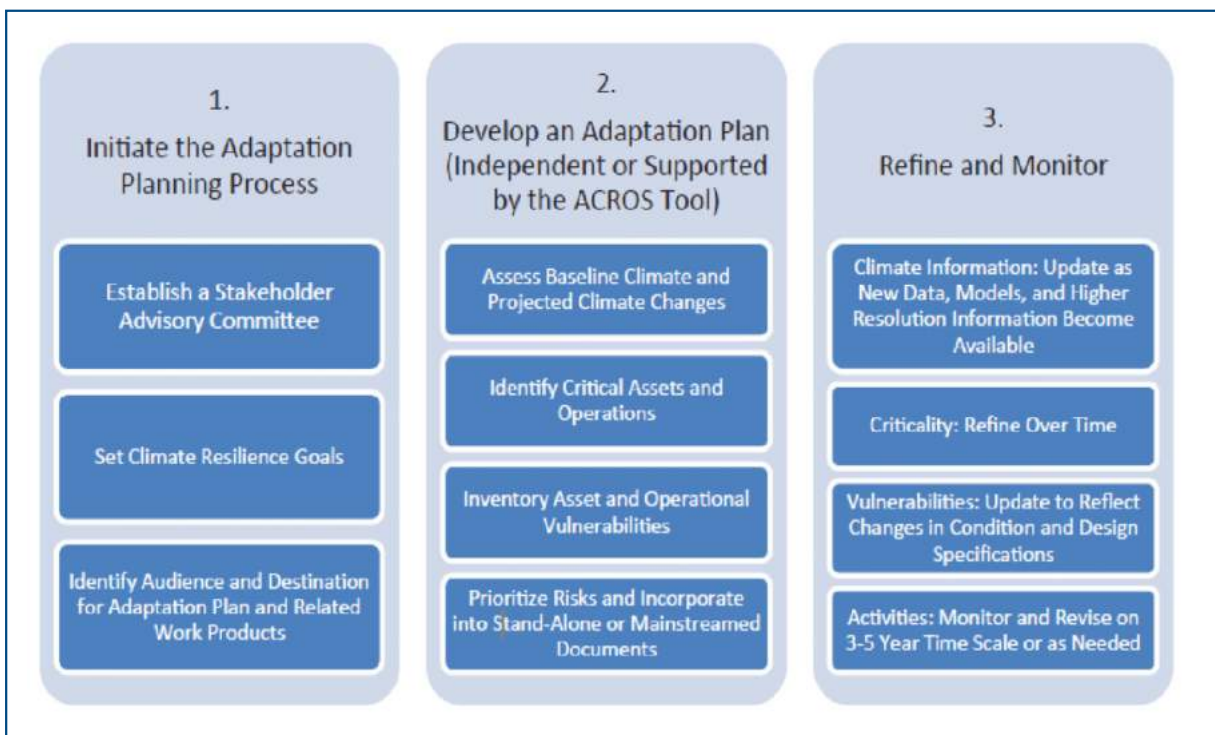


A livello internazionale, i membri dell'ACI (Airport Council International) hanno adottato una risoluzione (Risoluzione ACI 3/2018 sulla resilienza e l'adattamento al cambiamento climatico) a Bruxelles nel giugno 2018 riconoscendo il potenziale impatto del cambiamento climatico sulle infrastrutture e operazioni aeroportuali e incoraggiando gli aeroporti membri a condurre attente valutazioni del rischio e ad adottare misure per la resilienza climatica e l'adattamento nei loro piani generali. Per poter approcciare il problema in modo efficace, i passi che il management degli aeroporti dovrebbe seguire sono i seguenti (si veda anche la Figura 4 per un suggerimento sul raggruppamento in diverse fasi operative delle azioni proposte):

- considerare il potenziale impatto dei cambiamenti climatici nello sviluppo dei Master Plan;

- condurre valutazioni di scenari di rischio a fronte di eventi climatici estremi sia per le procedure operative sia per le infrastrutture;
- sviluppare e incorporare le azioni per la resilienza e l'adattamento, in accordo con le valutazioni di rischio, fin dalle prime fasi di concezione dei piani di sviluppo degli aeroporti, integrandole fin da subito coi piani di continuità operativa e pianificazione dell'emergenza;
- pianificare e sviluppare canali efficaci e permanenti di comunicazione con il personale aeroportuale, gli stakeholder del settore dell'aviazione, comprese le compagnie aeree, i fornitori di servizi di navigazione aerea, i fornitori di servizi, le università, le comunità e le autorità locali preposte al monitoraggio del territorio, all'analisi del clima e alla gestione degli eventi estremi.

Figura 4: Componenti e fasi per lo sviluppo di un piano di adattamento di una infrastruttura aeroportuale, fonte: ACRP Report 147, *Climate Change Adaptation Planning: Risk Assessment for Airports*. (2015), U. S. National Academy of Sciences.



La Figura 4 riassume le tematiche cruciali che il documento dell'ACI indica per comprendere come definire le priorità per la selezione delle azioni per la resilienza e l'adattamento, da inserire nei piani di sviluppo di ogni aeroporto.

In sintesi, tali misure consigliano di intraprendere le seguenti azioni:

- la stesura di piani di impiego dell'infrastruttura aeroportuale come luogo di accoglienza della popolazione in caso di eventi climatici estremi;
- l'analisi degli impatti di alterazioni climatiche sulle fondamenta dei terminal e delle piste;
- la valutazione degli impatti dell'innalzamento del livello del mare in merito a possibili esondazioni che interessino le piste e/o i terminal;
- la considerazione di possibili interventi di allungamento delle piste che consentano agli aerei di decollare in caso di stabile rialzo delle temperature;
- l'analisi dei potenziali effetti che un rialzo delle temperature può avere sui segnali satellitari e le tecnologie di comunicazione necessarie al funzionamento dell'aeroporto;

- lo sviluppo di piani di emergenza per eventuali blackout elettrici in caso di eventi climatici estremi;
- la verifica dei piani di approvvigionamento delle risorse idriche necessarie in un'ottica di crescente desertificazione del territorio;
- la valutazione degli impatti che cambiamenti strutturali dell'ecosistema circostante l'aeroporto in termini di flora e fauna potranno avere sull'infrastruttura stessa e sulla sua sicurezza idrogeologica.

Chiaramente, a seconda della collocazione geografica e delle caratteristiche dello specifico aeroporto, i punti precedenti potranno dare origine a livelli di rischio diversi tra loro e non tutti di uguale importanza, consentendo di identificare quali siano le azioni da intraprendere nel breve, medio e lungo periodo.

A livello nazionale, sarebbe auspicabile la definizione di un approccio comune che porti allo sviluppo di strumenti analitici messi a disposizione dagli enti competenti per tutti i gestori aeroportuali; l'obiettivo sarebbe consentire a tutti gli aeroporti del territorio di sviluppare un'adeguata valutazione della vulnerabilità delle diverse infrastrutture al manifestarsi dei cambiamenti climatici nel proprio territorio che consenta poi di invidiare le priorità di intervento in termini di adattamento. IL Progetto VULCLIM della DGAC francese ne è un esempio significativo³⁹.

A titolo di esempio, segnaliamo altre buone pratiche messe in campo da alcuni gestori di infrastrutture aeroportuali a livello Europeo. In Norvegia, il gruppo Avinor, operatore dei 45 aeroporti del paese, ha effettuato negli scorsi anni un'attenta analisi dello stato delle infrastrutture secondo i criteri prima menzionati, da cui è emerso che, per il piano di sviluppo dell'aeroporto di Oslo occorre sviluppare un sistema di drenaggio che abbia il 50% di capacità in più rispetto a quello esistente che era stato dimensionato nel 1990 quando fu costruito l'aeroporto stesso. Tali analisi, inoltre, hanno determinato di definire, per le nuove piste, il vincolo di costruzione ad almeno 7 metri sul livello del mare, rispetto ai 4 previsti sino ad allora. Allo stesso modo, le batterie necessarie ad alimentare i sistemi di navigazione non possono più essere poste alla base degli edifici, per via del crescente rischio di allagamenti che potrebbero interessare tali zone.

5.1.1.3 Mobilità marittima e portuale

Come discusso ad esempio in UN (2020), i porti sono risorse infrastrutturali critiche che fungono da catalizzatori della crescita e dello sviluppo economico e sono nodi chiave nella rete di catene di approvvigionamento globali interconnesse. Oltre ad essere porte di accesso al commercio internazionale, essi creano occupazione, generano ricchezza, contribuiscono al prodotto interno lordo nazionale (PIL) e consentono promozione e sviluppo dei vicini agglomerati urbani e industriali. Tuttavia, i porti e le altre infrastrutture di trasporto costiero sono esposti al rischio di impatti legati ai cambiamenti climatici, in particolare in considerazione della loro ubicazione in zone costiere, zone pianeggianti e delta, con implicazioni più ampie per il commercio internazionale e per le prospettive di sviluppo del territorio di cui sono parte integrante (si vedano le Sezioni 4.2.1.4 e 4.3.1.2).

Agli effetti diretti studiati nel Capitolo 4 si possono poi sommare gli effetti indiretti, vale a dire i problemi legati all'operatività del porto derivanti dagli effetti che il cambiamento climatico (ad es. scarsa disponibilità idrica per condizioni critiche della falda, interruzione di energia elettrica derivante da sovraccarico delle reti, ecc.). Tutto ciò comporterà la necessità di nuovi investimenti per garantire i livelli desiderati di operatività, possibile disruption per i sistemi logistici e quindi perdita di competitività, danni di immagine-reputazione, aumento dei premi assicurativi. In prospettiva, quindi, le risposte al cambiamento climatico diventeranno un fattore di competitività sempre più determinante per i porti e i relativi sistemi logistici, aspetto fondamentale per un paese costiero come l'Italia.

³⁹ <https://www.editions-rgra.com/revue/961/entretien/vulnerabilite-des-aerodromes-au-changement-climatique>

In effetti, l'importanza dei porti nel sistema-Paese italiano è ingente: uno studio di ENEA del 2019 (ENEA, 2019) indica che i porti italiani fanno parte di un sistema economico molto esteso, la cosiddetta blue economy, che, tra pesca, cantieristica, trasporti marittimi e turismo, conta circa 880.000 occupati in 200.000 imprese (circa il 3,2% del totale). Inoltre, se si considera che ogni euro generato direttamente dal comparto ne attiva circa altri due sull'economia nazionale, si arriva a un valore aggiunto prodotto dall'intera filiera pari a 130 miliardi di euro all'anno, circa il 10% del PIL italiano.

Questa parte importante della nostra economia è ovviamente particolarmente esposta al rischio di inondazioni derivanti dall'innalzamento del mare lungo le coste italiane, che, si veda anche il Capitolo 3, è stimato poter variare, a seconda del grado di prudenzialità del modello climatico considerato, tra circa 0,5 e 1 metro. A questi valori bisogna aggiungere il cosiddetto *storm surge*, ossia la coesistenza di bassa pressione, onde e vento, variabili da zona a zona, che in particolari condizioni possono determinare un aumento del livello del mare rispetto al litorale di circa 1 metro.

Benché l'attenzione prestata al tema dei possibili impatti del cambiamento climatico sui porti stia rapidamente crescendo (ESPO, 2021; Puig & Wooldridge, 2021; WPSP, 2021), le politiche portuali in tema di adattamento sono ancora in una fase embrionale (Messner e al., 2016). Le difficoltà stanno nel concorso di tre fattori: (i) l'adattamento è tema *fortemente context-specific*: ciò fa sì che non esista un modello di riferimento generale e che la (poca) letteratura sul tema sia basata sull'analisi di casi e di esperienze, molto diverse tra loro; (ii) l'incoerenza tra le scale temporali - quella degli investimenti necessari e quella propria degli scenari climatici - non favorisce gli investimenti privati in adattamento, perché i benefici degli investimenti possono manifestarsi ad una scala temporale che va al di là delle scadenze delle concessioni; (iii) le risposte al cambiamento climatico richiedono processi di innovazione nel campo della pianificazione, in grado di superare la frammentazione di competenze che caratterizza, in molti contesti, la governance territoriale, in particolare nelle aree costiere.

La rilevanza di superare queste difficoltà per una azione efficace a fronte dei pericoli climatici imminenti è riconosciuta pienamente nell'ambito del PNRR italiano, che prevede, sul tema dello sviluppo dell'accessibilità marittima e della resilienza delle infrastrutture portuali ai cambiamenti climatici, una azione per la resilienza dei porti ai cambiamenti climatici (all'interno della missione relativa alle infrastrutture per la mobilità sostenibile, e allo specifico tema della logistica intermodale ed integrata) a cui sono dedicati investimenti per € 1.47 bn. In particolare, gli interventi previsti dal PNRR hanno il fine di migliorare l'accessibilità marittima attraverso interventi di potenziamento e consolidamento di dighe, piattaforme e banchine, e di creare nuove piattaforme logistiche per adeguare le infrastrutture alle crescenti dimensioni delle navi e alla transizione energetica della mobilità marittima.

Sono anche in questo ambito fondamentali investimenti nella digitalizzazione (sensori, IoT, fino alla realizzazione di digital twin), con positivi effetti sulla previsione e gestione dell'operatività portuale e sulla capacità di rappresentare con maggiore precisione le dinamiche ambientali (correnti, onde, e loro effetti sull'operatività). Si tratta di operazioni riconducibili all'obiettivo di ottimizzazione delle attività portuali, con conseguenze positive anche in termini di mitigazione. In generale, nel progetto complessivo delle azioni di adattamento di queste infrastrutture è opportuno evitare l'*over-engineering*, affiancando agli interventi di natura tecnica le nature-based solutions, o soluzioni *green*, (es. rinaturalizzazione di aree nel sistema costiero, realizzazione di barriere con nuovi materiali). In questa prospettiva, è opportuno adottare approcci e strumenti di pianificazione integrata (per esempio riutilizzo dei fanghi di dragaggio per soluzioni di protezione costiera), nonché cercare di adottare misure che saldino adattamento e mitigazione nell'ottica di una "transformative resilience" (per esempio, operazioni di piantumazione per finalità di raffrescamento e ombreggiatura riducono la domanda di energia e assorbono CO₂; misure di efficientamento energetico riducono le emissioni riducendo al tempo stesso il carico sulle reti, favorendo quindi interventi di gestione in caso di ondate di calore).

Nel prosieguo di questa sezione ci concentreremo sul delineare quali sono le azioni concrete e le linee guida da considerare in ambito di resilienza e adattamento, mentre si rimanda alla corrispondente sezione del Capitolo 6 per quel che concerne le azioni di mitigazione e transizione energetica di questo settore.

A tal fine, è utile partire sottolineando lavori passati della commissione delle Nazioni Unite per il Commercio e lo Sviluppo, unitamente allo sviluppo della letteratura scientifica su questi temi, si veda ad esempio (Azarkamand et al., 2020) e i riferimenti ivi citati, indicano che sono necessari approcci multidisciplinari all'adattamento e alla costruzione della resilienza per le infrastrutture costiere per affrontare efficacemente le sfide innescate dai cambiamenti climatici globali. Questi devono includere l'integrazione delle considerazioni relative ai cambiamenti climatici nella pianificazione e nelle operazioni delle infrastrutture di trasporto costiero, e perseguire obiettivi coerenti nelle politiche nei trasporti, nel commercio e nei processi decisionali generali in materia di sviluppo sostenibile. Sono infatti necessarie risposte di adattamento innovative, e miste in termini di regolamentazione, gestione e scelte tecnologiche, che portino ad un insieme di misure di adattamento adeguate alle diverse realtà portuali del Paese.

A livello organizzativo e gestionale delle infrastrutture portuali, per poter pianificare e attuare misure per la resilienza e l'adattamento occorre avviare i seguenti processi:

- **coinvolgere tutti gli stakeholder** al fine di inserire gli effetti della variabilità e del cambiamento climatico come parte dei processi decisionali comuni. Di particolare importanza sarà la collaborazione e la partecipazione di un'ampia gamma di attori, sia per quanto riguarda la valutazione degli impatti, sia per la pianificazione, lo sviluppo e l'attuazione di efficaci misure di adattamento;
- **favorire azioni di resilienza e adattamento coordinate e integrate tra diverse strutture politiche e decisionali pubblico/private**. Molti porti e altre risorse di trasporto costiero, infatti, sono di proprietà e/o gestite da attori privati, tuttavia le autorità pubbliche svolgono un ruolo fondamentale nel fornire i quadri normativi e politici appropriati per facilitare un ambiente favorevole che promuova l'adattamento ai cambiamenti climatici per le reti e le risorse di trasporto costiero;
- **studiare approcci mirati per i diversi tipi di rischi climatici**. In particolare, occorre *discriminare tra pericoli episodici dovuti a eventi estremi e rischi a lenta insorgenza*, quali le inondazioni permanenti degli impianti dovute all'innalzamento del livello del mare o agli effetti dello scongelamento del permafrost. Questi diversi tipi di pericoli richiedono risposte e considerazioni tecnologiche diverse. Il primo tipo richiede soluzioni di riduzione del rischio, comprese le opere di protezione costiera, mentre il secondo tipo richiede la conservazione del rischio a lungo termine e la costruzione di strategie di resilienza. Queste ultime, a loro volta, richiedono efficaci misure di risposta normativa che integrino o adattino i quadri normativi e politici esistenti che includono piani di adattamento nazionali, strumenti di riduzione del rischio di catastrofi e politiche di pianificazione delle zone costiere;
- **pianificare azioni di valutazione dei rischi che abbiano adeguati contorni spazio-temporali**. Le valutazioni su scala globale possono informare lo sviluppo di politiche e regolamenti di adattamento cross-nazionali; quelle su scala regionale e/o nazionale possono aiutare nella pianificazione delle politiche di adattamento complessive del Paese e migliorare l'efficienza dell'allocazione delle risorse umane ed economiche disponibili. Le valutazioni a livello di struttura locale, infine, sono necessarie per supportare il processo decisionale sul campo e la progettazione delle misure di adattamento necessarie delle infrastrutture singole specifiche;
- **sviluppare piani di valutazione del rischio quantitativi e costantemente aggiornati**. Le valutazioni dei rischi delle infrastrutture di trasporto costiero consistono in diverse valutazioni costitutive. In primo luogo, *le valutazioni dei rischi climatici indotti dal cambiamento dei fattori climatici*. In secondo luogo, *le valutazioni dell'esposizione delle infrastrutture di trasporto e delle operazioni presenti nelle zone a rischio*. Infine, *le valutazioni delle vulnerabilità che rendono gli asset e i sistemi di trasporto suscettibili di*

danni e perdite da pericoli costieri. Sono stati sviluppati diversi approcci alla valutazione quantitativa del rischio in questi ambiti, si veda ad es. (Yang et al., 2018), (Bjerkan & Seter, 2019), (Azarkamand, 2020). Sulla base di tali valutazioni del rischio è possibile determinare la probabilità di un evento climatico dannoso e la gravità dei suoi impatti. L'urgenza delle risposte di adattamento può essere definita *come il rapporto tra il tempo necessario per pianificare e attuare una risposta efficace e il tempo a disposizione prima del manifestarsi dell'evento atteso;*

- **comprendere che l'adattamento ai cambiamenti climatici dei porti e di altre infrastrutture di trasporto costiero può comportare la costruzione di nuove infrastrutture resilienti, oltre a misure per migliorare la resilienza delle infrastrutture esistenti.** Ciò richiede un cambio di paradigma nell'approccio alle fasi di pianificazione degli interventi per poter affrontare in modo integrato varie sfide, tra cui le principali sono: i) mancanza di consapevolezza degli impatti legati ai cambiamenti climatici e di informazioni climatiche localizzate, in particolare per quanto riguarda gli asset relativi ai trasporti locali; ii) una discrepanza tra i tempi per la pianificazione degli impianti, la vita delle infrastrutture e le proiezioni dei fattori climatici caratterizzati da incertezze intrinseche; iii) la mancanza di disponibilità di adeguate forme di finanziamento; iv) la presenza di regolamenti che possono riflettere priorità concorrenti e che non sono necessariamente adatti allo scopo; v) la mancanza di capacità umane e competenze tecniche che coprano tutti i settori coinvolti;
- **favorire la generazione e l'analisi di dati e informazioni dedicati e specifici e favorire la creazione di centri di competenza multidisciplinare e multi-stakeholder.** In particolare, per un'efficace valutazione del rischio e una pianificazione dell'adattamento, sono necessari inventari delle infrastrutture, dati a risoluzione più elevata (compresi modelli digitali dell'elevazione delle coste) e una migliore comprensione dei processi costieri determinati dalle dinamiche del cambiamento climatico e studi tecnici dettagliati a livello di struttura per evitare mis-adattamento.

Per completare questa analisi si riporta la Tabella 1, rielaborata a partire da (Yang et al., 2018), in cui si riportano possibili strategie di adattamento per le infrastrutture portuali con particolare riferimento agli impatti originati dalle esondazioni costiere. Una lista esaustiva delle possibili conseguenze derivanti anche da altri impatti climatici sulle infrastrutture marittime è riportata in Sezione 4.2.1.4.

Dal punto di vista dell'*uso dei porti nel sistema logistico*, infine, è importante menzionare che le strategie più importanti per ridurre al minimo le conseguenze negative delle interruzioni portuali da un punto di vista logistico sono (Verschuur et al., 2020):

- riconquista della produzione (*production recapture*), ovvero compensazione dell'interruzione delle attività spostando un volume maggiore di merci una volta tornati operativi;
- la sostituzione del porto (*port substitution*), ovvero il dirottamento di parte del carico verso altri porti.

Alcuni studi suggeriscono che la sostituzione dei porti si possa programmare esplicitamente enumerando nei piani di rischio le opzioni di assegnazione alternative e includendo tali piani come opzioni di resilienza in un'analisi di impatto con modelli macroeconomici che consentano di valutare in modo quantitativo la fattibilità e la convenienza. Tuttavia, la sostituzione del porto potrebbe non verificarsi nella pratica, a causa di una serie di fattori: i) interruzioni portuali simultanee, ii) vincoli di pescaggio, iii) qualità dei collegamenti con l'entroterra, iv) necessità/disponibilità di attrezzature specializzate e v) restrizioni contrattuali.

5. TECNOLOGIE, DISEGNO E RIORGANIZZAZIONE DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ PER LA RESILIENZA E L'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Tabella 1: Effetti dei cambiamenti climatici, loro conseguenze e misure di adattamento possibili per le infrastrutture portuali, adattata da (Yang et al., 2018)

Cambiamenti climatici	Impatti sul porto	Misure di Adattamento
Aumento del livello del mare	Onde che possono danneggiare le facilities del porto	Costruzione di nuove barriere frangiflutti e/o potenziamento di quelle esistenti
	Allagamento delle infrastrutture di trasporto	Accrescere l'elevazione della posizione del porto
		Migliorare la resilienza all'allagamento delle infrastrutture esistenti
	Erosione costale nei pressi del porto	Azioni di protezione costale e programmi di accrescimento delle spiagge
	Deposizioni e sedimentazioni nei canali di accesso al porto	Incremento/espansione azioni di dragaggio
	Accessi di terra (strade/ferrovie) al terminal del porto interrotto per allagamenti	Diversificazione e miglioramento della qualità degli accessi al porto
Intensità e frequenza crescente dello storm-surge	Sospensione delle attività del porto per forti venti	Sviluppo di contingency-plan e strategie per fermo e ripresa efficienti delle attività
	Danneggiamento delle infrastrutture e delle navi ormeggiate	Costruzione di nuove barriere frangiflutti e/o potenziamento di quelle esistenti

Pertanto, se nel porto considerato sono presenti molte o tutte le condizioni di cui sopra appare più sensato lavorare in termini di *production recapture* come strategia da preparare e programmare in ottica di resilienza della gestione del porto come hub logistico. Invece di deviare il carico verso porti alternativi, i porti possono recuperare in ritardo i carichi che non sono stati cancellati (mediante *port-skipping* o *port-swapping*), e/o aumentando la propria produttività dopo che il porto è tornato operativo. La capacità di un porto di optare per questa strategia dipende dal livello di utilizzo del porto stesso e dalla capacità di aumentare temporaneamente il throughput (livello di storage, numero di rimorchiatori e piloti, numero di camion e treni disponibili per il trasporto). Porti con un alto tasso di utilizzo e notevoli problemi di congestione già in condizioni normali incontreranno difficoltà nella ripresa del traffico merci sospeso dopo un'emergenza, mentre i porti con minor tasso utilizzo molto probabilmente riusciranno a riprendere le proprie merci. Ovviamente, in caso di porti la cui operatività dipende fortemente dal trasporto di merce a carattere stagionale (es. agricoltura stagionale), la capacità di "ricattura" dipende anche dalla tempistica degli eventi climatici avversi.

BOX 2 - Effetti del Cambiamento Climatico sulle Rotte Marittime

Un recentissimo lavoro dell'Istituto Europeo del Mediterraneo (IEMED, 2021) ha studiato gli effetti combinati dei cambiamenti climatici e della pandemia di COVID-19 sull'economia della zona, con particolare riguardo ai trasporti e alla logistica. Con riferimento al trasporto marittimo e alle rotte, è interessante riportare i seguenti fatti principali. Il Mediterraneo rappresenta tuttora una rotta di transito privilegiata per il traffico di container, concentrando il 27% di circa 500 servizi di linea globali per nave. In particolare, il Canale di Suez nei primi cinque mesi del 2020 ha avuto una diminuzione di traffico del 15% circa.

Le cause di questo declino sono principalmente due, entrambe riconducibili alla crisi pandemica: la diminuzione dei carichi movimentati dalle navi e la riduzione del prezzo del petrolio che ha portato molte navi portacontainer di passare attraverso il Capo di Buona Speranza per risparmiare costi di pedaggio. Il secondo motivo è quello del maggior utilizzo della rotta Artica a nord-est, che ha visto aumentare il transito del 15%. In vista dei cambiamenti climatici attesi secondo le linee di evoluzione discusse in questo report, è importante considerare che le rotte artiche saranno sempre più attrattive.

La Figura 5 mostra, a tale proposito, da un lato l'estensione dei ghiacci dal 1970 al 2100, e, dall'altro, le rotte artiche abilitate dal recedere dei ghiacci. Tali rotte sono quattro, (Smith & Stephenson, 2013):

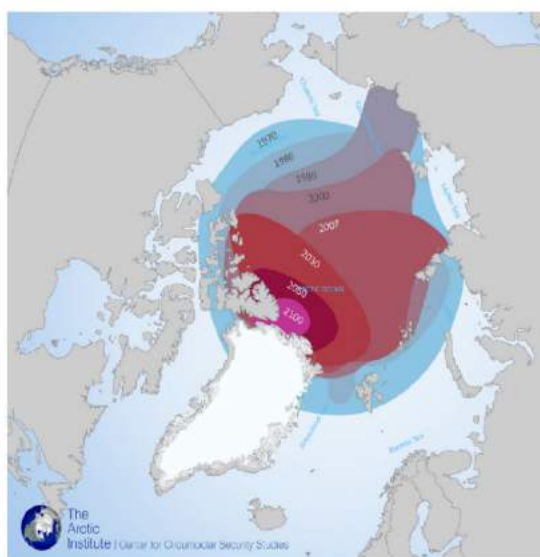
- il *passaggio a nord-est*, detto anche "northern sea route", tra la Russia e la Norvegia che, come visto sopra, offre una valida alternativa al passaggio per il Canale di Suez riducendo del 40% la lunghezza della tratta che consente di connettere l'Oceano Atlantico a quello Pacifico. Le autorità russe, date le potenzialità di questo passaggio, stanno significativamente investendo nelle infrastrutture ad esso collegate, per potenziarne l'utilizzabilità;
- il *ponte artico*, che connette Russia e/o Norvegia con il Canada, sia via aria sia via mare. Ad oggi ancora poco praticabile per le grandi moli di ghiaccio flottanti, ma nei prossimi decenni ci si aspetta possa diventare più facilmente utilizzabile;
- il *passaggio a nord-ovest*, che connette l'oceano Atlantico a quello Pacifico attraverso l'arcipelago artico canadese. La presenza di tante piccole isole che ne complica la geografia e la scarsa o nulla presenza di infrastrutture di supporto lo rendono ad oggi molto poco praticato rispetto al passaggio a nord-est.
- la *rotta artica centrale o transpolare*, ad oggi ancora non praticabile, ma che nei prossimi decenni potrebbe consentire di attraversare direttamente l'oceano artico, ancorché con ogni probabilità solo con navi rompighiaccio e solo nella stagione di massima recessione dei ghiacci.

È chiaro che a livello italiano va osservata con attenzione l'**espansione dell'utilizzo del passaggio a nord-est**. Volendo utilizzare questa rotta, è stato definito dalla International Maritime Organization un protocollo che consente di valutare e abilitare le caratteristiche delle navi che vogliono transitare per queste rotte a farlo, e le caratteristiche necessarie spesso implicano investimenti per rendere la flotta operabile sulla rotta artica. Dal punto di vista dei parametri di valutazione del costo/opportunità di percorrere queste rotte, in particolare il passaggio a nord-est, abbandonando il percorso tradizionale che utilizza il canale di Suez, esiste una proposta di sistema di valutazione elaborato dalla Copenhagen Business School (Raspotnik, 2016) che comprende l'analisi combinata di diverse variabili decisionali, legate alla tipologia della nave e della tratta, al costo dei pedaggi, del carburante e del personale.

Figura 5: Estensione dei ghiacci passata, attuale e prevista fino al 2100 (sinistra) e nuove rotte artiche (destra).



Source: *The Arctic Institute-Center for Circumpolar Security Studies (2014)* available at www.thearcticinstitute.org.



Source: *Humpert, M., & Raspotnik, A. (2012). The Future of Arctic Shipping*, available at www.thearcticinstitute.org/the-future-of-arctic-shipping.

L'effettivo sviluppo di questa rotta è tuttora molto dibattuto. Un recente report di Assoport⁴⁰ illustra dati interessanti, che proiettano al 2024 un passaggio di 92.6 Mton di merci dal passaggio a nord-est. Nonostante questa prospettiva, si sottolinea anche che le limitazioni di sicurezza, il contesto legislativo ancora da sviluppare e i costi di allestimento della flotta per renderla compatibile con la rotta sono ad oggi elementi ancora significativamente limitanti, pur ribadendo un indubbio interesse a monitorare gli sviluppi di queste condizioni per rendersi eventualmente pronti ad uno sfruttamento futuro di questa rotta qualora si trasformi davvero, dalla sua attuale natura locale/regionale, in un corridoio globale per il trasporto delle merci via mare.

⁴⁰ <https://www.assoporti.it/media/6847/arctic-route-2020-isp-srm.pdf>

5.1.2 La tecnologia a supporto della resilienza e dell'adattamento delle infrastrutture, dei sistemi di trasporto e della mobilità

La forte connessione tra le infrastrutture fisiche e quelle digitali è, ovviamente, innegabile. Un appropriato progetto integrato che metta le seconde al servizio delle prime può essere cruciale per migliorare le potenzialità di resilienza e adattamento ai cambiamenti climatici di tutte le infrastrutture, in particolare di quelle relative ai trasporti e alla mobilità, che sono particolarmente sensibili alla modifica dei pattern di utilizzo che possono essere indotti dal cambiamento climatico, da politiche attive di supporto a mezzi di trasporto non individuali, e dall'interazione dei due.

Nel contesto della resilienza e dell'adattamento si vuole in questo capitolo puntare l'attenzione su come le tecnologie digitali possano consentire interventi infrastrutturali di tipo "soft" (ovvero interventi che richiedono modifiche infrastrutturali marginali o nulle e sono volti primariamente ad una maggiore digitalizzazione dell'infrastruttura esistente) che permetta, in linea con le indicazioni inserite dalla Commissione Europea nella nota "Technical guidance on the climate-proofing of Infrastructure in the period 2021-2027", di compiere un passo fondamentale per uno sviluppo strutturale di strumenti che consentano di effettuare una analisi di vulnerabilità agli eventi climatici avversi delle infrastrutture esistenti che sia "data-driven", e di poterla aggiornare dinamicamente nel tempo. Ciò permetterebbe di rendere gli output di tali analisi strumenti oggettivi, con capacità sia predittive sia prescrittive, per sostenere il ciclo di vita delle attività di climate-proofing, in quanto in grado di fornire elementi quantitativi che rendano confrontabili rilevazioni fatte in momenti temporali differenti e pongano la base ad una strategia integrata di prioritizzazione degli investimenti.

Gli approcci data-driven al monitoraggio per una manutenzione attiva delle infrastrutture di trasporto, si veda ad esempio (ITF, 2021) hanno guadagnato slancio grazie a quattro principali direttrici tecnologiche di supporto:

- I. lo sviluppo delle tecnologie digitali ha portato alla digitalizzazione della società, dell'industria e dei trasporti, che facilita la condivisione dei dati;
- II. le tecnologie informatiche hanno fornito alla società, all'industria e all'industria dei trasporti la potenza necessaria per far funzionare l'infrastruttura digitale;
- III. la cosiddetta 'Internet of Things (IoT) e le tecnologie avanzate, miniaturizzate e robuste disponibili per quasi tutti i tipi di sensori hanno aumentato il potenziale per lo sviluppo di sistemi automatici di monitoraggio delle infrastrutture.

La combinazione di questi aspetti consente di ottenere un flusso costante di dati, che ovviamente necessita di uno sviluppo adeguato di sistemi per la conservazione dei dati stessi, la loro elaborazione per fornire indicatori sintetici dello stato di salute delle infrastrutture stesse, che possa essere impiegato sia per la segnalazione di eventuali situazioni di allarme sia per costituire una base di dati coerente e univoca.

Per sfruttare al meglio le potenzialità delle tecnologie digitali per il monitoraggio attivo delle infrastrutture di trasporto, ma non solo, si suggerisce di intraprendere i seguenti passi e pianificare gli investimenti necessari a realizzarli nel prossimo futuro:

- programmare azioni e investimenti concreti che promuovano *l'installazione di tecnologie digitali e IoT (Internet of Things) per il monitoraggio dei diversi processi e componenti infrastrutturali*, al fine di avere un flusso di dati garantito e sistematizzato che fornisca informazioni in tempo reale sulle diverse infrastrutture;
- prevedere la *creazione di piattaforme digitali di backend per la raccolta, lo storage ed il processing di tali dati*, al fine di creare una base di dati facilmente accessibile ed integrabile con quelle relative al monitoraggio degli eventi climatici per una opportuna integrazione delle informazioni;

- pianificare azioni di *rilevazione automatica della condizione delle infrastrutture stesse*, ad esempio mediante l'impiego di droni opportunamente strumentati, che consenta di costruire modelli tridimensionali aggiornati per la creazione di "gemelli digitali" (digital twin) accurati delle stesse, che possano essere digitalizzati e aggiornati periodicamente;
- costruire *una rete di modelli matematici, gemelli digitali e sistemi di supporto alla decisione fondati su simulazione, analisi di scenari che integrano la descrizione delle infrastrutture e le loro interazioni con eventi climatici estremi*, per la costruzione e l'affinamento dei sistemi di early-warning che consentano di compiere le analisi di vulnerabilità in modo predittivo ed intervenire tempestivamente per l'adattamento delle infrastrutture, secondo schemi di intervento che possano essere preventivamente simulati e valutati nel modello digitale integrato sviluppato.

È opportuno sottolineare, alla fine di questa sezione, che per intraprendere in modo efficace e duraturo un approccio data-driven al monitoraggio attivo per la diagnostica e prognostica degli interventi di adattamento delle infrastrutture non si può prescindere da politiche di governance dei dati stessi. La definizione di tali politiche deve ovviamente considerare in modo attento le implicazioni di privacy e protezione dei dati stessi, e la loro ownership. In questo senso, è di particolare interesse l'idea di poter considerare e impiegare i veicoli stessi - dotati di innumerevoli sensori di bordo - come parte di questo schema di monitoraggio permanente dell'infrastruttura, promuovendo accordi e partnership specifiche che consentano lo scambio di dati sicuro e protetto tra i veicoli stessi e gli organismi di gestione delle infrastrutture.

Infine, è importante mettere in luce anche che l'approccio data-driven permette di considerare non solo gli impatti tecnologici, ma anche quelli socio-economici degli interventi di adattamento programmati, al fine di valutare sempre, supportati da metodi di analisi quantitativa, il valore di accessibilità fisica e sociale ad infrastrutture resilienti, e la relativa ricaduta in termini di inclusione sociale e riduzione delle disuguaglianze.

5.2 Infrastrutture per l'energia

Per quanto riguarda le infrastrutture energetiche, negli ultimi 20 anni vi è stata una particolare attenzione alle infrastrutture vitali per la convivenza civile ed alla sempre maggiore dipendenza della società da esse. Ciò a causa di una serie di motivazioni, tra le quali: *unbundling* e *re-regulation* di alcuni settori e delle infrastrutture critiche, transizione energetica e decarbonizzazione, globalizzazione dei mercati, diffusione di ICT e sistemi di telecomunicazioni mobili, capacità tecnologica nella introduzione di *smart paradigms* (*smart grids, smart cities, smart sensors*), incremento dell'uso di servizi web-based.

In particolare, l'evoluzione nella gestione delle infrastrutture energetiche da monopolistiche a *open-market* ha costituito un passo importante verso una maggiore efficienza dell'industria, correlata con una riduzione dei costi ed una maggiore centralità dell'utente oggetto di un numero maggiore di servizi user-friendly, ma ha anche esposto le infrastrutture critiche ad una serie di rischi mai sperimentati prima d'ora. Il vivere civile, sebbene possa apparire più robusto nei confronti di disturbi frequenti e di piccolo impatto, è risultato molto più vulnerabile rispetto a eventi a cascata, come dimostrato su scala globale a partire dalla stagione dei blackout elettrici del 2003 a valle della liberalizzazione del mercato elettrico (Schaeffer, 2012). Questa specifica esperienza richiede che vengano individuate regole nuove per la protezione delle infrastrutture critiche (Zio, 2016).

In Europa, lo "European Programme for Critical Infrastructure Protection (EPCIP)" fissa il quadro generale per la protezione delle infrastrutture critiche per la UE. Le minacce non si limitano al terrorismo ma includono tutti i rischi inter-settoriali (attività criminali, pericoli naturali, etc.). In tal senso, sono state svolte molte attività sia di ricerca che per favorire un efficace coordinamento. Un caposaldo è costituito sicuramente dalla Direttiva 2008/114/CE che regola l'individuazione e la designazione delle infrastrutture critiche europee. L'Allegato I di tale Direttiva riporta i settori ECI (European Critical Infrastructures), ossia Energia (elettricità, petrolio, gas) e Trasporti (stradale, ferroviario, aereo, marittimo e navigazione interna). Nel 2013, la CE, dopo aver valutato i progressi ottenuti nell'EPCIP, ha suggerito un nuovo Programma che dovrebbe condurre ad una fase più orientata a progetti concreti per il futuro. Questa fase si basa sul lancio di progetti pilota su quattro infrastrutture critiche:

- i) la rete elettrica di trasmissione UE;
- ii) la rete di trasporto del gas in UE;
- iii) EUROCONTROL—the EU's Air Traffic Management;
- iv) il sistema satellitare GALILEO.

Sempre in Europa, la Commissione Europea ha creato lo *European Reference Network for Critical Infrastructure Protection (ERN-CIP)* per promuovere lo sviluppo di soluzioni per la sicurezza che siano innovative, qualificate, efficienti e competitive, mettendo in rete le capacità diffuse in Europa. Si tratta di una rete di laboratori per effettuare ricerche sui temi della sicurezza e della resilienza, e sperimentare nuovi modelli, metodologie, tecnologie e sistemi di diagnostica. Alcuni programmi di ricerca nazionali, nel tempo, hanno consentito di "aggregare" centri di ricerca con finalità che includono le tematiche della sicurezza delle infrastrutture critiche. È il caso, ad esempio, del fondo per la Ricerca di Sistema Elettrico a cui partecipa, oltre RSE, ENEA, CNR, il sistema delle università italiane con una serie di accordi quadro per la condivisione di laboratori e risorse scientifiche. Sono operanti su questi temi anche consorzi interuniversitari come ENSIEL, partecipato dal MiSE e dal MUR e controllato dal MEF, organismo di riferimento nazionale per gli stakeholder italiani del settore, e come Me.S.E. che raggruppa le Università italiane attive sul tema delle Metriche e delle Tecnologie di Misura sui Sistemi Elettrici. Sulla base di queste premesse, potrebbe essere opportuno costituire in Italia un centro simile all'ERN-CIP, che possa coordinare una organizzazione "a rete" dei laboratori operanti nei vari settori disciplinari e che possa interagire più facilmente con la rete europea nell'ambito della sicurezza delle infrastrutture critiche.

5.2.1 Opzioni di adattamento

Nessuno degli impatti meteorologici previsti nel prossimo futuro è del tutto nuovo: tutte le situazioni che si possono immaginare in tal senso sono state già vissute in varie parti del mondo ed esistono tecnologie che possono essere utilizzate per adattarsi alle nuove condizioni previste. Dunque, in tal senso, non sono da attendersi particolari barriere tecnologiche all'adattamento (Rübbelke et al., 2011) (Cox et al., 2017).

Tuttavia, per procedere in maniera sistematica e olistica, c'è bisogno, in primo luogo, di una **dettagliata valutazione del rischio per ogni parte dell'infrastruttura**, considerando le probabili condizioni che dovrà affrontare, di modo che si possano preparare adeguati piani di adattamento e di miglioramento generale della resilienza che facciano fronte a tali condizioni. Inoltre, dato che le condizioni climatiche previste sono fornite in termini di probabilità, vi è la necessità di utilizzare approcci probabilistici per valutare adeguatamente i potenziali rischi (Zio, 2018).

Anche i nuovi standard di progettazione ed i codici di costruzione per l'infrastruttura energetica devono essere sviluppati in previsione delle condizioni che l'infrastruttura potrebbe dover affrontare. In tale direzione, l'infrastruttura potrebbe quindi essere adattata in caso di ristrutturazione o sostituzione. Certamente, gli approcci progettuali all'adattamento richiederanno una comprensione degli eventi meteorologici estremi e delle probabilità di condizioni climatiche specifiche (Bonjean Stanton et al., 2016).

Oltre a una valutazione del rischio delle singole parti dell'infrastruttura, sarebbe vantaggioso per gli operatori e le autorità di regolamentazione (nel caso in cui sia richiesto) **ipotizzare la catena di approvvigionamento** energetico tra le forniture di carburante e la fornitura di energia ai consumatori in modo olistico, per identificare i punti critici e i colli di bottiglia nel processo, che possono limitare la resilienza.

La comprensione più approfondita della catena di approvvigionamento che ne deriva potrebbe facilitare un maggiore coordinamento ed integrazione tra gli operatori (laddove consentito dai quadri legali prevalenti), al fine di gestire le sollecitazioni sulle infrastrutture, come, ad esempio, coordinando quando parti significative di infrastrutture, come i generatori, vengono tolte dal flusso per la manutenzione.

Nonostante l'utilizzo di questi processi di adattamento, è possibile che si verifichino interruzioni dell'approvvigionamento energetico. **L'utilizzo di contatori intelligenti** per gestire la fornitura di energia ai consumatori, insieme allo sviluppo di una rete intelligente per garantire l'approvvigionamento a specifici utenti o comunità, consentirà ai fornitori di bilanciare la domanda in tempi di stress della rete.

Aldilà degli eventi estremi dovuti a specifiche cause, è probabile che sia comunque necessaria una maggiore capacità di generazione di energia elettrica durante i momenti di picco della domanda. Questo si può ottenere con un mix di fonti di generazione elettrica ed un ampio portafoglio di capacità di generazione, che integri in maniera bilanciata ed efficace le soluzioni a fonte rinnovabile assieme alle altre disponibili. Ciò aumenterà anche **la resilienza dell'infrastruttura dal punto di vista della generazione di elettricità**, riducendo la dipendenza da una specifica fonte (OECD, 2018).

L'utilizzo di una varietà di sistemi di stoccaggio potrebbe facilitare il bilanciamento del carico rispetto alla disponibilità di potenza. Il previsto aumento dell'uso di veicoli elettrici, ad esempio, potrebbe essere gestito attraverso una tecnologia intelligente per caricare gli alimentatori dei veicoli nei momenti di basso utilizzo. Allo stesso modo, sarebbe possibile per i sistemi informatici, come i personal computer e altre apparecchiature in rete, utilizzare batterie caricate durante i periodi non di punta per fornire energia direttamente, eliminando la necessità di alimentare l'apparecchiatura durante i periodi di punta della domanda di energia.

In aggiunta, anche lo sviluppo di altri sistemi energetici distribuiti ed il miglioramento della capacità di generazione aumenterebbero la resilienza del sistema. Infrastrutture come i generatori su piccola scala potrebbero funzionare in molti modi diversi e flessibili, funzionando come sistemi di backup per servizi essenziali, per clienti specifici o per esigenze locali, pur avendo la capacità di fornire energia ad altri utenti o alla rete, se e quando richiesto.

Tutti questi temi saranno approfonditi nel Capitolo 6.

5.2.2 Ostacoli all'adattamento

Molti dei meccanismi di adattamento proposti richiederebbero finanziamenti aggiuntivi. Sebbene l'integrazione delle modifiche richieste dagli standard di progettazione e dai regolamenti edilizi per le infrastrutture possano consentire l'adeguamento all'interno del normale ciclo di vita di manutenzione, ristrutturazione e sostituzione, è probabile che gli standard saranno più rigorosi al fine di adeguarsi ad eventi sempre più estremi. Potrebbe essere necessario l'utilizzo di materiali di qualità superiore, il tempo per le manutenzioni potrebbe essere maggiore, mentre la riparazione e la sostituzione potrebbero richiedere test più approfonditi per garantire il rispetto degli standard rivisti. È quindi probabile che queste cose aumenteranno i costi delle infrastrutture. Allo stesso modo, l'aumento dell'utilizzo degli impianti di stoccaggio idrico e di altre capacità distribuite richiederà investimenti (Ebinger & Vergara, 2011).

Il vantaggio di questi investimenti potrebbe essere separato dal costo finanziario, in particolare, se il beneficio verrà percepito come di interesse nazionale, per il fine di ottenere un'infrastruttura più resiliente. La fornitura di tale capacità (se necessaria), che può essere vista dagli investitori come **capacità in eccesso**, non soddisferebbe i normali criteri di investimento in un contesto commerciale e di mercato.

Lo sviluppo della capacità distribuita da parte degli utenti commerciali potrebbe diventare economicamente vantaggioso se il rischio di mancanza di energia dovesse aumentare. Ad esempio, gli impianti di lavorazione chimica, che possono essere ad alta intensità energetica, richiedono forniture energetiche continue. Se il rischio per gli approvvigionamenti energetici aumentasse, i costi associati a un'interruzione di corrente aumenterebbero e l'investimento in capacità di generazione dedicata per garantire le forniture potrebbe diventare antieconomico negli impianti più vecchi e meno efficienti, accelerando così la loro sostituzione in regioni a basso costo.

Il regolamento potrebbe anche essere utilizzato per richiedere ai fornitori di garantire "capacità per ogni evenienza". Se le parti regolamentate del settore energetico avessero l'obbligo di fornire energia a tutti i consumatori secondo standard specifici, sia il settore regolamentato che quello non regolamentato avrebbero ragioni economiche per conformarsi: l'industria regolamentata vincolata alla licenza di operare, l'industria non regolamentata per soddisfare le esigenze del settore regolamentato. Tuttavia, i relativi costi associati verrebbero probabilmente trasferiti ai consumatori. Alcuni consumatori potrebbero preferire pagare di meno per forniture che soddisfano standard inferiori, ovvero forniture che potrebbero essere soggette a interruzioni.

Nonostante i costi per l'integrazione di sistemi intelligenti di gestione dell'energia in nuovi beni di consumo come i veicoli elettrici possano essere assorbiti, i consumatori potrebbero opporsi al pagamento più elevato associato a tali sistemi. Le obiezioni potrebbero essere superate attraverso meccanismi commerciali, ad esempio facendo pagare di più per l'energia consumata nei periodi di punta.

La regolamentazione e la legislazione possono anche essere ostacoli all'adattamento delle infrastrutture ed allo sviluppo di un sistema più resiliente. Una maggiore cooperazione e coordinamento per far fronte alle sfide del cambiamento climatico potrebbe violare il diritto normativo e della concorrenza.

Nelle imprese regolamentate ci si concentra spesso su una maggiore efficienza del business all'interno del regime normativo, che andrebbe contro l'investimento a favore di capacità inutilizzata.

Anche la legislazione vigente in materia di ambiente e pianificazione può ostacolare l'adattamento. Ciò è particolarmente vero quando le esigenze infrastrutturali nazionali sono soggette a decisioni di pianificazione locale. Le decisioni locali possono essere incoerenti con le priorità nazionali, e non esiste un organismo centrale responsabile della pianificazione dell'adattamento e della resilienza delle infrastrutture nazionali.

Anche l'opinione pubblica può costituire un ostacolo all'adattamento e allo sviluppo delle infrastrutture. Sebbene la maggior parte delle persone comprenda la necessità della continuità dell'approvvigionamento energetico in astratto, gli stessi si oppongono spesso allo sviluppo locale (un esempio ne è il NIMBYismo). Potrebbe essere necessaria una maggiore comprensione da parte del pubblico delle esigenze derivanti dal cambiamento climatico e dall'urgenza dello sviluppo, in modo che il pubblico, i politici, i fornitori e le autorità di regolamentazione possano prendere parte ad un dibattito trasparente e proficuo.

Se l'adattamento ha successo, l'industria energetica dovrebbe essere in grado di soddisfare i bisogni della nazione; tuttavia, potrebbe sembrare che tale lavoro non sia necessario: come spesso accade è tristemente possibile che ci voglia una crisi di qualche tipo per dimostrare la necessità all'adattamento climatico. Per questo, potrebbe essere necessaria una notevole volontà politica per intraprendere gli investimenti e lo sviluppo potenzialmente necessari per soddisfare il programma di adattamento, ed è necessario un approccio ampio alla sostenibilità che equilibri le esigenze economiche, sociali e ambientali, considerando allo stesso tempo l'eredità che si lascia alle generazioni future.

5.2.3 Opportunità dall'adattamento

È probabile che le opportunità derivanti dall'adattamento ai cambiamenti climatici siano notevoli, ma potrebbero essere difficili da cogliere. In particolare, lo sviluppo di sistemi energetici più efficienti come la produzione di energia, la trasmissione di potenza e i motori (elettrici o a carburante) renderebbero le infrastrutture energetiche più sostenibili riducendo le emissioni, e più resilienti utilizzando meglio le risorse disponibili (Sieber, 2013).

Molte delle opzioni di adattamento ai cambiamenti climatici implicano la progettazione di nuovi standard, codici e regolamenti efficaci per le infrastrutture. L'esperienza per svilupparli rappresenta una proprietà intellettuale che potrebbe essere utilizzata altrove per capitalizzare questa necessità.

Lo sviluppo di sistemi di accumulo di energia efficaci (fisici, come lo stoccaggio di acqua per impianti idroelettrici, o elettrici) e di sistemi energetici distribuiti, rappresentano opportunità di ingegneria e progettazione. Lo sviluppo sia di una capacità di stoccaggio efficiente per alimentare i sistemi ICT per lunghi periodi che di impianti rinnovabili, potrebbe essere fondamentale anche per sviluppare capacità distribuita, possibilmente basata sulla comunità, rendendo ancora una volta più resiliente l'intera infrastruttura energetica.

Integrare questi sviluppi con l'ambiente costruito presenta molte opportunità. **L'integrazione di sistemi per riciclare il calore di scarto dalla produzione di energia o dai processi industriali riduce il consumo di energia, aiutando a gestire la domanda.** L'ampia infrastruttura che collega le fonti di calore e gli edifici che utilizzano il calore in eccesso rende il calore riciclato più facile da utilizzare nei nuovi sviluppi edilizi piuttosto che nelle aree urbane esistenti. Allo stesso modo, l'integrazione di sistemi di riscaldamento/raffreddamento ad inerzia termica negli edifici può essere utilizzata sia come strategia di adattamento che di mitigazione, migliorando le condizioni di lavoro e di vita in caso di cambiamenti climatici, riducendo al contempo il consumo di energia e le emissioni di gas serra.

5.3 Infrastrutture per la logistica

Il Capitolo 4 mostra che c'è un consenso crescente sul fatto che il cambiamento climatico e le strategie necessarie alla sua mitigazione abbiano impatti crescenti (e destinati a continuare a crescere in futuro) sulle strategie di pianificazione, progetto, operazione e manutenzione delle infrastrutture, non solo nel caso della logistica.

Con particolare riferimento alla Tabella 9, il Capitolo 4 ha sintetizzato i principali rischi climatici con riguardo alle infrastrutture logistiche. Nel seguito si farà dunque riferimento a tale contesto per la descrizione delle strategie di resilienza e adattamento di questo settore.

5.3.1 Strategie di resilienza per gli elementi del sistema logistico

Nell'ambito dell'analisi delle strategie di resilienza e adattamento degli elementi del sistema logistico rimangono importanti aree di incertezza sulle dinamiche che gli impatti degli eventi climatici estremi possano avere sulle infrastrutture coinvolte. Queste incertezze sono legate alla variabilità della risposta a rischi legati al cambiamento climatico. Questo vale per quello che riguarda la frequenza di eventi che acquisiscono i rischi fisici, alla loro propagazione nel contesto socio-economico più ampio e vale anche per la stima di costi e benefici che ne derivano (NASEM, 2016). La presenza di incertezze richiede l'adozione di pratiche che non possono essere solo basate su considerazioni specifiche, di natura deterministica, ma devono sapersi adattare alla necessità di gestire i rischi.

Un esempio che va in questa direzione (ed è orientato verso il caso dei rischi fisici, che sono una delle priorità delle strategie di adattamento) viene dalla Federal Highway Administration del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti, che ha promosso in approccio alla gestione delle infrastrutture che prende in considerazione i rischi e richiede di integrare maggiore resilienza nelle scelte di investimento (NASEM, 2016). Questo si basa su disponibilità e mantenimento di inventari delle infrastrutture, prioritizzazione di quelle più vulnerabili e migliore manutenzione (che comprende la costruzione di strutture volte a mitigare gli impatti, come muri di contenimento in casi relativi all'innalzamento del livello del mare), al fine di assicurare maggiore protezione di eventi estremi (NASEM, 2016). Un altro esempio simile viene dalla American Society of Civil Engineers ed è anche in uso in Europa. Questo si basa su una valutazione delle condizioni climatiche probabili e dei casi più rischiosi, lo sviluppo di una strategia di azione per la loro gestione e l'osservazione della performance per definire eventuali alterazioni della strategia (NASEM, 2016).

Esempi concreti di interventi di protezione finalizzati all'adattamento (NASEM, 2016) includono:

- Rivalutazione delle caratteristiche strutturali delle infrastrutture, delle scelte di ubicazione e delle strategie di evacuazione e delle strategie di progetto.
- Uso di sensori e modelli al fine di migliorare la valutazione dei rischi ed incremento della frequenza di operazioni di manutenzione.
- Protezione e rinforzo, anche con la costruzione di nuove strutture (come muri di contenimento, dighe, barriere).

In generale, le strategie di adattamento finalizzate alla gestione dei rischi fisici sono solo in grado di gestire le conseguenze (e non le cause) del cambiamento climatico. Come tali, hanno scopo di applicazione e capacità limitate nel tempo per ridurre la vulnerabilità del sistema.

Nel caso di rischi di transizione, ovvero rischi associati ad impatti dovuti a cambiamenti della struttura e la localizzazione della domanda e dell'offerta dei servizi di trasporto merci, gli interventi necessari sono più complessi, riguardano caratteristiche di sistema, ed hanno a che fare con modifiche che dipendono da scelte di diversi attori, richiedendo un ruolo assai maggiore per coordinazione e cooperazione (si veda la Sezione 4.4).

La natura sistemica della mitigazione dei rischi di transizione richiede una risposta che permetta al sistema economico di anticipare il cambiamento, grazie non solo all'innovazione, ma anche a scelte mirate all'adozione di tecnologie che abbiano inerenti capacità di disaccoppiare attività economica ed emissioni. In questo senso (e nella misura in cui agire per la mitigazione richiede di prendere nuove decisioni di investimento, che sono spesso associate a nuove infrastrutture), la mitigazione delle emissioni è parte della strategia di adattamento per i rischi di transizione.

Nel caso più specifico delle supply-chain, le strategie di adattamento alla transizione possono:

- Partire dall'analisi degli elementi che sono soggetti a maggiore vulnerabilità nel sistema logistico (come nell'esempio del porto di Trieste discusso nella successiva sezione per quello che riguarda il commercio di idrocarburi di origine fossile).
- Passare attraverso l'analisi di nuove opportunità (quali un incremento del commercio di altri materiali, dati gli sviluppi attesi nel settore manifatturiero).
- Essere seguite da azioni volte ad anticipare il cambiamento, beneficiare di queste nuove opportunità, prendendo anche in considerazione piani di gestione della riduzione di importanza delle infrastrutture destinate con una più alta probabilità di diventare non recuperabili.

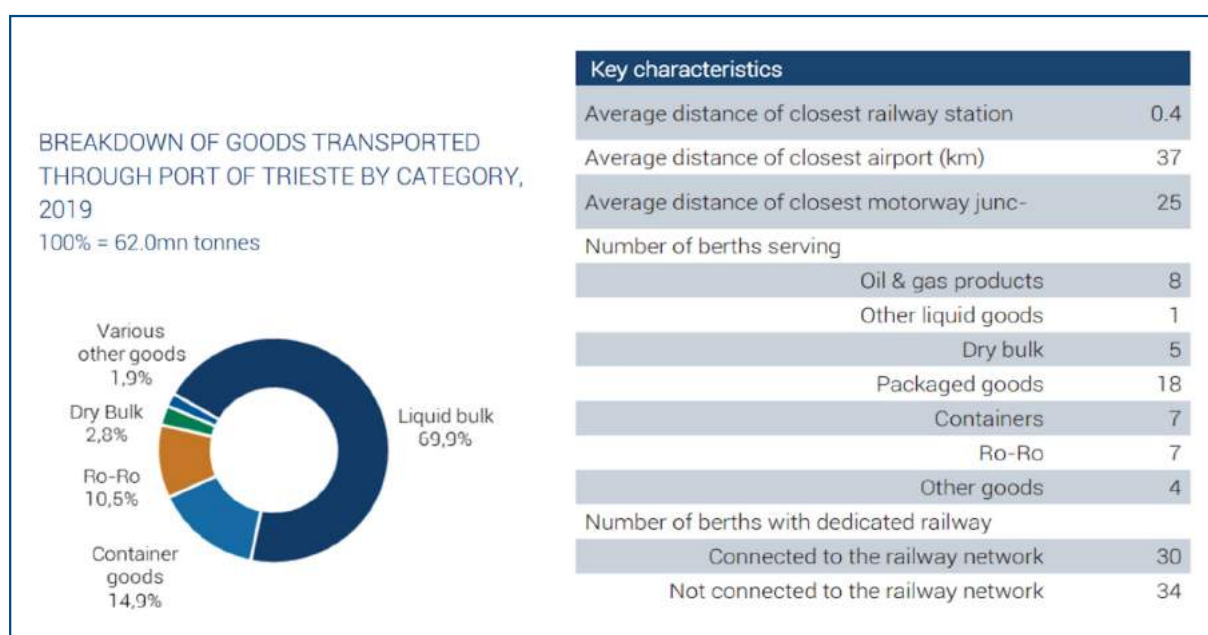
Gestire i rischi di transizione è importante per permettere al sistema socio-economico di continuare a creare valore aggiunto, potenzialmente avvantaggiandosi anche in termini di competitività, grazie all'identificazione ed all'azione concreta (in termini di investimenti) a cominciare da casi con il più alto potenziale di avere impatti positivi.

5.3.2 Interventi di adattamento per gli elementi del sistema logistico

Il ruolo più consistente (e complesso da valutare in termini economici) è legato agli impatti su supply e value-chain dovuti agli effetti dei rischi di transizione. La valutazione economica quantitativa di questo tipo di impatto, tuttavia, è più difficile da sviluppare. Una ragione chiave per questo è che i fattori che generano impatti su supply e value-chain sono molteplici, e gli impatti di transizione riguardano non solo i diversi attori economici, ma anche i loro fornitori ed i loro clienti (BSR, 2018).

Un esempio concreto di esposizione al rischio di transizione (e quindi vulnerabilità) nel caso delle infrastrutture logistiche in Italia è il caso del porto di Trieste, che, con quello di Monfalcone, è il principale hub in termini di volumi di merci in Italia. Nel 2019, 62 Mt sono state gestite in queste infrastrutture (IT&IA, 2021). Quasi il 70% di queste sono in forma di liquidi, principalmente prodotti legati a petrolio e gas, gestiti in 8 dei 9 moli votati alla gestione di prodotti liquidi (Figura 6).

Figura 6: Caratteristiche del porto di Trieste. Fonte: IT&IA, 2021



Visti gli impatti delle strategie di mitigazione del cambiamento climatico su commercio di energia fossile, ed in particolare la riduzione del consumo di petrolio, con indicazioni di riduzioni significative non solo nello scenario net-zero dell'International Energy Agency⁴¹, gli impatti economici, in assenza di strategie di adattamento, potrebbero avere una portata enorme su questo tipo di infrastruttura.

Ciò evidenzia la rilevanza di strategie capaci di ripensarne lo sviluppo, per esempio riorientandone una parte verso nuovi prodotti, tenendo conto degli investimenti che si stanno sviluppando in regioni che sono servite dalle infrastrutture logistiche del porto stesso (in Italia e negli altri paesi dell'Europa centrale). Restando nel settore dell'energia, questo può includere materie prime - come per esempio minerali di litio ed altri minerali metallici - necessari o strumentali per la produzione di batterie e/o generatori di energia rinnovabile.

Queste stesse considerazioni non sono limitate al caso delle infrastrutture logistiche, ma anche rilevanti per considerare l'orientamento dello sviluppo futuro del settore manifatturiero. Per questa ragione hanno anche implicazioni indirette per altre infrastrutture logistiche, come interporti, ferrovie per il trasporto merci, strade e oleodotti/gasdotti.

Un altro esempio concreto in questo contesto è quello dell'interporto di Verona, che nel 2019 è stato servito da quasi 16.000 treni, per la maggior parte intermodali, con una mobilitazione di 8.4 Mt di prodotti (8.2 nel caso del traffico intermodale) destinati in larga parte alla Germania. Lo stesso interporto ha gestito più di 22 Mt di merci trasportate su gomma, nel 2019 (IT&IA, 2021).

Per ciò che concerne il legame tra logistica e resilienza, sono molto interessanti e pertinenti le tesi presentate, ad esempio, in (McKinnon et al., 2010), dove viene introdotto il tema della "Adaptive Logistics". In sostanza, la "Adaptive Logistics" inverte la causalità che ha sostenuto la ricerca sulla "Green Logistics", passando dal considerare come e perché la logistica provoca danni ambientali a studiare come essa deb-

⁴¹ Nello scenario Net-zero dell'IEA, la domanda di petrolio scende a 72 milioni di barili al giorno nel 2030 e 24 nel 2050, rispetto ai 98 del 2018 e 90 del 2020 (IEA, 2021). La riduzione dell'uso di petrolio è una costante anche in altri scenari di mitigazione. Per esempio, l'International Transport Forum fa riferimento ad una riduzione del 22% al 2040 rispetto al 2016 nel caso delle proiezioni fatte nel 2018, nonostante queste non siano compatibili con l'accordo di Parigi (ITF, 2018).

ba rispondere al cambiamento ambientale. L'analisi può essere *diretta*, ovvero individuare come i sistemi logistici debbano essere modificati per minimizzare gli impatti climatici avversi, o *indiretta*, per comprendere dove il cambiamento climatico altera la domanda di servizi e sistemi logistici, e come essi debbano essere riconfigurati di conseguenza. Tale contesto può anche essere ampliato per includere l'impatto che possano avere sulla logistica e sulle catene di approvvigionamento gli sforzi complessivi di imprese, governi e individui atti a ridurre le proprie emissioni di gas serra, ma ciò è di interesse e sarà trattato nel Capitolo 6.

Volendo sintetizzare le caratteristiche di una logistica resiliente ai cambiamenti climatici, facciamo riferimento anche al documento "*Adaptation of transport to climate change in Europe. Challenges and options across transport modes and stakeholders*" (EEA Report No 8/2014) e in particolare alle analisi condotte in riferimento al tema di resilienza e adattamento, in cui viene discusso come reagire ad paradigma economico mutato in reazione alle dinamiche innescate dai cambiamenti climatici, con frequenti interruzioni delle catene di approvvigionamento dovute a eventi estremi, con conseguenti ripetute interruzioni di fornitura per tutti i tipi di merci.

Per essere resiliente, il nuovo paradigma della strutturazione dei servizi logistici deve passare dalla massimizzazione dell'efficienza alla riduzione della vulnerabilità. Ciò implica un adattamento dei sistemi attuali che porti verso sistemi di produzione ridondanti e il passaggio da catene di approvvigionamento globali a catene di approvvigionamento regionali e localizzate, per consentire di reagire meglio a possibili inaccessibilità di alcuni cammini globali.

In sintesi, un settore logistico che debba essere resiliente ai cambiamenti climatici dovrebbe avere le seguenti caratteristiche, si veda anche (DHL, 2012):

- *Potersi avvalere di un sistema di distribuzione che garantisca la consegna dei prodotti nonostante gli imprevisti.* A tal fine, la tempestività non gioca più il ruolo chiave attuale, bensì è la sicurezza dell'approvvigionamento a diventare priorità assoluta.
- *Attuare una regionalizzazione dell'attività economica,* modificando l'attuale architettura hub-and-spoke. Gli hub globali sono sostituiti da una serie di hub regionali situati in territori sicuri dal punto di vista climatico.
- *Lavorare su distanze di trasporto più brevi con volumi inferiori,* sfruttando un numero maggiore di fornitori e società di logistica con radicamento regionale o locale. Tuttavia, i grandi fornitori internazionali continueranno a svolgere un ruolo importante, garantendo una capitalizzazione che può fornire un backup di infrastrutture e macchinari ad una supply-chain locale che potrebbe facilmente dimostrarsi fragile a fluttuazioni del mercato.
- *Garantire massima resilienza della catena di approvvigionamento* sviluppando la capacità di spostare rapidamente le merci da una modalità di trasporto all'altra in caso di emergenza.
- *Allontanarsi progressivamente dagli attuali processi di consegna just-in-time,* di estrema complessità, muovendosi invece verso la costituzione di magazzini situati vicino al produttore che costituiscono buffer indispensabili in momenti di criticità nella disponibilità delle infrastrutture di trasporto.

5.4 Infrastrutture per l'informatica e le telecomunicazioni

La resilienza delle infrastrutture nel settore dell'Information and Communication Technology (ICT) riveste un ruolo di primaria importanza a causa delle enormi ripercussioni, dirette e indirette, che l'interruzione di servizi ICT può avere su moltissime e fondamentali attività nella nostra società. In termini di ripercussioni dirette, si pensi solo all'enorme incremento nell'adozione di servizi di rete per il lavoro remoto o per l'amministrazione pubblica, incremento che ha ricevuto un'improvvisa ed ulteriore impennata a seguito delle restrizioni alla mobilità dovute alla recente pandemia di Covid-19 (Kang,2020; ENISA,2020). In termini di ripercussioni indirette, come descritto in dettaglio nella Sezione 4.2.7, le infrastrutture ICT forniscono la necessaria piattaforma di comunicazione ed elaborazione dati alla base del funzionamento (in particolare della gestione e del controllo) di molte altre infrastrutture critiche, come, per citarne alcune, la smart-grid per il settore energetico, lo smart water management per il settore idrico, e la smart mobility per il settore dei trasporti.

In termini economici, i danni provocati dalla interruzione dei servizi di rete sono ben documentati. Persino il guasto di un singolo elemento (hardware e/o software) può causare interruzioni a servizi essenziali, con conseguenti perdite economiche di grande entità: per esempio, restringendo l'analisi a 28 fornitori di servizi cloud nel periodo 2007-2013, (Armbrust, 2010) stima i danni economici dovuti a guasti in infrastrutture cloud nell'ordine di 250 milioni di euro, dovuti a 1,600 ore di disservizio (Cerin,2013).

Il Piano Nazionale Di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici e la nuova strategia di adattamento ai cambiamenti climatici dell'UE (EU Adaptation Strategy) offrono una grande opportunità per effettuare gli interventi necessari per adattare le infrastrutture ICT alle nuove sfide poste dal cambio climatico in termini di resilienza dell'infrastruttura e emissioni di CO₂ delle infrastrutture ICT.

Il resto di questa sezione ha l'obiettivo di fornire una rapida descrizione delle tecniche attualmente utilizzate per garantire continuità di servizio (resilienza) dell'infrastruttura ICT e suggerire possibili adattamenti della infrastruttura attuale per migliorarne le prestazioni in termini di resilienza e per il taglio delle emissioni.

La sezione è suddivisa logicamente in due sottosezioni che rappresentano i due componenti principali di un sistema ICT: la rete di comunicazione e i data center.

5.4.1 Rete di comunicazione

Per semplicità, suddividiamo le tecnologie di rete in quattro sottosezioni: le reti di trasporto (geografica o "core", e metropolitana o "metro"), la rete di accesso (mobile/cellulare e fissa), le tecnologie Internet of Things (IoT), e le comunicazioni satellitari.

5.4.1.1 La rete di trasporto

In considerazione delle enormi quantità di dati trasportate in questo segmento di rete, le reti di trasporto sono tradizionalmente dotate di tecniche che garantiscono la sopravvivenza della rete in caso di guasto (tipicamente in caso di rottura di condotti contenenti fibre o di guasti a collegamenti radio a lunga distanza). Queste tecniche si classificano come (Vasseur, 2004):

- tecniche *proattive* o di *protezione*, che consistono nella pre-pianificazione di cammini alternativi in caso di guasto ridondanza di cammini. Diverse soluzioni sono possibili con diversi livelli di costo, di-

sponibilità e velocità di recupero del servizio (per esempio, tecniche con capacità di protezione dedicate o condivise, a livello di cammino o di collegamento).

- tecniche *reattive* o di *ripristino* (restoration), che consistono nell'instaurare il cammino di ripristino dopo il guasto. Queste tecniche sono tipicamente meno costose, ma richiedono tempi di recupero molto più lunghi.

Possibili interventi di adattamento: (i) per mantenere alti livelli di affidabilità (e quindi ridondanza) congiuntamente con basso consumo energetico, è opportuno massimizzare il trasporto dati in fibra e utilizzare tecniche di commutazione ottica come soluzioni abilitanti per trasporto dati ad alta capacità e a basso consumo energetico; (ii) per il trasporto di traffico mobile su sistemi a microonde (che sono influenzati da eventi meteorologici come pioggia, neve, nebbia, vento, etc.), nuove tecniche di re-distribuzione del traffico sulla rete in funzione delle condizioni climatiche stanno emergendo. L'implementazione di queste tecniche richiede lo sviluppo di soluzioni avanzate di controllo e gestione della rete basate su *network softwarization* e sull'utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale per l'automazione di rete.

5.4.1.2 La rete di accesso

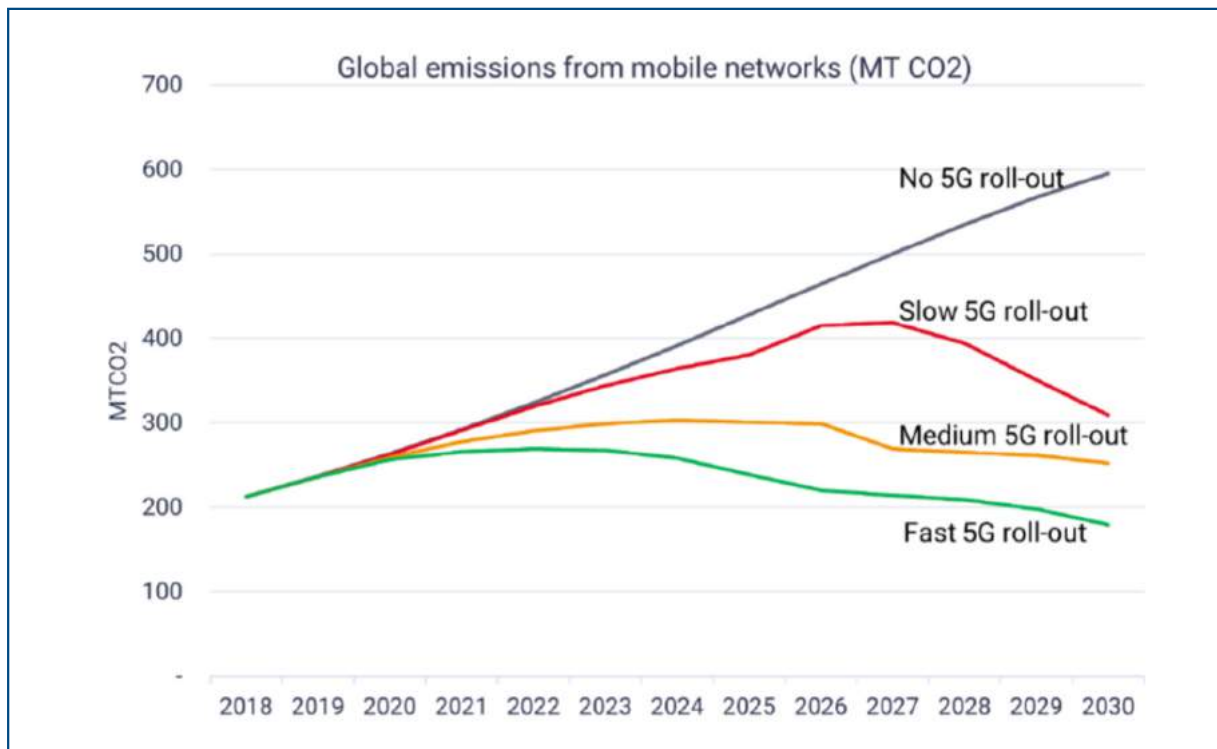
La rete di accesso copre l'ultimo "miglio" della rete, dall'ultimo punto di presenza dell'operatore fino all'utente finale, e può essere realizzata mediante tecnologie cablate (o "fisse") o mobili.

Le tecnologie fisse più comuni sono x-DSL (Digital Subscriber Line), FTTx (Fiber to the X) e PON (Passive Optical Network). Questa sezione della rete, per utenti residenziali, non è tipicamente progettata con criteri di ridondanza come quelli visti nella rete di trasporto, salvo utenze di tipo business ad alta priorità. In questi casi, la rete di accesso può essere aumentata con tecniche di ridondanza, per esempio mediante le tecniche di protezione usate in rete PON (Kani & Van Veen,2020).

La rete mobile (o radiomobile) è per sua stessa natura (per esempio, a causa della esposizione delle torri che ospitano le stazioni base) soggetta a sollecitazioni dovute ad eventi meteorologici particolarmente intensi, come quelli previsti in seguito al cambio climatico e descritti nel Capitolo 4. La rete radiomobile si avvale di tecniche di ridondanza per far fronte al disservizio di alcune delle sue stazioni (ITUT,2014), come, ad esempio: i) la progettazione di zone a doppia copertura, ii) l'estensione del raggio di copertura per coprire zone scoperte a valle di un guasto. Inoltre, dal punto di vista dell'efficienza energetica, soprattutto negli apparati della rete di accesso, sta diventando sempre più comune la co-locazione di piccoli generatori di energia rinnovabile, come pannelli solari (Chamola & Sikdar,2016).

Possibili interventi di adattamento: (i) l'accesso fisso, nella sua configurazione attuale, non si presta a soluzioni trasformatrici per mitigare gli effetti del cambio climatico. Sicuramente, l'attuale migrazione verso tecnologie ottiche (con conseguente graduale dismissione delle tecnologie di accesso in rame) rappresenta un significativo passo avanti verso la diminuzione del consumo energetico (per bit) della rete di accesso. (ii) la rete mobile si presta a soluzioni avanzate sia per la resilienza che per il consumo energetico. Agli operatori si chiede di munirsi di apparecchiature portatile (tipicamente restoration trucks, cioè autocarri che possono ospitare apparecchiature di rete come torri radiomobili o piccoli data center metropolitani che permetterebbero di velocizzare grandemente i tempi di ripristino della rete a valle di un guasto di grande entità (la dislocazione di queste apparecchiature portatili potrebbe essere effettuata sulla base delle previsioni meteorologiche). Con l'imminente adozione delle nuove reti 5G (si veda Figura 7)), verranno messe in campo numerose nuove soluzioni per incrementare la resilienza di rete (per poter supportare una nuova categoria di servizi denominati servizi del tipo Ultra-Reliable Low-Latency Communication) e la sua efficienza energetica (Debbah et al.,2021). Come mostrato in figura, una accelerazione nel processo di installazione delle reti 5G è auspicabile per limitare le emissioni di CO2 nei prossimi anni.

Figura 7: Impatto dell'adozione del 5G sulle emissioni di CO2. Fonte: CURTAILING CARBON EMISSIONS – CAN 5G HELP?, STL partners, Oct. 2019



5.4.1.3 Tecnologie per l'Internet of Things (IoT)

Come già menzionato, le reti di comunicazione abilitano il trasferimento in tempo reale di informazione che è alla base delle soluzioni per l'efficientamento energetico e per la resilienza di gran parte delle infrastrutture trattate in questo capitolo (smart grid e smart mobility, per citarne alcune). In particolare, le tecnologie IoT abilitano la raccolta di informazioni provenienti da sensori grazie a tecnologie già ampiamente diffuse o emergenti come Bluetooth, LoRa and LoRaWAN, LWM2M, MQTT, Wi-Fi, XMPP, Zigbee, e molte altre (Balaji,2019).

Possibili interventi di adattamento: Queste tecnologie offrono moltissime soluzioni a supporto della resilienza del sistema IoT [Ratasich19] che possono garantire un'alta qualità di servizio offerto ad altre infrastrutture trattate in questo capitolo.

5.4.1.4 Comunicazioni satellitari

Le comunicazioni satellitari costituiscono una indispensabile piattaforma per fornire continuità di servizio nel caso di guasti diffusi che interrompano completamente le comunicazioni terrestri.

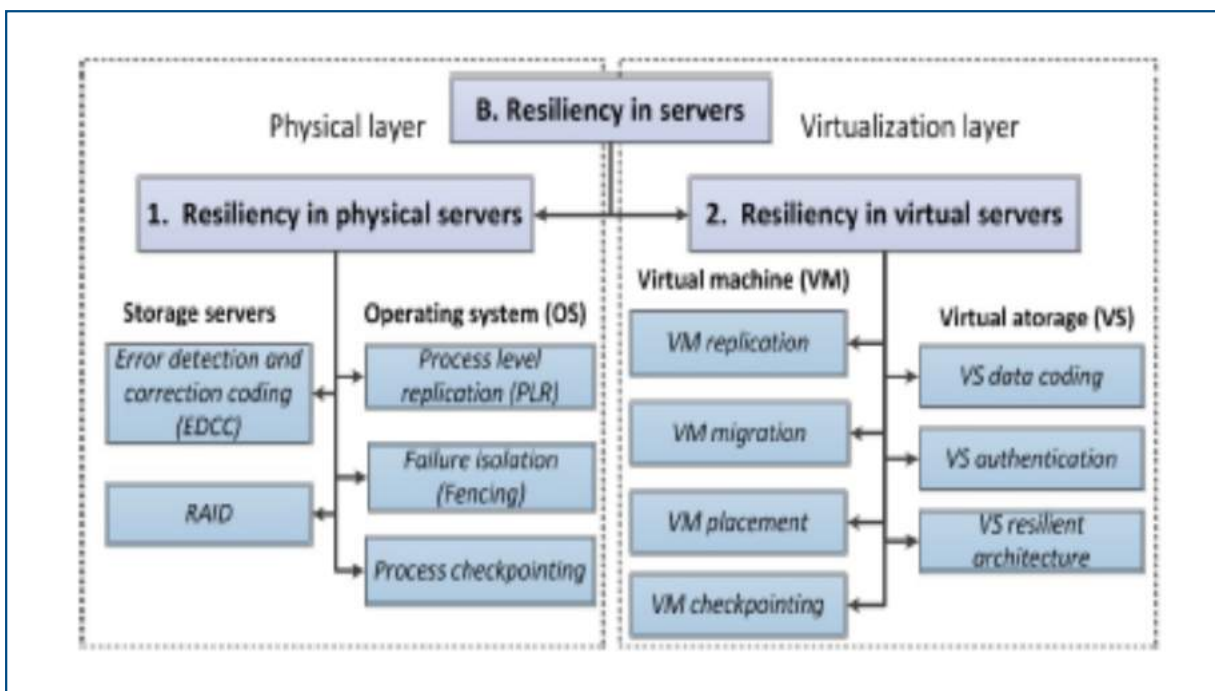
Possibili interventi di adattamento: Le comunicazioni satellitare, ad oggi, impongono limiti legati alla capacità limitata e all'asimmetria della capacità del sistema. Significativi investimenti sarebbero necessari per un loro utilizzo più capillare in caso di eventi estremi dovuti al cambio climatico, quindi la descrizione è lasciata al capitolo seguente.

5.4.2 Data center

Le soluzioni attuali per garantire la resilienza dei data center (la parte di elaborazione dei sistemi cloud) si basano su repliche (locali e/o distribuite su scala geografica) dei servizi, repliche che richiedono sincronizzazione periodica. Più nel dettaglio, la resilienza dei server (l'unità di elaborazione all'interno del datacenter) può essere garantita a livello fisico o a livello di virtualizzazione mediante tecniche quali checkpointing, migrazione delle macchine virtuali, etc. (si veda Figura 8). Ad oggi, nella gestione energetica dei data center, nuove tecniche di per la virtualizzazione e per la rapida accensione e spegnimento degli di apparati di rete e di elaborazione dati sulla base dell'effettivo carico di lavoro permettono notevoli miglioramenti dell'efficienza energetica del sistema [Jones18]. Da un punto di vista hardware, nuove tecnologie per la costruzione di server con consumo energetico proporzionale all'utilizzo dell'apparato stanno diventando disponibili (Mastelic et al.,2015).

Possibili interventi di adattamento: In risposta ad eventi estremi legati al cambio climatico, la tecnologia cloud offre nuove soluzioni per incrementare la resilienza del sistema grazie al trend attuale denominato "edge computing". Edge computing è un termine generico che si riferisce alla migrazione e replica dei contenuti e della capacità di elaborazione, tipicamente localizzati in grandi data center nazionali, all'interno di data center più piccoli localizzati in area metropolitana (Vitello et al.,2021). Questa distribuzione dei data center abilita nuove opportunità di resilienza per il sistema cloud. Un'altra direzione è quella della co-localizzazione dei data-center con impianti di produzione di energie rinnovabili. Inoltre, nuove tecniche per la gestione delle "allerte" di eventi climatici distruttivi che permettano evacuazione rapida dei dati dai datacenter a rischio sono in corso di studio.

Figura 8: Tecniche per la resilienza dei server (Colman et al., 2016).



Citiamo, prima di concludere la sezione sui data center, il recente studio commissionato dalla Commissione Europea sull'efficienza energetica dei data center (Montevecchi,2020). Lo studio identifica come approcci più comuni per una maggiore efficienza energetica dei data center: sistemi di raffreddamento più efficienti, riutilizzo del calore, ad esempio per il teleriscaldamento, la virtualizzazione del software, l'utilizzo ottimale della capacità dei server, l'utilizzo di e3co-design per l'efficienza delle infrastrutture, l'u-

utilizzo di energie rinnovabili per alimentare i data center e la costruzione di data center in regioni a clima freddo. Inoltre sono state formulate sette raccomandazioni riassuntive per ricerca e sviluppo in questa area: i) la stipula di requisiti di trasparenza e promuovere indicatori uniformi per l'efficienza energetica, ii) la promozione dell'uso di strumenti di ottimizzazione cloud-native per il cloud computing, iii) supporto all'innovazione tecnologica per questioni specifiche, iv) miglioramento dell'efficienza del software, v) sviluppo di tecnologie e politiche di cloud computing ad alta efficienza energetica per un mercato cloud a basso impatto ambientale, vi) lo sfruttamento del potenziale delle PMI per preparare le PMI all'adozione di servizi cloud, vii) l'integrazione dell'efficienza energetica dei servizi cloud in altri programmi di ricerca e sviluppo.

In conclusione, molte delle azioni di adattamento suggerite generano significativi ritorni sugli investimenti nella prevenzione o riduzione dei danni causati dai rischi climatici e alcune (ad esempio, sistemi di allerta precoce e predittiva, inclusione di rinnovabili nell'alimentazione degli apparati di rete) avranno ritorni positivi a breve termine. Altri sforzi di adattamento, in particolare quelli che richiedono un investimento di capitale significativo, saranno più impegnativi e richiedono finanziamenti alternativi e collaborazioni pubblico-privato.

5.5 Infrastrutture idriche

Il cambiamento climatico ha effetti alteranti sul regime idrometeorologico e, dunque, sulla disponibilità idrica per i sistemi di approvvigionamento e le reti di distribuzione agricole, urbane e industriali. Le proiezioni climatiche (anche nello scenario RCP 4.5) restituiscono andamenti crescenti per la temperatura e decrescenti per le precipitazioni (si vedano i Capitoli 3 e 4) omogeneamente distribuiti a livello nazionale. Le proiezioni climatiche indicano anche un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi atmosferici estremi (piene, siccità, e ondate di calore/freddo) a cui corrisponderà un'accelerazione del ciclo idrologico con l'aumento delle portate invernali, la diminuzione di quelle estive, e, nei bacini alpini e subalpini, l'anticipo dello scioglimento nivale e quindi del picco estivo e un parziale sostegno delle portate estive tramite fusione glaciale fino a poco oltre metà secolo (Gobiet et al., 2014).

Come descritto nei Capitoli 3 e 4, gli impatti principali saranno prevalentemente a livello di disponibilità della risorsa idrica e sulla sua distribuzione spazio-temporale, con conseguenti effetti sulla qualità e sostenibilità dei servizi che le reti di trasporto idrico sostengono (irrigazione, fornitura idropotabile e industriale). Una decrescente disponibilità della risorsa idrica aggraverà dunque gli impatti futuri a livello di soddisfacimento della domanda e di gestione della risorsa idrica, spesso già messi a dura prova da perdite e altre forme di inefficienza o dispersione della risorsa tali da causare un aumento della risorsa immessa in rete nonostante una diminuzione dei consumi pro capite. Di contro, ci si aspetta che gli impatti diretti e strutturali del cambiamento climatico sull'infrastruttura idrica siano relativamente modesti, salvo eventi estremi puntuali e locali, quali, ad esempio, fallanze dovute all'interazione tra terreno eccessivamente secco e conseguente spostamento/rottura di tubazioni.

Gli interventi di adattamento in relazione alle infrastrutture idriche dovranno avere come obiettivo principale quello di implementare il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC 2018)⁴² e la nuova Strategia Europea di Adattamento ai Cambiamenti Climatici⁴³ al fine di tutelare il servizio di fornitura idrica e l'accesso alla risorsa idrica (potabile e no) in modo resiliente rispetto ai cambiamenti climatici.

In questa sezione, consideriamo due tipologie di interventi di adattamento: (i) interventi infrastrutturali o tecnologici "hard" (o "grey" coerentemente con il PNACC), che richiedono considerevoli modifiche all'infrastruttura attuale, con relativi investimenti; (ii) interventi "soft", che richiedono modifiche infrastrutturali nulle o minime e sono volti a una maggiore digitalizzazione dell'infrastruttura esistente. Questi interventi includono anche strategie di controllo, gestione ed amministrazione delle infrastrutture considerate.

5.5.1 Infrastrutture idriche ad uso agricolo

Gli interventi di adattamento nel settore delle infrastrutture idriche ad uso agricolo dovranno principalmente ribilanciare lo squilibrio idro-climatico indotto dal cambiamento climatico fornendo al settore, attraverso infrastrutture e soluzioni basate sulla conoscenza o sulla natura, la capacità di gestire in modo più efficiente sia la disponibilità idrica e sia consumi in modo da garantire un approvvigionamento stabile e sicuro di acqua a uso irriguo.

⁴² PNACC (2018): <https://www.mite.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>

⁴³ <https://www.google.com/url?q=https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-6521-2021-INIT/it/pdf&sa=D&source=editors&ust=1633605997289000&usg=AOvVaw2U5TdnXbC3KbTfYdlibsU>

5.5.1.1 Interventi infrastrutturali “hard”

Gli interventi classificabili come “hard”, nell’ambito delle infrastrutture idriche ad uso agricolo, sono riconducibili essenzialmente alle opere per l’accumulo della risorsa e a quelle per la derivazione, l’adduzione e la distribuzione delle acque.

Le infrastrutture per l’accumulo sono tipicamente costituite da invasi collinari e montani, formati attraverso la realizzazione di dighe di sbarramento, che consentono di moderare la spiccata e crescente variabilità stagionale (Forzieri et al. 2014), che caratterizza il regime idrologico dei corsi d’acqua in molte aree del territorio nazionale e determina andamenti in controfase della disponibilità idrica rispetto alla domanda irrigua, con portate minime quando il fabbisogno delle colture è più elevato. Gli interventi, in questo caso, riguardano sia la realizzazione di nuovi invasi e dei relativi schemi irrigui al servizio dei territori irrigabili, sia la riabilitazione e il completamento di alcuni di quelli esistenti, che risultano non utilizzati o parzialmente operativi⁴⁴. Si tratta di una linea d’azione già intrapresa con il Piano straordinario invasi (Legge 27 dicembre 2017, n. 205, art. 1, comma 523), che potrebbe essere ulteriormente potenziata. Inoltre, non è da trascurare la possibilità di realizzare interventi di minore entità, ma diffusi nei territori di pianura, come i piccolissimi invasi in siti estrattivi dismessi, o la bacinizzazione dei canali nelle reti irrigue a superficie libera (un esempio di intervento combinato “hard” e “soft” che sarà ripreso nel paragrafo seguente). Quest’ultima tipologia di interventi si ricollega a quelli che riguardano le opere di derivazione, adduzione e distribuzione, con l’obiettivo sia di realizzarne di nuove, sia di riabilitare quelle esistenti, con interventi di tipologia e caratteristiche diverse nei diversi contesti territoriali.

Tra gli interventi per la realizzazione di nuove reti vale la pena di menzionare quelli collegati al riuso irriguo di acque reflue depurate, che potrebbe essere incentivato e reso particolarmente efficace ed efficiente (Radini et al., 2021) attraverso la realizzazione di schemi irrigui alimentati dallo scarico depurato, con condotte in pressione e consegna a domanda per il riuso diretto delle acque trattate nei territori circostanti gli impianti (si veda, ad es., il progetto digital-water.city⁴⁵). Gli interventi di riabilitazione, in particolare, vanno dalla ristrutturazione e razionalizzazione delle opere di derivazione che insistono sui corsi d’acqua (ad esempio, riducendo il numero e migliorando controllo e automazione), alla ristrutturazione delle reti tubate per ridurre le perdite e migliorare i dispositivi di consegna alle aziende, alla riqualificazione di alcuni canali a superficie libera in una logica multifunzionale finalizzata sia all’efficientamento idraulico che al potenziamento dei servizi ecosistemici, della funzione paesaggistica e delle possibilità di fruizione del territorio ai fini ricreativi. È importante sottolineare che gli interventi “hard” devono assolutamente essere integrati con quelli “soft”, brevemente illustrati di seguito, fin dalla fase progettuale, con una visione unitaria dell’intervento strutturale con la relativa soluzione gestionale.

5.5.1.2 Interventi infrastrutturali “soft”

In alternativa e/o a complemento degli interventi “hard”, i recenti e sostanziali sviluppi nel campo delle previsioni idrometeorologiche (es. Buizza & Richardson, 2017) e del controllo dei sistemi idrici (es. Conde et al. 2021, Clemmens, 2017) offrono diversi strumenti di adattamento a costi contenuti, di relativamente facile implementazione e grande flessibilità, che consentono un uso più efficiente della fornitura e della domanda, e quindi incrementano la produttività complessiva della risorsa idrica disponibile (Anghileri et al. 2016; Nayak et al 2018; Anghileri et al. 2019). Per quanto riguarda i sistemi di approvvigionamento e stoccaggio delle risorse idriche, la disponibilità di previsioni idrometeorologiche sempre più accurate,

⁴⁴ <http://opencup.gov.it/documents/21195/0/Istruzioni-template-cup-piano-idrico-2020-2029.pdf/9c8f1b85-6ff9-4558-918a-296c91d76da7>

⁴⁵ www.digital-water.city

su orizzonti temporali sempre più estesi, da sotto-stagionali (alcune settimane, cfr. Buizza & Leutbecher, 2015, Wetthelal & Di Giuseppe, 2018) a stagionali (diversi mesi, cfr. Arnal et al. 2018, Giuliani et al. 2019), permette di agire con maggiore anticipo sull'allocazione della risorsa tra usi competitivi (energia, agricoltura e ambiente) e di contrastare più efficacemente gli effetti negativi di eventi estremi, quali ondate di calore e periodi siccitosi prolungati (Denaro et al. 2017, Giuliani et al. 2020). L'impiego sistematico di sistemi di controllo in tempo reale, accoppiati a previsioni idrometeorologiche a breve termine (qualche giorno), consente di controllare in modo più efficiente gli eventi estremi, potenzialmente riducendone i danni a parità di impatto sulla disponibilità idrica (cfr. Tian et al. 2017, Tian et al. 2019). Anche i sistemi di adduzione e distribuzione delle risorse idriche ad uso irriguo possono trarre sostanziali benefici dall'impiego di strumenti innovativi di utilizzo dell'informazione e di gestione delle infrastrutture esistenti, che permettono di ridurre l'inerzia complessiva del sistema e meglio armonizzare fornitura e domanda irrigua effettiva. Interessanti potenzialità in questo senso si presentano, ad esempio, per alcuni dei più importanti schemi irrigui della pianura padana, sottesi dai grandi laghi prealpini regolati, dove l'implementazione di sistemi di controllo e automazione dei dispositivi di regolazione delle portate circolanti, realizzando la cosiddetta bacinizzazione dei canali, potrebbe consentire di rendere notevolmente più flessibile e tempestiva la consegna dell'acqua alle aziende e di aumentare notevolmente l'aderenza delle portate derivate ai fabbisogni irrigui effettivi del territorio (Cantoni & Mareels, 2020; Galelli & Soncini-Sessa, 2010). Questo porterebbe a consistenti risparmi idrici, soprattutto nelle fasi iniziali della stagione irrigua, migliorando sia le disponibilità nelle successive fasi di picco della domanda, sia la possibilità di soddisfare i requisiti di deflusso ecologico anche nei periodi più critici.

Infine, la strategia europea di adattamento ai cambiamenti climatici indica negli strumenti assicurativi uno strumento di potenziale interesse per ridurre l'impatto economico del cambiamento climatico su diversi settori economici, tra cui l'agricoltura, mantenendo l'attuale configurazione infrastrutturale. L'assicurazione agricola è uno strumento che può assumere diverse configurazioni a seconda del contesto (Shalika Vyas et al 2021, Dioniso Pérez-Blanco et al. 2017). In alcuni contesti, è il settore pubblico che se ne fa carico, in altri è completamente lasciata all'iniziativa privata. La Politica Agricola Comune dell'Unione Europea (PAC) 2014-2020 promuove l'adozione di fondi mutualistici tramite accordi formali tra agricoltori. Studi recenti confermano il potenziale di strumenti innovativi di risk pooling (Denaro et al. 2020) o di soluzioni ibride di risk-based insurance e revisione dell'allocazione della risorsa tra usi multipli (Denaro et al. 2018) nel contrastare la riduzione di disponibilità idrica e mitigare i conflitti.

5.5.2 Infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale

Gli obiettivi settoriali dichiarati nel Piano Nazionale Di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici per le risorse idriche ad uso civile, urbano ed industriale prevedono azioni di adattamento inclusive di aspetti tecnici/tecnologici, istituzionali, ambientali, e sociali. I principali obiettivi prevedono miglioramenti dell'efficienza delle infrastrutture di distribuzione, miglioramenti dell'efficacia ed efficienza nell'uso della risorsa e della pianificazione, aggiornamenti della normativa attuale, aumento della resilienza economica della consapevolezza nelle comunità.

Gli interventi di adattamento da intraprendere nel settore delle infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale per raggiungere questi obiettivi e, più in generale, tutelare un approvvigionamento stabile e sicuro di acqua potabile in modo sostenibile, ridurre i consumi, e migliorare la resilienza climatica (si veda, come riferimento, la Strategia dell'UE di Adattamento ai Cambiamenti Climatici), coprono le tre categorie di interventi infrastrutturali hard, soft e non infrastrutturali.

5.5.2.1 Interventi infrastrutturali “hard”

L'Italia è al venticinquesimo posto nella classifica europea per investimenti nel settore idrico⁴⁶, mentre si classifica al primo posto tra i Paesi europei per quantità acqua prelevata ad uso potabile (ISTAT, 2019). Allo stesso tempo, in diverse città italiane si registrano dispersioni in rete maggiori al 30% della risorsa immessa (Legambiente, 2019). La prima tipologia di interventi infrastrutturali deve dunque riguardare investimenti e interventi di rinnovo delle reti di adduzione e distribuzione, un adeguamento degli impianti esistenti e un miglioramento dell'interconnessione dei sistemi acquedottistici, al fine di ridurre gli sprechi di risorsa e migliorare l'efficienza e resilienza delle reti. Una seconda categoria di interventi infrastrutturali da privilegiare riguarda l'implementazione di infrastrutture blu/verdi (Pandolfi & Pettinari, 2020; Dar et al., 2021). In ottica “senza rimpianti” (“no regret” nella strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici), l'implementazione di infrastrutture di questo tipo può avere il triplice beneficio di migliorare il servizio dei sistemi di drenaggio (es. infrastrutture verdi come tetti verdi e zone umide multifunzionali per ridurre il picco di afflusso durante eventi di precipitazione estrema), aumentare lo stoccaggio e la disponibilità di risorsa idrica (es. sistemi di raccolta d'acqua piovana) e il suo riuso per scopi non idropotabili e contribuire in generale al microclima e servizi ecosistemici in ambiente urbano.

5.5.2.2 Interventi infrastrutturali “soft”

I principali interventi di tipo soft riguardano il miglioramento degli attuali sistemi di monitoraggio delle reti di adduzione e distribuzione idrica e di drenaggio urbano. Più in dettaglio, questa categoria di intervento comprende azioni e investimenti che promuovano l'installazione di tecnologie digitali per il monitoraggio dei diversi processi e componenti infrastrutturali che garantiscono l'approvvigionamento idrico, maggior conoscenza del suo utilizzo finale, riduzione delle perdite e miglior gestione dei sistemi di drenaggio (Sarni et al., 2019). Rientrano in questa categoria di tecnologie: (i) *sensori di pressione/flusso/livello e monitoraggio di parametri di qualità idrica* nelle reti di distribuzione e di drenaggio con possibilità di invio automatico di dati ad un sistema di controllo e acquisizione dati (SCADA) (Fattoruso et al., 2015), (ii) *contatori digitali (smart meter)* per una migliore conoscenza dei consumi e gestione della domanda (Cominola et al., 2015), (iii) *attuatori per il controllo automatico* (Ocampo-Martinez, 2010, Fiedler et al., 2020), (iv) *modelli matematici, digital twin e sistemi di supporto alla decisione* fondati su simulazione e analisi di scenari e affinamento dei sistemi di early warning (es. per rischio di esondazioni, presenza di contaminanti, anomalie nel funzionamento dei sistemi di pompaggio).

Anche questa tipologia di interventi può essere definita di tipo “senza rimpianti”, per via dei molteplici benefici collaterali che possono comportare. Per prima cosa, una maggior disponibilità di dati e capacità di analisi permette di migliorare il monitoraggio delle infrastrutture esistenti e quantificare attuali livelli di efficienza e anomalie (Alvisi et al., 2019). In più, questo tipo di interventi fornirà informazioni chiave per migliorare le strategie e le azioni di manutenzione preventiva e di gestione della fornitura e della domanda. Infine, l'integrazione dei dati acquisiti per questo settore con dati e informazione provenienti da altri settori infrastrutturali critici interconnessi (es. trasporti, reti elettriche) può contribuire ad azioni di adattamento sinergiche per questi sistemi infrastrutturali.

Gli interventi di adattamento non infrastrutturali possono essere ulteriormente suddivisi in interventi di tipo *normativo, economico/finanziario, sociale, e scientifico*. Gli interventi di adattamento di tipo *normativo* devono prevedere prevalentemente una revisione delle normative sul riuso e degli scarichi sul suolo, come previsto dal Piano Nazionale Di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici, e anche sui prelievi da

⁴⁶ https://acadmin.ambrosetti.eu/dompdf/crea_wmark.php?doc=L2F0dGFjaG1lbnRzL3BkZi9saWJyby1iaWFuY28tdmF-sb3JLWFjcXVhLXBldi1saXRhbGlhLTIwMjEtMjAyMTAzMzEwOS5wZGY%3D&id=11739&muid=corporate

falda/acque sotterranee non rinnovabili o il controllo del rispetto delle normative stesse. Inoltre, piani di gestione degli eventi estremi (es. piene e siccità) devono essere formulati per adattare le attuali politiche di gestione alla frequenza crescente di questi estremi climatici. Gli interventi di tipo *economico/finanziario* riguardano possibili interventi sul prezzo dell'acqua, in modo da rifletterne correttamente il valore e promuovere pratiche di risparmio idrico (Marzano et al., 2018). In questa stessa categoria sono da includersi incentivi per tecnologie e prodotti a basso consumo d'acqua e che ne favoriscano la raccolta e il riutilizzo (es. sistemi di raccolta acqua piovana). Inoltre, l'adozione di schemi assicurativi specifici per gli eventi climatici estremi può permettere una miglior protezione delle infrastrutture idriche rispetto al rischio di catastrofe causato dagli eventi climatici più estremi. Interventi di tipo *sociale* includono programmi di sensibilizzazione e informazione per favorire la consapevolezza dei cittadini rispetto ai consumi idrici, il valore dell'acqua e i rischi climatici legati alla risorsa idrica e promuovere iniziative locali volte alla conservazione della risorsa e all'adozione di misure di efficientamento (Sønderlund et al., 2016, Willis et al., 2011, Cominola et al., 2021). Interventi di tipo *scientifico/di ricerca* riguardano misure di finanziamento volte a supportare maggior ricerca sui rischi dei cambiamenti climatici rispetto alle risorse idriche. Come evidenziato dalla Strategia dell'UE di Adattamento ai Cambiamenti Climatici⁴⁷, interventi sono necessari per favorire l'integrazione degli scenari climatici, dei rischi climatici e delle loro incertezze nelle analisi di rischio e supportare le decisioni strategiche sulle conoscenze scientifiche più avanzate.

⁴⁷ <https://www.google.com/url?q=https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-6521-2021-INIT/it/pdf&sa=D&source=editors&ust=1633605997289000&usg=AOvVaw2U5TdnXbC3KbTfYdlibsU>

5.6 Opere di regimazione idraulica e difesa del suolo per resilienza e adattamento

Gli impatti del cambiamento climatico sugli eventi estremi di precipitazione, descritti al Capitolo 4, evidenziano la necessità di predisporre strategie di adattamento per aumentare la resilienza delle opere idrauliche e di difesa del suolo.

Queste strategie di adattamento prevedono l'individuazione dei parametri climatici significativi e l'associata probabilità di superamento in base alla statistica degli eventi estremi. La variabilità del clima, in linea generale, non influenza significativamente questo tipo di approccio progettuale almeno sui bacini di grande estensione e sul breve periodo. Infatti, per tali bacini gli eventi estremi, che interessano piccoli areali, mediamente non producono effetti rilevanti in quanto l'evento, per la sua stessa estensione, è soggetto ad una naturale laminazione prima di entrare nel reticolo principale. In ogni caso, i nuovi dati climatici misurati, associati alle previsioni dei modelli, consentiranno di migliorare l'attendibilità delle stime dei valori estremi e quindi di affinare le predette strategie nel tempo. A tal proposito, si può ricordare che, in generale, le precipitazioni totali nell'area del Mediterraneo stanno evidenziando un trend leggermente negativo cosicché gli effetti del cambiamento sembrano meno influenti per bacini di grande estensione.

Viceversa, coerentemente con quanto previsto nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC) (Ministero dell'Ambiente, 2014), nei piccoli bacini si verifica un diffuso aumento della magnitudo e della frequenza delle precipitazioni estreme. Conseguentemente, si riscontra un aumento di frequenza delle cosiddette *flash flood*.

Le *flash flood* sono piene che si sviluppano ed evolvono rapidamente, per effetto di precipitazioni intense su un'area relativamente piccola causando una rapida concentrazione e propagazione dei deflussi idrici: in pianura generano rapidi allagamenti, mentre, nei contesti montani, possono dare origine al fenomeno delle colate detritiche (*debris flow*), che spesso provocano danni di notevole entità.

La rapidità di concentrazione e propagazione dei deflussi dipende, oltre che dalle precipitazioni (intensità e distribuzione spaziale delle piogge) dalle caratteristiche morfologiche del territorio e dalla permeabilità dei suoli. Per tale motivo, le strategie da adottare per mitigare e fronteggiare detti fenomeni sono condizionate dalla collocazione geografica delle infrastrutture esistenti e dai vincoli territoriali ad esse associati.

Per opere in contesti montani, si potranno prevedere opere di versante atte a limitare le colate detritiche, protezioni adeguate per le fondazioni di infrastrutture in alveo volte anche a dissipare parte dell'energia cinetica della corrente liquida. Per opere infrastrutturali situate in zone pianeggianti, e su reti di drenaggio appartenenti al reticolo minore, si dovranno ricercare aree di laminazione in grado di mitigare o ridurre il rischio idraulico, e si dovrà evitare la riduzione della permeabilità dei suoli, anche incentivando la posa di pavimentazioni drenanti.

A fronte dell'aumento della magnitudo e della frequenza degli eventi climatici localizzati su piccoli areali, le reti esistenti, che sottendono bacini di limitate dimensioni, che sono state generalmente dimensionate considerando tempi di ritorno degli eventi inferiori a 30 anni, possono risultare soggette a piene ben superiori a quelle di progetto.

Particolarmente vulnerabili alle *flash flood* risultano le reti fognarie delle acque meteoriche. Nel caso delle reti esistenti, la penuria degli spazi e le interferenze con le altre reti tecnologiche presenti nel sottosuolo ostacolano generalmente l'ampliamento dei condotti e quindi l'aumento della capacità di deflusso. D'altra parte, è proprio in ambito urbano che i fenomeni indotti dalle precipitazioni estreme (allagamento interrati, sottopassi, ascensori ecc.) provocano i danni maggiori.

Una possibile soluzione per ridurre o mitigare gli effetti di tali fenomeni in ambito urbano, si ottiene adottando soluzioni di laminazione locale da effettuarsi sull'edificio, sulle strade e sul verde (letti di ghiaia, tubi microforati su deposito di ghiaia per fornire detenzione e favorire l'infiltrazione, cisterne per acqua piovana collegate con valvole motorizzate alla rete fognaria, sistemi sul tetto-dove possibile- con flusso controllato che garantisca ristagni temporanei su una superficie del tetto e rilasci lentamente l'acqua invasata attraverso gli scarichi del tetto. Alcune di queste soluzioni sono già state discusse e sperimentate a livello internazionale (Nickel et al., 2014) e sono alla base di moderne linee guida (NYC Environmental Protection Department, 2012; City and Port of San Francisco, 2016; City of Chicago, 2016). In questo ambito, si potrà ricorrere ad un uso esteso dell'intelligenza artificiale, introducendo una rete di sensori e attuatori a controllo remoto, in grado di gestire in maniera attiva i flussi evolvanti nei diversi rami della rete. Per le nuove realizzazioni, come meglio descritto nel Capitolo 6, questi provvedimenti potranno essere integrati con ulteriori prescrizioni, relative ai tempi di ritorno critici da considerare nella progettazione.

Le reti esistenti dovrebbero, quindi, *essere viste come reti dinamiche*, nelle quali i flussi dei singoli collettori siano gestiti unitariamente, sì da ottenere un deflusso sostanzialmente costante. Questo controllo potrà essere garantito da sensori avanzati a controllo remoto e da dispositivi di tipo mecatronico, che consentano di aumentare o laminare la portata dei diversi rami.

L'intervento di adattamento dovrebbe completarsi con l'implementazione in tutta la rete di un sistema GIS integrato, che interfacciandosi con i radar meteorologici, nonché con le stazioni meteo e la rete pluviometrica relativi all'area interessata, sia in grado di registrare in tempo reale gli eventi estremi sui bacini imbriferi di competenza dei singoli rami. Questi dati, elaborati in tempo reale con modelli di simulazione appositamente studiati e calibrati, potranno fornire i valori di soglia rappresentativi dei diversi scenari ipotizzabili, al fine di attivare le necessarie procedure d'intervento.

5.7 Progettazione, gestione e ciclo di vita utile delle infrastrutture

Le considerazioni circa i metodi di determinazione dei valori di riferimento delle azioni climatiche forniti nelle normative esistenti già richiamate in precedenza sono valide, a maggior ragione, anche in riferimento alla progettazione e alla gestione delle infrastrutture dal punto di vista strutturale, e alla loro durabilità. Le modalità con le quali tener conto degli effetti del cambiamento climatico sui valori di riferimento delle azioni sono uno degli aspetti considerati nel Mandato M/515 della Commissione Europea al CEN per la revisione degli Eurocodici strutturali in seno al comitato tecnico CEN/TC250 (EC, 2012a) (CEN, 2013).

Questo aspetto è particolarmente rilevante se si considera che le mappe attuali delle azioni climatiche per la progettazione, neve (Eurocodice EN1991-1-3), vento (Eurocodice EN1991-1-4) e temperatura (Eurocodice EN1991-1-5), elaborate nell'ipotesi di stazionarietà del clima, risultano non aggiornate con gli ultimi periodi di osservazione e trascurano gli effetti del cambiamento (Croce et al., 2021).

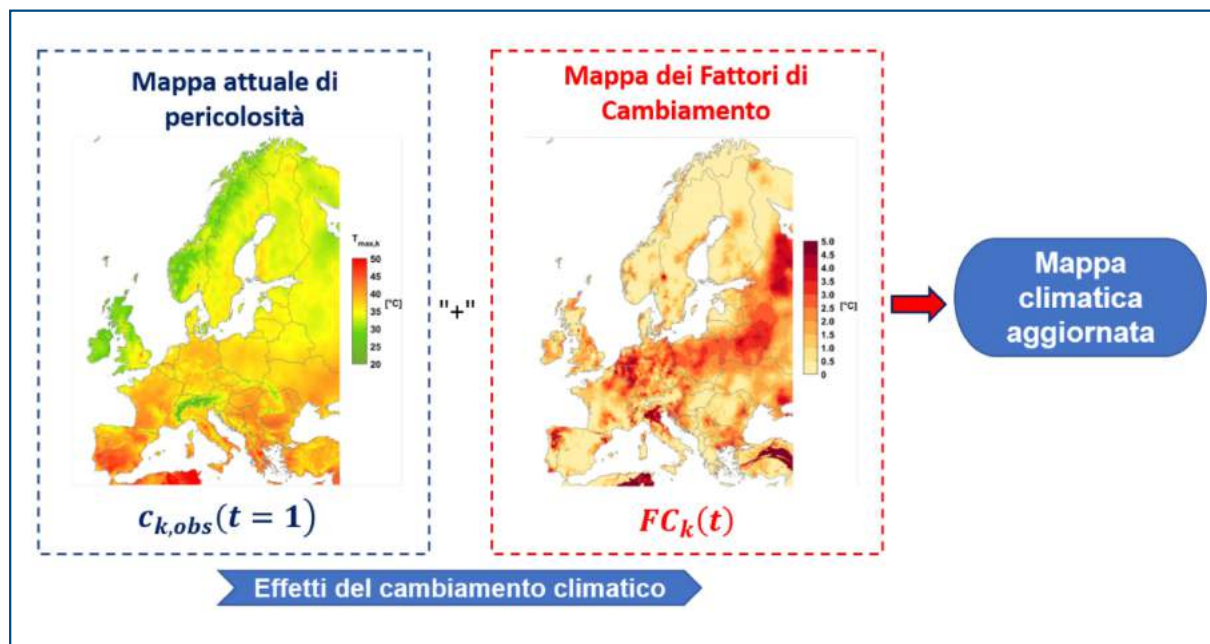
Possibili strategie di adattamento, quale quella proposta in (Croce et al., 2019), sono oggetto di discussione nel CEN/TC250. Tali strategie sono fondamentalmente basate sui cosiddetti fattori di cambiamento, che consentono di correlare i valori rappresentativi attesi nel "futuro" con quelli dedotti dalle misurazioni effettive disponibili finora. Questi fattori di cambiamento sono ricavati dall'elaborazione dei dati di previsione dei modelli climatici per le variabili indagate e sono espressi in termini di rapporto o di differenza tra il valore rappresentativo futuro e quello "storico". Per tutte le variabili esprimibili in termini assoluti (vento, neve, precipitazione), i fattori di cambiamento sono espressi come rapporti; fa eccezione la temperatura, le cui variazioni sono valutate come differenze (Athanasopoulou et al., 2020).

I fattori di cambiamento di una data regione possono essere sintetizzati in mappe in scala opportuna, le quali consentono di aggiornare i valori dedotti dalle osservazioni storiche. Alcuni esempi relativi all'Italia per le diverse variabili climatiche (temperatura massima e minima, precipitazione, carico neve al suolo e velocità del vento), ottenuti a partire dai dati forniti dal progetto EURO-CORDEX (<https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>), sono riportati in (Croce et al., 2019).

Un esempio di procedura di adattamento relativa al valore cinquantennale della temperatura massima in Europa è illustrata nella Figura 9, e può essere così sintetizzata:

- raccolta dei dati per la variabile climatica indagata forniti dai diversi modelli climatici ad alta risoluzione, disponibili per il territorio indagato nel periodo storico e futuro;
- analisi dei valori estremi delle proiezioni climatiche in opportune finestre temporali, scelte in modo da essere coerenti con l'attuale definizione della mappa di pericolosità. In generale, si potrà fare riferimento a finestre temporali di circa 40 anni, traslate di 10 anni a partire dal periodo di osservazione su cui si basa la mappa attuale di pericolosità.;
- i valori di riferimento della variabile climatica, ottenuti dall'analisi dei valori estremi nelle successive finestre temporali, saranno confrontati per valutare i fattori di cambiamento previsti rispetto alla prima finestra temporale;
- l'inviluppo dei fattori di cambiamento potrà essere rappresentato in una apposita mappa che fornirà le indicazioni sulle zone per le quali è previsto un incremento dei livelli di hazard e sarà necessario quindi un aggiornamento/adattamento dei valori di riferimento forniti dall'attuale mappa di pericolosità.

Figura 9: Strategia di aggiornamento delle mappe delle azioni climatiche. Sulla sinistra è riportata la mappa della temperatura massima giornaliera in [°C] ottenuta dall'analisi delle osservazioni, mentre sulla destra la mappa dei fattori di cambiamento (ΔT in [°C]) da utilizzare per l'aggiornamento.



Per la progettazione "*climate proofing*" di strutture ed infrastrutture, le misure di adattamento al cambiamento climatico che si rendono necessarie dovranno prevedere:

- In primo luogo, l'aggiornamento delle mappe di pericolosità delle azioni climatiche, in modo da tenere conto degli ultimi periodi di osservazione. La definizione delle nuove mappe potrà avvalersi dei datasets di osservazioni recentemente messi a disposizione a livello Europeo, come ad esempio quelli contenuti nella piattaforma Copernicus Data Store (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>).
- In secondo luogo, la valutazione degli impatti futuri del cambiamento climatico sui valori caratteristici dell'azione. Tale valutazione potrà avvenire a partire dall'analisi dei valori estremi delle proiezioni climatiche in finestre temporali successive e definendo gli opportuni fattori di cambiamento con riferimento al periodo di osservazione. Laddove si prevedano incrementi dei valori di riferimento per le azioni climatiche, per mantenere nel tempo i livelli di affidabilità richiesti alle strutture ed infrastrutture di nuova progettazione, si dovranno applicare i fattori di cambiamento ottenuti alle mappe di pericolosità.

5.8 Benefici sociali ed economici

Quando ci si riferisce ai benefici dell'adattamento ai cambiamenti climatici, in cui la resilienza delle infrastrutture rientra a pieno titolo, si parla spesso di "triplo dividendo". Il primo è la riduzione del danno generato dagli eventi collegati al cambiamento climatico, il secondo è relativo al potenziale effetto espansivo degli investimenti in adattamento sul sistema economico, il terzo sono gli ulteriori benefici sociali e/o ambientali che ne possono derivare (GCA/WRI, 2019).

Ma a quanto ammontano gli investimenti in adattamento necessari ad azzerare o almeno minimizzare gli effetti negativi del cambiamento climatico sulle infrastrutture in Italia? Sia a livello europeo, sia a livello nazionale è difficile stimare il fabbisogno di investimenti in adattamento. Non esistono stime affidabili nemmeno di quanto oggi si spenda per la prevenzione dei danni da cambiamento climatico. Anche il recente Adaptation Gap Report dell'UNEP non riesce a quantificare il fabbisogno di investimenti in adattamento. Stime contenute nell' "Investment and Financial Flows to Address Climate Change" dell'UNFCC indicano in 6997 miliardi di dollari la spesa addizionale in "adattamento agli impatti avversi dei cambiamenti climatici" nei paesi sviluppati fino al 2030, di cui 4960 miliardi in infrastrutture. Una stima approssimativa (essendo il peso dell'Italia sul totale del PIL dei paesi OCSE pari al 4%) indica in 12 miliardi da qui al 2030 il fabbisogno totale per l'Italia di cui 10 miliardi in infrastrutture.

Altre stime indicano che per l'Italia, tenendo conto solo dei cambiamenti climatici previsti al 2030-2040 nello scenario RCP 4.5, gli investimenti da sostenere per l'adattamento (per evitare i danni diretti da cambiamento climatico) sarebbero pari a circa 8 miliardi di euro, più un costo operativo e di manutenzione annuale di 604 milioni di euro. Ciò, tuttavia, renderebbe le infrastrutture resilienti al clima solo fino al 2040. Gli investimenti in misure di adattamento necessari per far fronte ai cambiamenti climatici anche nel medio termine (fino al 2070), cioè un orizzonte temporale più coerente con la vita economica utile di un'infrastruttura, ammonterebbero ad un costo di capitale iniziale di quasi 24 miliardi di euro, e un costo operativo e di manutenzione annuale di 924 milioni di euro. Le stime degli investimenti in adattamento si riducono di molto al 2050 nel caso in cui le misure di decarbonizzazione riuscissero a contenere l'incremento di temperatura media globale al di sotto dei 2 gradi. In modo molto approssimato, potremmo quindi stimare in un miliardo all'anno il fabbisogno per le sole infrastrutture fino al 2030. E in circa 2 miliardi all'anno il fabbisogno dal 2030 al 2050.

Quali sono i benefici economici che tali investimenti produrrebbero? Le prossime sezioni forniranno una valutazione quantitativa di questi benefici, nella logica del "triplo dividendo" menzionata sopra.

5.8.1 I danni evitati

Il Capitolo 4 del rapporto, al quale si rimanda, ha presentato una dettagliata disamina dei danni economici diretti ai quali la dotazione infrastrutturale del Paese può essere soggetta a causa del cambiamento climatico e delle conseguenze che possono derivare a cascata sull'attività economica e il PIL Italiano. Le sue principali conclusioni relativamente al valore economico dei danni da cambiamento climatico sulle infrastrutture possono essere così riassunte.

Nel periodo 1981-2010, il valore annuale del danno diretto sulle infrastrutture complessivo per l'Italia è stato in media di 0.42 miliardi di euro all'anno. Tale valore è in forte aumento e si prevede ammonterà a circa 2 miliardi di euro nel periodo 2020-2030, fino a raggiungere circa 5 miliardi di euro all'anno nel periodo 2040-2050 nello scenario RCP 4.5 (si veda il Capitolo 4 per una analisi dettagliata).

Questa è l'entità dei danni generati dal cambiamento climatico sulle infrastrutture che, in assenza di mitigazione, un adeguato **piano di adattamento e resilienza delle stesse potrebbe evitare**, se non completamente almeno in gran parte.

Il maggior aumento dei danni economici è previsto per il settore dei trasporti, per il quale il danno si prevede raggiungerà 1.08 e 2.80 miliardi di euro all'anno (corrispondenti ad una crescita relativa del 736% e 1916%) rispettivamente negli anni 2020 e 2050. Una tendenza analoga può essere osservata per il settore energia, per il quale l'attuale EAD di 0.04 miliardi di euro l'anno dovrebbe raggiungere 0.57 miliardi di euro all'anno (un aumento del 1325%) nel 2050. Per l'industria, si stima che il danno complessivo raggiunga 1.79 miliardi di euro all'anno nel 2050, pari a un aumento del 678%.

Quelli evidenziati non sono i danni complessivi causati dai cambiamenti climatici in Italia, ma soltanto quelli indotti sulle infrastrutture in modo diretto. Il Capitolo 4 evidenzia inoltre che gran parte di questi danni riguarderanno le regioni meridionali del paese. La percentuale di riduzione del PIL indotta in queste regioni dai cambiamenti climatici in corso sarà ben più elevata del valore medio nazionale.

Il danno alle infrastrutture ha però anche delle ripercussioni sistemiche, sull'insieme dell'attività economica del paese. Tenendo conto di questi ulteriori impatti, il valore del danno complessivo circa raddoppia. **Nel periodo 2020-2030 la stima del danno legato alle infrastrutture è di circa 2.3 - 8.7 miliardi di euro (tra lo 0.1-0.4% del PIL medio) nello scenario RCP 4.5. Nel 2050, la perdita ammonterebbe a circa 11.5 - 18 miliardi di euro (0.33-0.55% del PIL nel 2050, stesso scenario).** Si tratta quindi di una frazione del danno complessivo da cambiamento climatico nel paese, stimato nel Capitolo 3 tra il 2% e il 2.5% del PIL nel 2050 nello scenario RCP 4.5 in assenza di adeguate misure di adattamento e di una efficace e rapida strategia di mitigazione.

Da notare che queste valutazioni di impatto diretto forniscono una stima per difetto in quanto elementi quali l'interruzione nell'erogazione dei servizi (ad esempio quelli di trasporto, energetici, distribuzione, etc.) non vengono completamente catturati dall'approccio modellistico utilizzato nel Capitolo 4.

Questa comunque è l'entità del primo dividendo, cioè quella dei danni generati dal cambiamento climatico sulle infrastrutture che un adeguato **piano di adattamento e resilienza delle stesse potrebbe evitare**, se non completamente almeno in gran parte. Danni che comunque, come detto, sarebbero largamente ridotti se lo sforzo di mitigazione (riduzione dei gas serra) a livello nazionale e mondiale riuscisse effettivamente a contenere l'aumento di temperatura al di sotto dei 2 gradi centigradi (si veda il Capitolo 6 per quanto riguarda le misure di mitigazione). Adattamento e mitigazione sono quindi strettamente interconnessi ed inversamente correlati. **Il successo (insuccesso) degli investimenti in mitigazione riduce (aumenta) la necessità di investimenti in adattamento.**

La capacità effettiva dell'adattamento di ridurre il danno deriva da un'accorta pianificazione e da una tempestiva realizzazione, e varia a seconda del tipo di intervento, delle caratteristiche dell'infrastruttura impattata e del tipo di stress climatico al quale la struttura è soggetta. Ogni intervento è quindi caratterizzato da uno specifico rapporto tra benefici e costi difficilmente generalizzabile.

Uno degli interventi infrastrutturali più studiato, quello della protezione costiera contro l'innalzamento del livello del mare e l'erosione. Alcune stime degli investimenti necessari ad adattare le infrastrutture costiere del Paese ai cambiamenti climatici futuri vengono proposte dai progetti PESETA IV (Vousdoukas et al., 2020) e COACCH (Lincke et al 2020). Secondo il primo studio, l'adeguamento infrastrutturale che, in base ad una valutazione costi benefici dovrebbe intervenire su circa il 45% delle coste italiane, comporterebbe un costo annuale di circa 137 milioni di €/anno, se lo scenario fosse uno a basse emissioni e di quasi 189 milioni di €/anno se lo scenario contemplato fosse invece ad alte emissioni. Il progetto COACCH, partendo da stime di rischiosità climatica per le coste Italiane più elevato, conclude che la spesa annuale in protezione costiera dovrebbe incrementare sino a circa 424 milioni di € al 2050 in uno scenario

climatico compatibile con un aumento di temperatura di 2°C. Entrambi gli studi concordano sul fatto che gli investimenti in protezione costiera abbiano un rapporto benefici costi molto elevato: un fattore tra 6 e 6.9 calcolato rispetto ai costi evitati secondo PESETA IV e addirittura superiore a 100 secondo COACCH.

Altro esempio viene fornito dagli investimenti in prevenzione dei danni da eventi di inondazione fluviale collegati al clima che cambia, analizzati da Dottori et al. (2020). Quattro tipi di intervento vengono presi in considerazione: rafforzamento di argini e dighe fluviali, creazione di zone buffer per il contenimento delle piene, miglioramento della resilienza degli edifici alle inondazioni, ricollocamento delle attività a rischio. Lo studio stima che l'investimento medio annuale calcolato sul periodo 2020-2100 per ciascun tipo di intervento dovrebbe ammontare rispettivamente a 243, 215, 85 e 208 milioni di € in risposta ad uno scenario di aumento di temperatura di 2°C e rispettivamente a 380, 306, 131 e 171 milioni di € in risposta ad uno scenario di aumento di temperatura di 3°C. Il rapporto benefici costi di questi interventi va da un quoziente leggermente superiore a 1 nel caso del ricollocamento ad uno di quasi 6 nel caso degli interventi sugli edifici.

Allo stato, si segnala però come non esistano ancora studi organici specifici per l'Italia che quantifichino in modo dettagliato, per tipologia di infrastruttura, il rapporto costi-benefici dell'adeguamento alle mutate condizioni climatiche. Un censimento più dettagliato migliorerebbe senz'altro in modo significativo le capacità di indirizzo della spesa in adattamento e resilienza delle infrastrutture.

5.8.2 I benefici macroeconomici di una strategia di adattamento

Come detto, il secondo dividendo, si riferisce agli effetti espansivi in termini di PIL e occupazione dell'investimento infrastrutturale, aggiuntivi rispetto al danno evitato.

Secondo il rapporto Adapt Now (GCA/WRI, 2019), **un euro speso in resilienza climatica delle infrastrutture produrrebbe benefici complessivi pari a quasi 5 euro**, sottolineandone il forte effetto moltiplicativo.

Una stima più precisa per l'Italia è proposta dal PNRR stesso e sviluppata nell'ambito dell'analisi macroeconomica fornita dal MEF. Il potenziamento delle infrastrutture, in particolare sulla base delle soluzioni proposte nel capitolo 5, è trasversale a più "Missioni" caratterizzanti il Piano a riprova della sua importanza strategica per il Paese. La missione: "digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo", che conta un totale di 40.3 miliardi di euro, prevede ad esempio 0.9 miliardi di euro per lo sviluppo di infrastrutture digitali nella PA e 6 miliardi di Euro per lo sviluppo delle reti super veloci.

Il volume delle risorse da destinare all'adeguamento e sviluppo infrastrutturale ha peso ancora maggiore nell'ambito della Missione 2: "rivoluzione verde e transizione ecologica" assorbendo più della metà dei fondi ivi destinati. Sul totale di 59.47 miliardi di Euro, infatti, 1,5 miliardi sono destinati alla gestione e miglioramento impianti nel ciclo dei rifiuti (sotto-missione: "economia circolare e agricoltura sostenibile"), 4.11 miliardi sono destinati al potenziamento e digitalizzazione delle infrastrutture di rete energetica (500 milioni alla loro climate-resilience), 8 alla sostenibilità del trasporto locale (sotto-missione: "energia rinnovabile idrogeno rete e mobilità sostenibile") e praticamente la totalità dei 15,36 miliardi di Euro destinati all'efficienza energetica e alla riqualificazione degli edifici" presuppone un investimento infrastrutturale. Infine, ulteriori 13 miliardi sono impegnati tra prevenzione e contrasto degli effetti dei cambiamenti climatici sul dissesto idro-geologico (8.49) e interventi di miglioramento della rete idrica (4.38).

Gli effetti espansivi sul PIL di questi interventi, in cui come visto la componente infrastrutturale è preponderante, sono stimati **in un complessivo +0.7% nel periodo 2024-2026**, rispetto allo scenario di riferimento (senza cioè intervento) e quelli **sull'occupazione sono stimati essere +0.8%**. Gli effetti sul PIL

oscillano tra il +0.4% attribuito agli interventi in ambito di “energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile”, e il +0.1% negli altri casi. L’effetto positivo sull’occupazione più alto, +0.3%, è ancora una volta associato agli interventi in campo di “energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile”.

L’investimento nello sviluppo di infrastrutture ha un ruolo di primaria importanza anche all’interno della Missione 3: “infrastrutture per una mobilità sostenibile” che impegna i suoi 25.4 miliardi di euro soprattutto in investimenti nella rete ferroviaria e in parte per lo sviluppo di intermodalità logistica integrata. Si stima che questo investimento, volto sia alla costruzione di capitale fisico, che ad importanti azioni di miglioramento di efficienza gestionale, possa indurre **un effetto di espansione complessivo del PIL pari all’1.2% nell’intero periodo 2021-2026, dello 0.3% in media annua nel periodo 2024-2026, rispetto allo scenario di riferimento**. Nello stesso periodo, su base annua, l’aumento occupazionale rispetto allo scenario di riferimento è stimato allo +0.2%.

Al miglioramento delle infrastrutture vengono assegnati circa 13 miliardi di Euro su di un totale di circa 31 in campo di potenziamento dell’offerta e dei servizi di istruzione nella Missione 4: “istruzione e ricerca”. L’effetto espansivo sul PIL e sull’occupazione dell’investimento in questo campo (in cui le infrastrutture sono solo una componente) è stimato in un +0.5% su base annua nel periodo 2024-2026, rispetto allo scenario di riferimento.

In sintesi, utilizzando questi valori, gli investimenti di miglioramento delle infrastrutture, se realizzati rapidamente, potrebbero evitare danni pari a 0.1-0.4% del PIL già in questo decennio (si veda il Capitolo 4) e produrre un impatto macroeconomico positivo stimato prudenzialmente a 0.2-0.3% del PIL. **Il beneficio economico annuo complessivo sarebbe di 0.3-0.7% del PIL** (media annua nel decennio). **Il beneficio al 2050 è leggermente più rilevante: 0.4-0.8% del PIL annuo**, dovuto alla crescita del danno evitato.

5.8.3 I benefici sociali e ambientali

Più complicato è stimare i benefici ambientali o sociali, come riduzione della disuguaglianza, più alta qualità della vita etc. (terzo dividendo) degli interventi. Si può argomentare in modo qualitativo che la riduzione degli impatti negativi del cambiamento climatico costituisca di per sé una spinta alla riduzione delle disuguaglianze, dato che tali impatti risultano più nocivi per gli appartenenti ai gruppi sociali più svantaggiati (individui o famiglie a più basso reddito o livello di istruzione, si veda il Capitolo 3) o alle regioni meno sviluppate.

Secondo un recente rapporto dell’OCSE (OECD, 2021), una maggiore resilienza implicherebbe minori rischi di perdite finanziarie a seguito di eventi climatici estremi, che sono generalmente più gravi per gli individui a più basso reddito. Questi infatti hanno un portafoglio di attività finanziarie meno differenziato e minore accesso a meccanismi assicurativi. Una situazione tipica, ad esempio, è quella che vede soggetti con redditi più bassi “immobilizzare” una quota superiore delle loro risorse all’acquisto di una proprietà, con maggior rischio di perdita della totalità della loro ricchezza in caso di disastri naturali. Anche il miglioramento dell’efficienza energetica e la riqualificazione degli edifici possono essere di maggior beneficio per alcune categorie “fragili” della popolazione, come le persone anziane, che sono più esposte a rischi per la salute da temperature estreme e che necessitano maggiormente l’utilizzo di condizionatori e riscaldamento.

Ulteriore esempio è fornito da alcuni tipi di miglioramento della resilienza attraverso “soluzioni naturali” come le aree verdi in città, che sarebbero di maggiore beneficio per le persone a più basso reddito, che generalmente abitano in zone a densità urbana più alta (OECD, 2020a).

Più in generale, una riduzione dei rischi climatici implicherebbe una maggiore stabilità finanziaria e un'economia più solida. Il che sarebbe vantaggioso per tutti quanti, ma in particolare per persone più povere e quindi più esposte ai rischi sistemici dei cambiamenti climatici (OECD, 2020b).

I benefici per la salute derivanti da una transizione a un sistema infrastrutturale più resiliente sono anch'essi notevoli. L'Italia è uno dei paesi a rischio più alto di mortalità da ondate di calore (Guo et al. 2014). Un esempio di questa fragilità è fornito dall'estate del 2015 in cui l'aumento delle morti attribuite al caldo tra gli over 65 è aumentato del 13% (Michelozzi et al. 2016). Tale fragilità è destinata ad aumentare, visto l'aumento atteso delle temperature e l'invecchiamento della popolazione (a metà secolo si stima che un italiano su 3 avrà più di 65 anni).

Studi recenti dimostrano inoltre un effetto di rinforzo fra ondate di calore e inquinamento atmosferico, con i decessi da inquinamento che aumentano durante le ondate di calore e viceversa (Pascal et al. 2021). Città meno inquinate avranno significativi benefici sulla salute. Le politiche previste attualmente potrebbero portare a quasi un dimezzamento delle morti da particolato nei prossimi 10 anni, dalle circa 60.000 attuali alle 35.000 previste (Piersanti et al. 2021). Questo avrebbe significativi benefici sociali ed economici, stimati al 2030 in circa 30 miliardi di euro, pari a quasi il 2% del Prodotto Interno Lordo (Piersanti et al. 2021). I benefici economici saranno concentrati nel bacino del Po, ma anche altre regioni come Campania, Lazio e Toscana avrebbero benefici pari o superiori al 1% del PIL. Da sottolineare tuttavia che questi benefici vanno condivisi con le misure di mitigazione, per evitare double counting.

Anche questi benefici tenderanno a diluirsi nel lungo periodo. Tuttavia permettono di affermare che i benefici di investimenti di adattamento sono probabilmente molto rilevanti nel breve periodo soprattutto per gli impatti sulla salute (si vedrà una conclusione analoga anche nel Capitolo 6) e per lo stimolo macroeconomico indotto dagli investimenti. Nel lungo periodo prevalgono invece i benefici derivanti dall'aver evitato una quota rilevante dei danni diretti e indiretti provocati dai cambiamenti climatici.

Conclusioni

Il capitolo ha messo in luce come sia possibile **gestire in modo efficace le infrastrutture esistenti per renderle più resilienti ai cambiamenti climatici, e quali strategie di adattamento possano essere messe in campo** alla luce degli impatti che su tali infrastrutture hanno gli eventi climatici estremi evidenziati nel Capitolo 4.

Per fare ciò in modo aderente alle direttive europee sul tema, le analisi sono state condotte nel solco della EU Adaptation Strategy, di cui si sono esplicitate le indicazioni relative alle modalità di progetto, attuazione e monitoraggio delle azioni, che valgono per tutti gli ambiti e le tipologie di infrastrutture trattati nel rapporto.

Nel corso del capitolo, pur al variare delle infrastrutture via via considerate, sono emersi alcuni temi ed alcune buone prassi trasversali, che riprendiamo qui brevemente in modo sintetico.

Prima di tutto si evidenzia come le azioni che richiedono modifiche e interventi strutturali (dette, in accordo con la tassonomia europea, interventi *hard* o *grey*) vadano sempre accoppiate ad una attenta disamina delle possibili soluzioni *green*, che utilizzano la natura e gli specifici ecosistemi come alleati nella lotta al cambiamento climatico ed intervengono su di essi per potenziarne la capacità di tenuta e per impiegarli in modo sinergico alle infrastrutture stesse. Queste soluzioni "nature-based" sono interessanti in quanto quasi sempre di tipo "no regret", perché portano benefici al territorio che hanno un ritorno positivo indipendentemente dalla specifica traiettoria climatica futura.

Fil-rouge del progetto, realizzazione e monitoraggio di tutte le azioni proposte è lo *sviluppo di tecnologie digitali di supporto* che abilitino una raccolta di informazioni capillare, consistente e ripetibile, strumentando opportunamente le infrastrutture perché trasmettano dati che, opportunamente elaborati, consentano di conoscerne lo stato e l'evoluzione. La creazione di una base dati che metta a fattor comune queste informazioni e ne consenta l'elaborazione lungo diverse direzioni (es. la creazione di gemelli digitali delle infrastrutture stesse; il calcolo degli indicatori di efficienza; la mappatura dell'utilizzo, ecc.) è un altro punto fermo di vitale importanza, così come il supporto alle attività di ricerca che consentano di usare tali dati in ottica predittiva integrandoli con gli scenari climatici e socio-economici via via aggiornati, per dare strumenti innovativi data-driven per la definizione, la valutazione e l'aggiustamento delle politiche di supporto all'adattamento e alla mitigazione descritte nel Capitolo 7.

A livello organizzativo e gestionale, per pianificare e attuare misure per la resilienza e l'adattamento è emersa la rilevanza di alcuni processi fondamentali, anch'essi validi per tutte le infrastrutture considerate:

- **Il coinvolgimento attivo e partecipativo di tutti gli stakeholder, compresi i cittadini** al fine di rendere gli effetti della variabilità e del cambiamento climatico parte dei processi decisionali comuni. Gli attori sopra indicati dovranno essere coinvolti sia nella valutazione degli impatti, sia nella pianificazione, sviluppo e attuazione delle misure di adattamento.
- **La promozione di azioni di resilienza e adattamento coordinate e integrate tra diverse strutture politiche e decisionali pubblico/private.** Molte infrastrutture di tipo diverso sono di proprietà e/o gestite da attori privati, tuttavia le autorità pubbliche svolgono un ruolo fondamentale nel fornire i quadri regolatori, normativi e politici appropriati per facilitare un ambiente favorevole che promuova l'adattamento ai cambiamenti climatici.
- **La pianificazione di azioni di valutazione/impatto dei rischi che abbiano adeguati contorni spazio-temporali e siano specifiche per le diverse tipologie di evento climatico estremo.** Le valutazioni su scala globale possono informare lo sviluppo di politiche e regolamenti di adattamento cross-nazionali; quelle su scala nazionale e/o regionale possono aiutare nella pianificazione delle politiche di

adattamento complessivo del Paese e migliorare l'efficienza dell'allocatione delle risorse umane ed economiche disponibili. Le valutazioni a livello di struttura locale, infine, sono necessarie per supportare il processo decisionale sul campo e la progettazione delle misure di adattamento necessarie delle infrastrutture specifiche.

- **Lo sviluppo e la manutenzione di piani di valutazione del rischio quantitativi e costantemente aggiornati.** Le valutazioni dei rischi delle infrastrutture di trasporto costiero consistono in diverse valutazioni costitutive. In primo luogo, *le valutazioni dei rischi climatici indotti dal cambiamento dei fattori climatici*. In secondo luogo, *le valutazioni dell'esposizione delle infrastrutture e delle operazioni presenti nelle zone a rischio*. Infine, *le valutazioni delle vulnerabilità che rendono gli asset suscettibili di danni e perdite*. Sulla base di tali valutazioni del rischio è possibile determinare la probabilità di un evento climatico dannoso e la gravità dei suoi impatti. L'urgenza delle risposte di adattamento può essere definita *come il rapporto tra il tempo necessario per pianificare e attuare una risposta efficace e il tempo a disposizione prima del manifestarsi dell'evento atteso*.
- **La creazione di centri di competenza multidisciplinare e multi-stakeholder.** In particolare, per un'efficace valutazione del rischio e una pianificazione dell'adattamento, sono necessari inventari delle infrastrutture, dati ad alta risoluzione ed una migliore comprensione delle traiettorie evolutive determinate dalle dinamiche del cambiamento climatico, unitamente e studi tecnici dettagliati a livello di singola infrastruttura. Allo stesso tempo, le aziende - specie le PMI - e i singoli cittadini, devono essere formati per poter svolgere un ruolo attivo e informato, necessario a rendere capillare e condiviso anche quel cambiamento dei comportamenti singoli che è chiave per il successo delle politiche di adattamento e mitigazione sulla scala necessaria al raggiungimento degli obiettivi europei e mondiali.

Il capitolo ha mostrato che gli investimenti necessari per agire in modo efficace su resilienza e adattamento è pari a circa 1 miliardo di euro all'anno fino al 2030 nello scenario "business as usual". Questo impegno potrebbe portare a contrastare una buona parte dei danni previsti per le infrastrutture sullo stesso periodo, ad un costo che è circa cinque volte inferiore rispetto al danno evitato, evidenziando così la convenienza anche economica di queste azioni.

Un piano di adattamento, peraltro, ha anche una serie di benefici indiretti, legati sia allo stimolo alla crescita che gli investimenti vanno a generare, sia ai co-benefici in termini di minori impatti sulla salute (ad esempio di ondate di calore, danni correlati alla qualità dell'aria) e minore disuguaglianza sociale.

La costituzione di un **Fondo Nazionale per l'Adattamento al Cambiamento Climatico** sembra quindi essere non solo un dovere per la tutela di popolazioni e insediamenti urbani e produttivi, ma anche un'ottima opportunità di crescita economica. Peraltro, il necessario *coinvolgimento dei cittadini nella co-decisione degli interventi di adattamento e resilienza* è anche un modo per creare consapevolezza e generare consenso sulle misure di mitigazione e di politica climatica generale.

Sottolineiamo ancora, in chiusura del capitolo, come le misure di adattamento al cambiamento climatico siano indispensabili per far fronte agli impatti climatici dei prossimi tre decenni, quando ancora non saranno tangibili gli effetti di una strategia di decarbonizzazione; essi, pertanto non sostituiscono ma si affiancano agli investimenti per la riduzione delle emissioni di gas serra, la cui discussione dettagliata negli ambiti delle infrastrutture e della mobilità è oggetto del capitolo successivo.

Bibliografia

- ACI (2018). Policy Brief: Airports' Resilience and Adaptation to a Changing Climate. September 2018.
- ACI Resolution 3/2018, <https://aci.aero/news/2018/06/22/28th-aci-world-annual-general-assembly-passes-six-resolutions-to-support-world-airports-priorities-and-interests/>
- ACRP (2015). Report 147: Climate Change Adaptation Planning: Risk Assessment for Airports. U. S. National Academy of Sciences.
- Alvisi, S., C. Luciani, and M. Franchini (2019). "Using water consumption smart metering for water loss assessment in a DMA: a case study." *Urban Water Journal* 16, no. 1: 77-83.
- Anghileri, D., N. Voisin, A. Castelletti, F. Pianosi, B. Nijssen, e D.P. Lettenmaier (2016). Value of long-term streamflow forecasts to reservoir operations for water supply in snow-dominated river catchments, *Water Resources Research*, 52, 4209-4225.
- Anghileri, D., S. Monhart, C. Zhou, K. Bogner, K., A. Castelletti, P. Burlando, e M. Zappa (2019). The value of sub-seasonal hydrometeorological forecasts to hydropower operations: How much does preprocessing matter?, *Water Resources Research*, 55.
- Armbrust M., A. Fox, R. Griffith, A. D. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica, e M. Zaharia (2010). "A view of cloud computing," *Communications of the ACM*, vol. 53, no. 4, pp. 50-58, April 2010.
- Arnal, L., Cloke, H. L., Stephens, E., Wetterhall, F., Prudhomme, C., Neumann, J., Krzeminski, B., and Pappenberger, F. (2018). Skillful seasonal forecasts of streamflow over Europe?, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 2057-2072, <https://doi.org/10.5194/hess-22-2057-2018>.
- Athanasopoulou, A., Sousa, M.L., Dimova, S., Rianna, G., Mercogliano, P., Villani, V., Croce, P., Landi, F., Formichi, P., Markova, J. (2020). Thermal design of structures and the changing climate, EUR 30302 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-20776-4, doi:10.2760/128894, JRC121351.
- Azarkamand, S.; Wooldridge, C.; Darbra, R.M. (2020) Review of Initiatives and Methodologies to Reduce CO2 Emissions and Climate Change Effects in Ports. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 3858. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113858>
- Balaji S., K. Nathani, e R. Santhakumar, (2019). "IoT Technology, Applications and Challenges: A Contemporary Survey", in *Wireless Pers Commun* vol 108, pp 363-388.
- Beard, A. N. (2010). Tunnel safety, risk assessment and decision-making. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25(1), 91-94.
- Bjerkkan K. Y. e Seter H. (2019). Reviewing tools and technologies for sustainable ports: Does research enable decision making in ports?, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 72, Pages 243-260, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.05.003>.
- Bonjean Stanton, M. C., Dessai, S. e Paavola, J. (2016). A systematic review of the impacts of climate variability and change on electricity systems in Europe. *Energy* 109, 1148-1159.
- BSR (2018), Climate + Supply chain - The business case for action, https://www.bsr.org/reports/BSR_Climate_and_Supply_Chain_Management.pdf
- Buizza, R. e Richardson, D., (2017). 25 years of ensemble forecasting at ECMWF, *ECMWF newsletter*, 153, 20-31, DOI 10.21957/bv418o
- Buizza, R. e Leutbecher, M. (2015). The forecast skill horizon. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 141: 3366-3382. <https://doi.org/10.1002/qj.2619>
- Cantoni M. e Mareels I. (2020). Demand-Driven Automatic Control of Irrigation Channels. In: Baillieul J., Samad T. (eds) *Encyclopedia of Systems and Control*. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5102-9_100100-1Cantoni.
- (CEN) European Committee for Standardization. CEN/TC250—Response to Mandate M/515—Towards a Second Generation of Eurocodes; CEN-TC250—N993; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2013.
- Cerin C., C. Coti, P. Delort e F. Diaz, (2013). "Downtime statistics of current cloud solutions," *Tech. Rep.*, June 2013.
- Chamola V. e Sikdar B., (2016). "Solar powered cellular base stations: current scenario, issues and proposed solutions," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 108-114, May 2016.

- City and Port of San Francisco (2016). San Francisco Storm Water Management Requirements and Design Guidelines.
- City of Chicago (2016). City of Chicago - Stormwater Management Ordinance Manual.
- Clemmens A., (2017). Special Issue on Canal Automation Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 143(3), B2017001.
- Climate-ADAPT: *Adaptation Support Tool*.
- Colman-Meixner C., C. Develder, M. Tornatore e B. Mukherjee (2016). "A Survey on Resiliency Techniques in Cloud Computing Infrastructures and Applications," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 2244-2281.
- Comes T., M. Warnier, W. Feil e B. Van de Walle (2020). "Critical Airport Infrastructure Disaster Resilience: A Framework and Simulation Model for Rapid Adaptation" Journal of Management in Engineering. Vol. 5, n. 6, DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000798
- Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A. e Rizzoli, A. E. (2015). Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review. *Environmental Modelling & Software*, 72, 198-214.
- Cominola, Andrea, Matteo Giuliani, Andrea Castelletti, Piero Fraternali, Sergio Luis Herrera Gonzalez, Joan Carles Guardiola Herrero, Jasminko Novak e Andrea Emilio Rizzoli (2021). "Long-term water conservation is fostered by smart meter-based feedback and digital user engagement." *npj Clean Water* 4, no. 1: 1-10.
- Conde Gregory, Quijano Nicanor, Ocampo-Martinez Carlos (2021). Modeling and control in open-channel irrigation systems: A review, *Annual Reviews in Control*, Volume 51, 2021, Pages 153-171
- Cox, S., Hotchkiss, E., Bilello, D., Watson, A. e Holm, A. (2017). Bridging Climate Change Resilience and Mitigation in the Electricity Sector Through Renewable Energy and Energy Efficiency. <https://www.climatelinks.org/resources/bridging-climate-change-resilience-and-mitigation-electricity-sector-through-renewable>.
- Croce, P., Formichi, P., Landi, F. (2021). Evaluation of current trends of climatic actions in Europe based on observations and regional reanalysis. *Remote Sensing*, 2021, 13, 2025. doi: 10.3390/rs13112025.
- Croce, P.; Formichi, P.; Landi, F. (2019). Climate Change: Impacts on Climatic Actions and Structural Reliability. *Applied Science*, 9, 5416, doi:10.3390/app9245416.
- Dar M.U.D., A. Ishaq Shah, S. Ahmad Bhat, R. Kumar, D. Husingh, R. Kaur (2021) "Blue Green infrastructure as a tool for sustainable urban development", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 318, Oct. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128474>.
- Debbah M. et al., (2021). "A Survey on 5G Energy Efficiency: Massive MIMO, Lean Carrier Design, Sleep Modes, and Machine Learning", <https://arxiv.org/pdf/2101.11246.pdf>
- Denaro, S., A. Castelletti, M. Giuliani e G. Characklis (2020), Insurance portfolio diversification through bundling for competing agents exposed to uncorrelated drought and flood risks, *Water Resources Research*, 56, 1–20
- Denaro, S., A. Castelletti, M. Giuliani e G.W. Characklis (2018), Fostering cooperation in power asymmetrical water systems by the use of direct release rules and index-based insurance schemes, *Advances in Water Resources*, 115, 301-314
- Denaro, S., D. Anghileri, M. Giuliani e A. Castelletti (2017), Informing the operations of water reservoirs over multiple temporal scales by direct use of hydro-meteorological data, *Advances in Water Resources*, 103, 51-63
- DHL (2012) *Delivering Logistics 2050 — A scenario study*.
- Dionisio Pérez-Blanco C., Gonzalo Delacámara, C. Mario Gómez, Saeid Eslamian (2017). Crop Insurance in Drought Conditions, in *Handbook of Drought and Water Scarcity*, CRC Press.
- Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., e Feyen L (2020). Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi: 10.2760/14505, 2020.
- Ebinger, J. e Vergara, W. (2011). Climate impacts on energy systems: key issues for energy sector adaptation. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/580481468331850839/Climate-impacts-on-energy-systems-key-issues-for-energy-sector-adaptation>.
- EC Technical, 2021: *Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027*
- EC (2012). *Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures*, (F. Nemry and H. Demirel), JRC Scientific and Policy Reports. Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-27037-6

- EC(2012a). European Commission, M/515 EN—Mandate for Amending Existing Eurocodes and Extending the Scope of Structural Eurocodes; European Commission: Brussels, Belgium, 2012.
- EC, 2021: EU Climate Adaptation Strategy.
- EEA, 2014. Adaptation of transport to climate change in Europe. Challenges and options across transport modes and stakeholders. EEA Report No 8/2014 airports, seaports and inland waterways, EUR 28896 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97039-9, doi:10.2760/378464, JRC108865.
- Enea (2019) Innalzamento del Mar Mediterraneo in Italia: Aree costiere e porti a rischio inondazione al 2100. Disponibile a: <https://www.enea.it/it/Stampa/File/enea-innalzamento-mediterraneo.pdf>
- ENISA, European Union Agency for Cybersecurity “Telecom Security During A Pandemic” Report, Nov. 2020
- European Commission. (2012). M/515 EN—Mandate for Amending Existing Eurocodes and Extending the Scope of Structural Eurocodes; European Commission: Brussels, Belgium, 2012.
- European Commission. M/515 EN—Mandate for Amending Existing Eurocodes and Extending the Scope of Structural Eurocodes; European Commission: Brussels, Belgium, 2012.
- European Committee for Standardization (CEN). (2013). CEN/TC250—Response to Mandate M/515—Towards a Second Generation of Eurocodes; CEN-TC250—N993; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium.
- ESPO, European Sea Ports Organisation (2021). ESPO Green Guide 2021, Brussels, ESPO.
- Fattoruso, G., Tebano, C., Agresta, A., Lanza, B., Buonanno, A., De Vito, S. e Di Francia, G., (2015). A SWE architecture for real time water quality monitoring capabilities within smart drinking water and wastewater network solutions. In International Conference on Computational Science and Its Applications (pp. 686-697). Springer, Cham.
- Fiedler, F., Cominola, A. e Lucia, S., (2020). Economic nonlinear predictive control of water distribution networks based on surrogate modeling and automatic clustering. IFAC-PapersOnLine, 53(2), pp.16636-16643.
- Forzieri G., et al., (2018). *Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe*. Global Environmental Change 48 (2018) pp 97-107.
- Forzieri G., L. Feyen, R. Rojas, M. Flörke, F. Wimmer e A. Bianchi (2014). Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 85–108, 2014; doi:10.5194/hess-18-85-
- FSB, 2021: The Availability of Data with Which to Monitor and Assess Climate-Related Risks to Financial Stability. Financial Stability Board publications.
- Galelli S., Soncini-Sessa R., (2010). Combining metamodelling and stochastic dynamic programming for the design of reservoir release policies, *Environmental Modelling & Software*, Volume 25, Issue 2.
- Giuliani, M., L. Crochemore, I. Pechlivanidis, e A. Castelletti (2020), From skill to value: isolating the influence of end user behavior on seasonal forecast assessment, *Hydrology and Earth System Sciences*, 24
- Giuliani, M., M. Zaniolo, A. Castelletti, G. Davoli, e P. Block (2019), Detecting the state of the climate system via artificial intelligence to improve seasonal forecasts and inform reservoir operations, *Water Resources Research*, 55
- Global Center on Adaptation/World Resource Institute (2019), “Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience”, disponibile a: https://files.wri.org/s3fs-public/uploads/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf
- Gobiet A., Kotlarski S., Beniston M., Heinrich G., Rajczak J. e Stoffel M. (2014). 21st century climate change in the European Alps - A review. *Science of The Total Environment* 493: 1138-1151.
- Guo, C., Wang, M., Yang, L., Sun, Z., Zhang, Y., e Xu, J. (2016). A review of energy consumption and saving in extra-long tunnel operation ventilation in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1558-1569.
- Guo, Yuming, Antonio Gasparrini, Ben Armstrong, Shanshan Li, Benjawan Tawatsupa, Aurelio Tobias, Eric Lavigne, et al. (2014) “Global Variation in the Effects of Ambient Temperature on Mortality: A Systematic Evaluation.” *Epidemiology (Cambridge, Mass.)* 25 (6): 781-89. <https://doi.org/10.1097/EDE.000000000000165>.
- Huibregtse, E., Napoles, O. M., Hellebrandt, L., Paprotny, D., e de Wit, S. (2016). Climate change in asset management of infrastructure: A riskbased methodology applied to disruption of traffic on road networks due to the flooding of tunnels. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16(1).
- IEMED, European Institute of the Mediterranean (2021). Mediterranean Transport and Logistics in a Post-Covid-19 Era: Prospects and Opportunities. Available at <https://www.iemed.org/wp-content/uploads/2021/09/Policy-Study-5-CETMO-baixa.pdf>

- ISPRA, 2021: Valutazione d'Impatto Ambientale - Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale: L'adattamento ai cambiamenti climatici (webinar n.6 del 19/03/2021)
- ISTAT (2019) 'Utilizzo e Qualità Della Risorsa Idrica in Italia, Roma.
- IT&IA (2021), Logistics and infrastructure 2020, Italian Trade & Investment Agency, <https://www.ice.it/en/sites/default/files/2021-02/ita-logistics-and-infrastructure-2020.pdf>
- ITF (2018), Decarbonising Maritime Transport Pathways to zero-carbon shipping by 2035, ITF, <http://www.itf-oecd.org>
- ITF (2021), "Data-driven Transport Infrastructure Maintenance", *International Transport Forum Policy Papers*, No. 95, OECD Publishing, Paris
- ITU-T, FG-DR&NRR, Telecommunication Standardization Sector of. ITU, Version 1.0 (05/2014), ITU-T Focus Group on Disaster Relief Systems, Network]
- Kang C., Alba D. e A. Satariano (2020). Surging Traffic Is Slowing Down Our Internet, *New York Times*, March 26, 2020
- Kani J., D. Van Veen, (2020). "Current TDM-PON Technologies", in *Handbook of Optical Networks*, ed. Springer, pp. 849-870.
- Lancia, A., Caldini, S., Mazzino, N., Höfler, H., e Favò, F. (2008). Integrated multifunction system for the wayside detection of defects and hazardous conditions in rolling stock approaching critical tunnels. *Heuristics GmbH, Vaglio, Switzerland*.
- Lazaro, A. P., Paranamana, B., e Saddat, A. (2013). Analysis of Fire Hazards Associated with the VacTrain Design.
- Legambiente (2019) Ecosistema urbano: Rapporto sulle performance ambientali delle città 2019, Disponibile online da: www.legambiente.it/ecosistema-urbano-2019/.
- Lincke, D., Hinkel, H., van Ginkel, K., Jeuken, A., Botzen, W., Tesselaar, M., Scoccimarro, E., Ignjacevic, P. (2018). D2.3 Impacts on infrastructure, built environment, and transport Deliverable of the H2020 COACCH project
- Love, G., Soares, A., & Püempel, H. (2010). Climate change, climate variability and transportation. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 130-145.
- Marzano, Riccardo, Charles Rouge, Paola Garrone, Luca Grilli, Julien J. Harou, e Manuel Pulido-Velazquez (2018). "Determinants of the price response to residential water tariffs: Meta-analysis and beyond." *Environmental Modelling & Software* 10: 236-248.
- Mastelic T., A. Oleksiak, H. Claussen, I. Brandic, J.-M. Pierson, e A. V. Vasilakos (2015). "Cloud Computing: Survey on Energy Efficiency," in *ACM Comput. Surv.*, Vol. 47, no. 2, Jan. 2015
- McKinnon A.C., Kreie A., (2010) In: *Proceedings of the Annual Logistics Research Network Conference 2010*. Chartered Institute of Logistics and Transport / University of Leeds, Leeds (2010)
- Messner S., Becker A., Ng A.K.Y., (2016). "Port adaptation for climate change: The roles of stakeholders and the planning process", in Ng A.K.Y, Becker A., Cahoon S., Shu-Ling C., Earl P. e Yang Z. (eds.) *Climate Change and Adaptation Planning for Ports*, Routledge,, pp. 9-23.
- Michelozzi, Paola, Francesca De' Donato, Matteo Scortichini, Manuela De Sario, Federica Asta, Nera Agabiti, Ranieri Guerra, Annamaria de Martino, e Marina Davoli (2016). "[On the increase in mortality in Italy in 2015: analysis of seasonal mortality in the 32 municipalities included in the Surveillance system of daily mortality]." *Epidemiologia E Prevenzione* 40 (1): 22-28. <https://doi.org/10.19191/EP16.1.P022.010>.
- Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (2018) (in via di approvazione). *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*.
- Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare (2014). *Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici*.
- Ministero dell'Ambiente (2014). *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC)*.
- Montevecchi F., S. Hinterholzer, T. Stickler, R. Hintemann, (2020). "Energy-efficient cloud computing technologies and policies for an eco-friendly cloud market: final study report", Studio commissionato dalla commissione europea sull'efficienza energetica nei datacenter, available from: <https://dx.doi.org/10.2759/3320>
- NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016), *Transportation Resilience: Adaptation to Climate Change*, Washington, DC: The National Academies Press, <https://doi.org/10.17226/24648>

- National Research Council, Committee on Climate Change, US Transportation, Transportation Research Board, Division on Earth, and Life Studies. (2008). *Potential impacts of climate change on US transportation: Special report 290* (Vol. 290). Transportation Research Board.
- Nayak, M. A., Herman, J. D., e Steinschneider, S. (2018). Balancing flood risk and water supply in California: Policy search integrating short-term forecast ensembles with conjunctive use. *Water Resources Research*, 54, 7557-7576. <https://doi.org/10.1029/2018WR023177>
- New York City (NYC) Department of Environmental Protection. (2012). Guidelines for the Design and Construction of Stormwater Management Systems.
- Nickel D., Schoenfelder W., Medearis D., Dolowitz D.P., Keeley M., Shuster W. (2014). German experience in managing stormwater with green infrastructure, *Journal of Environmental Planning and Management*, 57, 3, 403-423.
- Ocampo-Martinez, C., (2010). Model predictive control of wastewater systems. Springer Science & Business Media.
- OECD (2020, a), "Nature-based solutions for adapting to water-related climate risks", *OECD Environment Policy Papers*, No. 21, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/2257873d-en>
- OECD (2020, b), "Building back better: A sustainable, resilient recovery after COVID-19", *OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19)*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/52b869f5-en>
- OECD (2021), "The Inequality-Environment Nexus: Towards a people-centred green transition", *OECD Green Growth Papers*, 2021-01, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/ca9d8479-en>
- OECD (2018), *Climate-resilient Infrastructure*, OECD Environment Policy Paper n.14.
- Pandolfi, Giulia, e Jessica Pettinari (2020). "NATURE-BASED SOLUTIONS FOR FLOOD MANAGEMENT: A STUDY CONDUCTED IN LABARO-PRIMA PORTA DISTRICT, ROME, ITALY." *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)* 19, no. 10.
- Pascal, Mathilde, Vèrène Wagner, Anna Alari, Magali Corso e Alain Le Tertre (2021). "Extreme Heat and Acute Air Pollution Episodes: A Need for Joint Public Health Warnings?" *Atmospheric Environment* 249 (March): 118249. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118249>.
- Piersanti, Antonio, Ilaria D'Elia, Maurizio Gualtieri, Gino Briganti, Andrea Cappelletti, Gabriele Zanin e Luisella Ciancarella (2021). "The Italian National Air Pollution Control Programme: Air Quality, Health Impact and Cost Assessment." *Atmosphere* 12 (2): 196. <https://doi.org/10.3390/atmos12020196>.
- Pritchard, J. A., e Preston, J. (2018). Understanding the contribution of tunnels to the overall energy consumption of and carbon emissions from a railway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 551-563.
- Puig M., Wooldridge C., (2021) with the cooperation of Selén V. (European Sea Ports Organisation, ESPO), ESPO Environmental Report 2021, Brussels, ESPO, October 2021.
- Radini S.; et al. (2021). Urban water-energy-food-climate nexus in integrated wastewater and reuse systems: Cyber-physical framework and innovations. *Applied Energy*, Vol. 298, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117268>
- Raspotnik, A., e Humpert, M. (2016). Despite Global Warming Suez Canal will remain preferred shipping route in the coming decades new study suggests. The Arctic Institute available at www.thearcticinstitute.org/despite-global-warming-suez-canal-will-remain-preferred-shipping-route
- Rübbelke, D. e Vögele, S. (2011). Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. *Environ. Sci. Policy* 14, 53-63.
- Sarni, W., White, C., Webb, R., Cross, K., e Glotzbach, R. (2019). "Digital water: Industry leaders chart the transformation journey". https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2015/12/IWA_2019_Digital_Water_Report.pdf
- Schaeffer, R. et al. (2012) Energy sector vulnerability to climate change: A review. *Energy* 38, 1-12.
- Schlosser, F., Rázga, M., e Danišovič, P. (2014). Risk analysis in road tunnels. *Procedia Engineering*, 91, 469-474.
- Shalika Vyas et al (2021). Mapping global research on agricultural insurance. *Environ. Res. Lett.* 16 103003 .
- Sieber, J. (2013). Impacts of, and adaptation options to, extreme weather events and climate change concerning thermal power plants. *Clim. Change* 121, 55-66.
- Smith L.C., Stephenson S.R. (2013) New Trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2013 Mar 26;110(13):E1191-5. doi: 10.1073/pnas.1214212110. Epub 2013 Mar 4. PMID: 23487747; PMCID: PMC3612651.

- Sønderlund, Anders L., Joanne R. Smith, Christopher J. Hutton, Zoran Kapelan, e Dragan Savic. (2016). "Effectiveness of smart meter-based consumption feedback in curbing household water use: Knowns and unknowns." *Journal of Water Resources Planning and Management* 142, no. 12:04016060.
- STL (2019) CURTAILING CARBON EMISSIONS - CAN 5G HELP?, STL partners, Oct. 2019
- Tian, X., R.R. Negenborn, P.-J. van Overloop, J.M. Maestre, A. Sadowska, N. van de Giesen (2017). Efficient multi-scenario model predictive control for water resources management with ensemble streamflow forecasts, *Advances in Water Resources* 109, 58-68.
- Tian, X., Y. Guo, R.R. Negenborn, L. Wei, N.M. Lin, J.M. Maestre (2019). Multi-scenario model predictive control based on genetic algorithms for level regulation of open water systems under ensemble forecasts, *Water Resources Management*, 33 (9) 3025-3040.
- UN (2020). United Nations Conference on Trade and Development. Climate change adaptation for seaports in support of the 2030 Agenda for Sustainable Development.
- UNECE (2020). *Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes*. United Nations Publications, 2020
- Vasseur et al., (2004). Network recovery, Morgan Kaufmann
- Verschuur J., E.E. Koks, J.W. Hall (2020) Port disruptions due to natural disasters: Insights into port and logistics resilience, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 85, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102393>.
- Vitello P., A. Capponi, C. Fiandrino, G. Cantelmo e D. Kliazovich, (2021). "Mobility-Driven and Energy-Efficient Deployment of Edge Data Centers in Urban Environments," in *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, doi: 10.1109/TSUSC.2021.3056621.
- Vousdoukas M., Mentaschi L., Mongelli I., Ciscar J-C, Hinkel J., Ward P., Gosling S. e Feyen L., (2020). Adapting to rising coastal flood risk in the EU under climate change, EUR 29969 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-12990-5, doi:10.2760/456870, JRC118512
- Wetterhall, F. e Di Giuseppe, F. (2018). The benefit of seamless forecasts for hydrological predictions over Europe, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 3409–3420, <https://doi.org/10.5194/hess-22-3409-2018>.
- Willis, Rachelle M., Rodney A. Stewart, Kriengsak Panuwatwanich, Philip R. Williams, e Anna L. Hollingsworth. (2011). "Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption." *Journal of environmental management* 92, no. 8: 1996-2009.
- WPSP (2021). World Ports Sustainable Report 2020, World Ports Sustainable Program, IAPH.
- Yang Z., et al. (2018) Risk and cost evaluation of port adaptation measures to climate change impacts, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 61, Part B, Pages 444-458, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.004>
- Zio, E. (2016). Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures, *Reliability Engineering and System Safety*, 152:137-150.
- Zio, E., (2018). The future of risk assessment, *Reliability Engineering & System Safety* 177, 176-190 OECD. Climate-resilient infrastructure. doi:10.1787/4fdf9eaf-en

Capitolo 6

Mitigazione. Tecnologie, disegno e riorganizzazione delle infrastrutture e della mobilità per la decarbonizzazione del sistema Italia



Capitolo 6

Mitigazione. Tecnologie, disegno e riorganizzazione delle infrastrutture e della mobilità per la decarbonizzazione del sistema Italia

Coordinamento

E. Cherchi

Infrastrutture e Intermodalità

E. Cherchi, P. Cazzola., M. Tanelli, S. Soriani

Veicoli

P. Cazzola, G. D'Ovidio, M. Muratori, P. Gangualiano, S. Soriani

Logistica

P. Cazzola, S. Soriani

Energia

A. Tilche, P. Cazzola, L. Cozzi, M. Tavoni, E. Zio

Tecnologie

M. Tornatore

Acque

A. Castelletti, A. Cominola, C. Gandolfi, S. Alvisi

Progettazione, gestione infrastrutture

P. Croce, M. Duca, S. Soriani

Tunnel stradali e ferroviari

G. Loprencipe, G. Cantisani

Analisi Benefici

M. Tavoni, F. Bosello, E. Lanzi

Sintesi

Questo capitolo discute gli interventi relativi a infrastrutture e trasporti necessari a raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione del sistema Italia. In accordo con le politiche UE in tema di Transizione Energetica e Sviluppo Sostenibile (*European Green Deal*), gli interventi sono discussi in funzione della prossimità temporale in cui verosimilmente possono essere realizzati e possono produrre effetti. **Nella fase I (o di breve/medio termine)** rientrano gli interventi necessari per raggiungere entro il 2030 il target globale UE di riduzione delle emissioni attribuito al nostro Paese dal pacchetto "Fit for 55" in fase di negoziazione,

che per quanto riguarda i trasporti comporta una riduzione delle emissioni del 43,7% rispetto al 2005 (ovvero una riduzione tra il 30 e il 35% rispetto al periodo pre-Covid, che corrisponde alla rimozione dal sistema della mobilità di circa 10-12 Mtep di carburanti). Si tratta prevalentemente di interventi già in fase di applicazione che richiedono potenziamento o interventi non in fase di applicazione ma a cui si associa una migliore conoscenza delle caratteristiche di diverse tecnologie. **Nella fase II (o di medio/lungo termine)** rientrano invece gli interventi che sono prioritari, ma le cui tempistiche sono da definire, in quanto ancora in fase di studio o la cui applicabilità dipende da fattori esogeni. L'obiettivo di questi interventi è la riduzione, entro il 2050, delle emissioni di almeno il 90% rispetto al 1990 e quant'altro in più necessario per raggiungere complessivamente come Paese l'obiettivo di zero emissioni nette al 2050.

Gli interventi discussi in questo capitolo riguardano prevalentemente il sistema di trasporto di persone e merci, che è responsabile per circa il 25% del totale delle emissioni di gas-serra (GHG), ma sono discussi anche interventi di mitigazione per le emissioni legate alle reti di telecomunicazione, le reti idriche e opere idrauliche, e alla progettazione e realizzazione delle infrastrutture di trasporto e a supporto della mobilità. Il capitolo include infine un'analisi delle implicazioni economiche della transizione climatica.

Poiché il trasporto stradale è responsabile per il 93% delle emissioni di gas-serra del settore dei trasporti, gli interventi di mitigazione relativi ai sistemi di trasporto di persone e merci presuppongono un obiettivo generale di riduzione (in valore assoluto) del parco veicolare circolante e si inquadrano in due filoni:

1. Interventi che mirano a modificare la **ripartizione modale a favore dei modi di trasporto sostenibili**.
2. Soluzioni tecnologiche in grado di aumentare l'**efficienza dei veicoli**.

Gli interventi in entrambi i filoni si basano su tre pilastri:

1. **Ruolo centrale del sistema ferroviario** per il trasporto di persone e merci sia a livello urbano che extraurbano.
2. **Ruolo centrale dell'energia elettrica**, prodotta da fonti rinnovabili, per l'alimentazione dei veicoli e di tutte le infrastrutture connesse al funzionamento dei sistemi di trasporto (coerentemente con il Glasgow Breakthrough)
3. **Ruolo centrale dei sistemi informatici di comunicazione** a sostegno dei sistemi di trasporto e della mobilità sostenibile.

Con riferimento al primo filone, i principali interventi rientrano prevalentemente nella fase I e riguardano:

1. **Estensione delle reti di metropolitana pesante e/o leggera e delle reti tranviarie**. In Italia solo 7 città possiedono una metropolitana e solo 11 possiedono una rete tranviaria. Secondo il Report Ambiente Urbano dell'ISTAT (2019), la carenza di infrastrutture per il trasporto rapido di massa rappresenta una delle principali criticità del trasporto pubblico locale italiano.
2. **Ampliamento della rete di Alta Velocità Ferroviaria (AVF)**, iniziando da casi in cui c'è una aspettativa giustificata di domanda significativa o un potenziale significativo di crescita. Le priorità sono i collegamenti verso grandi aree urbane del Sud (attualmente non servite), ma anche quelli trasversali in modo da favorire anche nelle tratte brevi lo shift modale dal trasporto aereo al trasporto ferroviario.
3. **Miglioramento, razionalizzazione e potenziamento mirato della rete ferroviaria a livello nazionale e regionale**, in particolare per collegare direttamente i principali (non solo quelli inclusi nella rete SNIT) porti e aeroporti con i capoluoghi di provincia e con i principali centri metropolitani. Tutti questi interventi riguardano il trasporto sia passeggeri che merci.
4. **Potenziamento del trasporto pubblico collettivo su gomma**, che rappresenta un altro elemento cardine di un sistema di trasporto accessibile, sostenibile ed equo, in linea anche con i vantaggi in termini di costi che al momento offre. Il potenziamento riguarda in senso ampio l'ampliamento e

la riorganizzazione delle linee (percorsi fisici) e dei servizi (orari, frequenze, tempi) in ottica di sistema multimodale. Per le infrastrutture, una componente essenziale a supporto di tale sistema è la realizzazione di **corsie preferenziali** all'interno delle aree urbane e nelle strade di accesso alle aree urbane, al fine di rendere i tempi di viaggio del trasporto collettivo su gomma concorrenziali a quelli del trasporto privato e ridurre l'incertezza nei tempi di attesa dei passeggeri. Si ritiene necessario sottolineare la necessità di maggiori investimenti per il potenziamento del trasporto pubblico su gomma, oltre ai finanziamenti per la conversione elettrica del suo parco veicolare, discussi nel secondo filone.

5. **Realizzazione di reti di piste ciclabili in tutte le città di tutte le dimensioni.** L'obiettivo deve essere quello di realizzare una vera e propria rete di piste ciclabili (fortemente connessa internamente ed esternamente con tutti i punti di interscambio modale) e non alcuni corridoi o tratti di piste ciclabili spesso non connessi tra di loro. In termini di densità di piste ciclabili per abitante, le città italiane registrano valori ben al di sotto di molte città europee. Al fine dello shift modale, le ciclovie urbane hanno un ruolo fondamentale. Si ritiene pertanto necessario sottolineare la necessità di maggiori investimenti per il loro potenziamento (la proporzione dovrebbe essere invertita: 0,4 Mld per le ciclovie urbane e 0,2 Mld per le ciclovie turistiche).
6. Potenziamento e miglioramento di tutti i **nodi di interscambio modale** tra tutte le modalità di trasporto (ferro/gomma/ciclabilità/shared mobility) sia a livello urbano che extraurbano (anche con porti e aeroporti).
7. **Integrazione funzionale tra modalità di trasporto** (integrazione tariffaria, coordinamento frequenze e orari) e potenziamento del supporto tecnologico quali la piattaforma digitale "Mobility as a Service" (MaaS).
8. Realizzazione di interventi finalizzati a **minimizzare il costo generalizzato di accesso/egresso/trasbordo tra sistemi di trasporto**, incluso interventi integrati di pianificazione urbana delle aree di interscambio e in generale delle catchment areas del trasporto pubblico.
9. Nel settore delle merci e della logistica, oltre agli strumenti sopra citati, interventi di mitigazione diretta riguardano anche la gestione dell'attività di trasporto e la condivisione delle infrastrutture e degli attivi, e massimizzazione del loro uso.

I principali interventi nella fase II riguardano la realizzazione di autostrade ciclabili, sull'esempio delle *cycle superhighways* danesi, e studi su sistemi avanzati quali veicoli autonomi e connessi (CAV, "Connected and Autonomous Vehicles") e i sistemi di trasporto a levitazione magnetica ad alta velocità e/o "intubati" (tipo hyperloop) ad altissima velocità (prossima ai 1000 km/h).

Con riferimento al secondo filone (ruolo centrale dell'energia elettrica), i principali interventi nella fase I riguardano, nel caso del trasporto su ferro e gomma:

1. **Conversione elettrica dei rimanenti 6000 km di linee secondarie ferroviarie non ancora elettrificate.** E laddove non sia conveniente l'elettrificazione, utilizzo di treni a batteria e/o a idrogeno (in questo caso, occorre un'attenzione particolare allo sviluppo di progetti dimostrativi della tecnologia, della sua sostenibilità e sicurezza, ed all'effettivo potenziale di ridurre i costi, specie rispetto a soluzioni a batteria).
2. **Conversione verso l'elettrico del parco dei veicoli per il trasporto su gomma passeggeri (sia privato che pubblico) e merci.** In particolare per le autovetture private l'obiettivo è di almeno 6-8 milioni di auto prevalentemente elettriche a batteria (BEV, battery electric vehicle) e in proporzione minore ibride ricaricabili (plug-in-hybrid, PHEV), con autonomia estesa (>80 km) e utilizzabili in modalità "solo

elettrica” nei percorsi brevi ed alla transizione completa delle vendite di auto e veicoli commerciali entro il 2035, anno in cui occorre raggiungere la fine della vendita di veicoli a combustione interna, anche grazie allo sviluppo - su lunghe distanze e assi stradali con alta frequenza d’uso, come le autostrade - di sistemi di strade elettrificate.

3. **Incremento dei punti di ricarica elettrica**, con stazioni a bassa potenza in aree private, stazioni a potenza media in luoghi di destinazione (quali centri commerciali, aree di parcheggio) e per gli autobus urbani, stazioni ad alta ed altissima (1+ MW) potenza collocate lungo arterie stradali, per veicoli leggeri e mezzi pesanti, rispettivamente.
4. **Possibile sviluppo iniziale (da analizzare in progetti dimostrativi ed in coordinamento con altri paesi dell’Unione europea) di electric road systems, stazioni di ricarica ad altissima potenza (1+ MW) e/o di stazioni di distribuzione di idrogeno** per i veicoli pesanti che trasportano merci su lunghe distanze. Nel caso di electric road systems, i vantaggi sono l’efficienza energetica (rispetto all’idrogeno), l’abbattimento dei costi delle batterie, la maggiore efficienza nell’uso delle risorse (rispetto ad autocarri elettrici), la possibilità di costruzione modulare e localizzata sulle principali arterie di traffico, l’uso inferiore di suolo (rispetto ai *megachargers*) e l’integrazione più gestibile in termini di profilo e localizzazione della domanda elettrica, in aggiunta alla possibilità di prendere in considerazione il retrofit dei veicoli con motore elettrico. I rischi sono da associarsi alla necessità di un sistema transeuropeo ed interoperabile non ancora condiviso. Nel caso dell’idrogeno, i rischi relativi all’interoperabilità sono inferiori, ma l’installazione di stazioni rischia di essere necessaria al fine di rispondere ai requisiti contenuti nella proposta europea di regolamento su infrastrutture alternative di distribuzione di energia nei trasporti, senza un aumento corrispondente della domanda. La ragione principale è che questa tecnologia rischia di non essere economicamente competitiva rispetto all’elettrificazione diretta per via di costi più alti di trasporto, distribuzione e stoccaggio del vettore energetico, oltre alla maggiore difficoltà di produzione a basso costo dell’idrogeno in forme decarbonizzate rispetto all’elettricità ed alle maggiori perdite energetiche.
5. **Attenzione particolare alle attività di R&D di soluzioni tecnologiche** che hanno bassi livelli di maturità (“Technology Readiness Levels”) o che sono soggette ad altre barriere, tali da non consentirne la commercializzazione su larga scala. La priorità per la fase I è la realizzazione di veicoli ed attività dimostrative (quali BEV capaci di usare “electric road systems”, tecnologie per PHEVs), accompagnata da lavori di standardizzazione, soprattutto per il trasporto commerciale su lunga distanza. È inoltre importante, in fase I, avviare progetti dimostrativi in collaborazione con l’industria elettrica per testare sistemi di ricarica controllata e “Vehicle-to-Grid” (V2G).

I principali interventi nella fase II riguardano:

1. **Completamento dell’elettrificazione diretta** di tutta la rete ferroviaria assieme ad altre soluzioni che si dimostrano economicamente competitive in fase I, in particolare treni a batteria o a base di idrogeno a basse emissioni di gas serra, tenendo anche conto di aspetti legati alla necessità di stoccaggio stagionale di energia ed all’efficienza energetica delle diverse soluzioni.
2. **Amplificazione (in termini di parti di mercato) dell’elettrificazione diretta del trasporto su gomma, in particolare per veicoli leggeri e mobilità urbana, passeggeri e merci.** Questo deve prendere in conto l’uso efficiente delle risorse, la necessità di inquadrare questa transizione in un’ottica di circolarità economica, tenendo conto anche di possibili limitazioni di disponibilità di materie prime prodotte in maniera sostenibile, necessarie per la realizzazione dei sistemi di accumulo elettrochimici. Questo sviluppo deve anche essere gestito da un punto di vista della transizione industriale in modo tale da massimizzare le opportunità offerte dallo sviluppo di nuove catene di valore, su larga scala (come quella delle batterie), minimizzando i rischi.

3. Per i mezzi pesanti su gomma usati per trasporto di lunga distanza, **incremento della scala di sviluppo delle infrastrutture di accesso all'energia a seguito della finalizzazione, in fase I, dell'analisi di progetti dimostrativi relativi ad "electric road systems", stazioni di ricarica ad altissima potenza (1+ MW) e stazioni ad idrogeno.**
4. Implementazione di soluzioni efficaci e affidabili per il controllo della ricarica dei veicoli elettrici e/o V2G su larga scala e, dipendendo dai risultati delle sperimentazioni, transizione verso "electric road systems". Anche questo sviluppo deve anche essere gestito da un punto di vista della transizione industriale in modo tale da massimizzare le opportunità offerte dalle tecnologie digitali per la crescita e l'occupazione.

Nel settore aereo e navale, che incide rispettivamente per lo 0,75% e il 4,3% delle emissioni domestiche di gas serra (ma a cui vanno aggiunte le emissioni per i trasporti internazionali, che sono più di 4 volte superiori rispetto a quelle domestiche, per entrambe le modalità di trasporto), i principali interventi per la decarbonizzazione nella fase I riguardano:

1. Sviluppo della commercializzazione di "Sustainable Aviation Fuels" (SAF) compatibili con le esistenti tecnologie legate ai velivoli e alla rete di trasporto dei combustibili ("drop-in"), avvio della sperimentazione per la produzione e l'uso di combustibili sintetici per l'aviazione (in particolare gli elettrocombustibili, derivati da elettricità, idrogeno decarbonizzato, carbonio rinnovabile da biomasse e tecnologie "Direct Air Capture" (DAC)) e supporto della filiera industriale che ne consente la produzione, in linea con la direzione suggerita dallo sviluppo previsto di una alleanza industriale europea su combustibili a basso contenuto di carbonio e con l'alleanza relativa all'idrogeno (anche rilevante per la transizione industriale nella chimica).
2. Adozione di tecnologie capaci di incrementare l'efficienza energetica degli aerei (compresi retrofits per mitigare impatti legati a incrementi di costi dei combustibili e anche per ragioni di competitività industriale, data la presenza di industrie aeronautiche in Italia).
3. Realizzazione di infrastrutture funzionali all'elettrificazione delle operazioni di terra ed all'accesso alla rete per l'approvvigionamento di elettricità agli aerei in stazionamento negli aeroporti e per tutte le operazioni di volo in aeroporto e in rotta.
4. Elettrificazione delle ferry-boats a corto raggio, e delle navi attraccate in porto (cold ironing).
5. Ricorso al Gas Naturale Liquefatto (GNL) solo come soluzione per ridurre le emissioni di inquinanti locali nella fase di navigazione e nella fase portuale, avendo ben presente che occorre considerare altre soluzioni dal punto di vista della decarbonizzazione. Il sistema è ritenuto maturo dal punto di vista tecnologico. La sua maggiore diffusione nel breve periodo è un obiettivo condiviso da tutti gli attori della filiera portuale-marittima, ma è anche esposto a rischi di "asset stranding" da un punto di vista climatico.
6. Incremento dell'uso di biocombustibili compatibili con i criteri di sostenibilità ambientale della Renewable Energy Directive nel settore navale.
7. Adozione di tecnologie capaci di incrementare l'efficienza energetica delle navi (compresi retrofits, per mitigare impatti legati a incrementi di costi dei combustibili e anche per ragioni di competitività industriale, data la presenza di cantieristica navale in Italia).
8. Avvio di sperimentazioni sulla produzione e l'uso di ammoniaca ed e-fuels come il metanolo e/o l'idrogeno "verde" (o "blu", se compatibile con emissioni di gas serra basse sul ciclo di vita) come vettori energetici per il trasporto navale, in linea con gli obiettivi delle alleanze europee relative all'idrogeno ed ai combustibili a basso contenuto di carbonio (anche rilevante per la transizione industriale nella chimica).

9. Sviluppo di attività di R&D sulla decarbonizzazione dell'industria marittima anche con l'istituzione di un Fondo (IMRB, "International Maritime Research and development Board"), finanziabile con un prelievo obbligatorio sul carburante utilizzato per uso marittimo, come proposto dalle più importanti associazioni dell'industria marittima mondiale.
10. Sviluppo di attività di R&D per tecnologie di sequestro della CO₂, come "Biomass Carbon Removal and Storage" (BiCRS) e "Direct Air Capture" (DAC), che possono complementare, se si dimostrano affidabili ed efficaci, le tecnologie di miglioramento dell'efficienza e di abbattimento delle emissioni (che vanno comunque considerate prioritarie) per settori "hard to abate", in particolare l'aviazione.

Nella fase II, è prioritario l'incremento della scala di commercializzazione dei SAF e la transizione verso l'uso commerciale su larga scala di combustibili sintetici prodotti con elettricità rinnovabile per il settore aereo e navale. Questo può essere complementato dall'applicazione, se possibile, se efficacemente sviluppate in fase I e se si dimostrano efficaci, di tecnologie BiCRS e DAC.

Il ruolo centrale dell'energia elettrica nel processo di decarbonizzazione richiede interventi di potenziamento della rete elettrica, la cui estensione si prevede aumenterà fino all'80%. Terna prevede forti investimenti nelle reti di trasmissione elettrica al fine di incrementare la magliatura, rinforzare le dorsali tra Sud e Nord, potenziare i collegamenti fra le isole e la terraferma e all'interno delle isole, e sviluppare le infrastrutture nelle aree più deboli.

L'interconnettività legata al rafforzamento della rete elettrica europea è anche un'importante fonte di flessibilità poiché consente di diversificare le risorse di generazione e di avere modelli di domanda di elettricità più uniformi. In ambito internazionale, sono emerse di recente proposte di connessioni "High Voltage Direct Current" (HVDC) anche su lunghissime distanze, come nel caso di Singapore con Australia e Regno Unito con il Marocco. L'Italia dovrebbe considerare progetti in questa direzione, in particolare per sfruttare opportunità di approvvigionamento elettrico da zone con alto potenziale di irraggiamento solare (come il Nord Africa).

Un aspetto di criticità nell'utilizzo estensivo delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER), come l'eolico e il solare, riguarda la loro intrinseca aleatorietà e discontinuità (giorno/notte, eventi climatici non favorevoli, etc.). Per valorizzare appieno la generazione da FER, che per sua natura è tipicamente non programmabile, è necessario, pertanto, sviluppare parallelamente **un'adeguata capacità di immagazzinamento del surplus di energia prodotta** quando sussistono circostanze ambientali favorevoli. La minimizzazione delle necessità di stoccaggio si ottiene con l'informatizzazione della rete e l'adozione di attuatori gestibili in automatico. Una informatizzazione spinta del sistema elettrico permetterebbe anche di mettere in atto sistemi di gestione della domanda per mezzo di un mercato continuo con prezzi variabili a seconda della domanda e della disponibilità.

È importante anche, nel breve termine (fase I), acquisire capacità produttiva di batterie (fatto che è anche di grande rilevanza per il settore automobilistico, come discusso in precedenza, e per ragioni di sviluppo economico e resilienza) ed avviare attività di R&D per tecnologie che possono abbattere i costi dello stoccaggio di elettricità, come stoccaggio termico e tecnologie di conversione ad alta efficienza di energia termica in energia elettrica, stoccaggio di aria compressa o liquida, batterie di flusso ("flow batteries"), produzione e stoccaggio di idrogeno o ammoniaca decarbonizzati (e conversione in elettricità con sistemi a combustione ultra-efficienti e/o celle a combustibile).

Nel medio/lungo periodo si prevede che una forte domanda elettrica debba essere generata dai bisogni di produzione di idrogeno "verde", ad oggi ancora poco competitivo economicamente, ma su cui la Commissione Europea ha proposto una forte strategia di sviluppo per giungere ad una parità economica con gli attuali modi di produzione nel decennio 2030-2040. L'interesse per l'idrogeno è soprattutto lega-

to alla possibilità di utilizzarlo nelle celle a combustibile o altri sistemi molto efficienti di conversione in elettricità. Lo sviluppo di altre tecnologie di stoccaggio e l'evoluzione dei loro costi possono anche avere implicazioni rilevanti per quello che riguarda questa necessità.

Il terzo filone, il ruolo centrale dei sistemi informatici di comunicazione a sostegno dei sistemi di trasporto e della mobilità sostenibile passeggeri e merci, richiede lo sviluppo dei seguenti interventi:

1. Uso sistematico di soluzioni di commutazione ottica per trasferimento dati
2. Nuove tecnologie per la gestione on-off delle apparecchiature
3. Sviluppo rete 5G e accesso in fibra ottica
4. Sviluppo di "Internet of Vehicles" (IoV) e "Vehicle to Everything" (V2X)
5. Potenziamento cybersecurity (sperimentazione di Quantum Key Distribution)

La realizzazione di questi interventi di mitigazione pone complesse sfide progettuali, che coinvolgono sia il segmento di "Communication" (la rete per la raccolta e il trasporto dei dati) sia il segmento di "Information" (i datacenter per l'elaborazione e la archiviazione/memorizzazione dei dati).

Data l'importanza dei sistemi informatici di comunicazione e di calcolo anche per il miglioramento della produttività e date le loro caratteristiche di resilienza anche nel contesto della decarbonizzazione (in analogia con altri casi menzionati in precedenza, in particolare l'elettrificazione e le batterie), questo filone va sostenuto anche da un punto di vista della transizione industriale, in modo tale da attirare investimenti e farne un'opportunità di sviluppo economico e di crescita occupazionale.

Il Sistema Idrico Integrato contribuisce per circa il 2.5% al consumo elettrico nazionale (circa 7.5 miliardi di kWh/anno) e i costi energetici rappresentano una porzione rilevante dei costi operativi del servizio (35% in media). Inoltre, tali costi sono destinati a salire a seguito dell'aumento della domanda e dei requisiti richiesti dalle normative per il trattamento delle acque. La mitigazione delle emissioni legate ai consumi energetici delle infrastrutture idriche ad uso agricolo, urbano e industriale deve prediligere misure di **efficientamento e riduzione delle perdite** (causa di spreco idrico ed energetico e, dunque, emissioni indirette) e misure per **l'incremento dell'utilizzo di elettricità da fonti rinnovabili ed il recupero di energia residuale in un'ottica di economia circolare**.

Infine, per la progettazione e gestione delle infrastrutture, gli interventi di mitigazione proposti sono quelli contenuti nel Processo "climate proofing" definito dalle linee guida della Commissione Europea (5430 final del 29.7.2021) che includono: "Carbon Footprint" e "Greenhouse Gas Assessment", Verifica di coerenza della traiettoria GHG. Una nota particolare riguarda la costruzione e gestione delle gallerie stradali e ferroviarie, considerato che richiedono ingenti e costanti forniture di energia e che l'Italia detiene il 50% di tutte le infrastrutture della Trans-European Road Network. Gli interventi prioritari in questo settore riguardano la ricerca e sviluppo di soluzioni innovative per migliorare le pratiche progettuali, per la sperimentazione di soluzioni per l'alimentazione degli impianti tecnici di esercizio e sicurezza e per incrementare l'uso di risorse rinnovabili.

L'ultima sezione del capitolo analizza i benefici e costi di questo processo di decarbonizzazione. In sintesi la transizione ecologica (il passaggio da uno scenario RCP 4.5 ad uno scenario RCP 2.6) farebbe guadagnare all'Italia, utilizzando una valutazione conservativa, **dallo 0.5% all'2.3% del PIL già entro il 2050, in termini di danni evitati (considerando sia gli impatti indiretti che quelli diretti)**. L'entità dell'impatto economico della transizione dipende soprattutto dalle ipotesi sul valore dei moltiplicatori di spesa. In generale, i moltiplicatori aumentano nel tempo e hanno valori superiori a 0.5, e in alcuni casi superiori a 1. Le differenze dipendono anche dalla tipologia degli investimenti: ad esempio, gli investimenti in fonti rinnovabili e verdi hanno moltiplicatori più alti di quelle fossili.

Molto dipenderà anche dal **contesto internazionale**, ovvero se effettivamente politiche di mitigazione rapide ed efficaci saranno adottate almeno dai principali paesi, e da due fattori cruciali per l'economia del clima: **il costo del finanziamento e il progresso tecnologico**. Cruciali per questi risultati sono:

- le ipotesi di accesso a finanziamenti a basso costo: gli scenari che producono questi numeri assumono di avere accesso a risorse finanziarie al 2% di tasso di interesse per finanziare esternamente dal 50 al 70% degli investimenti.
- il progresso tecnologico. L'analisi evidenzia l'importanza che l'Italia aumenti la percentuale di produzione interna dei beni e servizi necessari per decarbonizzare il proprio sistema energetico. La produzione interna è essenziale non solo per alleviare la potenziale pressione in conto corrente e per aumentare l'occupazione ma può fungere da leva per aumentare il PIL attraverso le esportazioni. Affinché questo avvenga, importanti investimenti in R&D sono necessari per rendere le imprese italiane competitive sui nuovi mercati e per assicurare che l'Italia possa assorbire la conoscenza sviluppata altrove.

Oltre ai benefici sopra citati, la transizione energetica comporterebbe anche altri benefici indiretti quali per esempio i benefici sulla salute (in Italia nel 2012 si sono registrate 59500 morti legate a PM2.5, 3300 causate dall'ozono e 21600 dal biossido di azoto), la riduzione della disuguaglianza economica e sociale e la riduzione dei costi dovuti alla congestione (in UK è stato stimato un costo cumulato dal 2013 al 2030 di 307 miliardi di sterline dovuto alla congestione - INRIX).

Introduzione

Questo capitolo discute gli interventi che occorre realizzare sul sistema dei trasporti al fine di raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione del sistema Italia. Gli interventi discussi riguardano prevalentemente il sistema di trasporto di persone e merci, ma sono discussi anche interventi di mitigazione per le emissioni legate alle reti di telecomunicazione, le reti idriche e opere idrauliche, per la gestione dei rifiuti e per la realizzazione delle infrastrutture di trasporto.

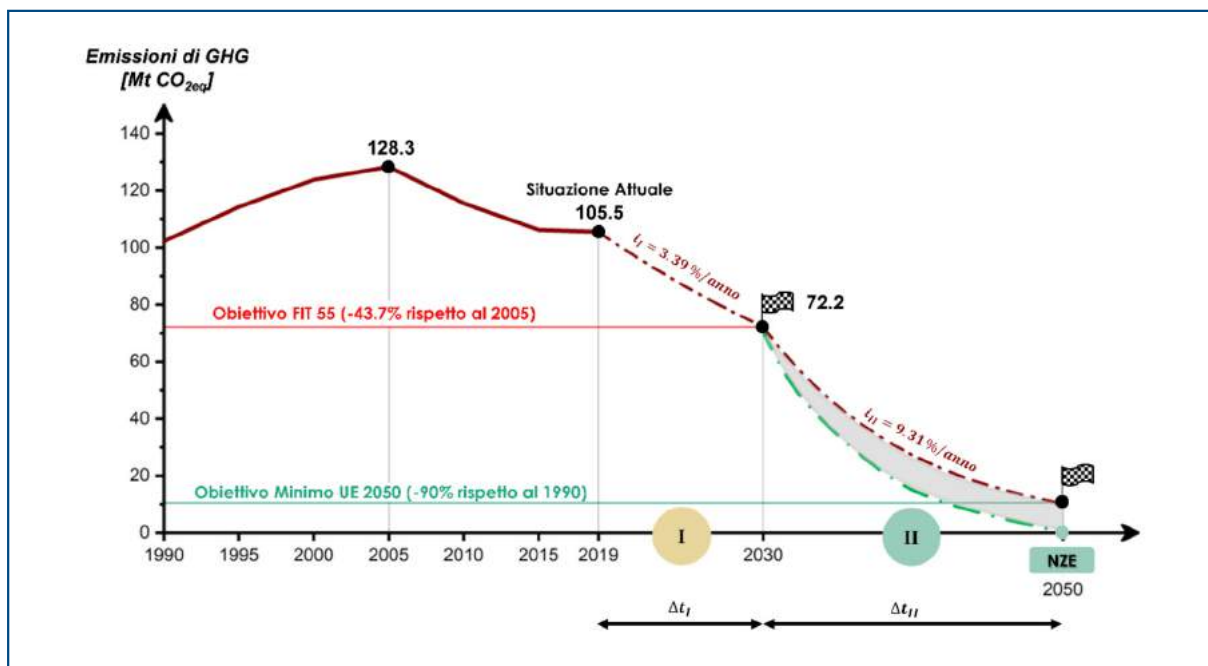
In Italia, nell'ultimo anno inventariato, il 2019, la categoria dei trasporti è stata responsabile del 25,2% delle emissioni complessive di gas serra nazionali, corrispondenti al 31,4% delle emissioni del settore dell'energia (ISPRA, 2021). Nell'ambito dei trasporti, circa il 93% delle emissioni sono state prodotte dal trasporto stradale, il 4,3% dalla navigazione, lo 0,75% dall'aviazione domestica, lo 0,65% dalle condotte, lo 0,15% dalle ferrovie ed il rimanente 1,52% circa da altri sistemi.

Le emissioni dovute ai trasporti in Italia sono cresciute del 26,8% dal 1990 al 2007, per poi diminuire del 18,6% dal 2007 al 2019 grazie a miglioramenti di efficienza, anche se l'andamento è stato sempre poco regolare ed il trend degli ultimi due anni monitorati (2018 e 2019) è stato crescente. **Le emissioni dovute ai trasporti in Italia sono più del triplo di quelle dell'intero settore industriale, più di tre volte e mezzo di quelle dell'agricoltura e quasi sei volte più di quelle prodotte dai rifiuti.** Il contributo della fase di esercizio dei trasporti alle emissioni climalteranti è peraltro evidentemente legato principalmente all'uso di energia per la trazione.

Le politiche UE in tema di Transizione Energetica e Sviluppo Sostenibile, tese alla mitigazione del riscaldamento globale, si pongono l'obiettivo di azzerare le emissioni di gas serra ("net zero emission") entro il 2050, come previsto nell'European Green Deal (EGD) (EC, 2019a). L'UE ha, inoltre, proposto una revisione degli obiettivi a breve/medio termine, incrementando la percentuale di riduzione di emissioni totali di gas-serra (GHG) dal 40% al 55% (rispetto al 1990) entro il 2030 (EC, 2021). Nel settore trasporti, la strategia UE prevede un percorso articolato in due fasi, così come sintetizzato in Figura 1:

- **Fase I: breve/medio termine (2020-2030):** gli obiettivi di questa fase mirano a **contenere le emissioni dirette nei trasporti al 2030** a circa 72 Mt CO₂eq, corrispondenti ad una diminuzione del 43,7% rispetto al 2005, secondo la proposta di revisione al Regolamento (UE) 2018/842 ("Effort Sharing Regulation"), comunicata dalla Commissione Europea a Luglio 2021 (EC, 2021), proposta integrata nel pacchetto "Fit for 55".
- **Fase II: medio/lungo termine (2031-2050):** gli obiettivi minimi di tale fase previsti dall'EGD tendono a conseguire un livello di emissioni dirette di GHG nei trasporti a circa 10.2 Mt CO₂eq (questa quota rimanente sarà quasi tutta concentrata nel settore aeronautico), **corrispondenti ad una diminuzione del 90% rispetto al 1990**, in linea con le proiezioni che risultano dalle analisi della Commissione Europea relativa all'EGD per i trasporti (EC, 2018). Obiettivi più ambiziosi raggiungono "Net-Zero Emissions" (NZE) nel settore dei trasporti al 2050. In tal caso, occorre però considerare l'indubbia difficoltà nell'eliminare, per l'intero settore dei trasporti, la parte residuale di emissioni GHG, evidenziabile soprattutto in un'ottica di "Life Cycle Assessment" (LCA).

Figura 1: Trend delle emissioni dirette di GHG ed indici di riduzione nel settore nazionale dei trasporti secondo il Green Deal Europeo⁴⁸ Fonte: elaborazione CITraMS - UnivAQ



Data la maggiore prossimità temporale (a cui si associa una migliore conoscenza delle caratteristiche di diverse tecnologie), la fase I va associata ad interventi necessari in ogni caso, mentre la fase II identifica gli interventi prioritari, ma le cui tempistiche sono da definire. In questa fase si collocano anche interventi che vanno presi in considerazione, ma su cui ci sono ancora domande aperte e tempistiche da definire.

⁴⁸ Le stime delle emissioni GHG per le fasi I e II (curve tratteggiate) in Fig.1 sono realizzate nell'ipotesi di riduzione, a tasso costante nel periodo temporale in esame, secondo una curva esponenziale decrescente.

6.1 Tecnologie ed infrastrutture per la mobilità

Gli interventi di mitigazione relativi ai sistemi di trasporto di persone e merci, analizzati in questa sezione, riguardano tutti i sistemi di trasporto e tutte le loro componenti (infrastrutture fisiche, veicoli, tecnologie a supporto dei sistemi di trasporto e intermodalità). Questi aspetti sono ovviamente strettamente interconnessi e devono essere valutati in modo sistemico. In quest'ottica, la sezione 6.1.1 riporta una discussione sugli interventi necessari per le infrastrutture fisiche di rete che hanno come obiettivo quello di mitigare le emissioni di GHG modificando la ripartizione modale a favore di modalità di trasporto sostenibili. La sezione 6.1.2 riporta un'approfondita discussione sui veicoli e sulle infrastrutture energetiche necessarie a supportare veicoli a basse emissioni. La sezione 6.1.3 riporta una discussione su altre tecnologie a supporto di infrastrutture e veicoli, mentre la sezione 6.1.4 tratta gli aspetti dell'intermodalità (dal punto di vista infrastrutturale, tecnologico e funzionale) cruciali per garantire un'accessibilità sostenibile a beni e servizi (come discusso nel Capitolo 2). Gli interventi di mitigazione che fanno riferimento a prescrizioni normative per le fasi di costruzione e gestione delle infrastrutture durante il ciclo di vita utile sono trattati nella sezione 6.7. È importante sottolineare che gli interventi (per passeggeri e merci) vanno valutati e sono giustificati (in termini di benefici/costi) in funzione della previsione di domanda. Tuttavia, l'offerta genera domanda, pertanto occorre intervenire in modo che l'offerta di modi sostenibili sia in grado di generare uno shift di domanda dall'autovettura privata. Gli interventi descritti in questa sezione 6.1 sono quindi quelli che si ritiene debbano essere realizzati al fine di generare il cambiamento verso la mobilità sostenibile.

6.1.1 Infrastrutture fisiche di rete

In linea con gli obiettivi di decarbonizzazione discussi in questo documento, il trasporto su ferro deve rappresentare senza dubbio lo scheletro portante del sistema di trasporti sia su brevi (livello urbano) che su lunghe distanze (livello interurbano, regionale e nazionale). Il trasporto su ferro offre una maggiore efficienza energetica rispetto al trasporto su gomma, è già largamente elettrificato in Italia e presenta emissioni dirette di inquinanti locali e gas serra nulle⁴⁹. Tuttavia, soprattutto a livello urbano e metropolitano la rete metrotranviaria non è adeguatamente sviluppata e di gran lunga inferiore a quelle delle principali città europee⁵⁰. In linea con quanto previsto nel PNRR occorre intervenire con priorità se si vogliono raggiungere gli obiettivi prefissati per il 2030.

A livello urbano e di aree metropolitane, le **priorità per il trasporto su ferro per la fase I** riguardano:

1. **L'estensione delle reti di metropolitana pesante e/o leggera.** Secondo il Report Ambiente Urbano dell'ISTAT (2019), la carenza di infrastrutture per il trasporto rapido di massa rappresenta una delle principali criticità del trasporto pubblico locale. In Italia vi sono 7 città che possiedono una metropolitana (Milano (101 km), Roma (60 km), Napoli (20 km), Brescia (14 km), Torino (13 km), Catania (9 km) e Genova (7 km)) contro 19 città in Germania, 8 città in Spagna e 7 in Francia. In particolare, si osserva un forte squilibrio tra capoluoghi metropolitani (in cui la quota di tram e metropolitane supera il 50% del trasporto pubblico locale) e altri capoluoghi (in cui più del 95% dell'offerta è su gomma), e tra

⁴⁹ Una corretta valutazione del loro impatto deve però tenere conto anche delle emissioni imputabili alla produzione di elettricità, che deve essere rapidamente decarbonizzata.

⁵⁰ Le città italiane con la maggiore densità metrotranviaria urbana sono Milano (con 2.71 km ogni 10km²) e Roma (con 0.46 km ogni 10 km²) rispettivamente all'11esimo e 22esimo posto nella classifica europea che vede ai primi posti Monaco di Baviera (con 8.60 km ogni 10km²), Amsterdam (con 8.36 km ogni 10km²), Colonia (con 7 km ogni 10km²) e Madrid (con 6.59 km ogni 10km²) (Fonte: <https://metroviaroma.it/metropolitane-europa-confronto-roma/>)

Nord, Centro e Sud Italia (nel Nord la media è di 6.199 posti-km per abitante: quasi il 25% in più del Centro (5.004) e più del triplo del Mezzogiorno (1.946)). Nelle città del Nord, inoltre, il mix dell'offerta è più bilanciato (53% su gomma, 47% altre modalità), mentre nel Mezzogiorno il trasporto su gomma prevale (83,2%). Tuttavia, nell'analisi occorre tener conto che il costo di costruzione e gestione delle metropolitane è assai maggiore di quello del trasporto su gomma e deve essere giustificato da una domanda sufficiente.

2. **La realizzazione di nuove reti tranviarie su ferro ed estensione e ammodernamento delle reti esistenti.** In Italia vi sono 11 città con linee di tram su ferro per un totale di 369,2 km, contro 54 città in Germania (per un totale di 78321 km), 28 città in Francia (per un totale di 656 km), 15 città in Polonia (per un totale di 915 km) e 13 città in Spagna (per un totale di 175 km). Soltanto Milano e Torino, inoltre, hanno reti tranviarie estese in rapporto all'area urbanizzata (122 e 65 km per 100 km², contro i 16 di media delle altre città servite).
3. **La riconversione della rete di ferrovie regionali in metropolitane regionali.** Questo in particolare nelle maggiori aree conurbate che presentano elevati livelli di domanda.

A livello extraurbano, le **priorità per il trasporto su ferro per la fase I** riguardano:

1. **L'ampliamento della rete di Alta Velocità Ferroviaria (AVF), in particolare nei collegamenti verso il Sud,** ma anche nei collegamenti trasversali in modo da favorire anche nelle tratte brevi lo shift modale dal trasporto aereo e dal trasporto su veicoli privati al trasporto ferroviario. Tuttavia, è importante sottolineare che il beneficio dell'AVF dal punto di vista dell'abbattimento dei gas serra rispetto a modi alternativi (in particolare il trasporto aereo) va valutato sulla base di un'analisi delle emissioni sul ciclo di vita per passeggero-km (pkm). Le emissioni dirette di gas serra legate all'AVF sono infatti significativamente inferiori rispetto a quelle del trasporto aereo, specie su tratte di corto raggio⁵¹. Tuttavia, nell'analisi occorre tener conto anche della costruzione delle infrastrutture (assai maggiori per quelle ferroviarie rispetto a quelle necessarie per l'aviazione, anche per via della maggiore o minore necessità di gallerie e ponti), dell'estrazione e la conversione dei materiali che sono necessari a tal fine, della costruzione dei veicoli e di fattori temporali che caratterizzano le diverse fasi di emissioni di gas serra.⁵² Infine, ma non meno importante, occorre tener conto anche della frequenza d'uso delle infrastrutture.
2. **Il miglioramento, la razionalizzazione ed il potenziamento mirato della rete ferroviaria a livello nazionale e regionale,** in particolare per collegare direttamente i principali (non solo quelli inclusi nella rete SNIT) porti e aeroporti con i capoluoghi di provincia e con i principali centri metropolitani. Questo punto sarà discusso anche nella sezione 6.1.4.

A livello extraurbano, una nota di attenzione meritano i **sistemi di trasporto "intubati" (tipo hyperloop)** ad altissima velocità (prossima ai 1000 km/h) che sono attualmente nella fase di esplorazione e verifica e pertanto ancora lontani da possibili applicazioni (Lanzara, 2021). Al di là dei costi di sviluppo dell'infrastruttura (probabilmente comparabili a quelli dell'alta velocità ferroviaria, anche se ci sono stime inferiori da parte dei proponenti di questi sistemi) (IEA, 2019) e della impossibilità di usare infrastrutture ferroviarie esistenti per raggiungere i centri urbani, questo tipo di sistemi è anche caratterizzato dal numero limitato di passeggeri che possono essere trasportati in ogni veicolo (meno di cinquanta). Questo può limitare la capacità di raggiungere la frequenza di servizio necessaria al movimento di grandi quantità di persone, con implicazioni negative su aspetti economici ed ambientali (IEA, 2019).

⁵¹ Per via dei consumi aggiuntivi legati alle fasi di decollo ed atterraggio (EcoTransit World,2020)

⁵² Si veda <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab442f/pdf>.

Le altre infrastrutture di rete chiave nell'ottica dello shift modale sono: la rete di trasporto pubblico su gomma ed in particolare (nell'ottica di questa sezione) la rete stradale utilizzata dal trasporto pubblico su gomma e la rete ciclabile. A livello sia urbano che extraurbano le **priorità per il trasporto su gomma per la fase I** riguardano:

1. **Il potenziamento del trasporto su gomma a trazione elettrica.** Gli interventi di mitigazione di maggior rilevanza, sia in ambito urbano che extraurbano, si riferiscono all'utilizzo di veicoli a bassa emissione (prevalentemente elettrici). Questo aspetto è ampiamente discusso nella sezione 6.1.2. In questa sezione è rilevante notare che attualmente in ambito urbano il filobus viaggia solo in 13 comuni su 268,5 km di linee (+17,4% dal 2015), Cagliari e Bologna le città con la rete di filobus più estesa (74 e 57 km per 100 km²), pertanto il potenziamento del trasporto su gomma a trazione elettrica rappresenta senza dubbio una priorità. Dal punto di vista infrastrutturale il potenziamento riguarda l'ampliamento e la riorganizzazione delle linee (percorsi fisici) in ottica di sistema multimodale.
2. **La realizzazione di corsie preferenziali per il trasporto pubblico collettivo su gomma, all'interno delle aree urbane e nelle strade di accesso alle aree urbane,** al fine di rendere i tempi di viaggio del trasporto collettivo su gomma concorrenziali con quelli del trasporto privato, e ridurre l'incertezza nei tempi di attesa dei passeggeri. Inoltre, le corsie preferenziali evitano che i costi della gestione creati dalle autovetture private vengano pagati anche dagli utenti del trasporto pubblico collettivo.
3. **Il potenziamento del programma di manutenzione delle strade,** dando priorità a quelle a servizio del trasporto pubblico su gomma.

Per quanto riguarda la rete ciclabile, il PNRR prevede un investimento di 0,6 Mld per la realizzazione di 1800 km di ciclovie, di cui 1/3 è destinato alle ciclovie urbane, 2/3 a quelle turistiche. Al fine dello shift modale, le ciclovie urbane hanno tuttavia un ruolo fondamentale. Si ritiene pertanto necessario sottolineare la necessità di maggiori investimenti per il loro potenziamento (la proporzione dovrebbe essere invertita: 0.4 MID per le ciclovie urbane e 0.2 Mld per le ciclovie turistiche). Le **priorità per la rete ciclabile per la fase I** riguardano:

1. **A livello urbano, la realizzazione di reti di piste ciclabili in tutte le città di tutte le dimensioni.** L'obiettivo deve essere quello di realizzare una vera e propria rete di piste ciclabili (fortemente connessa internamente ed esternamente con tutti i punti di interscambio modale) e non alcuni corridoi o tratti di piste ciclabili spesso non connessi tra di loro. L'estensione complessiva delle piste ciclabili in Italia supera i 4.700 km (+15,5% dal 2015), quasi uguale a quella della Danimarca che ha però un'estensione territoriale pari a 1/5 di quella italiana. Reti più o meno estese si trovano in tutti i capoluoghi metropolitani e in oltre il 90% degli altri capoluoghi, con una densità media di 24,2 km per 100 km² di superficie territoriale (34 nei capoluoghi metropolitani). La densità è molto maggiore nelle città del Nord (57,9 km per 100 km², contro 15,7 del Centro e 5,4 del Mezzogiorno), ma le ciclovie sono in forte crescita nel Mezzogiorno (+30,6% dal 2015). Tra i capoluoghi metropolitani, Torino e Milano presentano i valori più elevati (166,1 e 123,3 km per 100 km²), seguiti da Bologna e Firenze con poco meno di 100. Tuttavia, in termini di densità di piste ciclabili per abitante le città italiane registrano valori ben al di sotto di molte città europee (Tabella 1). Per contro, se le città del tutto prive di piste ciclabili sono poche, ben 29 (tra cui Reggio di Calabria, Messina e Catania) dispongono di una rete molto ridotta (meno di 10 km). L'infrastruttura ciclabile resta dunque carente in molte città e particolarmente nel Mezzogiorno. Inoltre, occorre sottolineare che i chilometri di pista ciclabile non sono un indicatore sufficiente in quanto non misurano il livello di connessione della rete.

Tabella 1: Reti ciclabili per abitante: le prime 10 città europee.

Città	piste ciclabili (metri per abitante)	Totale km di piste ciclabili
Helsinki	2.05	1301
Stoccolma	1	913
Amsterdam	0.99	858
Lussemburgo	0.69	78
Oslo	0.51	327
Copenhagen	0.51	392
Lubiana	0.51	143
Berlino	0.43	1557
Tallin	0.43	178
Vienna	0.4	728

Fonte: <https://bicivendita.blogspot.com/2019/06/10-citta-europee-bici-CICLIABILI.html>

Le **priorità per la rete ciclabile per la fase II** riguardano:

1. **A livello extraurbano, realizzazione di autostrade ciclabili, sull'esempio delle *cycle superhighways* danesi⁵³.** Ai fini di incentivare il cambio modale, risulta fondamentale realizzare un sistema di reti ciclabili coeso ed interconnesso a livello sovracomunale, in particolare per soddisfare l'elevata quota intercomunale di spostamenti realizzati per motivo scuola e lavoro. In Danimarca, le stime riportano un incremento medio del 23% degli spostamenti ciclabili a seguito dell'upgrade delle normali piste ciclabili in superhighways (di cui il 14% sono spostamenti precedentemente effettuati con l'autovettura privata).

Le **priorità per il trasporto merci per la fase I** riguardano:

1. **rafforzamento del trasporto su ferro per la movimentazione delle merci.** Questo include i collegamenti AVF ed i collegamenti con i principali porti e aeroporti.
2. **miglioramento del modal split e ricorso maggiore al mezzo ferroviario. Miglioramento dei collegamenti *last miles* (ultimo miglio) e potenziamento dei nodi ferroviari metropolitani. Realizzazione di aree verdi,** soprattutto nelle zone di cerniera tra porto e città.

6.1.2 Veicoli

Il raggiungimento degli obiettivi della strategia UE richiede la limitazione dell'impatto per unità di servizio di trasporto soddisfatto. Oltre al **cambiamento del modo di trasporto** a favore di sistemi ad alta efficienza (come quelli ferroviari discussi nella sezione precedente), questo obiettivo può essere conseguito anche adottando soluzioni tecnologiche in grado di **aumentare l'efficienza dei veicoli** (in termini di massa, forma, sostentazione e propulsione), limitandone in tal modo i consumi energetici o riducendo **l'intensità di emissioni di gas serra per unità di energia.**

⁵³ Le *cycle superhighways* danesi hanno una lunghezza di circa 11 km e raggiungono in alcuni casi i 15 km.

Nell'ambito delle soluzioni tecnologiche, il raggiungimento dell'obiettivo net-zero richiede l'ausilio di un mix composto da:

- a) **Tecnologie ad alto potenziale di riduzione delle emissioni.** Queste si riferiscono principalmente a tecnologie già in parte commercialmente disponibili che, pur se caratterizzate da costi di investimento più alto, sono chiaramente in grado di realizzare i benefici ambientali attesi per la fase I (2020-2030) - e quindi compatibili con uno sviluppo ulteriore verso l'obiettivo "net-zero" - con costi competitivi, grazie a vantaggi in termini di efficienza energetica e costi operativi più bassi. Questo è chiaramente il caso delle batterie per veicoli elettrici e delle tecnologie digitali. Un ulteriore contributo per la fase I può derivare da tecnologie attualmente disponibili che sono però solo parzialmente risolutive in termini di riduzione di gas serra ed inquinanti locali.
- b) **Tecnologie innovative,** ancora in fase di ricerca e sviluppo (R&D, "Research and Development") o sperimentazione prototipale e non ancora presenti sul mercato, in grado di rispondere in maniera risolutiva alle esigenze connesse alla fase II (2031-2050). Queste tecnologie sono particolarmente importanti in casi in cui l'elettrificazione diretta è più difficile da realizzare da un punto di vista tecnologico o meno competitiva da un punto di vista economico. Viste le prospettive di crescita, lo sviluppo, la commercializzazione e l'applicazione di queste tecnologie sono fondamentali per permettere al sistema industriale italiano di competere efficacemente sul mercato. In questo contesto, la tecnologia assume un ruolo fondamentale per il rafforzamento della filiera industriale nazionale e per garantire ricadute socio-economico-ambientali positive. Le attività di R&D rappresentano il primo anello di questa filiera. Non investire in queste attività rischia di creare una subalternità tecnologica, riducendo le opportunità di ritorni positivi per il sistema Paese.

6.1.2.1 Veicoli per il trasporto su gomma

Per la fase I, la conversione del parco dei veicoli per il trasporto su gomma - attualmente largamente dipendente da combustibili fossili liquidi (principalmente benzina e gasolio⁵⁴) verso l'elettrico⁵⁵, offre significativi vantaggi dal punto di vista ambientale (sia a livello di gas climalteranti che di inquinanti), dell'efficienza energetica e delle opportunità di diversificazione delle fonti energetiche primarie, specialmente solare ed eolico. La priorità verso tale transizione nella fase I riguarda principalmente i veicoli utilizzati per profili di percorrenza giornaliera prevedibili e/o usati prevalentemente in ambito urbano. Tale conversione include:

1. **Almeno 6-8 milioni di auto elettriche prevalentemente a batteria** (BEV, battery electric vehicle) in proporzione minore ibride ricaricabili (plug-in-hybrid, PHEV), con autonomia estesa (>80 km) e utilizzabili in modalità "solo elettrica" nei percorsi brevi, anche in previsione della fine della vendita di auto con solo motori a combustione interna al 2030 (in linea con la proposta del pacchetto "Fit for 55"; EC, 2021).
2. **Un aumento dell'elettrificazione via BEV del trasporto pubblico su gomma,** in linea con la direzione indicata nella Clean Vehicles Directive (EC, 2019) e con la necessità di focalizzare l'attenzione su soluzioni capaci di raggiungere l'obiettivo net-zero, da complementare con opzioni tecnologiche in grado di contribuire alla riduzione parziale di emissioni nella fase in cui soluzioni a batteria non sono ancora disponibili.
3. **La conversione all'elettrico per il trasporto merci su gomma nel caso di veicoli commerciali leggeri,** per i quali sono già disponibili modelli commerciali; per tale tipologia di mezzi si attendono sviluppi ulteriori in termini di diversificazione dell'offerta nel breve periodo, raggiungendo parti di mercato simili a quelle del caso delle auto private, se non superiori.

⁵⁴ Nel 2020, il parco veicoli italiano contava 52 milioni di unità al 2020, tra cui 7 milioni di motoveicoli, circa 40 milioni di auto, 5 milioni di veicoli pesanti per le merci (ACI, 2021).

⁵⁵ Nel 2020, il parco auto italiano contava 100000 veicoli elettrici, di cui il 55% BEV ed il 45% PHEV (IEA, 2021).

Le opzioni tecnologiche attualmente disponibili commercialmente, ma solo parzialmente risolutive in termini di riduzione di gas serra ed inquinanti locali, includono veicoli ibridi-elettrici, l'uso dei biocombustibili (in forme liquide e gassose, per esempio il biometano) compatibili con i requisiti di sostenibilità della Renewable Energy Directive (EU, 2018).⁵⁶

La fase I richiede anche un'attenzione particolare alle attività di R&D di soluzioni tecnologiche che hanno ancora livelli di maturità ("technology readiness levels", TRLs) bassi o che sono soggette ad altre barriere, tali da non consentirne la commercializzazione su larga scala. L'aspetto R&D assume ancor più rilevanza per la parte del trasporto commerciale su gomma che opera su lunga distanza ed è quindi più difficilmente elettrificabile nel breve termine tramite l'utilizzo di mezzi a sole batterie principalmente a causa dell'alto costo di batterie di grossa taglia. Opzioni alternative per queste applicazioni includono:

1. l'uso di batterie in combinazione a punti di ricarica ad alta potenza (1+ MW), che consentono ricariche durante la fase operativa;
2. BEV capaci di usare "electric road systems", anch'essi in grado di ridurre la taglia delle batterie, o PHEVs, con alimentazione elettrica durante la fase operativa (analogamente a quello che succede per i filobus), e relative infrastrutture⁵⁷;
3. tecnologia per PHEVs, che è solo parzialmente risolutiva, a meno che non emergano possibilità concrete di produzione di combustibili a basse emissioni, su una sala capace di superare le necessità prioritarie di aviazione e navigazione su lunga distanza);
4. veicoli ad idrogeno,⁵⁸ che sono già parzialmente commercialmente disponibili ma poco diffusi in applicazioni automobilistiche,⁵⁹ e possono sfruttare - in configurazione pesanti - motori ibridi-elettrici a combustione o con pile a combustibile ma sono soggetti a sfide importanti per il raggiungimento della competitività economica, specie se la domanda di idrogeno decarbonizzato non emerge in altri settori e la sua produzione non evolve verso costi significativamente più bassi.

Nel caso di electric road systems, i vantaggi sono l'efficienza energetica (rispetto all'idrogeno), l'abbattimento dei costi delle batterie, la maggiore efficienza nell'uso delle risorse (rispetto ad autocarri elettrici), la possibilità di costruzione modulare e localizzata sulle principali arterie di traffico. l'uso inferiore di

⁵⁶ Sebbene il gas naturale abbia un contenuto inferiore di carbonio per unità di energia rispetto ai prodotti petroliferi liquidi, il suo utilizzo presenta problematiche connesse a: i) emissioni fuggitive di metano nelle fasi di estrazione, trasporto e distribuzione; ii) una minore efficienza del motore a gas rispetto ad uno equivalente diesel; iii) il fenomeno del "methane slip", ovvero l'emissione di metano dai veicoli a seguito di processi di combustione incompleti. Considerazioni simili si applicano anche a *veicoli a gas naturale liquefatto* (GNL), che si prestano meglio per le esigenze a lunga percorrenza, grazie alla maggiore capacità di stoccaggio di energia a bordo, ma hanno "technology readiness level" (TRL) inferiore al GNC e sono anche soggetti a maggiori perdite termodinamiche. Le emissioni di gas serra sono migliorabili sia nel caso del GNC che del GNL con una transizione verso il biometano, purché esso sia il risultato di specifiche filiere produttive capaci di abbattere quantità di metano di origine biogenica che, altrimenti, sarebbero riversate in atmosfera (Prussi et al., 2020). Dal momento che il gas naturale è già ampiamente utilizzato negli usi finali in Italia, compreso il settore dei trasporti, è possibile e prioritario usare opportunità di produzione di biometano in questi stessi usi finali ma non è opportuno focalizzare la transizione sul solo settore dei trasporti in quanto il suo affrancarsi dalla della rete di distribuzione nazionale comporterebbe inutili costi aggiuntivi.

⁵⁷ Queste possono - nel caso di distribuzione a catenaria - beneficiare di standardizzazione già esistente, ma non ancora finalizzato per questo tipo di applicazioni (ITF, 2020a).

⁵⁸ I veicoli elettrici ad idrogeno (Fuel Cell Electric Vehicles - FCEV) beneficiano di tutti i vantaggi tipici dei BEV in termini di emissioni nella fase di utilizzo ma, nonostante l'uso di batterie (come nel caso degli ibridi) hanno un'efficienza energetica nettamente inferiore e, per questo motivo, richiedono una produzione di idrogeno su scala maggiore e da fonti che devono avere emissioni per unità di energia inferiore, al fine di ottenere lo stesso abbattimento di emissioni sul ciclo di vita.

⁵⁹ A parte le barriere ambientali ed economiche legate alla produzione dell'idrogeno, la diffusione dei FCEV nel trasporto su gomma è ancora estremamente limitata soprattutto a causa dei seguenti motivi: i) l'assenza di una rete di distribuzione/rifornimento dell'idrogeno e costi elevati di acquisto; ii) il basso TRL dei FCEV, con conseguenti elevati costi di investimento, esercizio e manutenzione; iii) elevati costi dell'idrogeno verde, stimati fra i 2.5 ed i 5.5 euro/kg(EU,2020); e iv) elevati costi di trasporto e distribuzione dell'idrogeno, anche legati alla domanda ancora molto limitata.

suolo (rispetto ai megachargers) e l'integrazione più gestibile in termini di profilo e localizzazione della domanda elettrica, in aggiunta alla possibilità di prendere in considerazione il retrofit dei veicoli con motore elettrico. I rischi sono da associarsi alla necessità di un sistema transeuropeo ed interoperabile non ancora condiviso. Nel caso dell'idrogeno, i rischi relativi all'interoperabilità sono inferiori, ma l'installazione di stazioni rischia di essere necessaria al fine di rispondere ai requisiti contenuti nella proposta europea di regolamento su infrastrutture alternative di distribuzione di energia nei trasporti, senza un aumento corrispondente della domanda. La ragione principale è che questa tecnologia è probabile risulti economicamente non competitiva rispetto all'elettrificazione diretta, per via di costi più alti di trasporto, distribuzione e stoccaggio del vettore energetico, oltre alla maggiore difficoltà di produzione a basso costo dell'idrogeno in forme decarbonizzate rispetto all'elettricità, ed alle maggiori perdite energetiche.

In questi casi, la priorità per la fase I è la realizzazione di veicoli ed attività dimostrative, accompagnata da lavori di standardizzazione, per essere fruibili commercialmente (ITF, 2020a), in aggiunta ad interventi significativi sulle infrastrutture di distribuzione dell'energia.

Considerazioni simili si applicano anche a vettori energetici derivati dall'idrogeno, da biomasse o nel caso degli *e-fuels*. Questi aspetti sono discussi nelle sezioni su trasporto aereo e navale e, per la parte legata alla loro produzione, nella sezione 6.2 sull'energia.

Per la fase II, le soluzioni più rilevanti rimangono l'elettrificazione diretta (che va amplificata in termini di parti di mercato), assieme ad altre soluzioni capaci di emergere come maggiormente competitive dalle attività di ricerca e dimostrazione discusse in precedenza, mentre non è più possibile affidarsi a soluzioni di transizione (non completamente risolutive), date le difficoltà di raggiungere emissioni residue minime (e la necessità di carbon sinks o della cattura e dello stoccaggio della CO₂, che richiede uso ulteriore di energia decarbonizzata, per compensarle). A queste va aggiunto un continuo supporto alle attività di R&D (in particolare per le batterie, le pile a combustibile e la loro integrazione nel quadro dell'economia circolare).

Nel caso dell'elettrificazione diretta, è importante sottolineare **l'importanza dell'uso efficiente delle risorse**, la necessità di inquadrare questo in un'ottica di circolarità economica, tenendo conto anche di possibili limitazioni - **specie** nel breve termine - delle materie prime necessarie per la realizzazione dei sistemi di accumulo elettrochimici (al litio ed altri metalli rari).⁶⁰ Occorre, inoltre, considerare l'impatto ambientale associato all'intero ciclo vita (LCA) dei sistemi di accumulo elettrochimici. Studi LCA recenti condotti su diverse tipologie di batterie a ioni di litio impiegate nei veicoli elettrici (Aichberger & Jungmeier, 2020), evidenziano consistenti valori emissivi di GHG variabili tra 70-175 (e più probabilmente 70-100, se prodotte su larga scala, (Kelly et al., 2019) kg CO₂eq per kWh di energia accumulabile. Nell'ipotesi di un corretto riciclo dei materiali o del riutilizzo delle stesse batterie per altre applicazioni e in ottica di decarbonizzazione del settore industriale, è possibile conseguire una riduzione delle emissioni per un valore medio di 20 kg CO₂eq/kWh o meno al 2050.

L'incremento significativo di BEVs e PHEVs nel mix tecnologico del trasporto su gomma durante la fase I richiede **investimenti per l'acquisto di veicoli su vasta scala, stimati a 220 miliardi di EUR in totale** - circa un terzo del valore di acquisto di tutti i veicoli dal 2021 al 2030, assumendo 32000 EUR/veicolo e 7 milioni di veicoli, di cui circa 40 miliardi di euro per le sole batterie, assumendo un costo medio di 100 EUR/kWh ed una capacità media di 56 kWh/veicolo.

⁶⁰ Una transizione verso la mobilità elettrica richiede anche l'implementazione di soluzioni capaci di assicurare che i rischi associati allo sviluppo di nuove catene di valore, su larga scala, come quella delle batterie, vengano adeguatamente gestiti. Alcune soluzioni hanno natura tecnica (quali l'uso di diversi componenti chimici (più o meno dipendenti da materiali critici, come il cobalto) (ITF, 2021), altre derivano dalla promozione dell'uso delle batterie per una "seconda vita" e dal riciclo dei materiali delle batterie usate. Questi temi sono già oggetto di politiche volte a gestirne le criticità, in tutte le maggiori economie globali (Blue House, 2021; White House, 2021; European Commission, 2021a; METI, 2018 & 2020). Ne è esempio la volontà di definire procedure idonee al fine vita delle batterie ed il loro totale recupero e riciclaggio, in un'ottica di economia circolare.

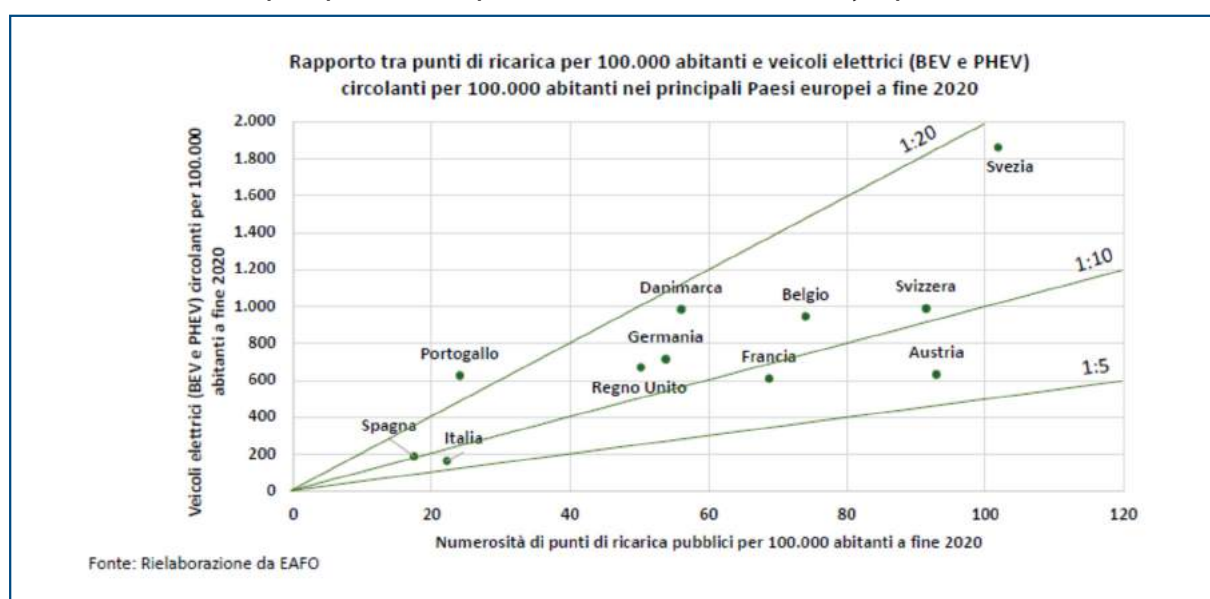
I BEV rimangono soggetti, soprattutto nei mercati occidentali, ad elevati costi di investimento nonostante la sensibile riduzione dei costi delle batterie (Ziegler & Trancik, 2021) che, attualmente può rappresentare fino al 50% del costo dell'intero veicolo, ma in ragione dell'efficienza energetica molto superiore e ai conseguenti minori costi operativi - a cui si aggiungono minori costi di manutenzione - secondo il Car Cost Index 2021 di LeasePlan già oggi il TCO ("Total Cost of Owning & Operating") dell'auto elettrica risulta anche in Italia inferiore rispetto a tutte le altre motorizzazioni.⁶¹ I veicoli ibridi consentono un buon rapporto costo/beneficio (in termini di riduzione delle emissioni di gas serra e miglioramento dell'efficienza energetica) soprattutto nel contesto urbano, caratterizzato da richieste energetiche variabili.

Gli investimenti stimati da parte delle società di trasporto pubblico per far fronte alla riduzione delle emissioni di GHG a breve periodo sono destinati principalmente al rinnovo del parco veicoli ed alla realizzazione di infrastrutture, così come è possibile ricavare dai documenti di programmazione del settore in questione. I contributi statali, provenienti principalmente dal Piano Nazionale Strategico della Mobilità Sostenibile (PN-SMS) (MIT, 2018), destinati al rinnovo del parco autobus e in parte alla predisposizione della rete infrastrutturale, ammontano a circa 5 Mld€. Una recente indagine, condotta da ASSTRA (2020), rileva tuttavia che tali fondi non sono sufficienti a garantire lo svecchiamento del parco veicoli. Il fabbisogno aggiuntivo di risorse stimato per raggiungere, entro il 2033, un'età media del parco veicoli allineata con gli standard europei, in uno scenario che consideri una graduale transizione da autobus a gasolio ad autobus ad alimentazione alternativa, è di oltre 500 Mio € l'anno. Tale somma, da ripartire fra autobus per il trasporto urbano ed extraurbano, potrà garantire l'introduzione di oltre 33000 fra veicoli elettrici e ad alimentazione alternativa. Complessivamente si stima che, nei prossimi 12 anni, dovrebbero essere necessari circa 6 Mld€ aggiuntivi per l'acquisto di nuovi autobus ed oltre 1.7 Mld€ per la realizzazione dell'infrastruttura di supporto.

Infrastrutture a supporto dei veicoli su gomma

L'Italia attualmente presenta una diffusione limitata (tra le più basse in Europa) della mobilità elettrica (in rapporto agli abitanti) con circa 20 punti di ricarica per ogni 100.000 abitanti e 200-600 auto elettriche per ogni 100.000 abitanti, prevalentemente concentrate nel centro-nord Italia).

Figura 2: Rapporto tra punti di ricarica per 100.000 abitanti e veicoli elettrici (BEV e PHEV) circolanti per 100.000 abitanti nei principali Paesi europei a fine 2020 (Fonte: Smart Mobility Report, 2021. Polimi)



⁶¹ <https://www.leaseplan.com/corporate/~media/Files/L/Leaseplan/documents/news-articles/2021/cco-2021-report.pdf>

L'incremento di BEVs e PHEVs richiede lo sviluppo parallelo di una rete significativa di punti di ricarica elettrica. Quest'ultima comprende:

- i) stazioni a bassa potenza (<20 kW) in edifici residenziali privati, luoghi di lavoro, luoghi accessibili al pubblico ma su aree private ("opportunity charging");
- ii) stazioni a potenza media (intorno ai 50 kW) collocate vicino a luoghi in cui i veicoli sono parcheggiati per brevi periodi (e.g., ristoranti, supermercati, etc.), "destination chargers", e per veicoli commerciali come, ad esempio, nei depositi di autobus e di veicoli commerciali per il trasporto merci, compresi quelli usati nella logistica e per flotte di veicoli leggeri e pesanti per trasporto di persone;
- iii) stazioni ad alta potenza (150-350 kW) e altissima potenza (1 MW+) collocate lungo arterie stradali per offrire ricarica rapida durante lunghi viaggi per veicoli leggeri e pesanti e contribuire a garantire un accesso adeguato all'energia elettrica per i veicoli.

Sebbene la ricarica dei BEV possa concentrarsi nelle ore di bassa richiesta di elettricità, così supportando la rete elettrica e offrendo un'opportunità per ottimizzare il funzionamento del sistema elettrico e ridurre i costi dell'energia per la mobilità e altri settori (Muratori et al., 2021), la loro forte interazione con la rete di trasmissione e distribuzione nazionale dell'energia elettrica e la necessità di accesso all'elettricità in diverse condizioni di viaggio richiede anche un adeguato piano infrastrutturale integrato. Le infrastrutture di riferimento consistono principalmente nella realizzazione di colonnine di ricarica pubblicamente accessibili e nell'adattamento della rete necessaria a supportarle, anche considerando opportunità per uso stazionario di batterie (anche usate da BEV), e nell'implementazione di un efficace sistema per gestire e controllare la ricarica in modo da supportare la rete e complementare energie rinnovabili.⁶²

La proposta di Regolamento introdotta dalla Commissione Europea nel luglio del 2021 introduce requisiti minimi per veicoli leggeri (auto e furgoni) e pesanti (bus e camion) relativi a stazioni di ricarica. In particolare, per auto e furgoni, per la rete principale TEN-T (trans European transport network), su distanze inferiori ai 60 km e per ogni direzione di marcia, i requisiti minimi sono:

- i) una potenza minima di 300 kW per ogni gruppo di stazioni di ricarica ed almeno una stazione con potenza di 150 kW entro fine 2025;
- ii) 600 kW totali ed almeno due stazioni a 150 kW entro fine 2030 (EC, 2020).

Gli stessi requisiti sono necessari anche sulla rete comprensiva TEN-T cinque anni dopo. Per i veicoli leggeri ulteriori requisiti minimi per stazioni di accesso pubblico (non solo per il TEN-T network) sono anche espressi in termini di potenza installata per veicolo, con limiti fissati a 1 kW per BEVs e 0.66 kW per PHEVs ed applicabilità annuale (EC, 2020).

Per i veicoli pesanti, i requisiti minimi per la rete principale TEN-T fanno riferimento ad una potenza minima di 1400 kW per ogni gruppo di stazioni di ricarica ed almeno una stazione con potenza di 350 kW entro fine 2025, e una potenza totale di 3500 kW ed almeno due stazioni a 350 kW entro fine 2030 (EC, 2020). Gli stessi requisiti sono necessari anche sulla rete comprensiva TEN-T cinque anni dopo. Ulteriori requisiti riguardano tutti i parcheggi sicuri (almeno una stazione di ricarica di 100 kW al 2030) ed i nodi urbani (600 kW con stazioni da almeno 150 kW al 2025 e 1200 kW al 2030) (EC, 2020).

⁶² Data l'importanza di assicurarsi che i veicoli elettrici siano in grado di pagare per l'uso delle infrastrutture stradali di cui hanno bisogno e del loro allineamento con lo sviluppo dei veicoli autonomi (che necessitano di tecnologie capaci di minimizzarne i costi operativi), una ulteriore necessità di sviluppo di infrastrutture esiste anche nel campo delle telecomunicazioni. Questo è uno dei soggetti coperti nella sezione seguente, relativa alle tecnologie a supporto delle infrastrutture e dei veicoli.

Applicando i suddetti requisiti minimi alla rete SNIT di primo livello (costituita da 30.300 km di strade (di cui 15.100 km composta da circa 6.000 km di autostrade) si arriva ad una stima di potenza di circa 300 MW di ricariche veloci per auto e furgoni e 1750 MW per veicoli pesanti, a cui corrispondono circa 4.3 miliardi di EUR di investimenti sino al 2030 (Tabella 2).⁶³

Tabella 2: Stime della capacità e dei costi legati alle infrastrutture pubbliche di ricarica dei veicoli elettrici in uno scenario compatibile con gli obiettivi del documento "Fit for 55" dell'Unione Europea

		Veicoli leggeri	Veicoli pesanti	Totale
Potenza (MW)	Interurbano	300	1750	2050
	Urbano	6800	30	6830
	Totale	7100	1780	8880
Costo (MEUR)	Interurbano	150	750	900
	Urbano	3400	15	3415
	Totale	3550	765	4315

A tali costi vanno aggiunti quelli relativi all'allacciamento delle colonnine di ricarica alla rete (rilevanti anche per installazioni di ricariche private, specie se su larga scala) ed altri costi eventuali per l'accumulo di elettricità, per la locazione/acquisto del sedime, etc. Per garantire che la rete di stazioni di ricarica pubblicamente accessibili sia economicamente conveniente e adeguatamente mantenuta, è importante che il suo finanziamento avvenga con una combinazione di fondi pubblici e privati. Per le stesse ragioni (ed anche per evitare inutili sprechi), questa strategia potrebbe risultare ottimale anche per gestire i costi di installazione e manutenzione delle colonnine di ricarica private, soprattutto a seguito della fase infrastrutturale iniziale (anche per via delle aspettative di riduzione del costo dei veicoli).

L'attuale mix di produzione di energia elettrica in Italia si sta rapidamente spostando verso le FER (40% circa nel 2019 (TERNA, 2020)). L'introduzione dei BEV, se accompagnata da politiche adeguate, può anche rappresentare una notevole opportunità per gestire la discontinuità e l'aleatorietà dell'energia elettrica disponibile in rete da FER, dal momento che "smart charging" (basato sulla massimizzazione dell'uso di capacità disponibile in periodi in cui la domanda elettrica è bassa o l'approvvigionamento di elettricità da FER è alto) di e tecnologie vehicle-to-grid (V2G) possono fornire flessibilità' alla rete elettrica.⁶⁴

⁶³ Questa stima considera un mercato da 2 milioni di veicoli leggeri ed una quota di BEV e PHEV al 2030 del 55% e 20%, rispettivamente. Con una crescita lineare, la stima porta a circa il 15% di BEV ed il 5% di PHEV nel parco auto e furgoni al 2030, su un totale di veicoli leggeri prossimo a 40 milioni di unità. Applicando questi valori ai rapporti di potenza per veicolo contenuti nella proposta di regolamento europea, si stimano capacità superiori a 6800 MW di ricariche ordinarie per auto. La stima considera anche 25 nodi urbani (città al di sopra dei 150000 abitanti, poco più numerose del numero di nodi TEN-T) porta ad un'aggiunta di 30 MW aggiuntivi per veicoli pesanti. La stima assume anche costi medi di 5000 EUR per ricarica ordinaria, 50000 EUR per ricarica veloce per auto e furgoni o ricarica per veicoli pesanti in nodi urbani e 150000 EUR per ricarica da 350 kW.

⁶⁴ Questo risultato presuppone la forte introduzione di tecnologie ICT per la gestione e la fatturazione dei flussi energetici e la gestione ed utilizzo dei sistemi di accumulo connessi. Richiede inoltre la combinazione di strategie di gestione della domanda di energia V2G (le batterie delle macchine, quando non utilizzate, possono contribuire alle esigenze di stoccaggio e/o di immissione di energia nella rete elettrica), e lo sviluppo dei relativi strumenti di mercato per garantire la partecipazione degli utenti e la remunerazione dei servizi di reti erogati.

È pertanto fondamentale che la rete di ricarica per veicoli elettrici sia totalmente considerata nei piani di sviluppo del sistema elettrico e che meccanismi siano realizzati per consentire di controllare la ricarica in modo che soddisfi bisogni energetici dei trasporti ma che sia anche una risorsa per la rete elettrica, specialmente influenzando i tempi di ricarica per veicoli che sono regolarmente parcheggiati per lunghi periodi (4 ore o più) e valutando opportunità per re-immettere elettricità nella rete (V2G). Ricarica controllata e V2G sono particolarmente utili per ottimizzare l'uso delle rinnovabili e supportare la transizione verso net-zero del sistema elettrico.

Altri interventi infrastrutturali da considerare nella fase I riguardano sia la realizzazione di stazioni di ricarica ad altissima potenza (1+ MW), sia la costruzione di impianti di produzione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno da utilizzarsi come vettore energetico per il trasporto pesante su gomma. Nel caso di "electric road systems", stime relative al Regno Unito si basano su costi di investimento relativi all'infrastruttura elettrica in una forchetta compresa tra 1,1 e 1,6 milioni di EUR per km (per direzione di marcia) (Ainalis et al., 2020).⁶⁵ Questi interventi richiedono ovviamente sperimentazioni che devono partire immediatamente.

Le attività più rilevanti per la fase I riguardano inizialmente progetti R&D e richiedono lo sviluppo parallelo di infrastrutture e di produzione di veicoli che ne possano garantire l'uso in linea con le indicazioni della proposta di Regolamento di luglio 2021 su *alternative fuels infrastructure*. Se da un lato questa proposta non contiene requisiti minimi su stazioni di ricarica da 1 MW, né su "electric road systems", dall'altro lato richiede l'installazione, entro il 2030, su tutta la rete TEN-T e nei principali nodi urbani, di stazioni di rifornimento di idrogeno con una capacità di almeno 2 t/giorno, con distanze massime tra stazioni di 150 km, e stazioni di distribuzione di idrogeno liquido con distanze massime di 450 km. Questo tipo di sviluppo richiede anche la messa in opera di sistemi di produzione localizzati o di sistemi di trasporto e distribuzione dell'idrogeno.⁶⁶ È inoltre importante in fase I avviare demonstration projects in collaborazione con l'industria elettrica per testare sistemi di ricarica controllata e V2G, stabilirne i benefici per le rete, i costi di implementazione e gestione, e meccanismi per supportare larga partecipazione da parte degli utenti finali, che potrebbero richiedere revisioni del mercato elettrico o altre soluzioni innovative per compensare gli utenti per la flessibilità offerta al sistema e remunerarli per i servizi di rete garantiti. Attualmente a livello mondiale esistono **52 progetti pilota** che mirano a testare la capacità dei veicoli di fornire i servizi e la fattibilità economica. Di questi, 32 sono in Europa, 14 in Nord America, 4 in Asia, 1 in Africa ed 1 in Oceania. I principali servizi testati riguardano la regolazione delle frequenze di rete primaria, secondaria e terziaria e di regolazione della tensione di rete. Dai 31 progetti conclusi, emerge che in circa 3 casi su 4 il progetto è stato in grado di fornire i servizi testati senza particolari criticità e/o difficoltà dal punto di vista tecnico. Dal punto di vista economico, invece, poco meno della metà dei progetti dichiarano di conseguire una profittabilità ragionevole, segnale della necessità di porre una particolare attenzione a questo tema in vista del roll-out su scala più ampia di queste iniziative⁶⁷.

Le decisioni relative alle infrastrutture necessarie al supporto della fase II consistono nella necessità di espandere le stazioni di ricarica/rifornimento e di sviluppare su larga scala i sistemi necessari alla decarbonizzazione del trasporto su lunghe distanze. Questi ultimi devono tenere conto delle evoluzioni del costo delle batterie, del costo di produzione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno decarbonizzato e dei risultati delle sperimentazioni relative a stazioni di ricarica ad alta potenza ed "electric roads". In questo contesto, la transizione verso "electric road systems" è probabilmente la più onerosa

⁶⁵ La stessa analisi indica che una copertura di 7.500 km della rete stradale sarebbe sufficiente a coprire il 65% del totale dei veicoli km per pezzi pesanti nel Regno Unito e costerebbe, complessivamente 22,5 Miliardi di Euro (Ainalis et al., 2020).

⁶⁶ È importante notare che, in caso di uso di idrogeno ottenuto da processi simili a quelli attualmente in uso (idrogeno "grigio"), questo non consentirebbe di ottenere riduzioni di emissioni di gas serra.

⁶⁷ Smart Mobility Report 2021, Energy & Strategy. Politecnico di Milano.

dal punto di vista infrastrutturale, ma offre vantaggi importanti in termini di uso efficiente delle risorse, grazie alla riduzione della taglia delle batterie necessarie ai mezzi pesanti, anche in casi in cui l'elettrificazione è limitata a tratti specifici della rete viaria principale (al fine di ottimizzare il sistema massimizzando benefici e minimizzando i costi). Tale riduzione potrebbe estendersi anche a quei casi in cui emergessero opportunità significative di ridurre i rischi di investimento grazie alla possibilità di uno sviluppo modulare ed adattabile all'evoluzione della domanda elettrica.⁶⁸ Nella fase II sarà critico implementare soluzioni efficaci e affidabili per il controllo della ricarica dei veicoli elettrici e/o V2G su larga scala.

Infine, nonostante la limitata efficacia di Gas Naturale Compresso (GNC) e Gas Naturale Liquefatto (GNL) per ridurre le emissioni di gas serra, è da notare che il Quadro Strategico Nazionale⁶⁹, prevede comunque la realizzazione di circa 800 stazioni di servizio di GNL sul territorio nazionale. Questo è probabilmente dovuto a considerazioni legate alla diversificazione energetica del settore, ma andrà rivalutato alla luce del "Fit for 55" in quanto operare una doppia conversione, nel breve termine a GNC/GNL e nel medio termine a elettrico/idrogeno risulterebbe in investimenti inutilizzati.

6.1.2.2 Veicoli per il trasporto su ferro

Il trasporto su ferro è già largamente elettrificato, principalmente tramite sistemi con alimentazione a catenaria. Questo vale specialmente per il trasporto urbano e quello ad alta velocità e può anche essere rilevante per il traffico merci. Tuttavia, in Italia ci sono anche 6000 km circa di linee secondarie non elettrificate, pari al 31% della rete ferroviaria nazionale. Tali tratte sono attualmente servite da treni alimentati a gasolio. In casi in cui l'elettrificazione a catenaria non sia economicamente percorribile, nella fase I, le opzioni da prendere in considerazione con priorità sono l'uso di treni a batteria⁷⁰ e/o a idrogeno.⁷¹ In

⁶⁸ Attraverso l'adattamento dello spazio tra le stazioni di trasformazione necessarie all'approvvigionamento di elettricità sulla linea (ITF, 2021).

⁶⁹ "Quadro strategico nazionale. Sezione C: fornitura di gas naturale per il trasporto e per altri usi. Prima sottosezione: fornitura di gas naturale liquefatto (GNL) per la navigazione marittima e interna, per il trasporto stradale e per altri usi."

⁷⁰ Treni alimentati a sole batterie sono disponibili in applicazioni pre-commerciali (IEA, 2019) e prossimi ad entrare in funzione su tratte commerciali in Europa (Alstom News). Applicazioni di tram privi di catenaria sono già commerciali in Europa con tecnologia ad accumulatori elettrici (Alstom, 2021), come, per esempio, nel caso dei sistemi usati a Birmingham (Saft, 2019) e Bordeaux (BFM TV, 2018).

⁷¹ Per quanto riguarda l'utilizzo dell'idrogeno nel settore ferroviario, esistono treni con celle a combustibile ad idrogeno in commercio. In Cina (Tangshan) è stato anche messo in esercizio un tram alimentato ad idrogeno. Come nel caso del trasporto su gomma (anche per i mezzi pesanti), queste stesse considerazioni mettono anche in luce la necessità dell'uso di idrogeno "verde" o comunque a basse emissioni di gas serra. Nel caso di idrogeno verde, i volumi di produzione di elettricità decarbonizzata necessari sono assai maggiori che nel caso dell'elettrificazione diretta per via della peggiore efficienza energetica. Per le stesse ragioni (differenze relative alle perdite di energia), ed in analogia con il trasporto pesante su gomma, l'uso di treni a batteria è strutturalmente avvantaggiato rispetto all'idrogeno da un punto di vista economico, a meno che i costi di produzione, distribuzione e stoccaggio dell'idrogeno possano essere significativamente inferiori a quelli dell'elettricità e delle batterie. La competitività economica delle soluzioni a batteria è maggiore in casi di convogli più piccoli che richiedono autonomie limitate e possono avere facile accesso alla rete elettrica nelle stazioni (specie, ma non solo, quelle di inizio e/o fine delle tratte) (Bombardier, 2019), anche grazie agli abbattimenti dei costi delle batterie che sono stati alimentati, nell'ultimo decennio, dagli sviluppi legati alle tecnologie a basi di ioni di litio ed alla crescita della loro domanda nell'elettronica di consumo e, più di recente, anche in ambito automobilistico (IEA, 2018). La competitività dell'idrogeno è maggiore per convogli più grandi e necessità di copertura, senza accesso alla rete elettrica, di distanza più lunghe. Un'analisi recente dell'IEA mostra che l'uso di treni a batteria è competitivo con treni diesel e ibridi per autonomie fino a 200 km (IEA, 2019). La stessa analisi indica anche che i treni ad idrogeno possono essere competitivi in presenza di assunzioni ottimistiche per quello che riguarda l'abbattimento dei costi di pile a combustibile, produzione, trasporto e distribuzione del vettore energetico (IEA, 2019). La competitività dell'idrogeno cresce in caso di applicazioni merci usate su lunghe distanze, e in mancanza di accesso a locomotive sostitutive o parti elettrificate della rete ferroviaria (e quindi in presenza di una necessità di stoccare grandi quantità di energia per ogni treno) (IEA, 2019).

quest'ultimo caso, la fase I richiede anche un'attenzione particolare allo sviluppo di progetti dimostrativi, in linea con il recente interesse dimostrato da parte del gruppo Ferrovie dello Stato.⁷²

A queste soluzioni si aggiungono anche interventi che hanno capacità limitata di ridurre le emissioni, ma non di raggiungere l'obiettivo net-zero, purché compatibili con i requisiti di sostenibilità della Renewable Energy Directive (EU, 2018). Ci si riferisce in particolare all'uso di treni ibridi-elettrici per il trasporto passeggeri (IEA, 2019), che possono essere alimentati anche a biocombustibili, o all'uso di gas naturale a complemento di queste soluzioni, in quanto offre riduzioni limitate di emissioni di gas serra sul ciclo di vita.

Per quello che riguarda la fase II, **le priorità relative alla transizione tecnologica per il trasporto su ferro rimangono l'elettrificazione diretta (che va completata), assieme ad altre soluzioni (in base a treni a batteria o a idrogeno a basse emissioni di gas serra) privilegiando quelle capaci di emergere come maggiormente competitive (sulla base dei costi), più efficienti dal punto di vista energetico ed anche delle risorse, mentre non è più possibile affidarsi a soluzioni di transizione.** A questo va aggiunto un continuo supporto alle attività di R&D riguardanti anche i sistemi di trasporto innovativi a levitazione magnetica, la cui tecnologia potrebbe anche rappresentare una soluzione potenzialmente rispondente alle prerogative di riduzione GHG, grazie all'uso di elettricità come vettore energetico (benché molto più energivora e resource-intensive), soprattutto per applicazioni ad alta velocità (> di 300 km/h).⁷³

Infrastrutture a supporto dei veicoli su ferro

L'ammontare complessivo delle risorse statali per il rinnovo del sistema ferroviario nel Piano Nazionale Strategico della Mobilità Sostenibile (PNSMS) (ASSTRA & CDP, 2019), è di circa 3,9 Mld€, di cui circa 1,6 Mld€, al netto della quota di cofinanziamento di aziende, Regioni ed enti locali, per il rinnovo del parco rotabile ferroviario. Ulteriori 7,2 Mld€ sono destinati allo sviluppo di sistemi di trasporto rapido di massa (tram e metro). Tuttavia, ulteriori studi di settore (Legambiente, 2021) evidenziano che tali fondi non sono sufficienti a coprire le esigenze connesse agli obiettivi al 2030.

Le altre misure relative alla fase I, e successivamente anche alla fase II, richiedono investimenti aggiuntivi sulle infrastrutture, specie per quello che riguarda la transizione dei servizi attualmente operati da treni a gasolio, vista la necessità di una progressiva transizione a catenarie, batterie e/o idrogeno ed alla decarbonizzazione dei vettori energetici. In questo contesto, gli investimenti maggiori da un punto di vista infrastrutturale si avrebbero con una transizione verso sistemi a catenaria, anche se l'uso di batterie può limitarne la necessità a tratti specifici delle linee.

Nella fase I rientrano anche interventi che promuovono l'efficientamento energetico e l'elettrificazione degli edifici (stazioni, strutture logistiche di interscambio merci) e delle strutture ferroviarie (stazioni), in linea con le considerazioni sviluppate nella sezione 6.3.

Per quello che riguarda la fase II, le decisioni relative alle infrastrutture devono tenere conto dei risultati delle attività dimostrative da sviluppare nella prima parte della fase I.

⁷² Il Gruppo RFI dal 2018 ha avviato studi e approfondimenti sulla mobilità ferroviaria ad idrogeno, finalizzati a comprendere i contesti applicativi in cui tale tecnologia possa rappresentare un'efficace alternativa all'elettrificazione, nonché ad approfondire gli impianti di terra necessari per l'esercizio della nuova tipologia di rotabili o eventuali ripercussioni sull'infrastruttura. Gli esiti di questa prima analisi interna ha portato RFI a ritenere meritevoli di approfondimento oltre il 70% delle linee ad oggi oggetto di servizi regionali con materiale diesel. Il draft del Piano Nazionale per la transizione a idrogeno del sistema ferroviario contiene un'analisi regione per regione, delle linee attualmente a trazione diesel che sarebbero potenzialmente utilizzabili per la trazione a idrogeno. Dei circa 3.700 km di linee della rete RFI non elettrificati/non inseriti nei programmi di elettrificazione, l'estensione delle linee di possibile sviluppo dell'idrogeno nel breve-medio periodo è di c.a. 2.000 km per un fabbisogno complessivo nazionale di c.a. 5.000 tonni/anno. Il costo stimato degli impianti di terra per la produzione, l'accumulo e il rifornimento dei treni è, secondo una stima di larga massima, dell'ordine dei 160 M€ mentre quello in nuovi materiali rotabili a fuel cell e batterie è dell'ordine dei 1.150 M€.

⁷³ La valutazione dei benefici in termini di riduzione delle emissioni di gas serra va fatta rispetto al ciclo di vita tenendo conto delle emissioni relative alla costruzione delle nuove infrastrutture, della manifattura dei veicoli e della fase d'uso. La capacità di abbattimento delle emissioni cresce con frequenze d'uso più alte e uso di materiali ed elettricità decarbonizzati.

6.1.2.3 Veicoli per l'aviazione

Come indicato dalle attività sviluppate nel quadro dell'International Civil Aviation Organisation (ICAO) e da documenti recentemente sviluppati dal settore privato, in particolare il "Air Transport Action Group" (ATAG), le priorità per una progressiva decarbonizzazione dell'aviazione sono legate a quattro assi principali d'azione: i) miglioramenti delle operazioni, ii) aumento dell'efficienza energetica con tecnologie legate ai velivoli, iii) "Sustainable Aviation Fuels" (SAF) compatibili con le esistenti tecnologie legate ai velivoli e alla rete di trasporto dei combustibili ("drop-in") e supporto della filiera industriale che ne consente la produzione, in linea con la direzione suggerita dallo sviluppo previsto di un'alleanza industriale europea su combustibili a basso contenuto di carbonio e con l'alleanza relativa all'idrogeno e iv) *carbon offsetting* o, meglio, *carbon removal* (dal momento che l'offsetting non è compatibile con l'obiettivo net-zero). Tra queste, il pacchetto "Fit for 55" include azioni che hanno la specifica volontà di accelerare l'uso di SAF in campo aeronautico, come la proposta relativa all'inclusione della tassazione dei combustibili usati in aviazione (EC, 2021b) e la proposta di incremento della percentuale minima di SAF al 20% nel 2035, 32% nel 2040, 38% nel 2045 e 63% al 2050. In cui lo 0,7% sono combustibili sintetici di origine non biologica, che possono includere idrogeno ed e-fuels.

Questi elementi suggeriscono che la fase I nel caso dell'aviazione deve comprendere uno sviluppo significativo della commercializzazione di SAF e, in parallelo, l'avvio di progetti di R&D pre-commerciale per la produzione di combustibili sintetici. Un'ulteriore area di sviluppo è quella dell'elettrificazione diretta in campo aeronautico, come mostrato dalla disponibilità dei primi velivoli da turismo⁷⁴ e dal crescente interesse per i droni (ITF, 2021a).

Considerazioni simili sono anche da applicare al caso di velivoli alimentati ad idrogeno, in linea anche con i recenti annunci di Airbus, nonostante le difficoltà oggettive dello sviluppo di queste filiere per l'aviazione commerciale (e la rilevanza maggiore per le tratte a corto raggio). In tutti questi casi, le priorità sono anche strumentali per lo sviluppo di standard tecnici che ne facilitano l'adozione su larga scala.

Altre aree prioritarie per la fase I, in termini di diffusione di tecnologie di decarbonizzazione, riguardano l'abbattimento delle emissioni di gas serra legate a tutte le attività aeroportuali (in linea con gli sviluppi di veicoli elettrici e pompe di calore e la decarbonizzazione della generazione elettrica). In analogia, tali azioni prioritarie riguardano anche le attività connesse alle infrastrutture puntuali del settore ferroviario (stazioni) e marittimo (porti).

Altre priorità per la fase I riguardano attività di R&D della produzione (in linea con le considerazioni della sezione sull'energia) e dell'uso di vettori energetici ad alto potenziale di abbattimento delle emissioni del trasporto aereo sul ciclo di vita, con un contestuale elevato potenziale di approvvigionamento su larga scala. Questo richiede lo sviluppo parallelo di velivoli (e propulsori) in grado di usare tali vettori tramite alte efficienze energetiche; questo aspetto assume ancor più rilevanza per biocombustibili avanzati (filiera termochimiche⁷⁵) e combustibili "verdi" (e-fuels) o "blu" (nei casi in cui la produzione di idrogeno blu sia fattibile a basse emissioni di gas serra, ed in cui il carbonio sia parte di un ciclo chiuso di utilizzo).

I risultati delle attività sperimentali realizzate nella fase I saranno utilizzati nella fase II al fine di indirizzare gli investimenti per un incremento di scala, e, proprio per questo motivo, vanno anche valutati sulla base della disponibilità di vettori energetici. Questo vale per la capacità produttiva in Italia ed anche in altri paesi dove, per le condizioni ottimali di clima, disponibilità di suolo, questi vettori energetici possono essere prodotti a costi inferiori.

⁷⁴ <https://www.pipistrel-aircraft.com/>

⁷⁵ La filiera oleochimica è più competitiva economicamente, ma anche soggetta a maggiori difficoltà in termini di scalabilità, vista la necessità di materie prime (oli e grassi) di scarto per ottenere abbattimenti significativi delle emissioni di gas serra.

Nella fase II, è prioritario l'incremento della scala di commercializzazione dei SAF e la transizione verso l'uso commerciale su larga scala di combustibili sintetici prodotti con elettricità rinnovabile. Il tutto potrebbe rendere necessarie importazioni di combustibili dall'estero e, in caso di sviluppo positivo di diversi aspetti tecnologici nel corso della fase I, dell'uso di idrogeno e/o elettricità su voli di corto raggio (con implicazioni dirette legate alle infrastrutture).

Al di là del quadro regolatorio legato alla revisione della Renewable Energy Directive ed alla proposta del regolamento Refuel EU per l'integrazione di SAF nei combustibili per l'aviazione, altre aree di sviluppo riguardano l'applicazione di tecnologie identificate come "Biomass Carbon Removal and Storage" (BiCRS, or BECCS), legate (come il caso degli e-fuels) al processo di "Carbon Dioxide Removal" (CDR) ma anche alla pirolisi della biomassa, ed anche rilevanti per lo sviluppo di attività di ricerca in fase I (ITF, 2021b; ICEF, 2020).

In combinazione con l'evoluzione tecnologica dei velivoli un fattore determinante per la decarbonizzazione sarà l'evoluzione delle modalità operative con cui si svolgeranno le operazioni di volo in aeroporto e in rotta. In estrema sintesi, le principali aree di intervento per i due ambiti sono:

Operazioni a terra negli aeroporti medio termine (entro 2035):

- Riduzioni delle emissioni di CO₂ operative degli aeromobili a terra
- Riduzione delle emissioni della fase di taxi (movimento dell'aereo sulla pista, al suolo), attraverso:
 - Taxi motore ridotto / taxi monomotore
 - Traino operativo elettrico o e-taxi
- Riduzione dell'utilizzo del "Auxiliary Power Unit" (APU) di bordo.

Operazioni di volo la cui implementazione può iniziare rapidamente, offrendo la maggior parte dei vantaggi già a medio termine (entro 2035):

- Miglioramento della pianificazione del volo
- Aggiornamenti del sistema di gestione dei voli
- Riduzione del peso
- Manutenzione della struttura e delle condizioni del velivolo

Questi miglioramenti possono essere ottenuti dall'azione delle compagnie aeree e supportati da azioni da parte dei costruttori.

Infrastrutture aeroportuali a supporto dei velivoli

Dal momento che i SAF sono approvati in standard internazionali per miscele "drop-in" (fino al 50%, con opportunità per miscele fino al 100% in futuro) nel combustibile per l'aviazione, il loro utilizzo non richiede sviluppi molto significativi delle infrastrutture aeroportuali e/o aeronautiche. Altri tipi di tecnologie, legate all'uso di soluzioni più efficienti, possono portare ad un orientamento delle attività verso velivoli con taglia maggiore. Questo potrebbe richiedere adattamenti delle infrastrutture aeroportuali, ma va anche valutato in funzione della dinamica di sviluppo delle flotte (con la vita media dei velivoli a 25 anni).

Nella fase I, le priorità sono più strettamente legate **alle infrastrutture funzionali all'elettrificazione delle operazioni di terra ed all'accesso alla rete per l'approvvigionamento di elettricità agli aerei in stazionamento negli aeroporti**. Ciò è richiesto dalla proposta di Regolamento sulle energie alternative del pacchetto "Fit for 55" per quello che riguarda gli aeroporti della rete TEN-T entro il 2025 per tutti i "gates" ed entro il 2030 per tutte le postazioni aeroportuali usate per attività commerciali. Tenendo conto delle difficoltà di decarbonizzazione dell'aviazione e della parallela spinta verso investimenti allineati con gli obiettivi dell'European Green Deal, è opportuno estendere queste azioni non solo agli aeroporti con traf-

fico più significativo ma anche ad altri aeroporti minori prevedendo in essi almeno un numero minimo di postazioni. Il tutto per ridurre i rischi di perdita di competitività, anche in ambito internazionale e per offrire accesso a soluzioni di decarbonizzazione efficaci e con costi ragionevoli a questi operatori.

Al 2030, la proposta di Regolamento sulle energie alternative del pacchetto “Fit for 55” richiede anche che l’elettricità fornita ad aerei in stazionamento sia prodotta da fonti rinnovabili in-situ. Dato il potenziale italiano di produzione di elettricità solare e la competitività della produzione elettrica da energia solare, è ragionevole estendere questo tipo di sviluppo anche ad altri aeroporti nazionali.

6.1.2.4 Veicoli per il trasporto marittimo

Nonostante il trasporto marittimo sia considerato assieme a quello ferroviario una delle modalità più sostenibili in termini di CO₂ per passeggeri km (pkm) o tonnellate km (tkm), ridurre i gas serra e i diversi impatti ambientali che lo shipping produce rappresenta un obiettivo essenziale per contrastare il cambiamento climatico e il degrado degli ecosistemi costieri e marini e la qualità dell’aria nelle zone portuali. Le emissioni di gas serra (espresse in CO₂ equivalenti) derivanti dall’intero comparto del trasporto marittimo (internazionale, domestico, pesca) sono passate da 977 a 1.076 milioni di tonnellate nel periodo 2012-2018 (+9,6%). L’incidenza del trasporto marittimo rispetto al totale delle emissioni antropogeniche è rimasta tra il 2,8% ed il 2,9% tra il 2012 ed il 2018. Considerando solo il trasporto marittimo internazionale il contributo è del 2,51% (IMO, 2021)

Per quanto riguarda l’UE, il trasporto marittimo è ritenuto responsabile (2018) di circa il 13,5% delle emissioni di GHG dell’intero comparto dei trasporti (EMSA, EEA, 2021). Importante è poi il contributo del settore alle emissioni di NO_x, SO_x (24%) e PM_{2,5} (9%), rispetto al totale di tutti i settori. Il trasporto marittimo gioca quindi un ruolo importante non solo rispetto alla crisi climatica ma anche rispetto a quello dell’inquinamento dell’aria. Da sottolineare al riguardo l’importanza del Sulphur cap entrato in vigore il 1° gennaio 2020, che stabilisce il limite dello 0,50% per il tenore di zolfo nei combustibili (mentre per i porti comunitari e per quelli ricompresi nelle SECAs, Sulphur Emission Control Areas, il limite era già dello 0,10%).

In analogia con l’aviazione, per il trasporto navale i riferimenti sono le attività dell’International Maritime Organisation (IMO), in campo internazionale (ed in particolare la strategia di decarbonizzazione del settore marittimo) e le proposte integrate nel pacchetto europeo “Fit for 55”. Queste includono la proposta di Regolamento che rimpiazza l’Alternative Fuels Infrastructure Directive del 2014 (EC, 2021e) ed il regolamento Fuel EU Maritime (EC, 2021f), combinata con la proposta di revisione della Renewable Energy Directive e l’integrazione del trasporto marittimo⁷⁶ nell’Emission Trading Scheme (EC,2021g), a cui va anche aggiunta la proposta relativa alla revisione delle tasse sull’energia (con l’inclusione della tassazione dei combustibili usati per la navigazione) (EC, 2021h).

Le implicazioni di queste misure **per la fase I** sono importanti per i seguenti aspetti:

1. L’elettrificazione delle ferry-boats a corto raggio, in linea con quello che è già stato sperimentato nei paesi Nordici (ITF,2020), è anche molto rilevante per la navigazione fluviale, le unità navali per il trasporto pubblico locale e la navigazione da diporto o ricreativa.
2. L’elettrificazione delle navi attraccate in porto (cold ironing), in linea con le proposte di Regolamento relativo alle infrastrutture alternative di distribuzione dell’energia (EC, 2021e) e con il D.lgs 257/2016, che prevede come i porti italiani più importanti (quelli centrali nella Rete TEN-T) debbano organizzare le infrastrutture per il cold ironing entro la fine del 2025.

⁷⁶ Questo riguarda le emissioni del traffico intra-EU, il 50% di quello extra-EU e le emissioni legate alle attività in porto. Anche se l’European Green Deal e la Sustainable Smart Mobility Strategy rilevano come l’obiettivo della neutralità climatica al 2050 richiederà una riduzione delle emissioni di GHG nel trasporto marittimo internazionale UE del 80-82% rispetto ai valori del 1990 (88-89% rispetto ai valori 2008) (EMSA, EEA, 2021, p. 24).

3. Ricorso nel breve periodo (presente decennio) al GNL solo come soluzione per ridurre le emissioni di inquinanti locali sia nella fase di navigazione sia durante la fase portuale. Il sistema è ritenuto maturo dal punto di vista tecnologico quindi, la sua maggiore diffusione nel breve periodo è un obiettivo condiviso da tutti gli attori della filiera portuale-marittima. Tuttavia, il GNL è anche esposto a rischi di “asset stranding” da un punto di vista climatico.
4. Incremento dell’uso di combustibili compatibili con i criteri di sostenibilità ambientale della Renewable Energy Directive, in linea con la proposta Fuel EU Maritime del pacchetto “Fit for 55”, che introduce un sistema di valutazione basato sulle emissioni del ciclo di vita (EC, 2021f).
5. L’avvio di sperimentazioni sulla produzione e l’uso di ammoniaca ed e-fuels come il metanolo e/o l’idrogeno “verde” (o “blu”, se compatibile con emissioni di gas serra basse sul ciclo di vita) come vettori energetici per il trasporto navale, ancora una volta sulla linea delle attività già intraprese nel Nord Europa, seguite dalla promozione di applicazioni commerciali capaci di usare questo tipo di combustibili (ITF, 2020).
6. L’adozione e lo sviluppo di tecnologie capaci di incrementare l’efficienza energetica delle navi (compresi retrofits, per mitigare impatti legati a incrementi di costi dei combustibili ed anche per ragioni di competitività industriale, dato il ruolo della cantieristica navale in Italia).
7. Lo sviluppo di attività di R&D sulla decarbonizzazione dell’industria marittima anche con l’istituzione di un Fondo (IMRB: International Maritime Research and Development Board), finanziabile con un prelievo obbligatorio sul carburante per uso marittimo utilizzato, come proposto dalle più importanti associazioni dell’industria marittima mondiale.

Queste azioni sono anche strumentali allo sviluppo delle relative attività di standardizzazione tecnologica e normativa e complementano attività nel settore aereo o per altri usi di combustibili liquidi a basse emissioni. Nella fase I, ad esse vanno aggiunti interventi che promuovono l’elettrificazione delle strutture portuali (stazioni marittime, infrastrutture logistiche e mezzi necessari alle operazioni nei porti. Altre attività importanti per la fase I riguardano R&D e commercializzazione di ferry-boats ed imbarcazioni da diporto elettriche, a partire da quelle che hanno profili di utilizzo più alto (per ragioni di opportunità economica). R&D sono anche importanti, nella fase I, per la produzione (in linea con le considerazioni della sezione sull’energia) e dell’uso di vettori energetici liquidi o gassosi ad alto potenziale di abbattimento delle emissioni del trasporto marittimo sul ciclo di vita, con un contestuale alto potenziale di approvvigionamento su larga scala. Questo è anche più rilevante per metanolo, ammoniaca e metano a basse emissioni sul ciclo di vita, la cui produzione (o importazione) deve anche riguardare filiere legate a biocombustibili avanzati (filiera termochimiche⁷⁷) e combustibili derivati dall’idrogeno e dal carbonio a ciclo chiuso “verdi” (e-fuels) o “blu”.

L’industria navale è poi fortemente impegnata nel miglioramento del design e delle caratteristiche operative delle navi, dalle quali ci si possono aspettare riduzioni di gas serra. A tale scopo l’IMO ha introdotto nel 2011 degli standard vincolanti per le navi, basati su due indicatori: i) “Energy Efficiency Design Index” (EEDI) di natura tecnica, per le navi di nuova costruzione e ii) “Energy Efficiency Management Plan” (SEEMP), di natura operativa-gestionale per tutte le navi. Inoltre, l’IMO ha introdotto recentemente un ulteriore sistema di indicatori, che prevede il monitoraggio dell’efficienza energetica di tutte le navi esistenti (EEXI, “Energy Efficiency Existing Ship Index”) e l’intensità di carbonio (CII, “Carbon Intensity Indicator”). Il sistema dovrebbe entrare in vigore nel 2023-2024, con l’attribuzione di un indicatore di efficienza (da A a E) alle diverse navi. Mentre le navi che per tre anni consecutivi rientreranno nelle categorie D, E, dovranno predisporre piani correttivi. Si tratta di sistemi che potranno anche consentire ai porti di applicare benefi-

⁷⁷ La filiera oleochimica è più competitiva economicamente, ma anche soggetta a difficoltà più grandi in termini di scalabilità, vista la necessità di materie prime (oli e grassi) di scarto per ottenere abbattimenti significativi delle emissioni di gas serra ed i loro limitati volumi.

ci di varia natura per le navi con le performance migliori (A, B), offrendo ulteriori stimoli per investimenti volti a promuovere un miglioramento dell'efficienza energetica in fase operativa. A regime, il sistema dovrebbe essere in grado di orientare investimenti e valutazioni di mercato, la sua efficacia è ancora lontana dai livelli di abbattimento di emissioni compatibili con l'accordo di Parigi. Nonostante questi limiti, questo può confermare come l'integrazione tra misure ambientali ed economico-finanziarie, messe in atto dalla filiera marittima e da quella portuale possa costituire una fondamentale leva per la transizione.

Per la fase II, le priorità sono analoghe al caso dell'aviazione e riguardano l'incremento della scala di commercializzazione dei combustibili necessari alla navigazione decarbonizzata e l'applicazione, se possibile, se efficacemente sviluppate in fase I e se si dimostrano efficaci, di tecnologie BiCRS e DAC per la produzione di combustibili usati nel settore (ITF, 2021; ICEF, 2020). L'uso del gas nelle navi alimentate a GNL di origine fossile (World Bank, 2021) non è da considerarsi invece un intervento capace di dare un contributo significativo alla decarbonizzazione. Data la lunga vita delle navi e la necessità di nuovi investimenti per la distribuzione del gas nei porti, l'uso di GNL fossile è a rischio di non essere più allineato con gli obiettivi del pacchetto "Fit for 55", a meno che non si possa accoppiare con la produzione di gas naturale sintetico a basse emissioni di gas serra,⁷⁸ cosa che richiede significative quantità di elettricità decarbonizzata, come nel caso di ammoniaca e metanolo "verdi".⁷⁹

Infrastrutture portuali a supporto dei veicoli marittimi

Le considerazioni sviluppate qui per le fasi I e II della transizione hanno conseguenze concrete sulle necessità di sviluppo delle infrastrutture. L'elettificazione di ferry-boats a corto raggio, delle attività portuali delle navi e la transizione all'elettrico delle navi per il trasporto pubblico locale e la navigazione da diporto richiedono investimenti significativi, non solo per il rinnovo dei natanti,⁸⁰ ma anche per quello che riguarda la rete elettrica nei porti (shore power⁸¹), già in fase I.

I requisiti minimi della proposta di Regolamento su *alternative fuels infrastructure* (EC, 2021e) riguardano i porti che fanno parte della rete europea TEN-T (Ancona, Bari, Genova, Gioia Tauro, La Spezia, Livorno, Napoli, Palermo, Ravenna, Taranto, Trieste e Venezia) con scali frequenti da parte di portacontainer, traghetti, navi veloci per il trasporto di passeggeri ed altre navi con stazza al di sopra delle 5000 t lorde, al fine di avere una copertura del 90% della domanda elettrica necessaria alle loro attività portuali al 2030. Tuttavia, investimenti significativi saranno anche rilevanti per porti con traffico inferiore al minimo indicato nel regolamento ed in altri porti con traffico importante di navi a grande stazza, come Augusta, Brindisi, Cagliari, Civitavecchia -Fiumicino - Gaeta, Salerno.⁸²

⁷⁸ <https://www.man-es.com/energy-storage/solutions/Ing-to-power>

⁷⁹ Questo ha dei vantaggi dal punto di vista dell'efficienza energetica della produzione del gas, e svantaggi legati alla necessità di stoccare il gas in forma liquida, a basse temperature (-162° a pressione ambiente) ed alle emissioni fuggitive di metano legate a liquefazione, stoccaggio e rigassificazione.

⁸⁰ Il solo rinnovo della flotta navale al servizio delle aziende del trasporto pubblico locale (escludendo una transizione all'elettrico) corrisponde ad una spesa di 513 ml€, per il Piano Nazionale Strategico della Mobilità Sostenibile (PNSMS) (https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/normativa/2019-06/DPCM_PSNMS.pdf).

⁸¹ L'OPS (Onshore Power Supply), che consente alle navi di rifornirsi di elettricità dalle banchine. Si tratta di tecnologie utili a ridurre le emissioni e il rumore nei porti, con conseguenze positive soprattutto rispetto ai rapporti porti-città. L'efficacia del sistema dipende dall'aumento del numero di navi che sono dotate di sistemi di connessione ad alto voltaggio, ancora oggi piuttosto limitato (a livello UE circa 9% navi container, 15% navi crociera, 10% Ro-pax) (EMSA, EEA, 2021).

⁸² In Europa, EMSA, EEA riporta il dato di 36 infrastrutture Shore-to-Ship Power nei porti dell'UE, che servono soprattutto ro-ro, navi crociera, navi per GNL, tankers e navi porta container. I paesi che hanno il maggior numero di porti dotati di infrastrutture sono Svezia, Germania, Norvegia, seguiti poi da Francia, Spagna e Olanda, mentre emerge il grande ritardo che caratterizza la situazione italiana (EMSA, EEA, 2021, pp. 123, 196). Le informazioni presenti nei POT e nei DEASP delle AdSP italiane confermano comunque come tutti i principali porti siano attivamente impegnati nello sviluppo di tali infrastrutture (progetti in via di attivazione o completamento, avvio di studi di fattibilità e valutazione finanziaria, ecc.).

Considerazioni simili vanno anche applicate ai casi di trasporto passeggeri su navi veloci per le isole, anche per via degli sviluppi delle politiche di riduzione delle emissioni (incluse quelle relative all'uso dei veicoli e dell'energia) in campo finanziario (con una spinta verso investimenti allineati con l'ambizione dell'European Green Deal che non si limitano soltanto alle scelte dei governi, ma orientano anche quelle di attori economici privati, i quali devono poter avere accesso a soluzioni di decarbonizzazione efficaci e competitive da un punto di vista dei costi).

Dati gli sviluppi rapidi dell'elettrificazione in campo automobilistico, con effetti di spillover nell'ambito della nautica da diporto (e la rilevanza del supporto all'innovazione per gli attori di questo settore in Italia, che richiede concertazione e supporto alla domanda), investimenti in colonnine di ricarica saranno anche opportuni in porti più piccoli, con traffico da diporto. Tenendo presente che gli investimenti in infrastruttura di ricarica hanno effetti regressivi limitati, è opportuno prenderli in considerazione in casi di utilizzo prevalentemente stagionale, da finanziare con capitale privato e da attuare con strumenti regolatori e, solo se inevitabile, contributi pubblici. In questi casi, l'integrazione tra infrastrutture stradali e portuali appare importante per minimizzare i costi e massimizzare i tassi di utilizzo (e quindi anche i benefici in termini di viabilità economica e riduzione dei costi).

Un ulteriore stimolo alla decarbonizzazione dei porti può venire dall'elettrificazione dei consumi degli edifici e dalla produzione e utilizzazione di energia da fonte rinnovabile. Anche a questo riguardo, Piani Operativi Triennali (POT) e Documenti di Pianificazione Energetica e Ambientale del Sistema Portuale (DEASP) delle Autorità del Sistema Portuale (AdSP) riportano, in diversa combinazione: progetti e iniziative già in corso volte alla realizzazione di pannelli fotovoltaici nelle coperture degli edifici o nelle pensiline, realizzati dall'operatore pubblico o da privati; programmi di efficientamento energetico degli edifici; utilizzazione di mezzi di movimentazione elettrica e realizzazione di colonnine per la ricarica; utilizzazione lampade LED; avvio di progetti di integrazione e di migliore governance delle forniture di energia (sviluppo di approcci di "comunità energetica", avvio di processi organizzativi volti alla gestione del porto come "portgrid", ecc.); iniziative di certificazione e graduazione dei costi a seconda dell'adesione a programmi di miglioramento delle performance ambientali delle navi. Le Autorità di Sistema (AdS) sono poi ampiamente coinvolte in reti di ricerca, nazionali e internazionali, sullo sviluppo di nuove fonti rinnovabili e sullo sviluppo dell'economia circolare. Questione cruciale, al riguardo, è la capacità dei progetti di generare effetti che continuano oltre la fine del progetto stesso. Elevata è anche l'attenzione al tema dell'idrogeno e alle sue possibili implicazioni sia per il trasporto marittimo sia per i mezzi di movimentazione in porto.

L'utilizzo di biocombustibili avanzati o derivati dall'idrogeno e dal carbonio può richiedere (o meno, in caso di soluzioni "drop-in") lo sviluppo di infrastrutture portuali che ne consentano l'uso e va pensato in un contesto che promuove lo sviluppo parallelo di navi (e propulsori) con alte efficienze energetiche ed in grado di garantirne la domanda. Il caso del metano è anche rilevante per il GNL, anche se entrambi hanno una limitata capacità di abbattimento delle emissioni e richiedono accorgimenti tecnologici in grado di abbattere le emissioni fuggitive. Il GNL prodotto come combustibile sintetico (elettrocombustibile, o e-fuel) ha anche costi superiori rispetto all'ammoniaca, per via della liquefazione necessaria allo stoccaggio, che richiede temperature molto basse ed il recupero delle perdite di metano emesso in atmosfera a seguito di operazioni di sfiato, necessarie per mantenere le basse temperature in fase di stoccaggio (non necessarie per l'ammoniaca). Nonostante questo, il Quadro Strategico Nazionale, allegato del Decreto legislativo n.257/2016, prevede al 2030 la realizzazione di un'efficiente infrastruttura per l'impiego del GNL, costituita da 5 impianti costieri di stoccaggio da 30000-50000 m³, 20 punti di rifornimento per le navi che ope-

rano nei porti marittimi e nei porti della navigazione interna, 3 navi di cabotaggio e 4 bettoline per il trasporto marittimo di GNL tra porti vicini ed il bunkeraggio off-shore delle navi.⁸³

Le indicazioni incluse nel Quadro Strategico Nazione (QSN) non tengono in sufficiente considerazione che la promozione di una tecnologia con limitata capacità di abbattere le emissioni di gas serra in un settore, come quello della navigazione, in cui la durata di vita di navi e di infrastrutture è di diverse decine di anni, espone questa stessa tecnologia a rischi di transizione legati alle politiche climatiche molto significativi. Nell'ottica di uno sviluppo capace di rispondere efficacemente all'ambizione del pacchetto "Fit for 55", sarà quindi necessario evitare di usare fondi pubblici in supporto del GNL nel settore della navigazione, riconsiderare i piani attuali, regolare in maniera più stringente le emissioni di metano delle navi e per la produzione e distribuzione di gas, e riorientarle verso soluzioni che abbiano una effettiva capacità di portare le emissioni del settore della navigazione verso un obiettivo net-zero. Queste includono maggiore efficienza energetica, assistenza del vento, biocombustibili, combustibili sintetici/e-fuels (come metanolo ed ammoniaca) derivati da idrogeno ed elettricità decarbonizzati (e fonti di carbonio rinnovabile nel caso del metanolo) e ad alto profilo di sostenibilità (World Bank, 2021). L'ammoniaca, in particolare, sembra oggi la soluzione più conveniente da un punto di vista tecnico ed economico, ma deve poter essere usata in sicurezza, date le sue caratteristiche di tossicità.

Nella fase II, le attività sperimentali e di commercializzazione della fase I possono informare decisioni di investimento per un incremento di scala, e, proprio per questo motivo, vanno anche valutate sulla base della disponibilità di vettori energetici, anche in altre zone globali, specie per quello che riguarda la navigazione internazionale.

6.1.3 Tecnologie a supporto delle infrastrutture e dei veicoli

Le tecnologie digitali hanno dimostrato, nel corso degli scorsi decenni, una capacità impressionante di cambiare i comportamenti di individui, imprese, attori finanziari e governi. Esempi chiave sono l'evoluzione esponenziale del traffico internet e dell'attività dei "data centres" (IEA, 2017) e la diffusione di apparecchi elettronici come gli smart phones (IMF, 2020). Le aspettative future vedono un incremento della penetrazione di tecnologie digitali per una larga varietà di oggetti - come parte del concetto dell'"Internet of Things" (IoT) discusso nella sezione 6.4. Una ulteriore accelerazione di questi sviluppi è stata amplificata dalla pandemia di Covid-19 (OECD, 2020c).

I trasporti e la mobilità non fanno eccezione in questo quadro, ed hanno visto un crescente uso di tecnologie digitali, generalmente riassunte dal concetto generale di sistemi di trasporto intelligente ("intelligent transportation systems", ITS). Questo comprende le comunicazioni integrate e le tecnologie di elaborazione dati che, se combinate e gestite, migliorano le capacità operative dell'intero sistema di tra-

⁸³ Un altro punto legato al D.lgs 257/2016 e più che altro associato a politiche di diversificazione energetica, è la realizzazione di infrastrutture nei porti che consentano il rifornimento di GNL (truck-to-ship, ship-to-ship o pipeline-to-ship). A livello UE, sono 59 i porti che hanno infrastrutture per rifornire le navi di LNG (EMSA, EEA, 2021). I paesi con maggiori infrastrutture per l'uso marittimo del GNL sono Norvegia, Spagna, Germania, seguiti poi da Olanda, Francia, Svezia e Belgio. Il rapporto EMSA, EEA (2021) registra una differenza con i porti italiani, dove il rifornimento di GNL dipende da navi metaniere provenienti dalla Spagna (EMSA, EEA, 2021). I porti dove investimenti nella distribuzione di GNL per le navi sono in uno stato di avanzamento più marcato sono quelli di La Spezia (ship-to-ship) e Ravenna (nuovo deposito GNL). La fase autorizzativa per il progetto di deposito costiero a Venezia è anche conclusa. Altri porti della rete core sono in fase di progetto, altri in fase di studio di fattibilità. In generale, la gran parte dei principali porti italiani, in particolare quelli che hanno partecipato alle diverse fasi dei progetti GAINN (Gas Innovation Network) prevedono investimenti nel settore. La situazione è quindi in evoluzione, ma restano problemi di frammentazione decisionale, conflitti di competenza, difficoltà in alcuni contesti in termini di accettabilità sociale e limitati benefici per la riduzione di emissioni di gas serra.

sporto (US DOT, 2016; Baranzelli et al., 2019).⁸⁴ Nel caso dei veicoli, **le tecnologie digitali sono elementi fondanti del concetto di “cooperative-ITS” (C-ITS), legato alle comunicazioni “vehicle to everything” (V2X), ovvero tra un veicolo ed un altro e con le infrastrutture**, con molteplici campi di utilizzo (a cominciare da aspetti legati alla sicurezza). Queste, in combinazione con i big data, miglioramenti nella potenza di calcolo, machine learning e intelligenza artificiale, sono anche parte dei prerequisiti necessari allo sviluppo della guida autonoma. Al di là dei veicoli, le tecnologie di “Information Communications Technology” (ICT) si sono già dimostrate strumentali ed efficaci per lo sviluppo di nuove forme di mobilità “condivisa”, come nel caso della micromobilità o del “ride sharing” (che sono oggetto della sezione di questo capitolo dedicata all’intermodalità).

Nel dibattito relativo alle tecnologie per la mobilità che possono contribuire alla decarbonizzazione è sicuramente doveroso discutere il ruolo che in questo percorso possono avere i **veicoli autonomi connessi** (CAV, “Connected and Autonomous Vehicles”). Com’è noto, vi sono diversi livelli di autonomia. In particolare, l’autonomia è segmentata in 5 livelli, i primi due dei quali sono in realtà sistemi di assistenza alla guida già ampiamente disponibili nel mercato attuale. È solo dal livello 3 che si può parlare veramente di guida autonoma, ma comunque limitata da determinate condizioni (ad esempio, guida in corsia separata, senza biciclette o pedoni) e che richiede un guidatore che possa assumere il controllo in qualsiasi momento. Il livello 4 si riferisce alla completa autonomia in determinate condizioni atmosferiche e in determinate aree geografiche, mentre il livello 5, designa la completa autonomia in ogni circostanza. Le attuali proiezioni temporali danno il livello 3/4 come in arrivo sul mercato entro il 2030, mentre il livello 5 come di più lungo periodo, in alcuni studi addirittura proiettato come massivamente diffuso solo oltre il 2050, e dunque al limite oltre il target temporale del net-zero. Dal punto di vista del veicolo, gli aspetti cruciali che vengono considerati negli studi dedicati a questo tema (si veda ad es. Gawron, et al., 2018)), sono i seguenti:

- i) **la connettività, e i costi legati alla trasmissione delle mappe in tempo reale.** Per quanto riguarda la connettività, va notato che mentre il 5G consentirà nuove applicazioni, non è essenziale per l’implementazione di molti servizi autonomi di livello 3 e 4, come dimostrano vari servizi di robot taxi di livello 4 attualmente implementati ad esempio in USA, e i veicoli personali di Livello 3 pianificati da alcune “Original Equipment Manufacturer” (OEM) nel 2021, e i numerosi esperimenti di navette autonome attualmente in corso, che non utilizzano il 5G. Sicuramente la trasmissione dati wireless per le mappe in tempo reale contribuisce in modo significativo agli oneri del ciclo di vita dei CAV. Studi mostrano che limitando la trasmissione alle mappe standard esistenti si possono ridurre le emissioni relative del 35% rispetto all’uso di mappe HD ipotizzando la trasmissione su una rete 4G LTE.
- ii) **l’impronta ambientale delle apparecchiature.** Da questo punto di vista è necessario tenere conto di tutte le componenti dei sistemi di mobilità (veicoli e infrastrutture) e considerare i sistemi implementati sull’infrastruttura come condivisi da tutti gli utenti della strada. Questa messa in comune di attrezzature potrebbe eventualmente portare a una razionalizzazione complessiva del numero e dell’impronta ambientale delle attrezzature necessarie per un servizio di mobilità autonoma rispetto all’approccio “tutto a bordo” storicamente adottato dall’industria automobilistica. Del resto, gli sforzi di digitalizzazione delle infrastrutture che questo rapporto indica come cruciali per ogni direzione di adattamento e decarbonizzazione delle stesse le avvicinerà senza dubbio ad essere adeguate alle necessità dei CAV: anzi, nel progetto della digitalizzazione stessa è opportuno già tenere conto di queste necessità future per ottimizzare l’investimento.

⁸⁴ I pilastri chiave del concetto ITS includono rilevatori di traffico integrati nelle strade per il controllo dei semafori, identificazione a radiofrequenza (RFID), riconoscimento automatico delle targhe ed il sistema globale di navigazione satellitare (GNSS, Global Navigation Satellite System). Le tecnologie ITS comprendono (e richiedono) anche altre tecnologie di telecomunicazione, che non si limitano alla rete cellulare (ampiamente usata, ad oggi, per la navigazione ed anche in sistemi che offrono soluzioni integrate di trasporto, specialmente rilevanti nelle città) ed i servizi dedicati di comunicazioni a corto raggio (“dedicated short-range communications”, DSRC).

- iii) **i costi energetici della gestione dei dati** generati dai veicoli autonomi. In questo contesto è importante distinguere tra i dati grezzi elaborati localmente nel veicolo e i dati interpretati, meno voluminosi, alcuni dei quali potrebbero essere inviati a server centrali gestiti da produttori o operatori di mobilità. Va inoltre considerato che l'enorme bisogno di dati di guida richiesti durante la fase di sviluppo e validazione dei sistemi è sproporzionato rispetto al volume di dati generato da ogni veicolo a lungo termine e utili per il loro funzionamento individuale.
- iv) **l'efficienza energetica**: questo è un aspetto multidimensionale di non banale valutazione complessiva. C'è, infatti, un significativo spazio per la riduzione dei consumi che può venire dal progetto di algoritmi efficaci di eco-driving. Lo studio in Gawron, et al. (2018) mostra che questo aspetto può ridurre i consumi tra il 7 e il 16% rispetto alla guida umana sugli stessi cicli di guida. Per converso, il peso aggiuntivo del veicolo e le alterazioni alla configurazione aerodinamica implicata dai sistemi di visione e di controllo possono quasi azzerare i benefici dell'eco-driving. Ciò detto, tuttavia, la tecnologia CAV è ancora in una fase di rapido sviluppo: i componenti di rilevamento e calcolo continueranno a essere miniaturizzati e resi più compatti, quindi è lecito attendersi che questi impatti si ridurranno.

Ad oggi, **la tendenza ad una transizione verso veicoli connessi, autonomi e condivisi** (grazie alle tecnologie digitali) è stata chiaramente supportata da opportunità economiche e non necessariamente accoppiata con l'importanza di allineare opportunità economiche e sostenibilità ambientale (che comprende la mitigazione delle emissioni di gas serra), anche se notevoli sinergie esistono tra queste tecnologie e i veicoli elettrici. Diverse analisi indicano che l'uso di tecnologie digitali nei veicoli (in particolare i veicoli autonomi) possono avere impatti notevoli sul traffico⁸⁵, sia per le merci che per i passeggeri. Questo non indica soltanto la crescente necessità di disaccoppiare attività di trasporto ed emissioni (specialmente in un quadro politico con l'ambizione di raggiungere zero emissioni al 2050), ma sottolinea anche l'importanza di gestire l'evoluzione della domanda e rendere le infrastrutture capaci di sostenerla.

Le sezioni su veicoli ed energia in questo capitolo sottolineano l'importanza del miglioramento dell'efficienza e della diversificazione delle fonti energetiche verso soluzioni a basse emissioni. Un aspetto critico di questi sviluppi, tuttavia è legato al fatto che, ad oggi, la tassazione sui combustibili è fonte fondamentale di finanziamento e sviluppo delle infrastrutture (e non solo). Una transizione tecnologica verso veicoli più efficienti ed a elettricità o idrogeno decarbonizzati è destinata inevitabilmente ad erodere la base di entrate fiscali legate all'uso di combustibili fossili (IEA, 2019b; ITF, 2021b). In un contesto in cui le entrate fiscali vanno mantenute, questo richiede un'adeguata anticipazione e lo sviluppo progressivo di soluzioni alternative. Parte della soluzione può essere l'adozione combinata di tasse crescenti sul carbonio di origine fossile (come già messo in atto, in Europa, dagli sviluppi recenti dell'Emission Trading Scheme, ed in linea con le proposte di revisione dello stesso). Un'altra parte della soluzione può essere legata ad una transizione da una tassazione "al litro" (di combustibile) ad una tassazione sulla base della distanza percorsa (OECD, 2019a; OECD, 2019b; IEA, 2019b; ITF, 2021b).⁸⁶ Data l'importanza di questo genere di transizione in prospettiva degli utenti finali (anche per orientare le loro decisioni di investimento), le tecnologie ed i tempi che questo tipo di riforma richiede, è opportuno che il tema emerga rapidamente nel contesto di un dibattito pubblico.

⁸⁵ I veicoli a guida automatica possono potenzialmente migliorare l'attuale sistema di trasporto in termini di riduzione degli incidenti, dei consumi energetici, della congestione e dell'uso del suolo urbano (minore occupazione di suolo per la sosta) e miglioramento della equità sociale (Fagnant & Kockelman, 2015; Zhang et al. 2015; Correia et al., 2016; Mena-Oreja et al. 2018). Tuttavia, questi benefici si possono ottenere solamente **nel caso di uso condiviso dei veicoli autonomi**, e transizione tecnologica a soluzioni con costi operativi più bassi, come i veicoli elettrici. Inoltre, **in assenza di politiche che favoriscano fortemente il trasporto pubblico, la diffusione di veicoli autonomi si stima produca l'effetto opposto, di un incremento del tasso di motorizzazione**, con incrementi del volume di traffico e, di conseguenza, del consumo energetico, in termini assoluti (Wadud et al., 2016; IEA, 2017a; Sperling, 2018; Noussan & Tagliapietra, 2020; Greenwald & Kornhauser, 2019)

⁸⁶ Eventualmente, questo può anche integrare un certo grado di variabilità per gestire altri impatti negativi del traffico, come la gestione nelle ore di punta).

L'uso di **tecnologie digitali può avere un ruolo centrale per una transizione verso la tassazione al chilometro**, specialmente in una situazione in cui la pandemia di Covid-19 ha accelerato la transizione a questo tipo di tecnologie, ed è già, tecnicamente, una realtà. In Europa, la tassazione al chilometro è già in uso (attraverso tecnologie GNSS) per i mezzi pesanti su parti importanti della rete di trasporto di alcuni paesi (Fernandez-Wytenbach, 2021).⁸⁷ Altri casi di sperimentazione esistono in America del Nord, e una combinazione di tassazione a distanza ed in funzione del traffico è applicata a Singapore (ITF, 2021b). Esempi di uso di tecnologie digitali per sistemi "pay-as-you-drive" esistono anche in campo assicurativo (Ill, 2020).⁸⁸ Un aspetto (un "gap") particolarmente importante per consentire uno sviluppo efficace per l'applicazione di una tassazione al chilometro è l'integrazione delle tecnologie che ne permettono l'applicazione nel quadro delle tecnologie elettroniche imbarcate nei veicoli. Questo è anche rilevante per assicurarne l'interoperabilità e la compatibilità con sistemi esistenti o ancora da sviluppare. Le tecnologie GNSS e C-ITS hanno un ruolo importante in questo contesto, ed il caso del GNSS in Europa ha dimostrato di poter offrire opportunità di minimizzare i costi (ITF, 2021b). L'integrazione delle tecnologie ICT nei sistemi sviluppati dai costruttori può anche essere strumentale per consentire l'uso di politiche di "geofencing", volte a favorire l'uso di veicoli più efficienti e meno inquinanti in aree in cui questi veicoli hanno impatti importanti sulla salute.

Un ulteriore caso importante di sviluppo delle tecnologie digitali a fini di decarbonizzazione è quello che consente l'**uso di veicoli elettrici nel quadro di sistemi integrati di gestione della domanda di elettricità** ("smart grids"), con benefici visibili sia in termini di ridotta espansione dei sistemi di produzione, trasmissione, e distribuzione dell'elettricità, sia per l'ottimizzazione dell'uso della capacità di produzione e trasmissione/distribuzione elettrica per minimizzare costi energetici per tutti gli utenti, sia in termini di bilanciamento dell'offerta e della domanda elettrica, particolarmente importante in un contesto che prevede una crescita di fonti energetiche rinnovabili variabili, come eolico e solare. Questo è un caso in cui imprese italiane, ed in particolare Enel X, hanno un vantaggio competitivo importante rispetto alla concorrenza.

Altre applicazioni ICT che possono portare benefici per la riduzione delle emissioni di gas serra riguardano veicoli e strumenti usati per servizi portuali, specie se gli sviluppi orientati verso l'automazione vanno di pari passo con la transizione dei veicoli verso l'elettricità e/o l'idrogeno decarbonizzati.

Le implicazioni di tutti questi sviluppi per le infrastrutture riguardano aspetti legati alle tecnologie dei veicoli e, per via della natura stessa dei servizi di trasporto, al rafforzamento delle capacità di comunicazione delle reti wireless.

Data la loro natura, strettamente legata all'evoluzione delle tecnologie digitali, tutte le soluzioni discusse qui vanno legate, dal punto di vista infrastrutturale, ad interventi che rafforzano la connettività delle reti di trasporto. **Questi investimenti infrastrutturali vanno considerati come prioritari per il sistema, già da ora.** Questo si deve alla rapidità di sviluppo delle tecnologie digitali e la loro importanza, non solo legata ad aspetti ambientali, ma anche allo sviluppo dell'innovazione e della competitività industriale necessarie alla crescita economica. Nel corso dei decenni che portano al 2050, questo tipo di investimenti sarà anche, molto probabilmente, soggetto a diverse ondate di aggiornamenti (la cui natura va adeguatamente anticipata).

⁸⁷ Il quadro normativo è quello della European Electronic Tolling Directive (EETD) (EC, 2019) e della revisione della Eurovignette Directive, a seguito di un accordo politico che ne estende lo scopo di applicazione dai camion agli autobus, ai veicoli commerciali leggeri ed alle auto. (EC,2017)

⁸⁸ Questo è anche un caso in cui l'Italia ha importanti attori industriali. <https://www.octotelematics.com/company/#:~:text=Today%20OCTO%20is%20a%20leading,Fleet%20Telematics%20and%20Smart%20Mobility>

Ben presente in tutti i Piani Operativi Triennali (POT) e Documenti di Pianificazione Energetica e Ambientale del Sistema Portuale (DEASP) è l'attenzione alla digitalizzazione, sia per le funzioni istituzionali (dematerializzazione dei procedimenti amministrativi, razionalizzazione e semplificazione), sia per quelle funzionali (scambio di dati e informazioni, integrazione, definizione di nuove piattaforme volte migliorare operatività delle operazioni e integrazione logistica). Sullo sfondo vi è la necessità di una migliore organizzazione dei "Port Community System" (PCS) e l'obiettivo di una loro omogeneizzazione attraverso la Piattaforma Logistica Nazionale (PLN, Direttiva Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 137 del 20/3/2018).

Al riguardo, va sottolineato come il mondo portuale sia coinvolto in radicali processi di riorganizzazione, nella direzione degli smart ports. Sviluppo della sensoristica e dei sistemi di monitoraggio e gestione delle diverse fasi dell'operatività portuale (al suo interno, verso la nave, verso i corridoi logistici) basati su "Internet of Things" (IoT), gestione dei big data e procedure di condivisione di dati in piattaforme digitali costituiscono un ambito di investimento sempre più importante per tutti i principali porti. Organizzazione di sistemi intelligenti di gestione del traffico e dei varchi sono ormai parti fondamentali delle agende delle AdSP. Il processo di digitalizzazione è fondamentale sia per il recupero di competitività del sistema portuale e logistico italiano, sia perché una maggiore efficienza è la preconditione per la riduzione degli impatti, inclusi quelli legati alle emissioni di gas serra. Il tema è indicato anche nel PNRR, nella sezione M3C2.2 Intermodalità e logistica integrata, dove si richiamano l'obiettivo di favorire l'interoperabilità della piattaforma logistica nazionale per la rete dei porti e quello di semplificare le procedure logistiche e la digitalizzazione dei documenti.

6.1.4 Intermodalità

Oltre alle soluzioni tecnologiche discusse nelle precedenti sezioni, fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione è il potenziamento e l'adozione di interventi che favoriscono l'utilizzo di modalità di trasporto sostenibili, ed **uno shift modale dall'autovettura privata (anche se alimentata da fonti energetiche sostenibili) al trasporto collettivo, micro-mobilità, ciclabilità e pedonalità.**

L'intermodalità (cioè l'utilizzo di diverse modalità di trasporto per effettuare un singolo spostamento) nasce dall'esigenza di soddisfare una domanda di mobilità che è sempre più diffusa spazialmente (aumento dei *tours*, cioè spostamenti concatenati con molteplici destinazioni), temporalmente (estensione delle ore di punta ad ampie fasce della giornata) e per motivazioni diverse da lavoro o studio.

Gli spostamenti realizzati per motivi di lavoro e studio possono essere soddisfatti più facilmente da sistemi monomodali di trasporto collettivo, perché si tratta di spostamenti "sistematici", cioè ripetuti con le stesse caratteristiche (origine, destinazione, orario) e spesso realizzati in tour semplici (cioè casa-lavoro-casa). Sistemi monomodali di trasporto pubblico sono meno adatti a soddisfare strutture di mobilità complesse. Diversi studi (Hensher & Reyes, 2000; Krygsman et al., 2004) hanno dimostrato infatti una correlazione tra uso dell'autovettura privata e complessità delle strutture di viaggio (cioè con vari viaggi concatenati, *trip-chain*).

Come discusso nel Capitolo 2, gli spostamenti studio/lavoro in Italia sono solo il 40% del totale degli spostamenti. In questo quadro, in accordo con la Comunicazione della Commissione (2020) è fondamentale creare e poi promuovere in Italia un sistema di **trasporto (passeggeri e merci) orientato a una sostanziale multimodalità senza soluzione di continuità.** In questa sezione, verranno analizzati gli interventi relativi all'intermodalità. Occorre però notare che, come anticipato nel Capitolo 2, è fondamentale anche un'azione coordinata e sinergica tra mobilità/accessibilità e organizzazione dell'uso del suolo (disponibi-

lità di destinazioni e loro attrattività) e pianificazione urbana e disegno urbano (prossimità delle funzioni). Questo aspetto sarà trattato nel capitolo 7, insieme alle politiche per incentivare l'uso dei sistemi di trasporto sostenibili ed intermodali e disincentivare l'uso dell'autovettura privata a combustione interna.

L'intermodalità si basa su tre elementi fondamentali:

- reti e sistemi di trasporto monomodali
- punti di interscambio modale
- supporto tecnologico e funzionale

Il primo punto è stato trattato nella sezione 6.1.1. Nel seguito saranno discussi gli altri due punti.

6.1.4.1 Punti di interscambio modale

Al fine di poter lavorare in ottica di sistema, le infrastrutture fisiche descritte nella sezione 6.1.1 devono essere fortemente interconnesse. I punti di interscambio modale sono punti fisici ma devono presentare anche caratteristiche progettuali e funzionali tali da minimizzare i costi (generalizzati, cioè costi monetari, ma anche tempi, discomfort, incertezza) di trasferimento fra modi di trasporto.

A livello urbano, le **priorità per l'interscambio modale passeggeri nella fase I** includono:

- potenziamento e miglioramento delle stazioni di interscambio ferro/gomma;
- realizzazione di stazioni di interscambio trasporto pubblico/ciclabilità, con parcheggi per le biciclette custoditi in tutte le stazioni ferroviarie e in tutte le principali fermate di trasporto pubblico su gomma;
- realizzazione di stazioni di interscambio trasporto pubblico/micro-mobilità in tutte le principali stazioni ferroviaria e fermate di trasporto pubblico su gomma;
- realizzazione di interscambio trasporto pubblico/shared-mobility in tutte le principali stazioni ferroviaria e fermate di trasporto pubblico su gomma;
- potenziamento e miglioramento dei parcheggi di scambio trasporto privato/trasporto pubblico.

Tutti i punti di interscambio devono avere percorsi chiaramente identificati e protetti, distanze pedonali non superiori a 5 min o percorsi meccanizzati (scale mobili, ascensori, tapis roulant etc.) di connessione, percorsi puliti e sicuri. L'accesso e l'egresso rappresentano i punti di maggior debolezza del trasporto pubblico e quindi dell'intermodalità. Occorre mettere in campo interventi finalizzati a minimizzare il costo generalizzato di accesso/egresso/trasbordo tra sistemi di trasporto, incluso interventi integrati di pianificazione urbana delle aree di interscambio e in generale delle *catchment areas* del trasporto pubblico.

A livello extraurbano, **priorità per l'interscambio modale passeggeri nella fase I** includono:

- potenziamento e miglioramento delle stazioni di interscambio ferro/gomma;
- potenziamento del ruolo degli aeroporti come hub intermodali. Integrazione degli aeroporti con la rete ferroviaria (inclusa l'alta velocità);
- integrazione dei porti con la rete ferroviaria (inclusa l'alta velocità).

Nel trasporto merci, l'integrazione dei modi di trasporto presenta vantaggi che possono derivare dall'incremento della complementarità tra diverse opzioni, ma anche difficoltà strutturali che caratterizzano questo tipo di sviluppi.⁸⁹ I punti di interscambio modale merci includono:

⁸⁹ Il trasporto merci su ferro o navale è meno competitivo economicamente per viaggi di meno di 300 km e la movimentazione di piccoli volumi merci tra origine e destinazione (IEA, 2019). Questo ne limita l'uso in casi di nearshoring, distretti industriali integrati e per piccole e medie imprese, a meno che non possa entrare in una logica di cooperazione, anche utile per ottimizzare il sistema logistico servito dal trasporto su gomma. (IEA, 2017) (McKinnon, 2018)

- potenziamento e miglioramento dell'interscambio gomma a rotaia, che richiede la presenza di adeguate infrastrutture per il trasferimento delle merci da un modo all'altro (come porti ed interporti) e la loro connessione alle reti ferroviaria e stradale. Questi sviluppi infrastrutturali sono tecnicamente percorribili già nell'immediato.
- potenziamento delle infrastrutture di interscambio modale esistenti e di corridoi logistici green.
- Gestione "dell'ultimo/penultimo miglio", il cui miglioramento richiede investimenti sulle infrastrutture di raccordo e nella digitalizzazione delle procedure, assieme ad uno sforzo di semplificazione burocratica.
- Interconnessione dei porti dell'Alto Adriatico con le vie navigabili: in questa prospettiva la finalizzazione della rete alla classe V rimuovendo le strozzature del sistema da Trieste e da Ravenna fino a Cremona potrebbe contribuire alla transizione verso modalità di trasporto meno impattanti in termini di emissioni e in termini di rischio legato al trasporto di merci pericolose. Tale possibilità richiede però una difficile armonizzazione con la gestione dei bacini fluviali, che prevedibilmente diventerà più complessa per gli effetti del cambiamento climatico (in termini di aumento delle temperature estive, fenomeni di siccità prolungati, variazioni di portata dei fiumi) che investiranno la regione padana.

Importante fattore da considerare, soprattutto per i porti più coinvolti nella competizione con altri sistemi portuali europei, è la tendenza verso il gigantismo che anima il trasporto ferroviario, con treni sempre più lunghi. Attualmente solo i porti di Trieste e La Spezia movimentano via ferro una quota significativa di merci, seguiti da Genova e Livorno (Pavia, 2021). Al tempo stesso occorre esplorare, nei diversi casi, la possibilità di politiche di rete con i nodi interni, soprattutto quelli che svolgono funzioni di retroporto, nella direzione della formazione di sistemi logistici maggiormente integrati, dalle quali possono derivare effetti positivi sia dal punto di vista competitivo sia da quello territoriale e ambientale.

6.1.4.2 Supporto tecnologico e funzionale

L'integrazione funzionale dei vari sistemi di trasporto rappresenta un altro elemento fondamentale per il funzionamento o meglio il successo dell'intermodalità. L'integrazione funzionale è strettamente legata all'evoluzione delle tecnologie digitali, come descritte nelle sezioni 6.2.3 e 6.5, che garantiscono la connettività e interoperabilità dei sistemi di trasporto. Le **priorità per il supporto tecnologico e funzionale nella fase I** includono:

- integrazione tariffaria basata su origine e destinazione del viaggio, indipendente dal mezzo (o sequenza di mezzi utilizzati). Questo deve includere anche sistemi di shared-mobility e parcheggi di interscambio;
- aumento delle frequenze dei servizi di trasporto pubblico al fine di ridurre i tempi di trasferimento intermodali e l'incertezza dei tempi di viaggio door-to-door. Fondamentale in questo caso è la realizzazione di corsie preferenziali come sottolineato precedentemente;
- utilizzo di smart card personali, integrate su tutto il territorio regionale (nella fase I), nazionale (nella fase II) come biglietti di viaggio;
- potenziamento della piattaforma digitale per MaaS, attualmente in fase sperimentale così come previsto nel PNRR;
- sistemi di ricarica delle smart card online, nelle principali stazioni/fermate di trasporto pubblico.
- soluzioni di integrated ticketing, per ridurre - laddove possibile - la necessità di feeder flights, rimpiazzandola con servizi su rotaia. Questo richiede importanti adattamenti dei maggiori aeroporti (anche per la gestione dei bagagli).

Nel settore delle merci, si sottolinea la necessità di adottare tecnologie digitali (digital freight matching, etc.) per minimizzare perdite di tempo e le necessità di stoccaggio (riducendo i costi) e massimizzarne la flessibilità d'uso.

Quest'ultimo punto è importante per via della necessità di poter utilizzare al massimo la capacità disponibile, massimizzando la cooperazione tra diversi attori e abbattendo barriere legate alla frammentazione organizzativa del settore logistico. Esse consentono, per esempio, di aggregare spedizioni troppo piccole per poter essere effettuate su ferro o in nave se gestite individualmente, ma anche di massimizzare l'uso di capacità disponibile nei veicoli usati per il trasporto su gomma, ottimizzando carichi e riducendo viaggi a vuoto. Nel caso delle tecnologie digitali, rimane di fondamentale importanza l'adeguata capacità di trarre vantaggio nella forza lavoro.

6.2 Energia

La situazione attuale del sistema energetico italiano si può illustrare con i dati degli ultimi anni pre-Covid, sintetizzati nello schema di flusso in Figura 2, relativo al 2019. Questo mette in evidenza la significativa dipendenza dell'approvvigionamento energetico da petrolio e gas, a cui vanno aggiunti carbone ed energia da rifiuti, biomasse, geotermia e la produzione di elettricità da fonti rinnovabili primarie (idroelettrico, solare ed eolico). La quasi totalità del petrolio (93%) e gas naturale (95%) sono importati. Lo stesso vale per il carbone.

I consumi finali di energia in Italia hanno avuto un picco nel 2005, e dal 2011 (con esclusione del 2020, per via degli effetti legati al Covid-19) oscillano intorno a 4,81 EJ (115 Mtep) all'anno (MITE, 2021a). La parte dei combustibili è in contrazione, ma rappresenta la fetta più grande dei consumi, con i prodotti petroliferi al 35% degli usi ed il gas naturale al 30%. L'elettricità è stabile a circa il 22% dei consumi. Il restante sono uso di calore diretto e rinnovabili (nella maggior parte biocarburanti). L'allocazione delle diverse forme di energia negli usi finali, relativa al 2019, è sintetizzata in Tabella 6.1.

In generale, l'Italia è riconosciuta come un Paese ad alta efficienza ed è caratterizzata da valori di intensità energetica (definita come rapporto tra consumi di energia primaria e PIL) inferiori alla media dei Paesi europei. Negli scorsi anni sono state promosse diverse iniziative e meccanismi a sostegno della riduzione dei consumi, alcuni dei quali sono considerati come benchmark di riferimento per le politiche di efficientamento energetico (es. meccanismo dei Certificati Bianchi).

Dal 2014 ad oggi, mediante l'utilizzo dei meccanismi di incentivazione dell'efficienza energetica presenti in Italia (Certificati Bianchi, Conto Termico, Detrazioni Fiscali, etc.) sono stati conseguiti oltre 12 Mtep (0.5 EJ) di risparmi cumulati di energia (consumi finali) (MITE, 2021a).

Figura 3: Bilancio energetico italiano (2019). Fonte: International Energy Agency
(<https://www.iea.org/sankey/#?c=Italy&s=Balance>)

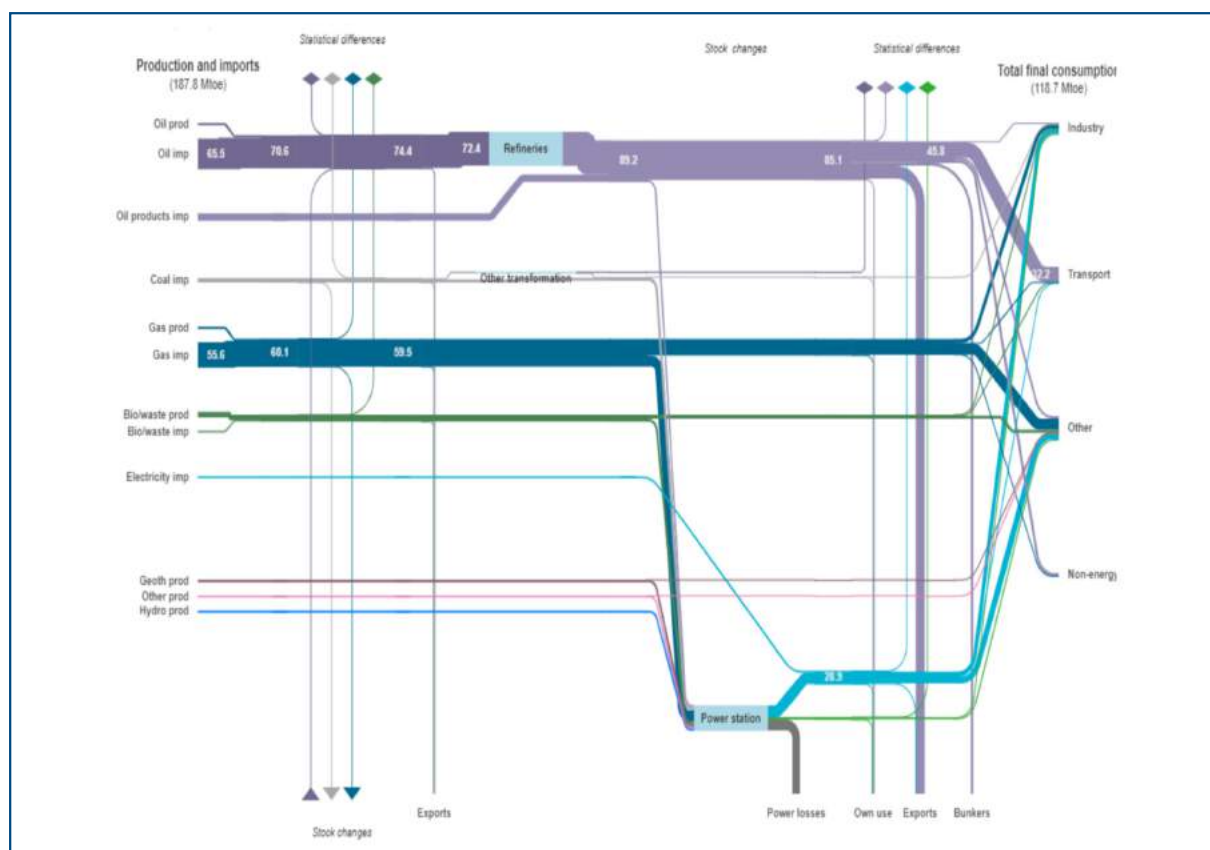


Tabella 3: Consumi finali di energia (Mtep) Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico - Bilancio energetico nazionale (<https://dgsaie.mise.gov.it/bilancio-energetico-nazionale>)

	2018		2019*				Totale	Var % 2019/18
	Totale	Solidi	Gas	Petrolio	Rinnovabili	Energia elettrica		
Industria	27,150	2,198	12,440	2,920	0,111	9,228	26,897	-0,9%
Trasporti	40,373		0,960	37,163	1,277	1,022	40,422	0,1%
Usi civili	47,125		22,994	2,698	7,418	14,283	47,393	0,6%
Agricoltura	3,003		0,142	2,209	0,041	0,494	2,885	-3,9%
Usi non energetici	5,679	0,057	0,643	4,387			5,087	-10,4%
Bunkeraggi	3,143			3,106			3,106	-1,2%
	126,473	2,255	37,178	52,482	8,847	25,027	125,790	-0,5%

6.2.1 Combustibili solidi

I combustibili solidi (in particolare il carbone) sono impiegati per la quasi totalità in processi di conversione energetica (centrali elettriche) e per la produzione di acciaio. Nel 2020, in Italia, le importazioni totali di combustibili solidi sono diminuite del 30,2% rispetto all'anno precedente, passando da 10 milioni di tonnellate a 7. Tale diminuzione ha confermato il trend negativo degli ultimi anni (MITE, 2021a). Negli ultimi 5 anni, in particolare, si sono più che dimezzate.

Le infrastrutture necessarie all'uso del carbone sono principalmente legate alla trasformazione energetica (centrali termoelettriche a carbone), all'attività siderurgica ed al sistema logistico che le serve, in particolare i porti (tra cui Brindisi, Civitavecchia, La Spezia, Monfalcone, Porto Marghera, Porto Torres, Portovesme e Taranto).

6.2.1.1 Prospettive future e implicazioni per lo sviluppo delle infrastrutture

Le aspettative legate all'uso ed al commercio di carbone vanno nella direzione di una contrazione della domanda. Gli sviluppi infrastrutturali sono quindi rilevanti principalmente a fini della riconversione delle infrastrutture esistenti. Nel caso delle centrali termoelettriche, il Piano Nazionale Energia e Clima (PNEC) conferma l'obiettivo di eliminazione graduale del carbone nella generazione di energia elettrica entro il 2025⁹⁰ a favore di un mix energetico basato su una quota crescente di energia elettrica da fonti rinnovabili e, per il resto, sul gas (EC, 2020a).⁹¹ Un aumento dell'uso di biomassa per la produzione di combustibili liquidi, idrogeno, o elettricità può rimpiazzare l'attuale uso di infrastrutture dedicate all'uso del carbone.

⁹⁰ Subordinato allo sviluppo delle relative infrastrutture.

⁹¹ Viste le proposte del pacchetto "Fit for 55" (successive al PNEC), questo equilibrio va probabilmente rivisto in direzione di una maggiore rilevanza delle energie rinnovabili.

Per quello che riguarda la siderurgia, la direzione è quella di una riconversione verso l'idrogeno, con tempistiche che dipendono dallo sviluppo dei costi dell'idrogeno decarbonizzato⁹². In alternativa, altre opzioni percorribili includono la cattura, l'uso (che consente una riduzione delle emissioni) e lo stoccaggio geologico della CO₂,⁹³ l'elettrolisi del ferro e, in quantità limitate dalla disponibilità di biomassa sostenibile, l'integrazione di biomassa nell'input degli altoforni.⁹⁴ La transizione a tecnologie capaci di abbattere le emissioni è attualmente associata a costi di produzione più alti. Benché l'impatto di questi sui costi dei prodotti finiti sia limitato, esso può avere impatti significativi sulla competitività di impianti produttivi. Interventi volti a stimolare l'innovazione per ridurre i costi e la creazione di una domanda per l'acciaio decarbonizzato sono prioritari nel breve termine per poter consentire una transizione tecnologica percorribile nel seguito.

6.2.2 Combustibili liquidi

L'impiego dei biocombustibili (biodiesel, bioetanolo, bio-ETBE, biometano) nel settore dei trasporti in Italia ha assunto, negli anni più recenti, un peso progressivamente crescente. Le elaborazioni preliminari per il 2020 indicano un incremento dell'immissione di biocarburanti rispetto al 2019 pari a +2% circa, con un peso di circa il 5% nel settore trasporti, in particolare biodiesel per il trasporto pesante (MITE, 2021a),

In Italia ci sono diverse raffinerie tradizionali (Augusta, Busalla, Cremona, Falconara, Gela, Livorno, Mantova, Milazzo, Pantano, Porto Foxi, Porto Marghera, Priolo, Sannazzaro, Taranto, Trecate⁹⁵) che integrano anche due bioraffinerie (Gela e Porto Marghera), con una capacità di raffinazione complessiva di 87,25 milioni di tonnellate (circa 3,6 EJ) (MITE, 2021a).

Le raffinerie e bioraffinerie italiane sono servite da 2690 km di oleodotti⁹⁶. Questi sono situati soprattutto in Lazio, Toscana, Liguria, Piemonte, Lombardia e Veneto. Circa 860 km portano greggio, principalmente da porti (Genova, Livorno, Porto Marghera, Savona, Trieste) e siti produttivi (in Sicilia) con le raffinerie. Circa 1830 km servono al trasporto di carburanti finiti, come benzina, gasolio o cherosene per aerei, e collegano raffinerie, porti e nodi urbani di domanda.

6.2.2.1 Prospettive future e implicazioni per lo sviluppo delle infrastrutture

La dotazione infrastrutturale italiana è assicurata dalla trasformazione delle raffinerie tradizionali di Gela e Porto Marghera, il riavvio della produzione di bioetanolo a Crescentino⁹⁷ e lo sviluppo della tecnologia Waste to Fuel per la trasformazione, queste tecnologie non richiedono lo sviluppo di infrastrutture di distribuzione dedicate. Lo stesso si può dire per "Hydrotreated Vegetable Oil" (HVO) e "Hydroprocessed Esters and

⁹² <https://hydronews.it/giorgetti-mise-conferma-a-taranto-riconversione-green-dellex-ilva-con-lidrogeno-grazie-ai-fondi-ue>

⁹³ In Italia, l'uso delle tecnologie di "Carbon Capture and Storage" (CCS) è tecnicamente possibile in giacimenti di idrocarburi (a seguito della costruzione di infrastrutture di trasporto della CO₂) e deve superare difficoltà di accettazione pubblica, anche legate ad aspetti legati alla sismicità del territorio.

⁹⁴ Energy Transition.org <https://www.energy-transitions.org/sector/industry/steel/>

⁹⁵ <https://www.limesonline.com/il-petrolio-per-litalia/7154>

⁹⁶ <https://www.ilsole24ore.com/art/oleodotti-italia-e-allarme-i-furti-carburante-AEq2FAB>

⁹⁷ Questo riguarda la conversione di biomasse in zuccheri di seconda generazione ottenuti da biomassa residuale non in concorrenza con la filiera alimentare e da scarti della produzione delle industrie del legno. Questa tecnologia permetterà di perseguire ulteriori sviluppi nella produzione di un range completo di prodotti rinnovabili per via fermentativa come bio-oli per la bioraffineria.

Fatty Acids" (HEFA), ottenuti da oli usati, oli vegetali e/o grassi animali (con diversi profili di sostenibilità) che sono miscelabili in percentuali elevate con il gasolio o il cherosene di origine fossile. La proposta "Fit for 55" sul più lungo periodo richiede anche una progressiva transizione verso vettori energetici che possono essere profondamente decarbonizzati, come - se possibile - idrogeno, "Renewable Fuels of Non-Biological Origin" (RFNBO), che comprendono e-fuels che si possono miscelare con i combustibili fossili. Nel caso di e-fuels, non sono necessarie nuove infrastrutture di distribuzione, dal momento che anch'essi sono miscelabili con combustibili fossili. Per l'idrogeno, si rimanda alla discussione nelle sezioni successive.

Il raggiungimento degli obiettivi del pacchetto "Fit for 55" implica una significativa riduzione della domanda futura di combustibili (specialmente dopo il 2030), e questo ha implicazioni importanti per le infrastrutture legate alla loro produzione - come impianti chimici e/o petrolchimici, che devono evolvere verso l'uso di materie prime contenenti carbonio di origine biogenica come feedstock e come fonte energetica per i processi⁹⁸ o fare uso della cattura e lo stoccaggio del carbonio (CCS, "Carbon Capture and Storage"). Analoghi impatti esistono anche per quello che riguarda trasporto e distribuzione di questi combustibili. La contrazione della domanda può richiedere, in analogia con il caso del carbone ma con tempistiche diverse, sviluppi infrastrutturali finalizzati alla riconversione delle infrastrutture (anche industriali) esistenti. Un esempio legato alle infrastrutture portuali per il commercio di combustibili liquidi è discusso nella sezione seguente, sulla logistica e l'evoluzione delle catene di approvvigionamento. Altre considerazioni riguardano ulteriori impatti sull'occupazione.

6.2.3 Metano

La domanda del gas in Italia nel 2019 (anno di riferimento perché i dati del 2020 sono distorti dalla pandemia) è stata complessivamente pari a 74,5 miliardi di metri cubi. La copertura della domanda è garantita dalle importazioni per il 93% e dalla produzione nazionale per il 7%. La produzione nazionale include anche il biometano, passato dai 1,8 PJ (50 milioni di metri cubi) del 2019 ai 3,6 PJ (99 milioni di metri cubi) del 2020 (MITE 2021a) in forte crescita dai 0,3 PJ (9 milioni di metri cubi) del 2017 (Ministero Transizione Ecologica, 2021). Una filiera particolarmente interessante è quella della produzione di biometano da rifiuti organici urbani (FORSU, Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano). Tale filiera consente di valorizzare la frazione organica dei rifiuti ottenendo da essi da un lato una forma di energia rinnovabile e dall'altro di utilizzare la CO₂ prodotta dalla depurazione del biogas per usi industriali, ad esempio nell'industria alimentare (che oggi è costretta ad importarla). Ad oggi gli impianti di biometano da FORSU attivi sono 14, di cui 9 direttamente allacciati a rete Snam Rete Gas e 5 su rete di distribuzione, mentre 25 sono gli impianti in previsione. Complessivamente la capacità di produzione stimata per tali impianti è di circa 14 PJ (0,38 miliardi di metri cubi) al 2022 (Ministero Transizione Ecologica, 2021).

Sul territorio nazionale, i gasdotti di Snam Rete Gas si estendono per circa 9700 km (SNAM, 2018). I punti di interconnessione con i gasdotti di importazione sono situati a Mazara del Vallo (con la Tunisia e l'Algeria), Gela (con la Libia), Tarvisio e Gorizia (con il centro Europa e la Russia), Passo Gries (con centro Europa, in particolare Olanda a Mare del Nord). Nel mese di dicembre 2020 è stata anche avviata la nuova importazione di gas attraverso la Trans Adriatic Pipeline (TAP) con punto di immissione a Melendugno. La rete nazionale Snam Rete Gas è anche interconnessa ai seguenti impianti GNL: GNL Italia di Panigaglia (nei pressi di La Spezia), Adriatic LNG di Porto Viro (vicino a Venezia), OLT di Livorno. La rete di gasdotti è poi collegata a valle con le reti locali di distribuzione per gli usi finali di metano.

⁹⁸ È possibile anche nella chimica l'utilizzo di idrogeno decarbonizzato per sintetizzare molecole organiche facendo uso di scheletri carboniosi o CO₂ di origine biogenica.

6.2.3.1 Prospettive future e implicazioni per lo sviluppo delle infrastrutture

Nell'immediato, il PNEC include l'uso di metano e l'eliminazione graduale del carbone nella generazione di energia elettrica entro il 2025 (European Commission, 2020a). Altri progetti di sviluppo intrapresi da Snam Rete Gas includono la metanizzazione della Regione Sardegna e lo sviluppo della "linea Adriatica".⁹⁹ L'effettiva realizzazione dell'eliminazione del carbone è subordinata allo sviluppo delle infrastrutture di trasporto di gas.

A seguito della legge europea sul clima e della proposta "Fit for 55", si renderà sempre più necessario ridurre le emissioni di gas serra del metano di origine fossile, principalmente nelle fasi estrattive e di trasporto e con le iniezioni in rete di quantità crescenti di biometano. Tuttavia, anche tenendo conto di assunzioni ottimistiche (Biogas World, 2018), queste ultime hanno capacità ben inferiori al consumo attuale di gas naturale in Italia (Statista, 2021)

Un'ulteriore possibilità è una transizione dal metano verso l'idrogeno decarbonizzato.¹⁰⁰ Questa richiede che la sua produzione diventi più competitiva in termini economici ed è limitata dal fatto che la rete gas attuale potrebbe trasportare un blend di gas naturale e idrogeno fino ad un massimo del 10-15%. Le attuali condotte usate per il gas naturale sembrano solo in parte adatte ad essere ricondizionate per un loro riutilizzo. Considerando che alcune centinaia di km di reti di idrogeno puro esistono già in Europa per collegare diversi siti produttivi chimici,¹⁰¹ le aziende che gestiscono le reti gas in Europa hanno avanzato l'ipotesi di una rete Europea per il collegamento tra diversi siti produttivi realizzata con un mix tra reti gas esistenti ricondizionate e nuove tubazioni. Questo tipo di sviluppo ha un elevato costo di realizzazione - che i proponenti stimano (ottimisticamente) tra 43 e 81 Mld€ (Jens et al., 2021) e vanno anche considerati i costi energetici del pompaggio dell'idrogeno e delle problematiche di sicurezza.

Un'ulteriore alternativa consiste nell'uso di tecnologie di cattura, uso e stoccaggio del carbonio (CCUS, "Carbon Capture, Utilisation and Storage"), che possono essere applicate ad utilizzi stazionari su larga scala di gas, come le centrali termoelettriche e gli impianti chimici. Per essere efficace ai fini della decarbonizzazione, il CCUS richiede l'uso di tecnologie capaci di massimizzare l'abbattimento delle emissioni e minimizzare le emissioni fuggitive di metano nella catena di approvvigionamento (Howarth & Jacobson, 2021; Bauer et al., 2021), in aggiunta alla costruzione di infrastrutture di trasporto della CO₂ capaci di collegare il sito (o i siti) di emissione e quello/i di stoccaggio.

6.2.4 Elettricità

Nell'ultimo decennio il peso dell'elettricità è aumentato leggermente (era circa il 20% nel 2010). In valori assoluti il consumo di elettricità oscilla intorno ai 320 TWh (dato 2019, ultimo anno pre-Covid), corrispondente a circa il 22% dei consumi energetici finali (Tabella 3). La pesante recessione dell'economia italiana del 2020 ha determinato anche un conseguente e più che prevedibile crollo dei consumi elettrici (-5,3% 2020 vs 2019).

La produzione elettrica si è trasformata profondamente dell'ultimo decennio. La parte di rinnovabili nella produzione elettrica è passata dal 26% al 2010 (principalmente idroelettrico) a oltre il 40% al 2020. Mentre il gas naturale rimane il primo produttore di elettricità con oltre il 50%, la parte del carbone è scesa dal 13% al 6%. L'Italia importa il ~7% dell'elettricità, principalmente dalla Francia.

⁹⁹ SNAM, 2018

¹⁰⁰ Questo tema è sviluppato ulteriormente nella sezione relativa all'idrogeno decarbonizzato, nel seguito.

¹⁰¹ Il trasporto dell'idrogeno in volumi limitati può essere anche tecnicamente assicurato via treno con vagoni bombolai a 300-500 bar o in futuro anche a pressioni superiori.

In termini di capacità installata, le rinnovabili sono quasi raddoppiate dal 2010 raggiungendo 55 GW al 2019 mentre i combustibili fossili sono diminuiti di circa 13 GW negli ultimi dieci anni attestandosi ad un livello di 60 GW. A trainare la crescita delle rinnovabili ci sono l'eolico (quasi raddoppiato nell'ultimo decennio raggiungendo circa 11 GW) e il fotovoltaico (più che quintuplicato arrivando a 21 GW). Per quanto riguarda il parco di generazione tradizionale, fino al 2012 la capacità termoelettrica italiana ha vissuto una fase di ammodernamento e sviluppo, guidata dalle aspettative di crescita della domanda e dei prezzi dell'energia, arrivando a 77 GW di potenza installata. A partire dal 2013, però, il trend di installazioni ha subito una brusca frenata e negli anni successivi numerose dismissioni hanno portato la capacità del parco termoelettrico complessivo effettivamente disponibile al di sotto dei 60 GW.

La Rete di Trasmissione Nazionale di proprietà Terna registra una consistenza di oltre 66.000 km di linee (corrispondenti a circa 73.000 km di circuiti elettrici) e circa 890 stazioni elettriche. In particolare, la rete di trasmissione italiana è caratterizzata da cinque livelli di tensione: 380 kV, 220 kV, 150 kV, 132 kV e 60 kV.

6.2.4.1 Prospettive di sviluppo per elettricità

Guardando al futuro, gli scenari di decarbonizzazione in generale prevedono un aumento della domanda di elettricità a seguito della progressiva elettrificazione degli usi finali¹⁰² e degli alti fabbisogni per la produzione di idrogeno o e-fuels.

Domanda di elettricità al 2050

L'entità della crescita della domanda elettrica è molto incerta, specie all'orizzonte 2050. Lo scenario "Fit for 55" prevede, per l'Italia, una domanda più alta di circa il 20-30% al 2050 rispetto a valori del 2019 (precedenti al Covid-19)¹⁰³. Altri scenari prevedono una crescita della domanda elettrica al 2050 vicino al doppio di quella attuale (Rodrigues et. al 2022). Secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, per raggiungere l'obiettivo di net zero al 2050, nei Paesi G7 la domanda elettrica deve aumentare dell'80% al 2050 rispetto ai livelli di oggi (MATTM,2019). Un aumento superiore (ma analogo) della generazione di elettricità è previsto anche nella strategia italiana di lungo termine (Long Term Strategy, LTS, 2021) che prevede una domanda di elettricità al 2050 in una forchetta tra 621 e 715 TWh/anno (MITEa, 2021). Questi valori escludono l'ipotesi di produzione nazionale di larghe quantità di idrogeno ed e-fuels, a favore dell'importazione da zone con maggiore potenziale di energie rinnovabili e minori costi di produzione.¹⁰⁴

Alla luce di queste considerazioni, la decarbonizzazione dell'energia in Italia potrebbe richiedere un aumento della domanda complessiva di elettricità al 2050 vicina o superiore agli 800 TWh/anno, che potrebbe ridursi all'interno della forchetta 621-715 TWh/anno della LTS nel caso in cui si ricorresse all'importazione di parte dei carrier energetici decarbonizzati (idrogeno, ammoniaca, metanolo, cherosene sintetico, etc.).

¹⁰² Questa si associa a due caratteristiche fondamentali: la maggiore diversificazione energetica del mix di produzione di elettricità e la maggiore efficienza energetica di usi finali elettrificati, in particolare la mobilità elettrica per i trasporti e le pompe di calore per il riscaldamento degli edifici.

¹⁰³ Policy scenarios for delivering the European Green Deal https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en

¹⁰⁴ In particolare, le stime di domanda per la produzione di idrogeno e di e-fuels decarbonizzati (power-to-liquids, P2L) della LTS sembrano tenere conto solo in minima parte della domanda futura derivante dal settore navale (ammoniaca o metanolo di sintesi) e dal settore aeronautico (kerosene sintetico), pari a Mtep (0,21 EJ, o 58 TWh) all'anno nel 2019 come combustibili liquidi e prevista in crescita in futuro - anche se la pandemia ha creato una crisi profonda nel settore aereo. Con un'efficienza del 60% di produzione e distribuzione dell'idrogeno "verde", questo corrisponde a circa 100 TWh/anno di domanda elettrica, a cui vanno aggiunti i forti costi energetici dei processi di sintesi dei prodotti finali. Inoltre, la stima nella LTS della domanda elettrica per la produzione di idrogeno non tiene conto delle necessità di stoccaggio stagionale per l'equilibrio del sistema elettrico, per cui occorrono anche combustibili sintetici accumulabili.

Per la produzione di queste quantità di energia con il 100% di energie rinnovabili, sono state fatte diverse stime, in particolare nella LTS, che prevedono un consolidamento dell'idroelettrico, una piccola espansione del geotermico attuale, una fortissima espansione del fotovoltaico fino a 200-300 GW, una espansione a 40-50 GW dell'eolico, una forte produzione di biogas, e lo sfruttamento di energie rinnovabili non ancora in fase industriale come quelle che utilizzano il moto ondoso. A questi numeri la LTS aggiunge (come discussione nella sezione sullo stoccaggio) la necessità di ulteriori 70-100 GW di generazione da idrogeno/e-fuels per compensare necessità stagionali.

Domanda di elettricità al 2030

Nella LTS, i riferimenti al 2030 sono quelli ipotizzati dal PNIEC del 2018. Questi ultimi si basavano su un target di abbattimento di emissioni al 2030 assai inferiore a quanto deciso dalla legge europea di riferimento, e quindi non rilevante per le considerazioni sviluppate qui. La Commissione Europea ha pubblicato i dati per Paese utilizzati nel modello PRIMES a supporto della valutazione di impatto del pacchetto "Fit for 55". Questi dati, più recenti, possono essere considerati per riferimento negli scenari di -55% al 2030, pur con alcuni caveat.¹⁰⁵ Su queste basi, la quantificazione della reale domanda energetica al 2030 e della sua suddivisione tra combustibili fossili e fonti rinnovabili può venire stimata considerando che il massimo di consumo di combustibili fossili per rispettare le emissioni previste dalla legge europea è stato quantificato tra 80 e 85 Mtep/anno (da 3,3 a 3,5 EJ).¹⁰⁶ Si tratta quindi di trasformare in fonti rinnovabili tra il 2021 e il 2030 una quantità corrispondente a 65-70 Mtep/anno (2,7-2,9 EJ), applicando risparmio energetico (*energy saving first*) e incrementi di efficienza possibili - in particolare con il passaggio progressivo alla mobilità elettrica e alle pompe di calore per il riscaldamento.

Evoluzione della domanda di elettricità negli usi finali e considerazioni sul ruolo dell'idrogeno

Nel caso dei trasporti, il pacchetto "Fit for 55" include una transizione completa delle vendite di veicoli a soluzioni a zero emissioni dirette al 2035, per consentire una transizione della vasta maggioranza del parco veicoli al 2050.¹⁰⁷ La LTS prevede un quadro di evoluzione del parco automobilistico in linea con questo tipo di sviluppo, come riportato nella Tabella 4.¹⁰⁸ Tuttavia, numerosi studi di settore avevano stimato che i veicoli elettrici avrebbero raggiunto il 35% di penetrazione del mercato già nel 2022, mentre allo stato attuale, fatta eccezione per la Norvegia (75% di penetrazione a fronte di ingenti incentivi del governo che includono oltre a incentivi fiscali anche l'utilizzo di corsie preferenziali) tutti i paesi europei hanno livelli di penetrazione inferiori alle stime (32% in Svezia e 23% in Olanda, i livelli più alti).

In linea con l'analisi sviluppata nella sezione relativa ai veicoli, al 2030 si ritiene necessario promuovere la conversione del parco automobilistico attuale arrivando ad avere almeno 6-8 milioni di vetture "solo elettriche" (BEV, battery electric vehicle) e in minor misura plug-in-hybrid (PHEV, con range elettrico esteso, utilizzabili a "solo elettrico" nei percorsi cittadini). Lo spostamento dei combustibili fossili che

¹⁰⁵ Il modello utilizzato dalla Commissione riporta una profonda depressione della domanda energetica al 2020 (anno Covid) che non viene recuperata se non in piccola parte negli anni seguenti, ipotesi non confermata dai dati parziali 2021. Questa depressione, e le stime molto basse di crescita economica seguenti, trascinano al 2030 nel modello PRIMES una mancata domanda di 100-150 TWh/anno che dovrà essere tenuta presente al fine di non far risultare in deficit il sistema energetico.

¹⁰⁶ Da confrontare con i 150 Mtep/anno circa (6,3 EJ) che risultano oggi dai consumi energetici lordi.

¹⁰⁷ "All new cars registered as of 2035 will be zero-emission" https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541

¹⁰⁸ Va notato che, al 2050, la LTS considera anche una contrazione significativa del parco delle auto individuali.

alimentavano il parco auto rottamato verso l'elettrico genera una domanda di elettricità verde aggiuntiva.¹⁰⁹ Ulteriori interventi nel settore dei trasporti - compreso il ruolo dell'idrogeno - sono discussi nella sezione 6.1.2.

Tabella 4: Settore trasporti: dimensione e composizione del parco auto circolante, comparazione tra lo stato attuale, lo scenario di riferimento e di decarbonizzazione al 2050 Fonte: Long Term Strategy presentata dal governo italiano alla Commissione Europea, gennaio 2021 (LTS,2021).

	2018* 10 ⁶ veicoli	Scenario di riferimento 2050 10 ⁶ veicoli	Scenari di Decarbonizzazione-2050 10 ⁶ veicoli
Auto ad alimentazione elettrica	0.02	11	~19
Auto metano/biometano	1.0	~3	~0
Auto GPL	3.1	~3	0
Auto tradiz e ibride (no plug in)	36.5	~13	0
Auto idrogeno	-	~0.4	~4
Auto a green fuel sintetici	-	-	~1
Totale	40.6	~30	~24

La prospettiva per l'industria, in particolare per le imprese sottoposte al "Emission Trading Scheme" (ETS), e a causa della prevista estensione dell'ETS al riscaldamento (e ai trasporti), è quella di una progressiva elettrificazione anche degli usi termici a bassa e media temperatura. La domanda di medio-alta e alta temperatura verrà probabilmente soddisfatta con la crescita della disponibilità di idrogeno "verde" e/o di combustibili sintetici decarbonizzati. La riconversione elettrica - al fine di evitare la creazione di "stranded assets", andrebbe gradualizzata in funzione della vetustà degli impianti e facilitata da una revisione degli oneri fiscali e speciali che gravano sul costo dell'elettricità.

Restano non ancora risolti i problemi di emissioni di gas serra dovute al processo (anziché alla combustione), che si concentrano nei settori dell'acciaio primario (discussi nella sezione relativa al carbone), del cemento delle ceramiche, del vetro (che richiedono compensazione o CCS) e della chimica (discussi nella sezione sui combustibili liquidi).

Nel settore residenziale, i combustibili fossili soddisfano oggi il 70% della domanda di calore negli edifici dei paesi del G7. La roadmap per il net zero dell'IEA richiede il divieto alla vendita di nuove caldaie a combustibili fossili a livello globale nel 2025, e la sostituzione dell'uso di combustibili fossili per il riscaldamento degli ambienti, dell'acqua e la cottura con tecnologie elettriche come le pompe di calore, che sono da tre a quattro volte più efficienti delle soluzioni non elettriche. I miglioramenti nelle prestazioni energetiche degli edifici riducono ulteriormente la domanda di energia per il riscaldamento, riducendo anche la domanda di energia delle pompe di calore. Andranno quindi ulteriormente sviluppati i regolamenti per le nuove costruzioni e per il miglioramento degli standard energetici, quali le facilitazioni del 110%.

¹⁰⁹ Va considerato che per ogni automobile alimentata a combustibili fossili - il cui rendimento energetico effettivo è dell'ordine del 27% - il guadagno in termini di efficienza nell'uso è circa del 280%, e pertanto ogni Mtep/anno di combustibili fossili "trasferito" all'elettrico genera la necessità aggiuntiva di circa 4,2 TWh/anno di energie rinnovabili.

La conversione non riguarderà solo i riscaldamenti a gas o a gasolio, ma anche quelli molto inquinanti a pellet di legna. Non bisogna dimenticare che tutti i dati indicano nei processi di combustione l'origine degli inquinanti atmosferici particolarmente presenti nel Nord Italia, e per i quali l'Italia è in procedura di infrazione. Il target del "Fit for 55" di 49% di energie rinnovabili per il riscaldamento è raggiungibile, ma potrebbe richiedere strumenti appositi per finanziare investimenti di riconversione che vengono ripagati dai minori costi di esercizio.

6.2.5 Implicazioni dello sviluppo di elettricità e idrogeno per le infrastrutture

6.2.5.1 Rafforzamento della rete elettrica

Nei prossimi tre decenni, la lunghezza delle reti elettriche aumenterà fino all'80%, trainata dall'aumento della domanda, dalla necessità di collegare e integrare migliaia di nuovi progetti di energia rinnovabile mantenendo allo stesso tempo elevati standard di sicurezza. Per incentivare gli investimenti in soluzioni non basate sugli asset, le autorità di regolamentazione stanno già cercando nuovi regimi normativi che vadano oltre il tradizionale tasso di rendimento. Per queste ragioni Terna prevede forti investimenti nelle reti di trasmissione elettrica, a beneficio del sistema Paese, al fine di incrementare la magliatura, rinforzare le dorsali tra Sud (dove maggiore sarà la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili) e Nord (dove è più sostenuta la domanda di energia elettrica), potenziare i collegamenti fra le isole e la terraferma e all'interno delle isole, e sviluppare le infrastrutture nelle aree più deboli.^{110, 111}

L'interconnettività legata al rafforzamento della rete elettrica europea è anche un'importante fonte di flessibilità poiché consente di diversificare le risorse di generazione e modelli di domanda di elettricità più uniformi.¹¹² Ciò significa che la generazione flessibile da una regione potrebbe contribuire a soddisfare le esigenze di flessibilità di un'altra.¹¹³ L'importazione di energia elettrica da Paesi confinanti va considerata un'utile opzione per far fronte a necessità a breve non disponibili internamente, ma è soggetta a rischi legati alla sicurezza di approvvigionamento energetico se viene contabilizzata come una fonte stabile di fornitura, in quanto il Paese deve essere anche in grado di rispondere a richieste simili provenienti dai Paesi confinanti.

¹¹⁰ Terna ha programmato oltre 30 nuovi progetti infrastrutturali, dando elevata priorità a tutti gli interventi ritenuti strategici per l'intero sistema elettrico nazionale (Terna, 2021). Queste le principali linee di azione: rafforzamento degli scambi tra zone di mercato per una maggiore integrazione delle fonti rinnovabili; risoluzione delle criticità e maggiore elettrificazione delle aree metropolitane; sinergie con gli altri sistemi (gas, ferrovie e telecomunicazioni) per integrare le reti e ridurre l'impatto sul territorio; potenziamento delle interconnessioni con l'estero per aumentare la capacità di scambio con i Paesi confinanti.

¹¹¹ Secondo le stime di Terna, gli interventi programmati nell'arco di Piano di Sviluppo permetteranno di ridurre le emissioni in atmosfera di CO₂ per 5,6 milioni di tonnellate annue (quasi il doppio rispetto al Piano precedente) e consentiranno di demolire 4.600 km di infrastrutture obsolete (circa 800 km in più rispetto al Piano precedente) (Terna, 2021).

¹¹² Questo vale anche tra le regioni, soprattutto se si ipotizza l'azzeramento dell'attuale saldo negativo nell'interscambio di elettricità con l'estero.

¹¹³ L'Unione europea considera di fissare un obiettivo di interconnessione del 15% entro il 2030. Inoltre, ha definito un quadro per il bilanciamento dell'energia elettrica transfrontaliera. Una delle piattaforme che si sta gradualmente sviluppando nell'ambito di questo quadro è la denominata Manually Activated Reserves Initiative (MARI), che commercia il ripristino delle frequenze e riserva servizi tra 30 operatori di sistemi di trasmissione europei (ENTSO-E, 2021).

In ambito internazionale, sono emerse di recente proposte di connessioni “High Voltage Direct Current” (HVDC) anche su lunghissime distanze, come nel caso di Singapore con Australia¹¹⁴ e Regno Unito con il Marocco¹¹⁵. Si ritiene che l'Italia dovrebbe considerare progetti in questa direzione. Questi progetti sono finalizzati non solo all'approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili a costi più bassi, ma anche alla gestione dei rischi legati alla natura variabile delle fonti energetiche rinnovabili che costano meno (in particolare solare ed eolico), sfruttando il potenziale di zone che combinano grande potenziale produttivo con bassa variabilità (come nel caso del Marocco). Lo stesso tipo di considerazioni (con implicazioni legate alla sicurezza energetica di natura diversa dal caso del commercio internazionale) è alla base dell'interconnessione tra le reti elettriche (attualmente separate) dell'est e dell'ovest degli Stati Uniti.¹¹⁶

6.2.5.2 Infrastrutture di stoccaggio di energia elettrica e distribuzione

Un aspetto di criticità nell'utilizzo estensivo delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER), come l'eolico e il solare, riguarda la loro intrinseca aleatorietà e discontinuità (giorno/notte, eventi climatici non favorevoli, etc.). Per valorizzare appieno la generazione da FER, che per sua natura è tipicamente non programmabile, è necessario, pertanto, sviluppare parallelamente un'adeguata capacità di immagazzinamento del surplus di energia prodotta quando sussistono circostanze ambientali favorevoli. In particolare:

1. Per il fotovoltaico, in quanto si genera energia soltanto di giorno, con una curva crescente/decrecente con un picco dipendente dall'orientamento dei pannelli; la generazione è ridotta in tempo nuvoloso, ed è maggiore nei mesi primaverili/estivi. È maggiore al sud Italia rispetto al nord, e a scopo di progetto si possono calcolare tra 1000 e 1500 ore/anno alla potenza di targa a seconda della localizzazione.
2. Per l'eolico, in quanto dipendente dalla presenza di vento. In Italia si può considerare una media di 1800-2000 ore, con zone - in particolare offshore - in cui si può anche arrivare alle 3000 ore con pale di nuova generazione più efficienti.
3. Per l'idroelettrico a caduta, in quanto dipendente dal livello dell'acqua nel bacino a monte, che negli impianti alpini è quasi sempre aggiustato in modo da avere bacini pieni e funzionanti a pieno regime durante l'estate per intercettare il picco di consumi di luglio in cui il prezzo dell'energia è anche il più alto.

Lo stoccaggio si può grossolanamente dividere in due categorie, ovvero lo stoccaggio programmabile - che va a colmare le differenze di produzione giorno/notte, giorni assolati/coperti, inverno/estate - e lo stoccaggio di equilibratura “a breve” che, nel caso di energie rinnovabili prodotte da molti impianti distribuiti, è in grado di compensare produzioni eccessive rispetto alla domanda o inferiori alle esigenze a breve termine (qualche ora) ed è in grado anche di colmare buchi di potenza che si possono generare per la propagazione di disturbi di frequenza nelle rete.

Lo stoccaggio “programmabile” a sua volta si suddivide in sistemi a tempo medio/breve, come i sistemi idroelettrici di pompaggio,¹¹⁷ e quelli di medio/lungo periodo che coprono carenze stagionali e che si possono oggi immaginare come generatori alimentati a combustibili decarbonizzati che possano essere stoccati per lungo tempo. L'idrogeno, estremamente reattivo soprattutto in presenza di umidità, non è facilmente stoccabile per lungo tempo: soltanto le miniere di sale dismesse offrono condizioni

¹¹⁴ Aussie solar cable project moves ahead with Indonesia's approval of subsea route <https://www.straitstimes.com/asia/se-asia/aussie-solar-cable-project-moves-ahead-with-indonesias-approval-of-subsea-route>

¹¹⁵ The world's longest subsea cable will send clean energy from Morocco to the UK <https://electrek.co/2021/09/27/the-worlds-longest-subsea-cable-will-send-clean-energy-from-morocco-to-the-uk/>

¹¹⁶ Interconnections Seam Study <https://www.nrel.gov/analysis/seams.html>

¹¹⁷ La disponibilità di stoccaggio dagli impianti di pompaggio dipende molto dalla loro localizzazione, dalla dimensione del bacino a monte, e dagli eventuali usi plurimi.

adatte di stoccaggio geologico, ma in Italia ne esistono pochissime, e sono concentrate in Sicilia. Un combustibile derivato dall'idrogeno come l'ammoniaca sarebbe più facilmente gestibile e accumulabile. Certamente il "round-trip" da energia elettrica a energia elettrica non presenta un'efficienza molto elevata.¹¹⁸

La necessità di realizzare grandi quantità di stoccaggio di tipo fisico con impianti idroelettrici di pompaggio può essere associata all'utilizzo (e in alcuni casi al limitato nuovo sviluppo) di bacini di irrigazione o di raccolta di acqua per uso potabile o misto. Uno studio in tal senso focalizzato su alcune regioni meridionali è stato fatto da Terna e andrebbe rivalutato ed esteso all'intero territorio nazionale.

La LTS analizza le necessità di stoccaggio e giunge a calcolare una necessità al 2050 di:

1. 30-40 GW di stoccaggi a breve elettrochimici (batterie);
2. Ulteriori 10 GW di impianti idroelettrici di pompaggio, anche marino, che si aggiungono ai 7 GW già esistenti;
3. La disponibilità di idrogeno ed e-fuels per alimentare 70-100 GW di generatori a copertura di necessità stagionali;
4. Stoccaggio anche stagionale di calore;
5. Ulteriori flessibilità di V2G e di gestione della domanda.

La minimizzazione delle necessità di stoccaggio si ottiene poi con l'informatizzazione della rete e con l'adozione di attuatori gestibili in automatico per mezzo di elettronica di potenza di tipo FACTS nei nodi di rete che permettono una gestione dinamica dei flussi oggi impossibile. Questa modifica di rete si renderà necessaria assieme alla conversione dei rami periferici in alta tensione. Infatti, mentre gli attuali impianti di generazione turbogas o a carbone si trovano in prossimità delle grandi aree industriali lungo gli assi portanti della rete ad alta tensione, le rinnovabili si troveranno principalmente verso la periferia, spesso servite da linee in media tensione inadatte al futuro servizio. La gestione dinamica dei flussi permette di evitare la formazione di colli di bottiglia e di attivare rami alternativi per una costante equilibratura del sistema.

Una informatizzazione spinta del sistema elettrico permetterebbe anche di mettere in atto sistemi di gestione della domanda per mezzo di un mercato continuo con prezzi variabili a seconda della domanda e della disponibilità. Diversi tipi di utilizzo si presterebbero bene a questo tipo di gestione, quali la ricarica (lenta in stazionamento) di veicoli elettrici, o la gestione delle pompe di calore che vengono in genere corredate da accumuli di acqua calda o fredda. Accumuli grandi - e più costosi in termini di investimento - permetterebbero di accedere più continuativamente a prezzi dell'energia molto bassi, facendo scendere ulteriormente i costi di esercizio.

Più in generale, il tema dello stoccaggio dell'energia da FER rivesta un'importanza cruciale nell'ottica della sostenibilità energetica e ancor più lo rivestirà in futuro: su questo fronte lo sviluppo di idonee tecnologie assume rilievo fondamentale su cui è necessario focalizzare attenzione e risorse.

6.2.5.3 Eventuale infrastruttura per lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno

Una forte domanda elettrica sarà generata dai bisogni di produzione di idrogeno "verde", ad oggi ancora poco competitivo economicamente, ma su cui la Commissione Europea ha proposto una forte strategia

¹¹⁸ Tuttavia, per lo stoccaggio di lungo periodo l'efficienza ha un'importanza secondaria, data la competizione con il gas in centrali termiche nel breve periodo (a condizione che ci sia sufficiente approvvigionamento) e date le continue riduzioni di costi delle energie rinnovabili nel lungo periodo (Hargreaves & Jones, 2020).

di sviluppo per giungere ad una parità economica con gli attuali modi di produzione nel decennio 2030-2040.¹¹⁹ L'interesse per l'idrogeno è soprattutto legato alla possibilità di utilizzarlo nelle celle a combustibile, generando energia elettrica e acqua come prodotti finali.¹²⁰

La molecola dell'idrogeno è la più piccola molecola conosciuta, e pertanto riesce a permeare attraverso le guarnizioni impiegate negli impianti di compressione e pompaggio del gas naturale; la sua gestione comporta rilevanti problemi di sicurezza, e il suo trasporto richiede materiali, guarnizioni e sistemi di pompaggio particolari. La sua liquefazione richiede poi notevoli quantità di energia per portarlo e mantenerlo a temperature di -253°C, e serbatoi criotecnici speciali che hanno una perdita costante, che per piccoli volumi può essere anche del 2% al giorno (rendendo quindi impossibile il parcheggio di mezzi a idrogeno in ambienti chiusi). Le tubazioni di trasporto devono essere di acciai adatti e le saldature devono essere certificate per l'idrogeno. In particolare, le tubazioni devono garantire l'assenza di acqua al fine di evitare reazioni e corrosione.

Appare decisamente meno costoso e più sicuro trasportare gli elettroni tramite la rete elettrica verso i luoghi di produzione di idrogeno (che dovranno essere molto vicini ai distretti industriali che ne faranno uso) piuttosto che sviluppare una rete di distribuzione dell'idrogeno stesso, a meno che l'utilizzo della rete gas ed i volumi di domanda finale consentano davvero di sfruttare questa infrastruttura efficacemente e a costi inferiori, come propongono i gestori.

Va anche ricordato che l'accoppiamento della produzione di idrogeno con la disponibilità di energia rinnovabile in eccesso rispetto alla domanda del resto della rete, ipotesi che viene spesso fatta, non è sempre compatibile con gli utilizzi, specie quando questi ultimi richiedono un approvvigionamento ininterrotto. Quest'ultimo è difficile da gestire con sistemi di stoccaggio di cui è difficile il dimensionamento ed è quindi un problema complesso che deve essere studiato a fondo nelle sue implicazioni tecniche ed economiche.

L'uso di idrogeno è difficile anche nel caso dei trasporti pesanti su gomma,¹²¹ dal momento che questo richiede, contestualmente:

1. Lo sviluppo di pile a combustibile (potenze da 50-125 kW) ad alta efficienza da utilizzarsi a bordo dei veicoli, in modo tale da aumentarne durata ed efficienza e da ridurre i costi.¹²²
2. Lo sviluppo di sistemi di stoccaggio a bordo veicolo in grado di aumentare la densità energetica del vettore in completa sicurezza, comprensivo anche dello stoccaggio gassoso a pressioni elevate (oltre 700 bar), di quello in forma liquefatta (in serbatoi criogenici) e delle opzioni tecnologiche alternative riguardo il cosiddetto "Slush Hydrogen" (miscela solido e liquido alla temperatura del punto triplo di transizione di stato).¹²³

¹¹⁹ Attualmente il costo dell'idrogeno verde è stimato fra i 2.5 ed i 5.5 EUR/kg [24].; si prevede, comunque, che scenderà al di sotto dei 2 EUR/kg entro il 2030, avvicinandosi in tal modo al costo attuale dell'idrogeno grigio (1-1.5 €/kg) (IEA,2019a). Il costo energetico dell'elettrolizzazione dell'acqua dovrà essere assicurato al 100% da energie rinnovabili.

¹²⁰ L'idrogeno è anche utilizzabile in processi di combustione ma con costi molto alti in termini di perdite termodinamiche.

¹²¹ L'ipotesi di uso dell'idrogeno per il trasporto su gomma non è nemmeno energeticamente ottimale per la perdita energetica dovuta all'elettrolisi e alla successiva riconversione elettrica. L'alternativa dell'elettificazione diretta è tecnicamente possibile con batterie con capacità doppie o triple rispetto a quelle attuali per unità di peso, con batterie comparabili alle tecnologie attuali e frequenza di ricarica maggiore o con l'uso di "electric road systems" (ITF, 2020a).

¹²² L'obiettivo a lungo termine prefissato dall'U.S. Department of Energy (DOE) riguarda lo sviluppo di un sistema a FC per autoveicoli con efficienza del 65% e durata (definita come il numero di ore con perdite di prestazioni inferiori al 10%) di oltre 8000 ore, prodotto in serie ad un costo di circa 25 €/kW (US DOE, 2019)

¹²³ Sono altresì interessanti gli sviluppi di forme di stoccaggio all'interno di liquidi o solidi (idruri metallici, liquidi organici ad elevata capacità di assorbimento e adsorbimento superficiale mediante materiali organico/metallici).

3. Lo sviluppo delle infrastrutture territoriali per la distribuzione, immagazzinamento ed erogazione dell'idrogeno in grandi volumi e su lunghe distanze.¹²⁴
4. La risoluzione di aspetti normativi e regolatori ed attuazione norme di sicurezza riconosciute a livello internazionale (ITF, 2020a). In sintesi, l'idrogeno "verde" prodotto con elettrolizzatori, eventualmente in combinazione con forme di idrogeno "blu" che abbiano una effettiva capacità di ridurre le emissioni - e richiedono la cattura e lo stoccaggio di CO₂¹²⁵ (Howarth & Jacobson, 2021; Bauer et al., 2021) è strumentale per la realizzazione di un sistema energetico completamente basato sulle energie rinnovabili ma richiede notevoli approfondimenti tecnico-economici e di sistema. L'integrazione di rinnovabili e idrogeno permetterebbe di concepire un sistema energetico completamente elettrificato, in cui l'idrogeno insieme a e-fuels derivati dall'idrogeno (ammoniaca, e-fuels per aviazione, metano o metanolo sintetico prodotti con CO₂ biogenica, etc.) possano essere impiegati soprattutto per scopi industriali (processi ad alta temperatura, acciaio "verde", industria chimica, etc.), per trasporti (alcune tratte ferroviarie non elettrificate, ammoniaca per propulsione marittima, e-fuels per aviazione, alcune applicazioni per il trasporto pesante su gomma) e per alcuni impieghi termici non industriali.

Teoricamente sarebbe possibile realizzare una totale indipendenza energetica anche in Italia, vista la grande disponibilità di energia solare, la discreta disponibilità di energia eolica, e la buona produzione già avviata di bioenergie (Ruiz et al., 2019). Inoltre, l'idrogeno e combustibili derivati da idrogeno come l'ammoniaca potrebbero diventare essenziali per garantire l'equilibratura del sistema elettrico con un apporto di stoccaggio a medio/lungo termine che non può essere fornito da sistemi elettrochimici (brevissimo termine) o da pompaggi (medio/breve termine). Tuttavia, va considerata l'opportunità di grande valenza geopolitica di stabilire partnerships con Paesi del Nord-Africa o del Medio Oriente attuali produttori di gas e petrolio per allocare lì parte di queste produzioni di idrogeno "verde" e di combustibili decarbonizzati derivati, facendo buon uso di condizioni di insolazione e di vento migliori delle nostre. Questi Paesi, con il processo di decarbonizzazione, subiranno fortissime perdite in quanto il processo di diversificazione delle loro economie non è ancora stato avviato, e potrebbero quindi specializzarsi in produzioni di carrier energetici. Per questo tipo di produzioni potrebbero anche contare - almeno in un periodo transitorio - sull'utilizzo delle proprie fonti energetiche fossili accoppiate a CCS, sempreché si tratti di processi certificati e ad elevatissima efficienza di rimozione della CO₂ (Howarth & Jacobson, 2021; Bauer et al., 2021).

6.2.5.4 Eventuale infrastruttura per lo stoccaggio e il trasporto di CO₂

Il ricorso al CCUS è attualmente dibattuto. Questo è legato a diversi fattori: i) grandi difficoltà di accettazione pubblica delle aree idonee ad ospitare pozzi di stoccaggio sotterraneo in un Paese (come l'Italia) fortemente sismico e ove eventi sismici recenti hanno fatto emergere una loro possibile connessione con la gestione dei gas nel sottosuolo; ii) il fatto che il CCUS non è mai in grado di sequestrare il 100% della CO₂ (rese tra il 75 e l'85%); iii) l'elevato costo (anche energetico) del processo; iv) la necessità di sviluppare infrastrutture dedicate per il trasporto della CO₂, principalmente rilevanti per casi in cui non ci sono opzioni alternative.

¹²⁴ Questa ipotesi richiedere lo sviluppo di sistemi di produzione decentrata (almeno in fase iniziale, e quindi costi maggiori (IEA, 2005), o una distribuzione di idrogeno più capillare (e quindi più anche difficili da autosostenersi, economicamente, dal momento che aggiungerebbero costi significativi ad ogni unità di idrogeno distribuito (Yang & Odgen, 2007). Questi punti di distribuzione potrebbero eventualmente essere progettati per supportare la rete autostradale principale, connettendo nodi di hub logistici ove le merci potrebbero poi essere avviate alla consegna tramite sistemi più leggeri ed elettrificati, ma necessiterebbero di volumi significativi di domanda per poter avere costi unitari di distribuzione accettabili (Yang & Odgen, 2007). Questo è improbabile in assenza di domanda distribuita di idrogeno anche in altri settori.

¹²⁵ Va peraltro considerato se gli investimenti necessari per tale produzione e per la relativa infrastrutturazione non costituiscano un lock-in tecnologico o non generino "stranded assets" proiettandosi al di là del traguardo temporale al 2050 di zero emissioni nette.

Questo suggerisce di favorire la sostituzione di combustibili con incremento di efficienza energetica, elettrificazione ed energie rinnovabili, escludendo il CCUS come opzione principale di decarbonizzazione, ed includendolo piuttosto come soluzione possibile in casi molto specifici (come grandi cementifici, impianti di produzione di acciaio, impianti chimici o alcune centrali turbogas da mantenere in riserva di capacità per la stabilità e la resilienza del sistema elettrico).

Nell'ipotesi centrale discussa qui, la quota non decarbonizzata del sistema al 2030 dovrebbe essere compatibile con il target di -55% rispetto al 1990 (al netto del "sink" di carbonio di 35 MtCO₂eq) stabilito a livello europeo. In queste circostanze, non si creerebbero necessità a breve termine di abbattimento di emissioni con CCUS, con l'eccezione di situazioni in cui queste dovessero essere richieste da politiche specificamente volte a decarbonizzare settori in cui non ci sono opzioni alternative. Uno dei casi possibili potrebbe riguardare la produzione di acciaio primario nel sito di Taranto ex-ILVA, maggiore hotspot nazionale di emissioni di CO₂, ma l'orientamento attuale è indirizzato verso l'uso di idrogeno decarbonizzato "verde".

Anche nell'ipotesi ipotesi "tutto rinnovabili-tutto elettrico" restano alcune emissioni di processo di CO₂ dalla produzione di cemento, dalle produzioni di ceramiche e dalle fonderie di vetro. Parte di queste emissioni può essere ridotta da innovazioni tecnologiche e sostituzione di materiali (per esempio l'incremento dell'impiego del legno ingegnerizzato nelle costruzioni civili, al posto del cemento).

Considerando che le compensazioni "Land Use, Land-Use Change and Forestry" (LULUCF) possono coprire le residue emissioni di metano e protossido di azoto, oltre alle rimanenti emissioni di processo, la necessità di ricorrere al CCUS potrebbe essere limitata a distretti industriali specializzati (come Sassuolo o Faenza per le ceramiche) e condotta preferibilmente con processi che producono precipitati solidi, dati i problemi di accettabilità legati alla iniezione di gas in depositi sotterranei. I pochi stoccaggi sottomarini esistenti, rappresentati da pozzi esauriti di gas e idrocarburi e potenzialmente meno controversi di altri siti di stoccaggio geologico, potrebbero essere un'opzione alternativa, più rilevante per impianti industriali situati non lontano (per limitare i costi dell'infrastruttura di trasporto della CO₂). Questi siti potrebbero essere necessari anche nel caso in cui ulteriori emissioni negative (da generare tramite Bio-energy with Carbon Capture and Storage, BECCS o altre forme di Biomass Carbon Removal and Storage, BiCRS) dovessero compensare emissioni residue, in prossimità del raggiungimento di emissioni nette vicine allo zero, verso il 2050.

6.3 Logistica

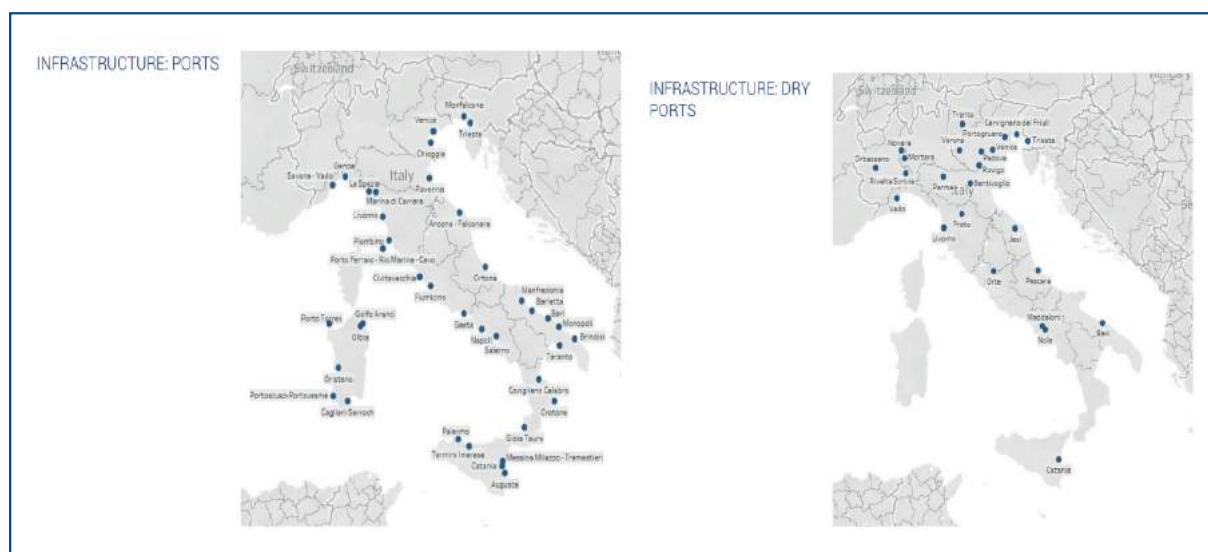
Il sistema logistico è strumentale per permettere la sequenza di operazioni e processi necessari alla produzione, distribuzione, ritorno, riutilizzo e smaltimento di beni di consumo. Questi definiscono il concetto di “supply chain” (letteralmente, catena di approvvigionamento) e richiedono tre tipi di flussi: fisici, di informazioni (relativi al tracciamento dei flussi fisici) e di cassa (associati alle transazioni che occorrono nella supply chain) (Sheffi, 2020). Le infrastrutture logistiche necessarie per le supply chains, necessarie per facilitare questi flussi sono riassunte in Tabella 5.

Tabella 5: Infrastrutture logistiche

Tipo di infrastruttura	Veicoli	Edifici	Reti e nodi di trasporto e comunicazione	Altro
Legate a flussi fisici	Navi, treni, aerei, camion, veicoli commerciali leggeri	Magazzini, centri di carico/scarico merci, parcheggi, terreni	Porti, ferrovie, strade, canali, aeroporti, interporti (nodi intermodali terrestri)	Reti di trasporto e distribuzione di energia
Legate a flussi di informazione e di cassa	Sensori, dispositivi di comunicazione e tracciamento	Edifici che ospitano data centers, server ed altri apparati di gestione dati	Cavi, dispositivi di trasmissione e stoccaggio di dati	Reti di trasporto e distribuzione di elettricità

La Figura 4 mostra invece la distribuzione sul territorio nazionale di porti ed interporti logistici. Combinata con le considerazioni fatte sugli aeroporti ed i volumi di merci mobilizzati nei porti nel Capitolo 2, riflette la concentrazione di operatori logistici al Nord. Questo si spiega anche con l’integrazione di alcune di queste infrastrutture nei corridoi della rete di trasporto trans-Europea (TEN-T): Trieste è lo sbocco al mare del corridoio Baltico-Adriatico, Genova marca la fine del corridoio Reno-Alpino. Entrambi sono intersezioni del Corridoio Mediterraneo, così come Verona, nel caso degli interporti, che è anche all’intersezione con il corridoio Scandinavo-Mediterraneo.

Figura 4: Distribuzione sul territorio nazionale dei principali porti ed interporti logistici Fonte: IT&IA (2021)



Il settore logistico ha un ruolo centrale nell'utilizzo e, potenzialmente, anche nello sviluppo di sistemi digitali volti a migliorare efficienza e produttività. Società logistiche possono trainare investimenti e sviluppi di questo tipo di sistemi, compresi strumenti di tracciamento, geolocalizzazione, condivisione di informazioni in tempo reale, ottimizzazione delle supply chains ed anche automazione (a partire dai magazzini per lo stoccaggio delle merci e dai centri intermodali).

6.3.1 Futuro sistema in base agli attesi sviluppi socio-economici

La crescita di digitalizzazione (automazione, virtualizzazione e commercio elettronico) e le vulnerabilità emerse durante la pandemia di Covid-19 sono tra le più significative tendenze macroscopiche hanno la capacità di avere impatti molto significativi sullo sviluppo del sistema logistico (ITF, 2021c).

La digitalizzazione è presente in forze nella logistica e può indurre a fenomeni di consolidazione. Questo era un trend già in essere in Italia (IT&IA, 2021) e può essere accelerato dagli effetti della crisi, che richiedono sufficiente disponibilità di capitale per gli investimenti per la crescita ed incrementi della produttività per migliorare la competitività. Sullo sfondo vi è la necessità di una migliore organizzazione dei "Port Community System" (PCS) e l'obiettivo di una loro omogeneizzazione attraverso la Piattaforma Logistica Nazionale (PLN, Direttiva Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 137 del 20/3/2018).

Come già sottolineato, il mondo portuale è coinvolto in radicali processi di riorganizzazione, nella direzione degli smart ports. Il processo di digitalizzazione è fondamentale sia per il recupero di competitività del sistema portuale e logistico italiano, sia perché una maggiore efficienza è la preconditione per la riduzione degli impatti, inclusi quelli legati alle emissioni di gas serra.

L'automazione è già una realtà nella gestione di magazzini di stoccaggio delle merci, nel trasporto ferroviario urbano di passeggeri, in alcune applicazioni aeronautiche, ed in crescita nell'automotive, con significativi sviluppi regolatori negli ultimi anni e forte potenziale per il trasporto di merci su assi infrastrutturali equipaggiati con infrastrutture di comunicazione (satellitari o basate su altre tecnologie, incluso il 5G) (ITF, 2021b).

Gli impatti legati alle vulnerabilità emersi durante la pandemia includono tensioni commerciali con la Cina, e possono risultare in riallocazioni delle attività produttive più vicino ai centri di consumo e aumento della diversificazione geografica degli approvvigionamenti di materie prime.

Un altro fattore chiave al centro di questa analisi è legato alla transizione energetica, alla riduzione dell'uso di combustibili fossili, con petrolio e gas che pesano per circa il 30% delle tonnellate-km per quello che riguarda il commercio globale, e carbone per il 10% (ITF, 2018). Questo fa capo ad un incremento dell'azione da parte di economie globali sul tema della mitigazione del cambiamento climatico ed un aumento della competitività di tecnologie basate su elettrificazione ed energie rinnovabili, che - a loro volta - richiedono un incremento nell'uso di altre materie prime (IEA, 2021).

Trend recenti nel caso specifico dell'Italia sono particolarmente marcati sull'incremento del commercio elettronico e comprendono incrementi dell'export nel settore dell'abbigliamento, responsabile nel 2019 del 70% dei ricavi dal commercio online (IT&IA, 2021).

Altri fattori che possono contribuire ad una variazione dell'attività di trasporto merci in Italia (ma da valutare anche rispetto al cambiamento strutturale delle merci scambiate, alla luce dei cambiamenti strutturali delle supply chains) sono legati all'incremento del traffico merci nel Mediterraneo (attraverso il canale di Suez), al fine di servire le attività commerciali non solo italiane, ma anche di altri paesi europei.

6.3.2 Strategie di mitigazione delle emissioni

Nel quadro del trasporto merci e della logistica, gli strumenti di mitigazione diretta delle emissioni possono essere classificati in diverse classi:

- Gestione dell'attività di trasporto
- Integrazione e combinazione di modi di trasporto
- Condivisione delle infrastrutture e degli attivi, e massimizzazione del loro uso
- Efficienza energetica di infrastrutture ed attivi
- Prioritizzazione di fonti energetiche con le minori emissioni (non solo di gas serra).

La Tabella 6 riassume soluzioni che consentono di assicurare l'accesso a prodotti e che definiscono la funzione della logistica in un contesto capace di gestirne l'espansione, tenendo conto dello sviluppo di tecnologie digitali, dell'automazione e di nuove forme di organizzazione industriale che sono anche soggette a crescita strutturale, dal momento che possono risultare in incrementi della produttività e miglioramenti della competitività del sistema. Molte di queste soluzioni sono tecnicamente percorribili nell'immediato, anche in Italia, dal momento che non necessitano di investimenti significativi in termini di infrastrutture fisiche. Tuttavia, esse richiedono la disponibilità di infrastrutture legate alle telecomunicazioni, alle tecnologie digitali ed un'adeguata capacità di trarre vantaggio nella forza lavoro.

Tabella 6: Soluzioni di gestione dell'attività di trasporto per la decarbonizzazione della logistica Fonte: adattamento sulla base di ALICE-ETP, 2019.

Soluzione	Descrizione
Ristrutturazione delle catene di approvvigionamento	Ridefinizione dei nodi del sistema logistico, della distribuzione gerarchica e dei flussi di trasporto al fine di minimizzare le distanze percorse e massimizzare i fattori di carico.
Localizzazione e "reshoring"	Localizzare la produzione in prossimità dei centri di consumo, dove fattibile. Maggiore rilevanza per agricoltura e "nearshoring" di prodotti necessari all'industria.
Decentralizzazione della produzione e stoccaggio	Rilocalizzazione di produzione, stoccaggio e vendite in prossimità del consumo (per esempio includendo i punti vendita nella gestione degli stock, facendo leva su tecnologie digitali).
Stampa in 3D	Rilevante per i pezzi di ricambio e prodotti (o parti di prodotti) che possono essere fabbricati in prossimità dei mercati. Richiede comunque il movimento di materie prime.
Dematerializzazione	Riduzione della quantità fisica di materiali (packaging incluso) associati ad un prodotto attraverso eco-design, miniaturizzazione, sostituzione di materiali, riciclo e progettazione volta ad estendere della vita utile dei prodotti.
Comportamento dei consumatori	Educazione e campagne di informazione che incoraggiano al riutilizzo, alla riparazione, a rifabbricazione, al riciclo di materiali ed all'uso di punti di consegna aggregati e trasporto non motorizzato per il ritiro di prodotti venduti on-line.

Altre soluzioni sono associate a transizioni tecnologiche nei veicoli ed alla decarbonizzazione dei vettori energetici, già discusse nelle sezioni precedenti. Interventi di integrazione e combinazione di modi di trasporto sono discussi nella sezione 6.1.4.

Va anche sottolineato come alcune questioni, come il *cold ironing* discusso precedentemente, non sia solo di natura infrastrutturale ma anche logistica. La diversità delle strutture portuali (ampiezza e posizionamento delle banchine) e la diversità delle domande rivolte ai porti dalle diverse tipologie di navi rendono necessario lo sviluppo di sistemi standardizzati (al fine di abbattere i costi e consentire la produzione in scale) ma anche applicabili in diverse circostanze. Ciò chiama ancora in causa il coordinamento degli sforzi tra operatori diversi, nonché la necessità di un cambiamento culturale nel modo in cui porti e terminal sono gestiti, che metta assieme competenze diverse (manager portuali, esperti di logistica dei terminal, ingegneri, energy managers, esperti di motori e sistemi di gestione energetica nelle navi).

6.3.3 Aspetti indiretti delle strategie di mitigazione

In aggiunta agli effetti diretti, ci possono anche essere effetti indotti, con conseguenze importanti per il sistema. Per esempio, anticipare il cambiamento verso flotte di veicoli elettrici, iniziando da casi in cui c'è già un business case, generando una domanda certa per un settore (quello dell'automotive) che deve affrontare investimenti importanti per non perdere competitività internazionale e beneficiare di trend di crescita positivi dal punto di vista delle tecnologie di propulsione.

Un esempio chiaro nel settore della logistica e del trasporto su gomma è quello dei veicoli commerciali leggeri, che sono tra i più favoriti per la transizione verso l'elettrificazione, grazie a necessità di mobilità giornaliera facile da prevedere (specialmente se integrati in flotte di più veicoli), possono beneficiare di periodi di ricarica in fase di carico/scarico e/o di notte, sono esposti a condizioni di traffico (in città) particolarmente negative per tecnologie basate su motori a combustione e hanno nello stesso tempo livelli di attività annuale significativi (e quindi importanti vantaggi da tecnologie che hanno costi operativi inferiori) (ITF, 2020b; Tsakalidis et al., 2020).

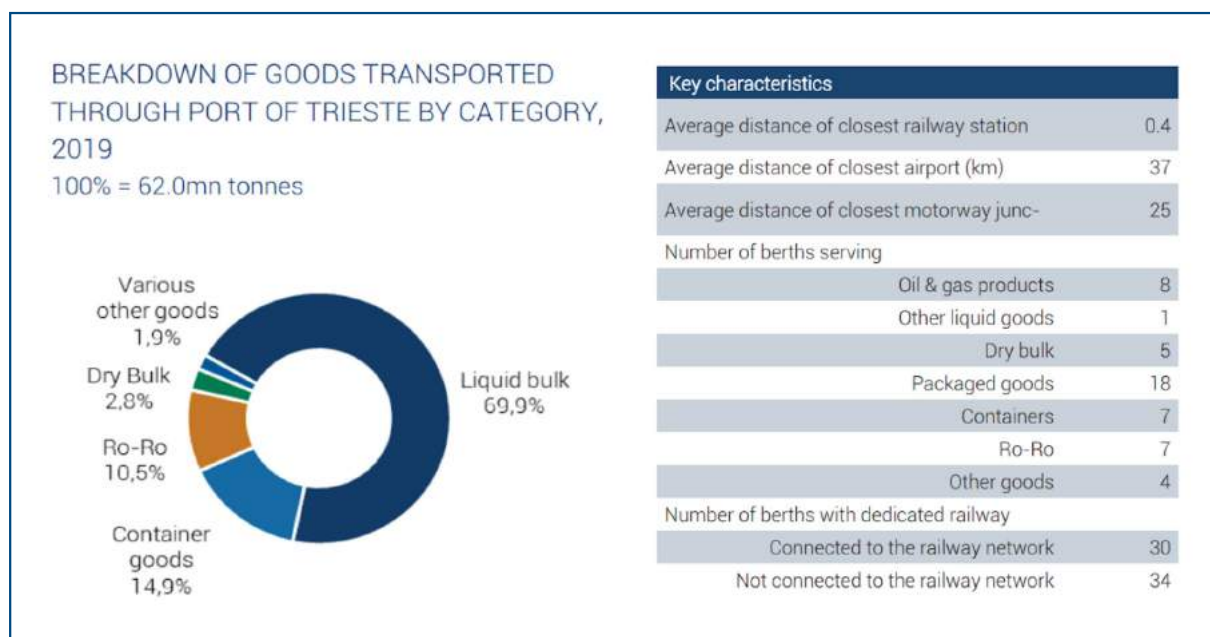
Questo esempio è anche generalizzabile ad altri casi, applicabili ad altri tipi di veicoli (compresi camion, treni, aerei e navi), purché ci sia la chiara possibilità di beneficiare di una riduzione dei costi operativi, capace di eccedere eventuali costi incrementali al momento dell'acquisizione dei veicoli, e di una parallela decarbonizzazione dei vettori energetici. Il caso dell'elettrificazione diretta nel trasporto su gomma (e su rotaia laddove è necessaria la sostituzione del diesel) è attualmente il più solido, anche grazie ad ulteriori opportunità di integrazione con altre transizioni sistemiche, a partire dalla digitalizzazione (ITF, 2021b; IEA, 2018; IEA, 2019a).

Altri esempi sono legati alla digitalizzazione ed al ruolo che il settore logistico può avere come elemento trainante di altre transizioni (come quella digitale), grazie al ruolo che informatizzazione ed automazione hanno per migliorarne la produttività e la competitività, costituendo un centro importante di generazione di domanda per questo tipo di sviluppi, su scala globale.

Le implicazioni per le infrastrutture sono importanti, e vanno al di là del settore specifico della logistica, coinvolgendo settori manifatturieri di grande rilevanza (come automotive ed energia) ed altri settori centrali per lo sviluppo socio-economico (telecomunicazioni), associati ad effetti secondari che si ripercuotono anche essi sulla struttura delle attività industriali ed economiche. Anche in questi casi, il peso di questo tipo di considerazioni deve anche tenere in conto che si tratta di un fenomeno di rilevanza globale, e non solo italiana o europea.

Un ruolo consistente, con implicazioni importanti a livello infrastrutturale, è legato agli impatti su supply e value chains dovuti ad effetti delle strategie di mitigazione delle emissioni, non solo limitate al settore logistico. Un esempio concreto di esposizione al rischio di transizione (e quindi vulnerabilità) nel caso delle infrastrutture logistiche in Italia è il caso del porto di Trieste, che, con quello di Monfalcone, è il principale hub in termini di volumi di merci in Italia. Nel 2019, 62 Mt sono state gestite in queste infrastrutture (IT&IA, 2021). Quasi il 70% di queste sono in forma di liquidi, principalmente prodotti legati a petrolio e gas, gestiti in 8 dei 9 moli votati alla gestione di prodotti liquidi (Figura 5).

Figura 5: Caratteristiche del porto di Trieste Fonte: IT&IA, 2021



Visti gli impatti delle strategie di mitigazione del cambiamento climatico su commercio di energia fossile, ed in particolare la riduzione del consumo di petrolio, con indicazioni di riduzioni significative non solo nello scenario net-zero dell'International Energy Agency¹²⁶, gli impatti economici, in assenza di strategie di adattamento, potrebbero avere una portata enorme su questo tipo di infrastruttura.

Questo rende inevitabile considerare seriamente la necessità di ripensarne lo sviluppo, per esempio riorientandone una parte verso nuovi prodotti, tenendo conto degli investimenti che si stanno sviluppando in regioni che sono servite dalle infrastrutture logistiche del porto stesso (in Italia e negli altri paesi dell'Europa centrale). Restando nel settore dell'energia, questo può includere materie prime - come, per esempio, minerali di litio ed altri minerali metallici - necessari o strumentali per la produzione di batterie e/o generatori di energia rinnovabile.

Queste stesse considerazioni non sono limitate al caso delle infrastrutture logistiche, ma anche rilevanti per considerare l'orientamento dello sviluppo futuro del settore manifatturiero. Per questa ragione, hanno anche implicazioni indirette per altre infrastrutture logistiche, come interporti, ferrovie per il trasporto merci, strade e oleodotti/gasdotti. Un altro esempio concreto in questo contesto è quello dell'interporto di Verona, che nel 2019 è stato servito da quasi 16000 treni, per la maggior parte intermodali, con una mobilitazione di 8,4 Mt di prodotti (destinati in larga parte alla Germania) di cui 8,2 Mt relative al traffico intermodale), ed ha gestito più di 22 Mt di merci trasportate su gomma (IT&IA, 2021).

¹²⁶ Nello scenario Net-zero dell'IEA, la domanda di petrolio scende a 72 milioni di barili al giorno nel 2030 e 24 nel 2050, rispetto ai 98 del 2018 e 90 del 2020 (IEA, 2021). La riduzione dell'uso di petrolio è una costante anche in altri scenari di mitigazione. Per esempio, l'International Transport Forum fa riferimento ad una riduzione del 22% al 2040 rispetto al 2016 nel caso delle proiezioni fatte nel 2018, nonostante queste non siano compatibili con l'accordo di Parigi (ITF, 2018).

6.4 Informatica e telecomunicazioni

Per mitigare l'impatto degli imminenti cambi climatici sull'infrastruttura di Information and Communication Technology (ICT) si pongono complesse sfide progettuali, che coinvolgono sia il segmento di "Communication" (la rete per la raccolta e il trasporto dei dati) sia il segmento di "Information" (data-center per l'elaborazione e la archiviazione/memorizzazione dei dati). Una infrastruttura ICT che si adatti alle sfide del cambio climatico richiede infatti nuove soluzioni che, da un lato, garantiscano la resilienza delle infrastrutture come discusso nel Capitolo 5, e, dall'altro lato, riducano il loro consumo energetico per non contribuire ulteriormente all'aumento di emissioni (l'impatto del settore ICT sulle emissioni di CO₂ è discusso nel Capitolo 4). Questi due obiettivi (resilienza e riduzione del consumo energetico) sono in aperta contraddizione, siccome le soluzioni per la resilienza si basano su ridondanza delle risorse (e quindi maggior consumo energetico) e risulta quindi complesso soddisfare i requisiti di resilienza senza aumentare il consumo energetico. Va sottolineato, però, che entrambi gli obiettivi possono essere soddisfatti se si riesce a mantenere un grado soddisfacente di funzionalità del sistema usando solo un sottoinsieme delle risorse installate in fase di progetto, adattando per esempio l'infrastruttura ICT in funzioni di allarmi dovuti a imminenti eventi climatici potenzialmente distruttivi che di volta in volta sollecitano l'infrastruttura.

Nel prosieguo di questa sezione, viene fornita una rassegna di possibili tecnologie emergenti per adattare l'infrastruttura ICT in Italia agli imminenti cambi climatici. Seguendo la stessa impostazione del Capitolo 5, i possibili interventi di adattamento sono divisi in due categorie: interventi per la rete e per i datacenter. Due sottosezioni sono dedicate a due tematiche trasversali (e interconnesse): interoperabilità e cybersecurity.

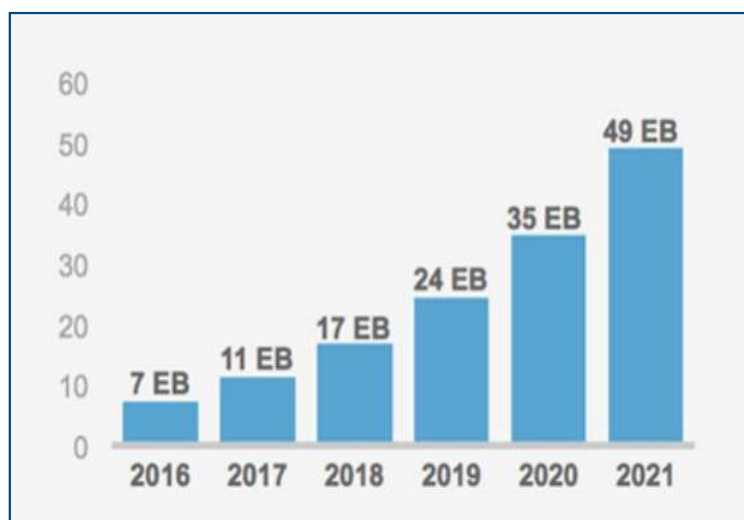
6.4.1 Rete di comunicazione

Per semplicità, le tecnologie di rete sono suddivise in quattro settori: le reti di trasporto (geografica o "core" e metropolitana o "metro"), la rete di accesso (mobile e fissa), l'Internet of Things (IoT), e le comunicazioni satellitari.

6.4.1.1 La rete di trasporto

La sfida principale per la rete di trasporto risiede nella sua capacità di servire il traffico Internet in continua crescita esponenziale in maniera efficiente. Come mostra la Figura 6 negli ultimi 5 anni il traffico Internet è cresciuto di circa il 35% annuo passando da 7 and 49 Exabyte mensili di traffico mensile (Exa = 10¹⁸). Una incessante innovazione tecnologica è necessaria per poter identificare nuove soluzioni che permettano di trasportare questo traffico in continua crescita senza incorrere in una dipendenza lineare del costo e del consumo energetico della rete in funzione dell'aumento del traffico.

Figura 6: Crescita dell'aggregato mensile di traffico Internet in Exabyte (White Paper, 2021)



Nella rete di trasporto questo obiettivo viene perseguito mediante l'utilizzo di tecnologie ottiche di trasmissione a basso consumo energetico ed elevatissima capacità di trasmissione dati, ed è necessario mantenere questo trend affidandosi a nuove tecnologie:

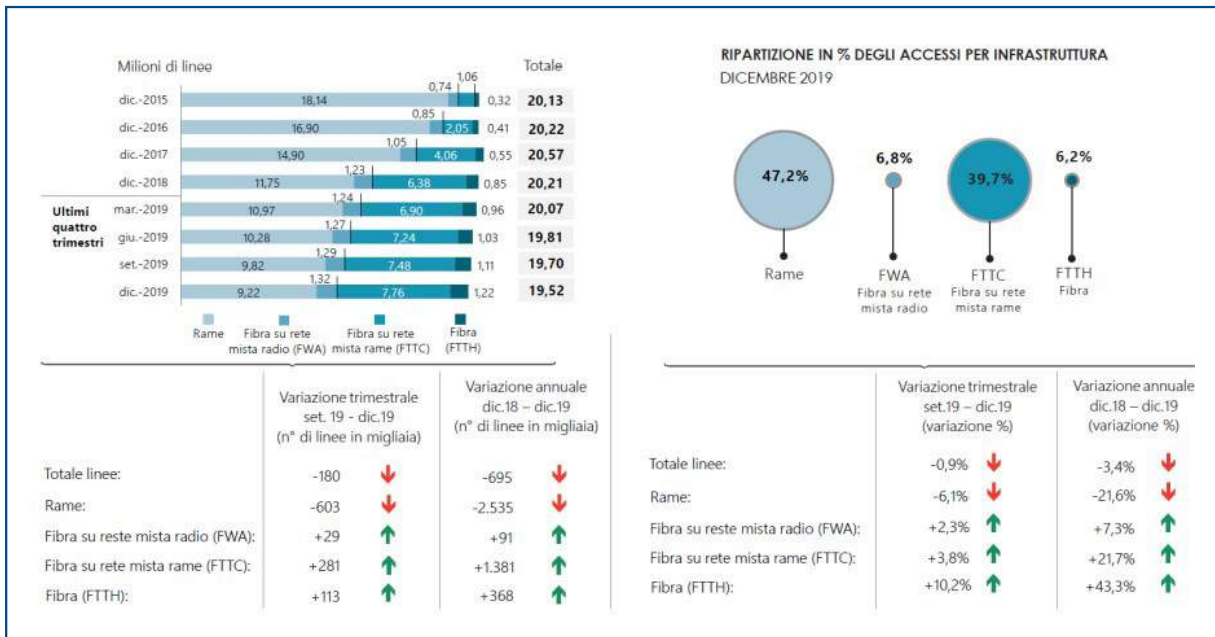
- Nel segmento geografico della rete (rete nazionale a lunga distanza), è necessario un impiego sistematico delle soluzioni di **commutazione ottica** (per esempio, abilitata da dispositivi quali i riconfigurabile add-drop multiplexers) che permettono un offload delle apparecchiature elettroniche di commutazione del traffico ad alto consumo energetico, quali router IP e switch Ethernet o SDH (Tucker, 2006). Inoltre, in risposta a profili di traffico che si prospettano sempre più dinamici e variabili nel tempo, nuove metodologie per la **gestione on-off** delle apparecchiature possono abilitare significativi risparmi energetici.
- Nel segmento metropolitano della rete, l'introduzione delle tecnologie di quinta generazione (il "5G") rivoluzioneranno l'architettura del segmento metro che evolverà da un collettore statico e sovradimensionato di traffico (e quindi, inefficiente da un punto di vista del consumo energetico e della resilienza), ad un sistema composito formato da edge datacenter distribuiti (**Edge Computing**) e rete riconfigurabile, virtualizzata e softwarizzata (Baliga et al., 2011). L'Edge computing si configura come tecnologia abilitante di una nuova forma di resilienza che garantirà maggiore affidabilità dell'accesso a contenuti/servizi.

6.4.1.2 La rete di accesso

La rete di accesso è anch'essa in fase di profonda trasformazione. Le tecnologie tradizionali in rame sono in fase di lenta ma inesorabile sostituzione da parte dell'accesso in fibra, anche grazie agli investimenti governativi in questa direzione del piano strategico per la banda ultra-larga, volti a garantire copertura nelle aree a basso interesse economico per operatori¹²⁷. Come mostrato nel grafico in Figura 7, buona parte dell'accesso in rame presente 5 anni fa è in via di sostituzione mediante tecnologia in fibra ottica che garantisce minore consumo energetico e maggiore banda di accesso alla rete utilizzando tre principali tecnologie in fibra: Fiber to the Home (FTTH), Fiber to the Cabinet (FTTC) e Fixed Wireless Access (FWA).

¹²⁷ <https://bandaultralarga.italia.it/>

Figura 7: Rete fissa. Access per tecnologia <https://www.agcom.it/osservatorio-sulle-comunicazioni>



Per quanto riguarda la rete di accesso radiomobile, l’installazione della rete 5G nei prossimi anni rappresenterà un’opportunità cruciale per abilitare nuove strategie di diminuzione del consumo energetico della rete e per incrementarne la resilienza rispetto ad eventi meteorologici estremi legati al cambio climatico. Il panorama dell’innovazione 5G che possa abilitare questi interventi di mitigazione sull’infrastruttura ICT è composito (Huseien et al., 2021), e nella lista seguente ne identifichiamo le principali opportunità:

- **“Network Slicing”**: grazie a questo nuovo paradigma di allocazione dinamica e mirata delle risorse di rete sulla base delle esigenze dei servizi da supportare sarà possibile offrire soluzioni ad hoc per servizi emergenziali (pronto soccorso, gestione dei disastri, sicurezza pubblica), nonché abilitare la gestione dinamica (on-off, e quindi energeticamente efficiente) delle risorse di rete (Valcarengi et al., 2019).
- **Beamforming**: è una tecnica di trasmissione radio per focalizzare un segnale in una determinata direzione, utilizzando una serie (“array”) di antenne. Piuttosto che trasmettere un segnale in tutte le direzioni (e quindi disperdere energia), il beamforming permette di inviare il segnale in una specifica direzione (Prasad et al., 2017), aumentando così la portata e la capacità delle celle. Questo concetto può essere ulteriormente sviluppato con l’adozione delle cosiddette superfici riflettenti intelligenti (Intelligent Reflective Surface) che permettono di aggirare ostacoli (per esempio, edifici), che non possono essere attraversati dalle onde millimetriche usate dal 5G (Wu & Zhang, 2020).
- **Automazione di rete e manutenzione predittiva**. Nelle reti 5G, la grande disponibilità di dati di monitoraggio della rete, congiuntamente con lo sviluppo di nuove tecniche di Machine Learning (ML) per l’analisi di questi dati, apre le porte a nuovi paradigmi di gestione della rete energeticamente efficiente e resiliente a guasti. In particolare, la manutenzione predittiva (cioè la capacità di prevenire i guasti osservando il comportamento del sistema nel tempo) promette di diminuire significativamente i tempi di interruzione dei servizi di rete, e conseguentemente permettere risparmi in termini economici stimati nell’ordine di 280M€ annuali nella sola Unione Europea (Di Giglio, 2020)

6.4.1.3 Tecnologie per l'Internet of Things (IoT)

Le tecnologie IoT abilitano la raccolta di informazioni provenienti da sensori per moltissime applicazioni e per tutte le infrastrutture menzionate in questo capitolo. Come garantire la resilienza del sistema IoT è una tema di grande interesse, e soluzioni definitive sull'argomento non sono ancora standardizzate (Moore et al., 2020). Si osserva inoltre che, anche senza installare reti IoT ad hoc, le reti telecom esistenti (per esempio in fibra, o su microonde e le reti cellulari) possono essere utilizzate per effettuare monitoraggio ambientale (David et al., 2019).

La mobilità sostenibile si basa sull'utilizzo di forme avanzate di IoT che vanno sotto vari nomi tra cui Internet of Vehicles (IoV) e Vehicle to Everything (V2X), ad indicare un sistema di comunicazione di informazioni tra un veicolo a qualsiasi entità che possa influenzare il veicolo e viceversa. Questi sistemi si basano su sensori e sistemi embedded e sulla elaborazione di informazione real-time generati da questi dispositivi, e offrono supporto ad un grandissimo numero di casi d'uso nell'ambito delle smart city e della guida autonoma (Moore et al., 2020).

L'enorme quantità di dati rilevati attraverso l'IoT può poi essere analizzata tramite algoritmi di Machine Learning e altri strumenti di Analisi Predittiva e Data Mining (menzionati anche nella sottosezione precedente) per elaborare delle soluzioni di intervento efficienti e mirate in tutte le infrastrutture menzionate in questo capitolo. Nella sottosezione 6.4.5 alcuni casi applicativi a servizio di altre infrastrutture saranno commentati con maggiore dettaglio.

6.4.1.4 Comunicazioni satellitari

Le comunicazioni satellitari (o, in senso esteso, ad "alta quota") rappresentano un'altra promettente frontiera per lo sviluppo di soluzioni di mitigazione dell'impatto del cambio climatico, proprio in virtù del loro implicito posizionamento ad altitudini tali da non essere influenzati direttamente dagli effetti del cambio climatico. In futuro nuove cosiddette "megacostellazioni", formate da migliaia di satelliti a bassa orbita, verranno sviluppate con obiettivi molteplici. Tra questi la copertura di zone scoperte e delle zone colpite da eventi climatici dirompenti. Inoltre altre tecnologie di **comunicazione ad alta quota** (per esempio i progetti "Loon" di Google o "Aquila" di Facebook, o l'utilizzo di droni capaci di fornire connettività alla rete cellulare) sono allo studio per portare connettività in zone colpite da eventi climatici dirompenti. Queste nuove tecnologie potrebbero rappresentare strumenti utilissimi alla protezione civile nei prossimi anni.

6.4.2 Data center

Soddisfare la crescita esponenziale dei dati da elaborare nei datacenter richiede nuove soluzioni per garantirne scalabilità, resilienza e basso consumo energetico.

Dal punto di vista del trasferimento di una quantità esorbitante di dati all'interno del datacenter tra server diversi, le attuali soluzioni di commutazione elettronica del traffico dovranno essere sostituite da nuove soluzioni basate su commutazione ottica (come quelle già commentate nelle reti geografiche) all'interno dei data center. Nuove tecniche di Machine Learning per predizione dei carichi computazionali potranno condurre ad un'ulteriore minimizzazione del dispendio energetico all'interno dei data center.

Dal punto di vista del raffreddamento, nuove soluzioni stanno emergendo (si veda la rassegna in Zhang et al., 2021). Si noti che la migrazione verso soluzioni di tipo Edge Computing (già citate nella sottosezione su rete metro) offrono una ulteriore opportunità di semplificazione del processo di raffreddamento grazie alla distribuzione della elaborazione dei dati su più microdatacenter che possono sfruttare semplici soluzioni di raffreddamento ambientale.

Altre strategie per la riduzione del consumo energetico e della impronta ecologica delle future infrastrutture ICT consistono nella incorporazione di energie rinnovabili sia in prossimità dei datacenter che in co-locazione con apparati di rete, e nuove tecniche per la stima dell'energia grigia (embodied energy) e dell'energia per lo smaltimento (disposal energy) dei sistemi ICT che permettano una stima più precisa dell'impronta ecologica dei dispositivi usati nelle infrastrutture ICT.

6.4.3 Integrazione, Interoperabilità e "Openness"

Per garantire maggior resilienza ad eventi climatici dirompenti e per permettere una maggior condivisione delle risorse fisiche della rete, una possibile direzione è la promozione di nuove tecniche e regolamentazioni per integrazione, interoperabilità e "openness" delle infrastrutture ICT di diversi operatori di rete e/o operatori cloud. Importanti enti di standardizzazione stanno da tempo lavorando alla definizione di interfacce "aperte" e modelli condivisi tra apparati di produttori differenti. Analoghe soluzioni per l'integrazione e l'interlavoro sono richieste tra tecnologie diverse, come reti satellitari, reti in fibra e wireless. Le istituzioni governative nazionali ed europee hanno un ruolo cruciale nella promozione di queste forme di interrelazione tra operatori di rete/cloud.

6.4.4 Cybersecurity

Ad un incremento della connessione e penetrazione dei dispositivi IoT nelle infrastrutture critiche del Paese, corrisponde un aumento della cosiddetta "superficie di attacco" delle infrastrutture che quindi si esporranno maggiormente ad attacchi digitali e guasti e/o fuori servizio dovuti ad eventi estremi (non necessariamente climatici). Oggigiorno un attacco digitale permette di bloccare arterie di comunicazione che bloccano un Paese, con lo stesso effetto - se non superiore - di quello che poteva essere un bombardamento di un ponte 70 anni fa.

La cybersecurity è l'insieme delle soluzioni sviluppate per proteggere le infrastrutture ICT, e più generalmente i sistemi informatici, da attacchi digitali. Questi attacchi sono solitamente finalizzati ad accedere, a trasformare o a distruggere senza permesso informazioni sensibili, con fini fraudolenti, come, per esempio, l'interruzione dei normali processi di gestione di una infrastruttura (per citare alcuni di questi attacchi, possiamo menzionare phishing, ransomware, malware, social engineering, e molti altri). La cybersecurity rivestirà un ruolo sempre più importante nella progettazione delle infrastrutture ICT nei prossimi anni e richiede lo sviluppo di nuove soluzioni di protezione distribuita su computer, reti, datacenter e persone coinvolte nel funzionamento di questi sistemi.

Dal punto di vista delle persone, gli utenti devono comprendere e rispettare i principi di sicurezza di base della infrastruttura ICT, come scegliere password complesse, diffidare degli allegati nelle e-mail e eseguire il backup dei dati. Dal punto di vista della tecnologia, tre entità principali devono essere protette: i dispositivi endpoint come computer (o sensori IoT) e router; le reti e i datacenter. La tecnologia comune

utilizzata per proteggere queste entità include i firewall, i filtri Domain Domain Name System (DNS), la protezione dal malware, i software antivirus e le soluzioni di sicurezza e-mail. Per quanto riguarda la parte di rete, nuove soluzioni basate su **Quantum Key Distribution** sono in fase di sperimentazione e forniranno un livello di protezione contro attacchi esterni alla infrastruttura senza precedenti. Significativi investimenti in ricerca saranno necessari per identificare e monitorare nuove ed emergenti minacce e strategie di attacco informatico. L'Agenzia per la cybersicurezza nazionale (ACN) rappresenta sicuramente un primo passo in questa direzione.

6.4.5 Impatto dell'IoT sulle strategie di mitigazione di altre infrastrutture

L'ICT ha inaugurato un nuovo modo di gestire la nostra società, fornendo nuove soluzioni per ottimizzare i processi produttivi delle aziende, dei servizi, e delle varie infrastrutture citate in questo capitolo, abilitando nuovi metodi per garantire maggiore sostenibilità ambientale. In particolare, la tecnologia IoT promette moltissimi campi di applicazione come i) una gestione efficiente del consumo energetico dell'illuminazione pubblica, ii) la rilevazione della qualità dell'aria e dell'inquinamento acustico, iii) la realizzazione di ambienti smart indoor e outdoor (come le smart road che interagiscono in sinergia con le auto che le attraversano, ai semafori, alla segnaletica, agli autovelox volti a migliorare il flusso del traffico e diminuire l'inquinamento). Inoltre, l'IoT è potenzialmente uno strumento per l'evoluzione della mobilità urbana, dagli autobus green, alla riqualificazione energetica dei trasporti al "Mobility-as-a-Service" (MaaS) (già introdotta nella Sezione 6.1). Sono numerosi gli altri campi dove l'IoT viene utilizzata nel segno della sostenibilità ambientale. Ad esempio, l'uso in agricoltura, dove per merito di un sistema di sensori si può monitorare l'irrigazione sulla base delle condizioni climatiche del momento, consentendo così di prevenire sprechi di acqua.

6.5 Risorse idriche

Come descritto nei Capitoli 3 e 4, i cambiamenti climatici hanno effetti alteranti sul regime idrometeorologico e, dunque, direttamente sulla disponibilità della risorsa idrica. Gli impatti maggiori sulle infrastrutture - ovvero i sistemi di approvvigionamento e le reti di distribuzione agricole, urbane e industriali - consistono prevalentemente nella riduzione di funzionalità, mentre risultano contenuti gli impatti fisici (o diretti) sulle infrastrutture. La necessità di tutelare il servizio di fornitura idrica e l'accesso alla risorsa idrica (potabile e non) in modo resiliente rispetto ai cambiamenti climatici giustifica, dunque, l'attenzione prioritaria rivolta alle strategie di adattamento, sia a livello nazionale sia internazionale (si vedano, ad esempio, i contenuti del Capitolo 5 di questo rapporto, il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, 2018) e la nuova Strategia dell'UE di Adattamento ai Cambiamenti Climatici).

Le misure di mitigazione per la riduzione delle emissioni di gas serra provenienti dalle infrastrutture idriche ad uso agricolo, urbano e industriale comprendono unicamente interventi atti a ridurre consumi energetici nei processi di trasporto e trattamento della risorsa. Il 20% delle emissioni nazionali di gas serra avviene nel settore civile, prevalentemente dal settore residenziale (60%), seguito dal settore dei servizi (30%) e dell'agricoltura (10%) (Strategia Italiana di Lungo Termine sulla Riduzione delle Emissioni dei Gas a Effetto Serra). Il Sistema Idrico Integrato contribuisce a circa il 2.5% del consumo elettrico nazionale (circa 7.5 miliardi di kWh/anno) e i costi energetici rappresentano una porzione rilevante dei costi operativi del servizio (35% in media). Inoltre, tali costi sono destinati a salire a seguito dell'aumento della domanda e dei requisiti richiesti dalle normative per il trattamento delle acque.

La mitigazione delle emissioni legate ai consumi energetici delle infrastrutture idriche ad uso agricolo, urbano e industriale deve prediligere misure di efficientamento e riduzione delle perdite (causa di spreco idrico ed energetico e, dunque, emissioni indirette) e misure per incrementare l'utilizzo di elettricità da fonti rinnovabili e il recupero di energia residuale in un'ottica di economia circolare (Figura 9). Come descritto in modo più specifico nei paragrafi di settore sottostanti, molte misure tra quelle descritte per l'adattamento ai cambiamenti climatici (Capitolo 5) hanno anche un effetto sinergico sulla mitigazione.

6.5.1 Infrastrutture idriche ad uso agricolo

Il consumo di energia per la movimentazione e il sollevamento dell'acqua è la fonte primaria di emissioni di CO₂ nelle infrastrutture idriche per l'agricoltura. Oltre alla riduzione delle perdite, che possono ammontare fino al 50% nel settore agricolo (Spano et al., 2020), gli interventi atti a ridurre il consumo energetico da fonti convenzionali costituiscono il meccanismo principale per mitigare gli effetti del cambiamento climatico. In questo contesto, l'agrivoltaico (AGV; Dupraz et al., 2011) può contribuire positivamente all'efficientamento energetico del settore, poiché permette di produrre energia senza consumo di suolo e ha un effetto positivo sulla produzione agricola (Weselek, et al., 2019).

Figura 8: Opportunità di mitigazione e riduzione delle emissioni di GHG nel settore idrico urbano (Fonte: Ballard et al., 2018).



Le stime riportate in alcuni studi sperimentali riferiscono di riduzioni del consumo energetico tra il 67% e l'80%. Diversi paesi (ad es. Francia, Giappone, Sud Corea) hanno già predisposto incentivi economici per l'installazione di AGV (Schindele et al., 2020). Anche in Italia un potenziamento dell'AGV è previsto nel PNRR e, se opportunamente inquadrato nel contesto di una corretta pianificazione agroambientale e installato secondo standard ben definiti, può parzialmente compensare il consumo energetico delle reti di trasporto idrico ad uso agricolo e, più in generale, fornire un contributo interessante al processo di decarbonizzazione e transizione energetica. Un'ulteriore opportunità di impiego del fotovoltaico è quella che prevede la copertura dei canali irrigui con pannelli solari, come mostrato in un recente studio statunitense (McKuin et al., 2021). L'applicazione in ambito nazionale è limitata ai territori in cui sono presenti grandi canali a superficie libera, per i quali l'opzione potrebbe essere studiata e valutata, benché le condizioni siano generalmente meno favorevoli di quelle riferite da McKuin et al. (2021) per il contesto californiano. Il fotovoltaico galleggiante potrebbe rappresentare una soluzione di più semplice implementazione su piccoli bacini idrici in contesti agricoli, come anche indicato nel PNRR, attualmente di limitato impatto in termini di potenza installabile a livello nazionale, ma interessante combinazione con l'espansione della capacità di invaso (misura di adattamento suggerita nel Capitolo 5).

L'installazione di impianti idroelettrici ad acqua fluente sulla rete irrigua, funzionanti con acqua destinata all'irrigazione, piuttosto che sugli scaricatori della rete irrigua, funzionanti con le acque di recupero, rappresenta una pratica ormai consolidata in molti comprensori irrigui, soprattutto nel bacino del Po. Esiste, tuttavia, ancora un notevole potenziale non utilizzato (ad es. Zema et al., 2017; Butera & Balestra, 2015), il cui sfruttamento richiede in molti casi investimenti per l'adeguamento dell'infrastruttura e la connessione alla rete elettrica.

6.5.2 Infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale

I consumi energetici per utilizzi idrici urbani costituiscono, a livello globale, circa l'1-2% degli utilizzi energetici primari (Sanders & Webber, 2012; Kenway et al., 2015) e ammontano fino al 6% dei consumi elettrici regionali (Liu et al., 2016). Un primo significativo contributo alla mitigazione delle emissioni legate ai consumi energetici delle infrastrutture idriche ad uso urbano e industriale potrebbe essere conseguito mediante misure di efficientamento degli impianti di sollevamento basata sia sull'ammodernamento degli impianti tenendo conto della loro interazione con le reti servite (Cabrera et al., 2015), sia sull'applicazione di sensoristiche, tecnologie e procedure per una loro più efficace gestione automatica (Alvisi & Franchini, 2017; Fiedler et al., 2020).

La maggior parte degli impianti al servizio delle reti di adduzione e distribuzione idrica o di drenaggio urbano sono infatti ormai molto vetusti e progettati e realizzati a fronte di condizioni al contorno, come struttura topologica delle reti e richieste idriche delle utenze nelle reti acquedottistiche o afflussi meteorici in quelle di drenaggio, che nei decenni sono radicalmente mutate portando gli impianti stessi a operare in condizioni diverse da quelle ottimali per cui erano stati concepiti, con significativa riduzione delle efficienze e rendimenti. Inoltre, in molte realtà la loro gestione è ancora principalmente basata sulla sola esperienza di tecnici specializzati che tendono ad operare cautela-tivamente a discapito di una minor efficienza e contenimento dei consumi energetici (Jamieson et al., 2007).

Parallelamente, un ulteriore contributo alla mitigazione delle emissioni legate ai consumi energetici potrebbe essere conseguito riducendo la quantità di risorsa trattata e sollevata negli impianti. Questo potrebbe essere perseguito nelle reti di adduzione e distribuzione idrica riducendo le perdite idriche (Colombo & Karney, 2002) e nelle reti di drenaggio riducendo l'afflusso in rete mediante l'adozione di tecniche che aumentano la permeabilità quali pavimentazioni drenanti. Da un lato, infatti, le perdite idriche rappresentano non solo, come evidenziato nel Capitolo 5, uno spreco di risorsa - a livello nazionale ammontano in media al 41,2% (ARERA, 2021) - ma anche un significativo spreco di energia essendo l'acqua precedentemente trattata e sollevata (Dziedzic & Karney, 2015). Dall'altro l'utilizzo di tecniche green e la transizione verso il concetto di sponge cities (Köster, 2021) fornisce non solo vantaggi in termini di adattamento, come evidenziato nel Capitolo 5, ma anche di mitigazione. L'adozione di tecniche di riuso delle acque meteoriche e reflue per scopi non idropotabili contribuisce alla riduzione della quantità di risorsa da trattare e sollevare negli impianti con conseguenti benefici in termini di riduzione delle emissioni (Liu et al., 2020).

Infine, molti sistemi di adduzione e distribuzione idrica presentano significative potenzialità in termini di recupero di energia residuale (McNabola et al., 2013) data la loro struttura topologica e altimetrica (Fecarotta & McNabola, 2017), sfruttando microturbine (Sinagra et al., 2020), pompe come turbine (Caravetta et al., 2012), o dispositivi che simultaneamente consentano di controllare le pressioni e quindi le perdite in rete (Malavasi et al., 2018). Analogamente sistemi di recupero energetico potrebbero essere

sviluppati e implementati nell'ambito dei processi di trattamento dell'acqua recuperando e sfruttando per la produzione di energia sottoprodotti quali biogas (Hernandez Leal et al. 2010) o fanghi (Park & Jang 2010).

Complessivamente, un recente report pubblicato dal progetto WaCCliM e dall' International Water Association (IWA), mostra come interventi di efficientamento energetico, efficientamento delle pratiche di potabilizzazione e distribuzione, trattamento, recupero energetico e recupero dei nutrienti dalle acque di scarico possano ridurre le emissioni di GHG dal 20% fino al 100% in alcuni degli stadi del ciclo idrico integrato (Ballard et al., 2018).

6.6 Opere di regimazione idraulica e difesa del suolo

Come anticipato nel Capitolo 5, un effetto indiretto del cambiamento climatico è il venir meno dell'ipotesi di stazionarietà del clima e, quindi, delle azioni climatiche. Le variazioni nel tempo dei valori rappresentativi delle azioni legate al cambiamento climatico influenzano sia l'idoneità al corretto esercizio delle infrastrutture esistenti nelle diverse condizioni operative, sia la progettazione delle nuove infrastrutture. Le modalità con cui dette variazioni possono essere considerate sono molteplici, anche se l'introduzione di opportuni fattori di cambiamento, sommariamente descritta nel Capitolo 5, sembra un approccio particolarmente promettente.

Nei casi in cui la progettazione risulti governata dai valori estremi, i fattori di cambiamento da impiegare sono quelli massimi ottenuti elaborando le previsioni relative a finestre temporali future, opportunamente distanziate nel tempo e di lunghezza coerente con quella comunemente considerata per l'analisi delle osservazioni.

La progettazione delle nuove reti dovrà essere effettuata considerando i valori di riferimento delle azioni così aggiornati, tenendo adeguamento conto delle esigenze di invarianza idraulica. Anche per le nuove reti si potrà prevedere l'introduzione di sensoristica avanzata a controllo remoto, integrata da dispositivi di tipo mecatronico, in modo da garantire che la progettazione porti a un dimensionamento ottimale, che tenga conto anche della possibilità di gestire i flussi dei singoli collettori, accelerando o laminando la portata dei diversi rami della rete per ottenere un deflusso il più possibile costante nel tempo. A tale scopo la rete potrà essere anche dotata di un sistema GIS dedicato, collegato alle stazioni di misura idrologiche e meteorologiche distribuite sul territorio, che consenta, mediante simulazione in tempo reale su modello, di definire, in funzione dei possibili scenari, le condizioni di funzionamento maggiormente appropriate.

6.7 Progettazione, gestione e ciclo di vita utile delle infrastrutture

Il processo di “climate proofing” definito dalle linee guida della Commissione Europea (EC,2021i) supporta la progettazione di infrastrutture, anche fisiche, che integrino ab origine la mitigazione dei cambiamenti climatici e opportune misure di adattamento.

Il processo di *climate proofing* è articolato in due pilastri (rispettivamente *Adaptation* e *Mitigation*) e fasi ben distinte da prevedere in seno alla progettazione. Gli effetti del cambiamento climatico sulle nuove infrastrutture possono essere sensibilmente mitigati con l’adeguamento delle prescrizioni normative già trattate nel Capitolo 5, in termini di strategia di adattamento. Si sottolinea che la Commissione Europea incoraggia il ricorso al processo dettagliato nelle suddette linee guida, specie per i progetti infrastrutturali che hanno completato la Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) entro il 2021 e avvieranno i lavori di costruzione non oltre il 2022. Durante il ciclo di vita dell’infrastruttura considerata, si rende opportuno integrare le operazioni di “Operation and Maintenance” (O&M) con una revisione periodica delle attività previste nel processo di *climate proofing* (e.g. 5-10 anni). Come illustrato nella Figura 10, il processo di *climate neutrality* accompagna quello di *Project Cycle Management*.

La Figura 9 dettaglia il pilastro “Mitigation to Climate Change” articolato in:

Fase 1 - Screening, finalizzata a comprendere se la categoria progettuale / infrastrutturale in esame è compatibile con quelle che, stante la checklist predisposta dalla Commissione Europea, sono meritevoli di ulteriori assessment e analisi (e.g. Carbon Footprint etc), in relazione alle emissioni GHG.

Fase 2 - Analisi dettagliata comprendente:

- a. **Carbon Footprint Assessment**, fino al calcolo in termini di quantità delle emissioni relative (scenari “with project” e “without project”)¹²⁸
- b. **GreenHouse Gas Assessment**, basato sulla quantificazione economica delle GHG in funzione “Shadow Cost of Carbon”.¹²⁹
- c. Verifica di coerenza della traiettoria GHG (definita a partire dai punti a. e b. di cui sopra) rispetto alle riduzioni previste dai target europei 2030 e 2050.

¹²⁸ Metodologia mutuata da “EIB Project Carbon Footprint Methodologies for the Assessment of Project GHG Emissions and Emission Variations”, July 2020”

¹²⁹ Metodologia mutuata da “The Economic Appraisal of Investment Projects at the EIB”

Figura 9: FONTE: European Commission (2021i)

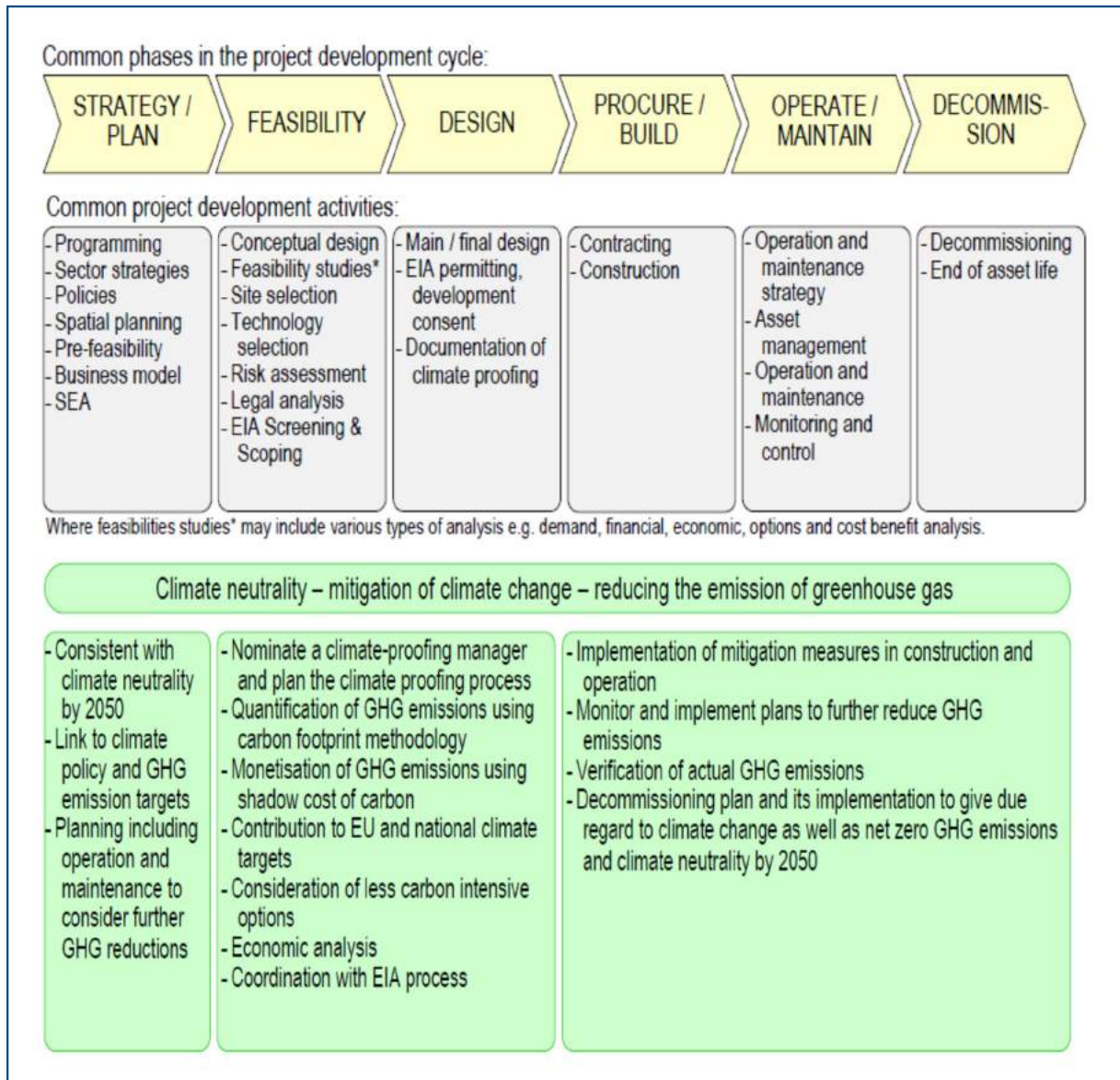
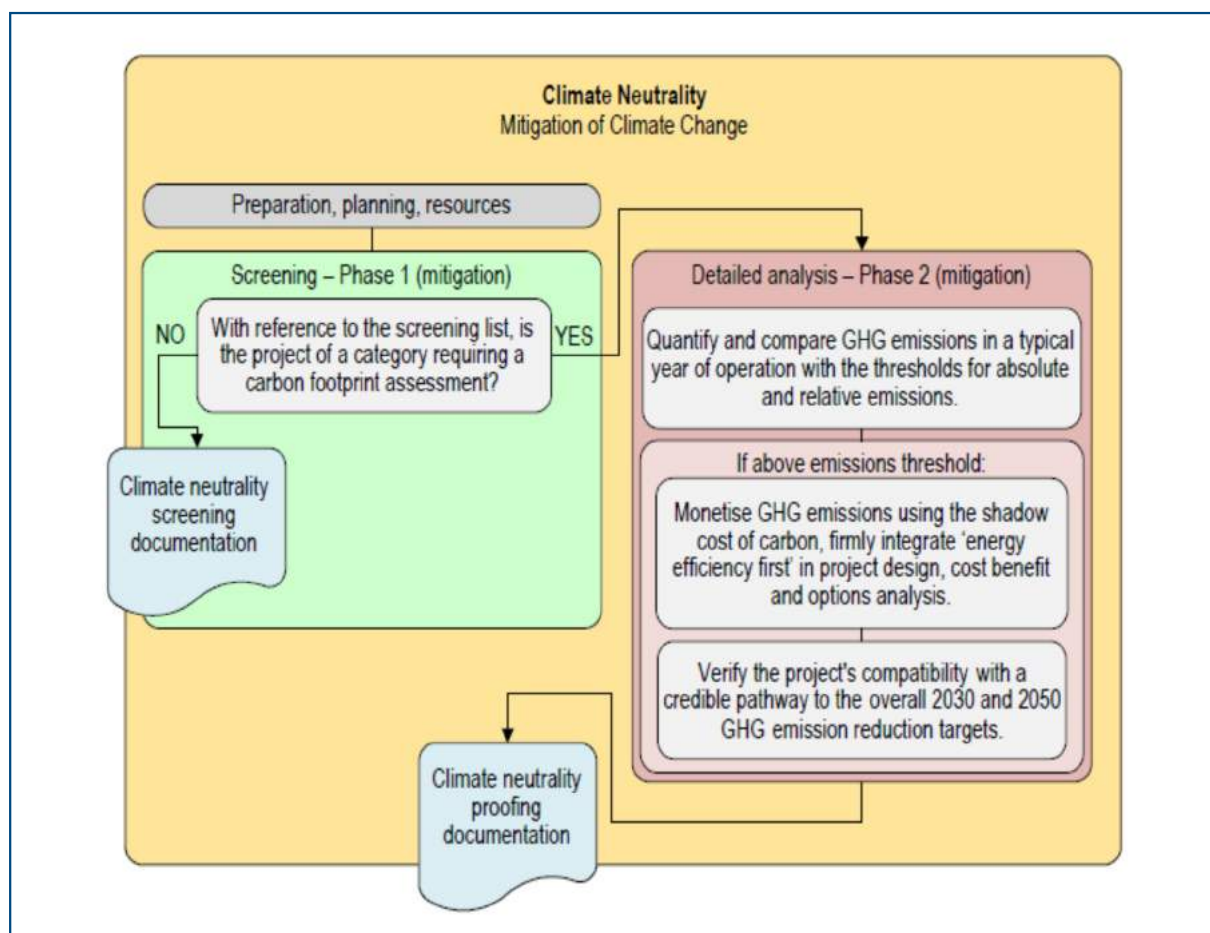


Figura 10: FONTE: European Commission (2021i)



Ciascuna fase è accompagnata dalla produzione di opportuna documentazione, necessaria ad informare autorità, investitori, interlocutori e stakeholder vari.

Oltre al ciclo di vita delle infrastrutture, un aspetto particolarmente significativo da considerare in sede di definizione di strategie di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico sia per le strutture esistenti, che per quelle di nuova progettazione, riguarda la durabilità nonché la messa a punto di metodologie appropriate per la valutazione della variazione dell'affidabilità nel tempo di tali strutture, anche al fine di programmare i necessari interventi di consolidamento e manutenzione e la conseguente allocazione ottimale delle risorse economiche disponibili.

Evidentemente, il raggiungimento di questo obiettivo richiede non solo la valutazione degli effetti del cambiamento climatico in termini di frequenza e di intensità degli eventi estremi, ma anche lo studio dell'interazione tra i livelli di emissione e le variazioni attese dei parametri climatici, quali temperatura e umidità, che maggiormente influenzano i fenomeni di degrado delle infrastrutture. Ad esempio, studi recenti hanno evidenziato come la durabilità delle strutture in cemento armato sia influenzata in maniera significativa dall'aumento dei livelli di concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera e dalle conseguenti variazioni di temperatura e umidità relativa (Sousa et al., 2020).

Una possibile metodologia di analisi del livello di affidabilità nel tempo di strutture progettate secondo gli Eurocodici, tenendo conto sia della variazione attesa degli hazard climatici, che del degrado dei materiali è discussa in Croce et al. (2019).

Nel settore navale, il D.lgs 169/2016 prevede che le Autorità di Sistema Portuale (AdS) promuovano la redazione del Documento di Pianificazione Energetica e Ambientale del Sistema Portuale (DEASP). Questo documento traccia la rotta per la decarbonizzazione. Oltre a dar conto degli impegni e obiettivi delle AdS negli ambiti sopra richiamati il DEASP calcola anche la carbon footprint delle Autorità e dei singoli porti che ne fanno parte.

6.7.1 Tunnel stradali e ferroviari

Le gallerie stradali e ferroviarie costituiscono una componente essenziale delle reti infrastrutturali, specialmente in contesti geografici accidentati e in territori fortemente antropizzati. Le istanze poste dalle condizioni operative del traffico stradale e ferroviario, però, e specialmente le esigenze di protezione rispetto ad alcuni rischi caratteristici, fanno sì che alla costruzione e all'esercizio di tali opere risulti associato un forte impatto sugli equilibri ambientali. Le gallerie rappresentano infatti la componente più energivora dell'infrastruttura di trasporto stradale (López et al, 2017; Moretti et al., 2016), e anche nel sistema ferroviario il loro "peso" nel bilancio energetico è verosimilmente inferiore soltanto a quello della trazione elettrica. Ciò è dovuto alla numerosità e complessità dei sistemi tecnici e dei presidi necessari per l'esercizio e per la sicurezza della circolazione.

Occorre richiamare il fatto che l'ambiente sotterraneo è caratterizzato da condizioni molto particolari e potenzialmente pericolose, per le quali risultano necessari adeguati supporti per l'azione di guida dei veicoli e per la gestione del traffico, finalizzati a garantire il benessere, la salute e la capacità di reazione dei conducenti e dei passeggeri (illuminazione e ventilazione), la regolazione della circolazione (segnaletica luminosa e sistemi di controllo remoto), l'assistenza al traffico e l'intervento in caso di incidenti (sensori di monitoraggio e impianti di richiesta soccorso). Ma, soprattutto, le gallerie - a causa dell'ambiente confinato e della difficoltà di accesso ed egresso dalle aree esterne - presentano elevate caratteristiche di vulnerabilità rispetto ad alcuni rischi a carattere disastroso, con particolare riferimento all'incendio (Hack, 1998; Vuilleumier et al., 2002), ma anche ad altre possibili evenienze come la dispersione di sostanze pericolose o la concentrazione di fumi e gas nocivi.

Tutto ciò significa, come detto, che per poter mantenere condizioni di corretto esercizio e di sicurezza, nelle gallerie stradali e ferroviarie è necessaria l'installazione e il continuo funzionamento di un gran numero di sistemi, dispositivi, impianti, sensori e dotazioni, che hanno la finalità di ridurre la probabilità di occorrenza degli eventi avversi e/o di contenerne gli effetti dannosi. Tale impostazione, d'altro canto, è ormai recepita e disciplinata nel vigente impianto normativo e regolamentare, condiviso a livello europeo (EU Directive 2004/54/EC) (EU Regulation 1303/2014) e cogente in ambito nazionale (MIT,2006) (MIT,2005).

Tuttavia, per il funzionamento dei sistemi tecnologici e degli impianti sopra indicati, è necessario garantire ingenti e costanti forniture di energia, in un ordine di grandezza comparabile con quello di significativi siti industriali o di complessi insediamenti edilizi (una galleria autostradale di lunghezza maggiore di 1-2 km richiede una potenza installata di alcuni MW, come un opificio o un ospedale di media dimensione). Pressoché nella totalità dei casi, l'alimentazione degli impianti installati presso le gallerie stradali e ferroviarie è assicurata dalla rete elettrica, e perciò proviene in misura prevalente da fonti energetiche fossili.

L'Italia, per di più, ha una particolare esposizione e sensibilità rispetto al tema delle gallerie. Si tratta infatti del Paese europeo che - da solo - detiene oltre il 50% di tutte le infrastrutture ricadenti nella Trans-Euro-

pean Road Network (TERN)¹³⁰. Anche i tunnel ferroviari e quelli presenti nelle reti stradali ordinarie assommano a un numero elevatissimo. Inoltre, nuove opere, caratterizzate da lunghezze uniche al mondo, sono ormai in fase avanzata di progetto o di realizzazione.

In prospettiva, si deve perciò prevedere un ulteriore incremento degli oneri ambientali e dei contributi negativi rispetto agli obiettivi di sostenibilità, sia a causa della progressiva entrata in servizio di nuove infrastrutture, sia in ragione dell'obsolescenza e della caduta di efficienza dei sistemi tecnici e tecnologici già in esercizio.

Per contrastare questa tendenza, nei prossimi anni occorrerà:

- 1) Mobilitare un notevole sforzo, finalizzato alla ricerca e allo sviluppo di soluzioni innovative e pratiche progettuali e costruttive maggiormente sostenibili.
- 2) Ricercare strumenti e azioni in grado di concorrere al raggiungimento degli obiettivi ambientali fissati dal Regolamento (UE) 2020/852, con particolare riferimento all'obiettivo "a - mitigazione dei cambiamenti climatici" (EU Regulation 2020/852).
- 3) Incrementare l'uso di risorse rinnovabili e di sistemi tecnologici capaci di concorrere al miglioramento dell'efficienza energetica. Ciò dovrà essere conciliato e coordinato con il progresso e l'evoluzione dei dispositivi e delle dotazioni di sicurezza e con l'affinamento delle tecniche di intervento, soccorso e gestione dell'emergenza in caso di eventi critici.
- 4) Incentivare e sostenere l'esplorazione e la sperimentazione di soluzioni più evolute per l'alimentazione degli impianti tecnici di esercizio e sicurezza, finalizzate alla decarbonizzazione e perciò basate sull'uso di risorse rinnovabili e fonti alternative, ma che siano in grado di fornire costantemente le potenze elettriche richieste, con le dovute garanzie di ridondanza e affidabilità (poiché, data la natura e le finalità delle dotazioni tecnologiche nelle gallerie, non sono ammissibili rischi di "fuori servizio").

¹³⁰ Relazione concernente lo stato di attuazione degli interventi relativi all'adeguamento delle gallerie stradali della rete transeuropea (anno 2020); ai sensi dell'articolo 15, comma 4, del decreto legislativo 5 ottobre 2006, n. 264. Camera dei Deputati. doc. XCIII, n. 1.

6.8 Benefici sociali ed economici

6.8.1 Impatti macroeconomici

Le implicazioni economiche della transizione climatica sono oggetto di studio ed analisi di diverse istituzioni. Come vedremo, le stime variano significativamente, evidenziando come gli impatti complessivi, a livello di sistema economico, di una trasformazione del sistema energetico e dell'uso del suolo possono essere sia positivi che negativi.

È tuttavia certo che ad una maggiore ambizione nella riduzione delle emissioni corrisponde un maggiore bisogno di investimenti: per esempio, la Commissione Europea stima che per raggiungere gli obiettivi stabiliti dal Green Deal gli investimenti energetici debbano attestarsi sul 2.5-3% del PIL, rispetto agli attuali 1.75%, con un investimento addizionale di 0.75-1.25% del PIL. L'International Energy Agency (IEA) e la Banca Centrale Europea indicano invece valori dell'investimento addizionale leggermente superiori, circa il 2% del PIL. Tuttavia nessuno di questi valori è specifico per l'Italia ed inoltre non utilizza come benchmark (il *business as usual*) lo scenario RCP 4.5, ad oggi il più realistico, in assenza di misure di mitigazione più ambiziose come quelle discusse alla COP 26 di Glasgow.

In un recente rapporto (Carraro, 2021), prodotto per la DG ECFIN, che utilizza gli scenari economici dell'IPCC su cui si basa il VIth Assessment Report, il confronto tra lo scenario RCP 2.6 e lo scenario RCP 4.5 indica valori degli investimenti necessari alla transizione ecologica di circa lo 0,8% del PIL, inferiori a quelli individuati ad esempio dalla IEA e molto simili a quelli della Commissione Europea. Assumendo un valore del PIL italiano medio nel decennio di circa 2000 miliardi di euro, si tratterebbe di investimenti pari a circa 16 miliardi all'anno.

Per quanto riguarda invece i costi macroeconomici della transizione ecologica, le stime variano significativamente: come si evidenzia nella Tabella 7, gli impatti macroeconomici del "Fit for 55" variano da -0,39 a +0,5% del PIL europeo. La ragione di tale discrepanza è duplice ed è da trovarsi, da un lato, nel tipo di policy mix e soprattutto nel modo in cui vengono usate le revenues del mercato dei permessi; dall'altro, nel tipo di modello economico sottostante, e in particolare nella rappresentazione delle inefficienze economiche e della moneta e della sua disponibilità a basso costo. In generale, comunque, il supporto a investimenti infrastrutturali verdi è previsto avere conseguenze positive sulla crescita economica.

L'entità dell'impatto economico della transizione dipende soprattutto dalle ipotesi sul valore dei moltiplicatori di spesa. Le stime dei moltiplicatori fiscali variano a seconda che provengano da studi empirici o modellistici, come riportato nella Tabella 7.

Tabella 7: Implicazioni macro-economiche di raggiungere una riduzione delle emissioni del 55% al 2030. Fonte: EC, 'Policy scenarios for delivering the European Green Deal'.

<u>Policy setup</u>	Lump sum transfers Imperfect labour market Free allocation ETS Scope extension ETS No carbon pricing non-ETS	Tax recycling Imperfect labour market Free allocation ETS Scope extension ETS No carbon pricing non-ETS	Tax recycling Imperfect labour market Free allocation ETS Scope extension ETS Carbon pricing non-ETS
JRC-GEM-E3	-0,39	-0,27	-0,27
<u>Policy setup</u>	Lump sum transfers Free allocation ETS No carbon pricing non-ETS	Tax recycling Free allocation ETS Carbon pricing non-ETS	Tax recycling Auctioning ETS Carbon pricing non-ETS
E3ME	0,19	0,42	0,50
<u>Policy setup</u>	Lump sum transfers	Lower taxation low-skilled labour	Support green investments
E-QUEST	-0,29	0,00	0,13

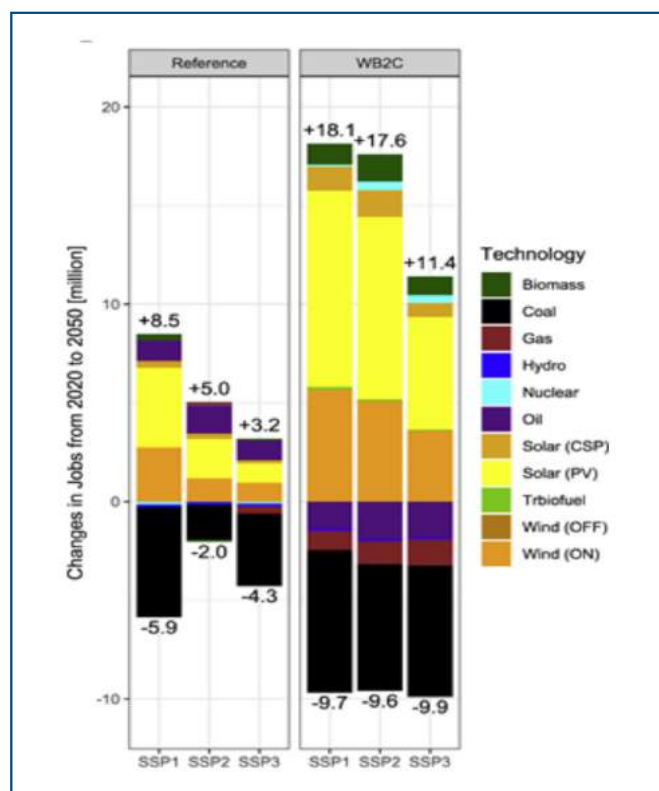
In generale, i moltiplicatori aumentano nel tempo e hanno valori superiori a 0,5, e in alcuni casi superiori a 1 (Tabella 8). Le differenze dipendono anche dalla tipologia degli investimenti: ad esempio, gli investimenti in fonti rinnovabili e verdi hanno moltiplicatori più alti di quelle fossili. I settori residenziali, terziario e dell'industria hanno moltiplicatori diversi fra di loro.

Tabella 8: Stime dei moltiplicatori di spesa sul PIL

Fonte	Breve periodo	Lungo periodo
FMI, stime empiriche aggregate	0,4	1,4
FMI, stime empiriche per le fonti rinnovabili	1,2	1,1
FMI, stime empiriche per le fonti fossili	0,6	0,5
Banca d'Italia, modello DGSE	0,7	1,5
BCE, modello DGSE	1,6	1,8
PNIEC	0,5 [0,3-1,1]	

In termini di posti di lavoro creati, i moltiplicatori sono stimati essere più alti per investimenti verdi. Proprio per la loro maggiore intensità di lavoro, gli investimenti verdi hanno moltiplicatori fiscali alti. Inoltre, gli investimenti verdi dipendono di più da attività economiche all'interno dell'economia domestica, come il retrofit delle case per efficienza energetica, e meno dalle importazioni. Il numero globale di posti di lavoro nel settore energetico è previsto aumentare in uno scenario di decarbonizzazione, da 21 a 25 milioni di posti di lavoro a metà secolo (Figura 11). Stime per l'Italia per il "Fit for 55" prevedono un aumento del 2,5%-3% all'anno, concentrato nei settori edilizio, dei trasporti e dell'energia rinnovabile, dove i moltiplicatori di forza lavoro sono previsti essere maggiori.

Figura 11: Variazione dei posti di lavoro mondiali per tecnologia energetica in uno scenario di riferimento e uno compatibile con l'accordo di Parigi (Pai et al. 2021).



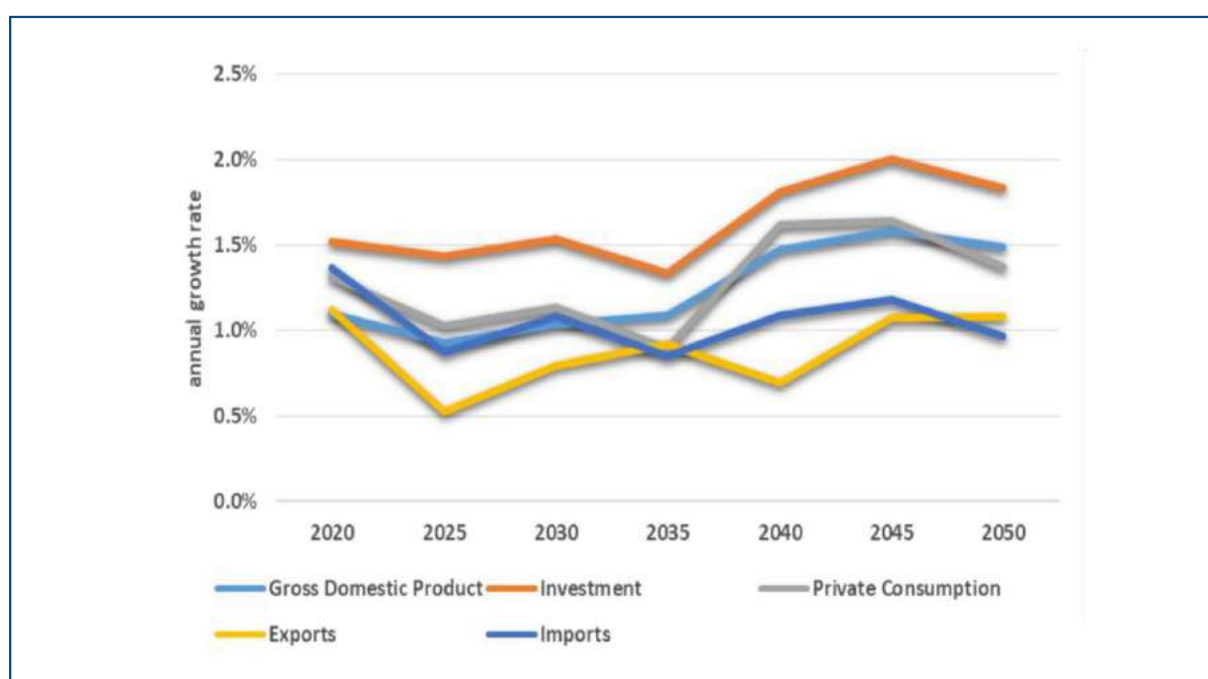
Ciò che emerge dunque è che gli impatti macroeconomici delle politiche di decarbonizzazione non avranno effetti particolarmente negativi per l'economia, e se ben diretti potrebbero anche portare a crescita economica. Applicando i moltiplicatori del PNIEC all'obiettivo di ridurre le emissioni del 55% al 2030, Està (2021) stima una crescita del PIL al 2030 dello 0,5%. **Molto dipenderà però dal contesto internazionale, e da due fattori cruciali per l'economia del clima: il costo del finanziamento e il progresso tecnologico.**

Un'analisi dell'impatto economico delle politiche climatiche per l'Italia (Figura 13) evidenzia come nel prossimo decennio l'economia crescerebbe grazie agli investimenti necessari per raggiungere gli obiettivi del 2030, aumentando sia le importazioni che le esportazioni, che poi diminuiscono con la maturazione della transizione. A quel punto l'economia italiana è significativamente meno dipendente dalle importazioni di energia, che (insieme all'energia domestica più economica proveniente dallo stock di capitale delle rinnovabili e dai bassi costi di gestione del trasporto elettrico) aiuta a rimborsare i prestiti sull'investimento, lasciando l'economia italiana nel lungo periodo almeno allo stesso livello di crescita di uno scenario di riferimento.

Cruciali per questi risultati sono le ipotesi di **accesso a finanziamenti a basso costo**: gli scenari che producono questi numeri assumono di avere accesso a risorse finanziarie al 2% di tasso di interesse per finanziare esternamente dal 50 al 70% degli investimenti. L'accesso a finanziamenti a basso costo consente di intraprendere le spese necessarie nello scenario di decarbonizzazione senza stressare il mercato dei capitali e senza annullare altri investimenti. Con tassi più alti, i costi del debito supererebbero i vantaggi degli investimenti e la riduzione delle importazioni.

Altro elemento fondamentale è il **progresso tecnologico**. L'analisi evidenzia l'importanza che l'Italia aumenti la percentuale di produzione interna dei beni e servizi necessari per decarbonizzare il proprio sistema energetico. La produzione interna è essenziale non solo per alleviare la potenziale pressione in conto corrente e per aumentare l'occupazione ma può fungere da leva per aumentare il PIL attraverso le esportazioni. Affinché questo avvenga, importanti investimenti in R&D sono necessari per rendere le imprese italiane competitive sui nuovi mercati e per assicurare che l'Italia possa assorbire la conoscenza sviluppata altrove (Figura 12, Paroussos et al., 2020).

Figura 12: Crescita annuale dell'economia italiana in uno scenario di decarbonizzazione verso la neutralità climatica.
Fonte: Paroussos et al. (2020)



Nonostante le stime mostrino che i costi macroeconomici della transizione siano limitati, ci sono possibili rischi che vanno tenuti in considerazione, soprattutto per i settori per cui la decarbonizzazione potrebbe essere più complicata e costosa. I rischi della transizione si riferiscono a rischi finanziari ed economici causati dalle politiche di decarbonizzazione. Per esempio, industrie che attualmente utilizzano risorse non rinnovabili in maniera intensiva potrebbero perdere profitti drasticamente o incorrere in costi di produzione molto elevati. Si stima che in Italia circa il 35% delle imprese sia potenzialmente soggetta a rischi legati alla transizione (ECB, 2021). Questi rischi si applicano anche al settore bancario, il cui portafoglio finanziario può essere più o meno inquinante. Secondo la Banca Centrale Europea, un terzo del 10% delle banche con portafoglio più inquinante sono localizzate in Italia. Questi rischi vanno ovviamente considerati e possono essere evitati con politiche climatiche rapide e immediate. I rischi infatti aumentano soprattutto in caso di ritardo nella riduzione delle emissioni.

6.8.2 Benefici. Il danno evitato

Il primo e più immediato beneficio della transizione climatica è relativo ai danni da cambiamento climatico evitati, inizialmente a seguito di un aumento della temperatura reso compatibile con le capacità dei sistemi naturali e socio-economici di adattarsi, e poi a seguito della sua stabilizzazione al di sotto di una soglia che minimizzi la probabilità del verificarsi di eventi catastrofici e potenzialmente irreversibili.

Riprendendo le valutazioni relative agli impatti macroeconomici che il nostro Paese potrebbe subire a causa del cambiamento climatico emerge ad esempio che a fronte di perdite a metà secolo oscillanti tra lo 0,2% e, nel caso più pessimistico, il 2% del PIL in uno scenario RCP2.6, scenario in cui l'aumento di temperatura dovrebbe rimanere sotto i 2°C, nell'RCP 4.5 le perdite salirebbero a circa il 2,5% del PIL. **Il sentiero che porta alla transizione ecologica farebbe quindi guadagnare all'Italia, utilizzando una valutazione conservativa, dallo 0,5% al 2,3% del PIL già entro il 2050**, in termini di danni evitati (considerando sia gli impatti indiretti che quelli diretti). Considerando che i costi del cambiamento climatico tendono a crescere nel tempo, questi benefici non possono che aumentare nella seconda metà del secolo.

Un altro beneficio, però di più difficile quantificazione, è quello di evitare, o ridurre a livello accettabile, il rischio di incorrere in eventi catastrofici e irreversibili. In questo caso la mitigazione agirebbe da elemento preventivo di perdite economiche e sociali elevatissime.

È da sottolineare come questi benefici sono purtroppo conseguibili solo in uno scenario di cooperazione internazionale in cui tutti i Paesi fattivamente perseguano gli impegni inizialmente presi nell'ambito dell'Accordo di Parigi e ne aumentino progressivamente l'ambizione fino a raggiungere la sperata stabilizzazione dell'aumento della temperatura al di sotto (o molto al di sotto) dei 2°C.

Va però anche considerato che lo sforzo per la transizione ecologica può portare a benefici aggiuntivi rispetto alla sola riduzione del danno da cambiamento climatico. Benefici in termini occupazionali, sanitari, sociali.

6.8.3 Co-benefici, crescita e occupazione

Come anticipato anche a inizio sezione e nel Capitolo 5, gli investimenti per la transizione ecologica, sia quelli in conoscenza e tecnologia che quelli per il potenziamento e adeguamento infrastrutturale, dal settore energetico a quello della mobilità sostenibile, hanno una componente espansiva. Nel caso specifico dell'Italia, ad esempio, gli effetti espansivi degli interventi contenuti nella Missione 2 del PNRR: "rivoluzio-

ne verde e transizione ecologica” sono stimati in un complessivo 0,7% in media annua nel periodo 2024-2026, rispetto allo scenario di riferimento (senza cioè intervento) e quelli sull’occupazione nello 0,8%.

Gli investimenti in ambito di Missione 3: “infrastrutture per una mobilità sostenibile” elemento altrettanto fondamentale per la transizione climatica potrebbero indurre un effetto di espansione complessivo del PIL pari all’1,2% se calcolati sull’intero periodo 2021-2026, e dello 0,3% in media annua nel periodo 2024-2026, rispetto allo scenario di riferimento. Nello stesso periodo, su base annua, l’incremento occupazionale rispetto allo scenario di riferimento è stimato allo 0,2%.

Queste stime sono comunque soggette ad incertezza. Per esempio, pur trovando ugualmente che la transizione energetica non avrebbe impatti netti importanti sull’occupazione italiana, Està (2021) stima che le ricadute occupazionali della transizione energetica, al netto dei posti di lavoro persi in seguito al phase-out di progetti legati all’energia fossile, porterebbe alla perdita di circa 5.000 unità di lavoro medie annue.

6.8.4 Co-benefici legati alla salute

Oltre ai benefici sopra citati, la transizione energetica comporterebbe anche altri benefici indiretti. Prima di tutto, tecniche di produzione industriale ed energetica basate su un ridotto uso di combustibili fossili porterebbero ad un miglioramento della qualità dell’aria che, nonostante i progressi fatti negli ultimi decenni, rimane un problema allarmante in molte zone d’Italia, e soprattutto nelle zone urbane e nella pianura padana. Ad oggi, infatti, i livelli medi annui di esposizione al particolato atmosferico e alle polveri sottili (PM10 e PM2.5) in Italia sono al di sopra delle linee guida stabilite dall’Organizzazione Mondiale per la Sanità (Figura 13).

Un miglioramento della qualità dell’aria porterebbe a diversi benefici alla salute, quali una riduzione della mortalità dovuta dall’inquinamento atmosferico, che in Italia nel 2019 ha corrisposto a 49.900 morti legate a PM2.5, 3.170 causate dall’ozono e 10.640 dal biossido di azoto, secondo stime dell’agenzia europea per l’ambiente (EEA, 2021), ma anche una riduzione delle malattie causate dall’inquinamento, come la bronchite cronica, i casi d’asma sia tra gli adulti che tra i bambini, diversi tipi di tumori tra cui in particolar modo quelli ai polmoni e varie malattie cardio-circolatorie (WHO, 2018). Meno discussi e più difficili da quantificare sono gli ulteriori benefici alla salute derivanti da un aumento della qualità dell’aria, tali quelli legati all’aumento della fertilità e al peso dei bambini alla nascita.

Figura 13: Esposizione media annua (population-weighted) a particolato atmosferico e polveri sottili. Fonte: WHO (2018), “Climate and health country profile: Italy”

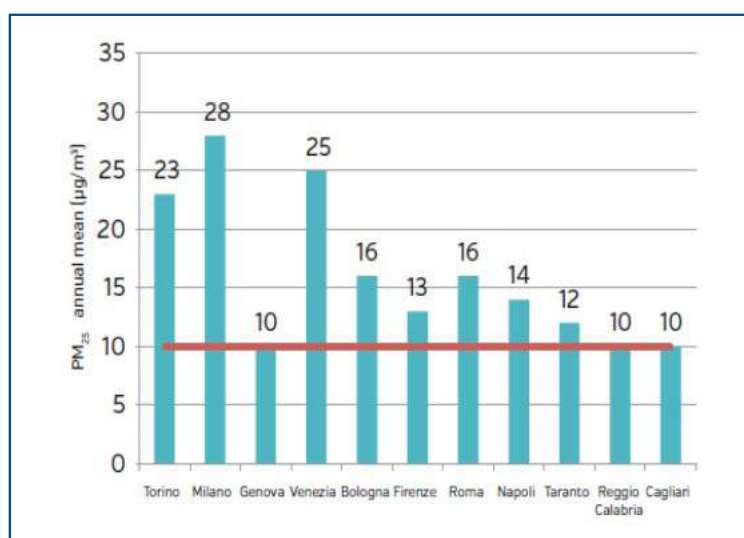


Oltre ad un miglioramento della qualità della vita grazie alla riduzione delle malattie, un miglioramento della qualità dell'aria avrebbe anche conseguenti benefici economici derivanti da un calo nelle spese sanitarie legate a queste malattie e a una migliore produttività lavorativa, sempre grazie all'aumento dello stato di salute dei lavoratori (OECD, 2016; WHO 2018).

I co-benefici derivanti dal miglioramento della qualità dell'aria sarebbero equivalenti, senza considerare i benefici diretti legati ai minori danni da cambiamento climatico, ai costi delle politiche di mitigazione (Vandyck et al., 2018). In Italia, le politiche volte a migliorare la qualità dell'aria potrebbero portare a quasi un dimezzamento delle morti da particolato nei prossimi 10 anni, riducendo così le morti premature legate a questo tipo di inquinante dalle circa 60.000 attuali alle 35.000 previste (Piersanti et al. 2021). Questo avrebbe significativi benefici sociali ed economici, stimati al 2030 a circa 30 miliardi di Euro, o quasi il 2% del PIL (Piersanti et al. 2021). I benefici economici sarebbero concentrati prevalentemente nel bacino del Po, ma anche altre regioni come Campania, Lazio e Toscana avrebbero benefici pari o superiori all'1% del PIL (Piersanti et al. 2021).

Come citato in precedenza, i maggiori benefici legati alla salute si verificherebbero nelle zone urbane, nelle quali si concentra la maggior parte della popolazione italiana. In particolare, la salute della popolazione urbana in Italia beneficerebbe enormemente da misure di riduzione delle emissioni mirate ai settori del trasporto su strada, del riscaldamento domestico, e della produzione industriale (Figura 14).

Figura 14: Livelli di esposizione media annua a polveri sottili nelle maggiori città italiane, messi in relazione alle linee guida stabilite dall'Organizzazione Mondiale per la Sanità. Fonte: WHO (2018), "Climate and health country profile: Italy".¹³¹



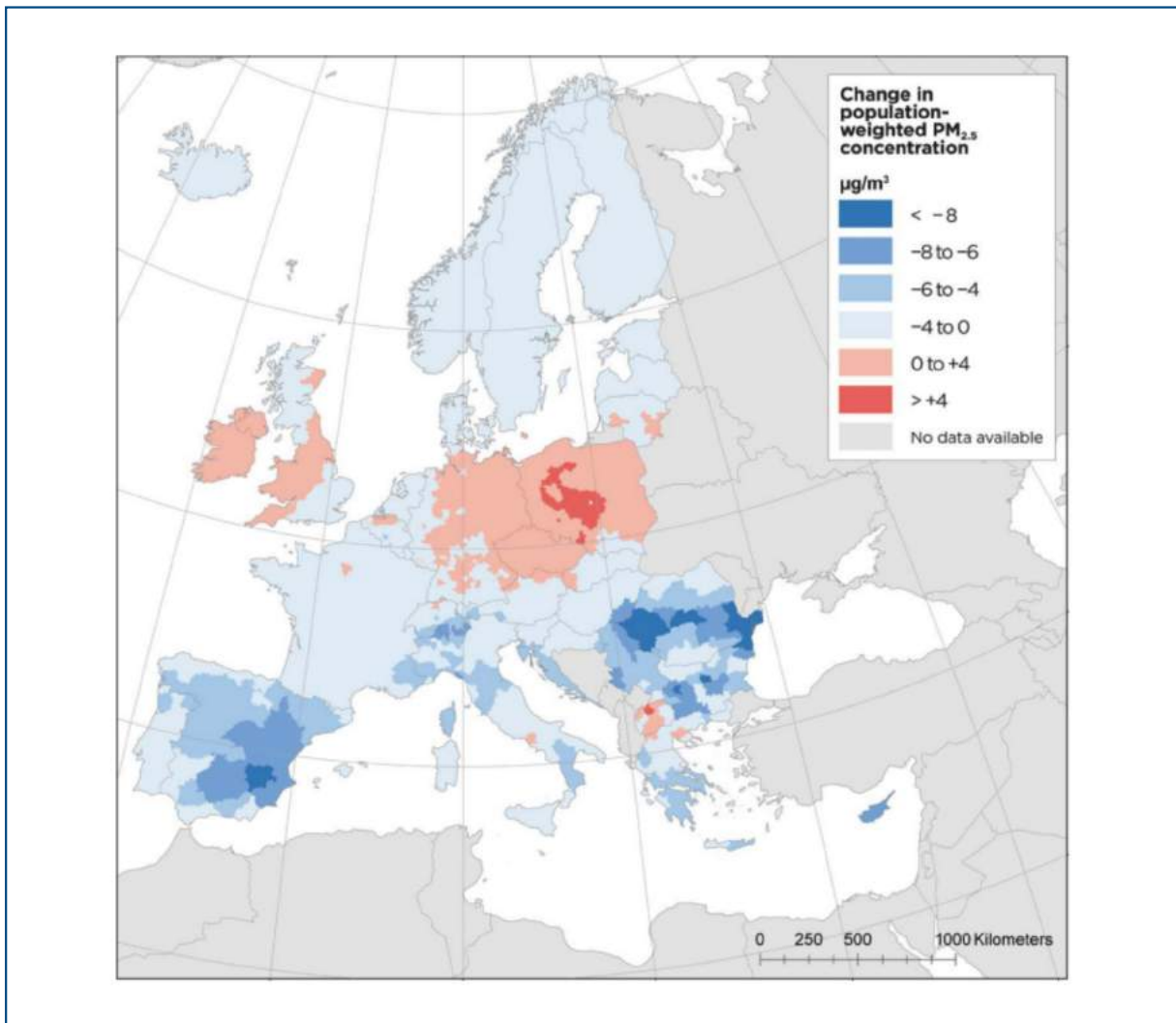
6.8.5 Altri co-benefici della transizione energetica

Altri benefici derivanti da un aumento della qualità dell'aria riguarderebbero la biodiversità e gli ecosistemi. Inoltre, nelle città, la riduzione dell'inquinamento avrebbe impatti positivi su edifici e monumenti, inclusi quelli storici. Un calo dei costi di manutenzione conservativa degli edifici potrebbe portare a benefici economici consistenti, soprattutto in un paese ricco di beni culturali e edifici storici come l'Italia.

¹³¹ Le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità sono state di recente riviste e indicano livelli di PM_{2.5} ancora più bassi (concentrazioni medie annuali di 5 µg).

Un miglioramento della qualità dell'aria porterebbe contribuire infine a ridurre la disuguaglianza economica e sociale, poiché in molti casi i benefici sarebbero maggiori per le persone che risiedono o lavorano in zone maggiormente esposte all'inquinamento dell'aria (WHO, 2018), che - salvo eccezioni - generalmente appartengono alle fasce socioeconomiche più svantaggiate (WHO, 2019). Inoltre, un recente studio ha dimostrato che, in Italia, l'inquinamento atmosferico tende ad essere maggiore nelle province caratterizzate da una maggiore concentrazione di bambini e di nuclei familiari guidati da donne (Germani, Morone & Testa, 2014). Questo dato è interessante considerando che studi empirici dimostrano che l'esposizione all'inquinamento atmosferico può causare impatti negativi sulle capacità cognitive, contribuendo a risultati scolastici inferiori che possono svantaggiare il percorso scolastico e quindi la carriera degli studenti (Ebenstein et al., 2016; Zhang et al., 2018). Infine, un miglioramento della qualità dell'aria potrebbe contribuire anche a diminuire il divario di benessere tra le regioni italiane. Infatti, a livello europeo, le regioni più svantaggiate dal punto di vista economico (in termini di PIL pro capite) sono generalmente caratterizzate da livelli di esposizione umana alle polveri sottili più alti delle altre regioni (fino al 30% in più nelle regioni più svantaggiate) (Figura 15).

Figura 15: Differenza nei livelli di esposizione umana (population-weighted) a polveri sottili nelle diverse regioni (NUTS3) dei Paesi UE (WHO, 2019).



6.8.6 Una valutazione economica complessiva

Abbiamo visto come la **transizione ecologica (il passaggio da uno scenario RCP 4.5 ad uno scenario RCP 2.6) farebbe guadagnare all'Italia, utilizzando una valutazione conservativa, dallo 0,5% all'2,3% del PIL già entro il 2050**, in termini di danni evitati (considerando sia gli impatti indiretti che quelli diretti). A questi benefici diretti di una strategia di mitigazione vanno aggiunti i benefici indiretti, rilevanti soprattutto nel breve termine. I soli benefici in termini di minori impatti sulla salute (da condividere tuttavia con le misure di adattamento) potrebbero arrivare al 2% del PIL.

A questi benefici, vanno aggiunti quelli macroeconomici, in termini di maggiore crescita e occupazione indotti dagli investimenti per la transizione ecologica. Su questo le stime non sono convergenti. La maggior parte stima un **lieve beneficio od un lieve costo**. Nel PNRR è previsto ad esempio un effetto positivo sul PIL, così come in studi recenti della Commissione Europea e del Fondo Monetario Internazionale. Tuttavia questa conclusione dipende da alcuni fattori importanti, la cui efficacia è decisiva:

- Il **disegno delle politiche** (l'uso dei proventi dalla vendita dei permessi nell'ETS, gli investimenti pubblici che accompagnano la transizione, le politiche, soprattutto di formazione, a sostegno dell'occupazione nei settori più colpiti, ecc.).
- La rapidità con cui il **progresso tecnologico** mette a disposizione nuove soluzioni a basso costo.
- La possibilità di accedere a **finanziamenti a tassi contenuti**.
- L'implementazione di politiche di mitigazione in **tutti i maggiori paesi del pianeta** sia, come detto sopra, per evitare effettivamente i danni da cambiamento climatico, sia per evitare penalizzazioni competitive dei paesi più avanzati nel campo della lotta ai cambiamenti climatici, sia per offrire soluzioni di mitigazione low cost ai paesi più sviluppati.

Se, a determinate condizioni, i costi macroeconomici della transizione ad un'economia a zero emissioni nel 2050 possono essere trascurabili, non altrettanto lo sono gli investimenti necessari per poter realizzare la transizione. Gli investimenti addizionali annui per ridurre le emissioni a -55% nel 2030 (rispetto al 1990) e a zero nette nel 2050, sono dell'ordine dello 0.8% del PIL secondo la Commissione Europea (valori maggiori sono stimati ad esempio dalla IEA). Assumendo un valore del PIL italiano medio nel decennio di circa 2000 miliardi di euro, si tratterebbe di investimenti pari a circa 16 miliardi all'anno (da aggiungere a quelli per l'adattamento). Investimenti sia pubblici, sia privati (sulla base di quanto avvenuto negli ultimi 5 anni in Europa, da dividere circa in parti uguali) da stimolare con adeguate politiche di incentivazione (si veda il Capitolo 7).

Conclusioni

In questo capitolo sono stati discussi gli interventi relativi a infrastrutture e trasporti necessari a raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione fissati nello European Green Deal Climate Actions ed in particolare nel pacchetto "Fit for 55". Gli interventi sono stati discussi in funzione della prossimità temporale (2030 - breve/medio termine e 2050 - medio/lungo termine) in cui verosimilmente possono essere realizzati e possono produrre effetti.

Nel medio/breve periodo (**Fase I**), rientrano tutti gli interventi che consentono di raggiungere entro il 2030 il target globale UE di riduzione delle emissioni del 55% rispetto ai livelli del 1990 come sistema Paese (e del 43.7%, rispetto al 2005, per quanto riguarda i trasporti). Nel medio/lungo termine (**Fase II**), rientrano invece gli interventi che consentono una riduzione, entro il 2050, delle emissioni nel settore dei trasporti e mobilità di almeno il 90% rispetto al 1990, e quant'altro in più necessario per raggiungere complessivamente come Paese l'obiettivo di zero emissioni nette al 2050.

Poiché il trasporto stradale è responsabile per il 93% delle emissioni di gas-serra del settore dei trasporti domestici (a cui vanno aggiunte emissioni relative ad aviazione e trasporto marittimi internazionale, più di quattro volte superiori a quelle domestiche), gli interventi di mitigazione relativi ai sistemi di trasporto di persone e merci sono sicuramente prioritari. Il raggiungimento di questo scenario richiede interventi significativi sui due settori chiave individuati in questo capitolo:

1. il potenziamento di tutti i sistemi di trasporto alternativi all'autovettura privata, in modo da poter soddisfare un forte incremento di domanda derivante dalla significativa riduzione del parco circolante e possibilmente anche da un uso minore dell'autovettura privata anche da parte di coloro che possederanno una vettura elettrica.
2. l'aumento dell'efficienza energetica e la decarbonizzazione dei vettori energetici, incluso il loro sistema di produzione, distribuzione e stoccaggio, in modo da sostenere la progressiva riduzione delle emissioni di tutti i servizi (passeggeri e merci) e le modalità di trasporto.

In ambito urbano si gioca una partita importante, in quanto oltre i tre quarti della popolazione vive in contesti urbanizzati ad alta densità di infrastrutture viarie. Per la mobilità dei passeggeri in città, si ritengono essenziali tutte le azioni rivolte al potenziamento del trasporto collettivo in quanto, rispetto a quello automobilistico privato, consente di ridurre considerevolmente gli impatti (per passeggero chilometro), sia in termini di minori emissioni di gas serra sia in termini di costi generalizzati (esborsi economici diretti ed indiretti - congestione del traffico, sicurezza -, occupazione suolo, consumo energetico, inquinamento ambientale - chimico, sonoro, vibrazionale). Per allinearsi con la sostenibilità economica e l'importanza del miglioramento della produttività, che richiede una minimizzazione dei costi, questi interventi vanno anche concepiti in modo da consentire di sfruttare il potenziale offerto dalle tecnologie digitali.

Nel medio/breve periodo, interventi assolutamente prioritari che possono e devono essere realizzati in ambito urbano immediatamente (in modo da sostenere lo shift modale entro il 2030) sono: i) il potenziamento del trasporto collettivo su gomma; ii) la realizzazione di corsie preferenziali per il transito dei veicoli adibiti al trasporto collettivo iii) la realizzazione di reti "internamente connesse" di piste ciclabili, iv) il potenziamento ed il miglioramento di tutti i nodi di interscambio modale, v) l'integrazione funzionale tra modalità di trasporto (inclusa micromobilità e ciclabilità), vi) la riduzione del costo generalizzato per l'utente di accesso/egresso/trasbordo tra sistemi trasporto collettivo.

A questi interventi si aggiunge ovviamente il potenziamento delle reti metropolitane e tranviarie urbane in accordo con gli investimenti previsti entro il 2030 nel PNRR, anche se questo rischia di avere tempi di realizzazione più lunghi degli interventi indicati nel precedente paragrafo.

Gli interventi in ambito urbano (come *last mile*) sono di supporto anche per gli spostamenti extraurbani, che spesso hanno origine e/o destinazione in ambiti urbani. A livello extraurbano, gli interventi prioritari sono rappresentati dal miglioramento, razionalizzazione e potenziamento mirato della rete ferroviaria, soprattutto per sostituire nelle tratte medio/brevi il trasporto aereo e per garantire l'accessibilità a porti e aeroporti. Questi interventi sono fondamentali sia per i passeggeri che per le merci.

Contemporaneamente (quindi iniziando immediatamente), occorre intervenire per incentivare la transizione del parco veicoli verso tecnologie a basse emissioni, inquadrando questo in un contesto di sviluppo che sia capace anche di ridurre il parco circolante in termini assoluti grazie alle misure illustrate in precedenza. La sostituzione dei veicoli tecnologicamente obsoleti (e soprattutto l'ali-quota tuttora presente di veicoli Euro 0-4, quindi con livelli alti di emissioni di inquinanti locali) può e deve avvenire in modo tale da favorire la crescita di domanda di veicoli a basse emissioni dirette (sia in termini di CO₂ che di inquinanti locali) che utilizzano anche vettori energetici decarbonizzati (o più facili da decarbonizzare rapidamente ed a basso costo). I migliori candidati sono veicoli il cui "Total Cost of Ownership" è già oggi alla pari o inferiore a veicoli a combustione interna, e per i quali si prevede una rapida discesa ulteriore dei costi al progredire della produzione di massa. Come già sottolineato, è fondamentale intervenire in modo complementare e non concorrenziale agli interventi di shift modale descritti nel precedente paragrafo. Il primo target dovrebbe essere la riconversione dei veicoli commerciali leggeri (che operano in ambito urbano), i taxi ed i veicoli per le categorie di utenza a mobilità ridotta, oltre ovviamente i mezzi adibiti al trasporto collettivo. Nel caso delle auto, l'obiettivo è quello di raggiungere almeno a 6-8 milioni di autoveicoli che dovrebbero essere prevalentemente BEV e in percentuale minore PHEV (extended range) al 2030. A questa quota di mercato va anche aggiunta la transizione verso l'elettrico dei motocicli e l'introduzione di veicoli destinati a servire la micromobilità. Questo non vale solo per gli spostamenti passeggeri ma anche per la distribuzione urbana delle merci. Il Capitolo 7 descrive gli incentivi da mettere in campo per raggiungere questi obiettivi.

Questa trasformazione deve essere supportata dallo sviluppo in tecnologie per i veicoli e per la rete di distribuzione e stoccaggio. Entro il 2030 è necessario sviluppare una rete diffusa di punti di ricarica elettrica, con accesso sia privato che pubblico, articolati soprattutto in bassa/media potenza in ambito urbano ed alta potenza lungo le maggiori arterie stradali.

Nel settore aereo e navale, nel breve-medio periodo occorre lavorare parallelamente su più fronti inerenti: i) lo sviluppo tecnologico necessario ad ottimizzare le opportunità derivanti da una migliore gestione del traffico e da un migliore utilizzo della capacità disponibile; ii) un parallelo sviluppo tecnologico finalizzato ad incrementare la l'efficienza energetica veicolare, nel rispetto dei vincoli ambientali; iii) il supporto allo sviluppo, la produzione, la commercializzazione e l'utilizzo di vettori energetici decarbonizzati (sul ciclo di vita). A questo va aggiunto l'adeguamento funzionale delle rispettive infrastrutture aeroportuali e portuali.

Più in particolare, nell'aviazione lo sviluppo della commercializzazione di SAF avrà un ruolo di fondamentale importanza. Nel settore navale l'utilizzo del GNL può servire ad abbattere emissioni di inquinanti locali, ma richiede investimenti pesanti per nuove infrastrutture e - a ragione - non è affatto riconosciuto su scala globale come una soluzione efficace per la decarbonizzazione. Occorre quindi fare leva su combustibili capaci di ridurre le emissioni sul ciclo di vita (come alcune forme sostenibili di biocombustibili) e nel contempo avviare le sperimentazioni sull'uso di altri combustibili sostenibili e decarbonizzati. I candidati principali sono combustibili sintetici come ammoniaca ed e-fuels. In parallelo, occorre anche intervenire immediatamente sullo sviluppo di infrastrutture che consentano ad aerei e navi in stazionamento di essere alimentati con elettricità e sull'efficientamento energetico delle operazioni di terra e degli edifici.

Gli interventi nel medio/lungo periodo sono in larga parte legati ai risultati che emergeranno dalle sperimentazioni e dimostrazioni avviate nel medio/breve periodo e pertanto soggetti a qualche incertezza. Nel settore dei trasporti terrestri è prioritaria la finalizzazione di una transizione verso l'elettrico. L'integrazione di uso di idrogeno ed altri vettori energetici decarbonizzati possono rivelarsi anche importanti laddove l'elettrificazione diretta o l'uso di batterie non fosse possibile, competitiva o appropriata. Questo è più probabilmente il caso del trasporto aereo e marittimo su lunghe distanze. Altre situazioni che continuano a richiedere sforzi di ricerca riguardano casi in cui ci possono emergere difficoltà con la necessità di ottimizzazione del sistema energetico, specie rispetto ad esigenze di stoccaggio energetico stagionale.

La diffusione di veicoli autonomi e connessi nel medio/lungo periodo rappresenta un'altra area di particolare rilievo per ricerche, sperimentazioni e sviluppo di attività commerciali o industriali che l'Italia dovrà mettere in campo nel prossimo decennio. Attualmente si contano 91 start-up nel mondo, di cui 23 in Europa, focalizzate prevalentemente (47%) sullo sviluppo di sistemi di guida autonoma per autoveicoli indipendenti dal veicolo sul quale vengono installati con investimenti in tali iniziative relativi per la maggior parte (78%) a Venture Capital, seguiti da acceleratori ed incubatori d'impresa (9%). Inoltre il 76% delle startup si trova ad uno late stage (almeno un prodotto/servizio venduto sul mercato e concrete entrate di cassa), mentre la rimanente quota si può ricondurre ad iniziative caratterizzate da un *early stage*.

Dal punto di vista della decarbonizzazione, è importante sottolineare che l'automazione non dà garanzie, specie se pensata come sostituzione del veicolo personale ed in assenza di una transizione energetica e di politiche coordinate di gestione della domanda, per esempio in un contesto di sviluppo di servizi di mobilità condivisa offerta da mezzi ad alta efficienza energetica e sulla base di vettori energetici decarbonizzati. Preparare l'infrastruttura stradale per un uso massivo di veicoli autonomi e connessi richiede inoltre l'individuazione di arterie stradali che permettano ai veicoli di connettersi tra loro e con l'infrastruttura oltre ad una infrastruttura di comunicazione che supporti i messaggi V2V e V2I su larga scala.

I sistemi informatici di comunicazione svolgono un ruolo fondamentale in questo processo di trasformazione verso una mobilità sostenibile, connessa e smart. Data l'importanza dei sistemi informatici di comunicazione e di calcolo anche per il miglioramento della produttività e date le loro caratteristiche di resilienza anche nel contesto della decarbonizzazione, questo filone va sostenuto anche un punto di vista della transizione industriale, in modo tale da attirare investimenti, al fine di farne un'opportunità di sviluppo economico e di crescita occupazionale.

La transizione della mobilità verso l'elettrificazione e le tecnologie digitali è anche destinata ad essere accompagnata da transizioni analoghe nel caso degli edifici e dell'industria. Questo si verificherà in un contesto in cui crescerà la produzione di elettricità ed altri vettori energetici (compreso l'idrogeno ed i combustibili sintetici) da fonti rinnovabili (per via dei costi inferiori) e tecnologie a basse emissioni (per via della pressione delle politiche climatiche). L'incremento di domanda elettrica associato all'uso di usi finali elettrificati e tecnologie digitali, così come la variabilità della produzione elettrica da fonti rinnovabili, sarà accompagnato dalla necessità di rafforzare la rete di trasmissione e distribuzione nazionale dell'energia elettrica. Questo necessita della realizzazione di un adeguato piano infrastrutturale integrato che contempli anche lo sviluppo di un efficace sistema per la gestione della domanda, importante per minimizzare la necessità di capacità di stoccaggio di elettricità, fermo restando che importanti investimenti saranno necessari anche per questo. I sistemi di gestione della domanda dovranno essere in grado di valutare, in tempo reale, l'opportunità di anticipare e/o ritardare l'uso finale di elettricità, e possono anche integrare l'opzione di re-immettere elettricità nella rete (V2G nel caso della mobilità elettrica, data la presenza di capacità di stoccaggio nelle batterie dei veicoli). Dati questi presupposti, è fondamentale che la rete di ricarica per il settore dei trasporti sia adeguatamente considerata nei piani di sviluppo del sistema elettrico, anche perché la diffusione di veicoli elettrici, oltre ad incrementare gli usi finali elettrificati in un settore tradizionalmente non elettrificato, può anche rappresentare una risorsa per la rete elettrica.

La transizione verso un sistema di mobilità più sostenibile (in particolare cambio modale ed elettrificazione, supportati entrambi da tecnologie digitali) ha una rilevanza molto significativa anche per la trasformazione della domanda di prodotti e servizi, con conseguenze dirette su catene di valore e di approvvigionamento ad essi associate. Al fine di garantire anche una sostenibilità economica, sarà importante che questi cambiamenti strutturali vengano accompagnati da strumenti ed azioni congiunte di attori pubblici e privati, anticipando il cambiamento e consentendo al sistema industriale di trarne vantaggio, anziché subirne passivamente le conseguenze senza cogliere questo processo come un'opportunità per intraprendere ed innovare.

Per consentire che questo succeda, i governi devono rafforzare la loro capacità di dialogare con l'industria e di valutare gli impatti più ampi del contemporaneo (ed inevitabile, in un contesto di decarbonizzazione) spostamento verso elettrificazione, energie rinnovabili, digitalizzazione e automazione. Migliorare la loro capacità di previsione sarà indispensabile per poter avere una migliore comprensione delle conseguenze socio-economiche delle transizioni e quindi anticipare anche l'impatto sui posti di lavoro e sulle competenze richieste dal sistema educativo. Lo sviluppo di politiche e programmi per la formazione e il miglioramento delle competenze sarà anche fondamentale per garantire che i lavoratori interessati siano adeguatamente supportati durante la transizione, consentendo di condividere i benefici del passaggio alla mobilità sostenibile tra tutti i cittadini, anche in termini economici e non solo in termini ambientali.

Il prossimo capitolo propone una serie di misure (che restano focalizzate principalmente sul tema della mobilità) volte a facilitare uno sviluppo che sia capace di cogliere tutte queste opportunità, allineando la necessità di rispondere agli imperativi di riduzione delle emissioni a quella di cercare di fare in modo che questi siano anche di beneficio per l'Italia, mettendo l'accento su misure capaci di incentivare la trasformazione della mobilità.

Bibliografia

- ACI (2021), Annuario statistico 2021, <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/annuario-statistico/annuario-statistico-2021.htm>.
- Aichberger C. e Jungmeier G. (2020). Environmental life cycle impacts of automotive batteries based on a literature review, *Energies*, vol. 13, no. 23, pp. 1-27.
- Ainalis D.T., Thorne C., e Cebon D. (2020). White Paper -Decarbonising the UK's Long-Haul RoadFreight at Minimum Economic Cost, Technical Report CUED/C-SRF/TR17, <https://www.csrf.ac.uk/wp-content/uploads/2020/11/SRF-WP-UKEMS-v2.pdf>
- Alstom (2021). APS: Un système pour tramways sans caténares qui a fait ses preuves, <https://www.alstom.com/fr/nos-solutions/infrastructure/aps-un-systeme-pour-tramways-sans-catenaires-qui-fait-ses-preuves>.
- Alstom, Alstom presents its battery-powered multiple unit train in Saxony, <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/9/alstom-presents-its-battery-powered-multiple-unit-train-saxony>
- Alvisi S. e Franchini M. (2017). A robust approach based on time variable trigger levels for pump control. *Journal of Hydroinformatics*, 19(6), 811-822. doi: 10.2166/hydro.2017.141
- ARERA (2021) https://www.arera.it/allegati/com_stampa/21/210709ra.pdf
- ASSTRA and CDP (2019). Investire nel TPL Scenari e fabbisogni.
- ASSTRA (2020) Le performance delle imprese di trasporto pubblico locale. Dal miglioramento dei risultati gestionali alle sfide del futuro.
- Baliga J., Ayre R.W.A, Hinton K. e Tucker R.S. (2011). Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 149-167.
- Ballard, S., Porro, J. e Trommsdorff, C. (2018). The roadmap to a Low-Carbon Urban Water Utility. IWA Publishing. DOI: 10.2166/9781780409924
- Baranzelli, C. et al. (2019). The future of cities - Opportunities, challenges and the way forward, Joint Research Centre (European Commission), <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a55c1af0-8e52-11e9-9369-01a75ed71a1/language-en>
- Bauer, C., Treyer, K., Antonini, C., Bergerson, J., Gazzani, M., Gencer, E., et al. (2021). On the climate impacts of blue hydrogen production. *ChemRxiv*. Cambridge: Cambridge Open Engage; This content is a preprint and has not been peer-reviewed.
- BFM TV (2018). Le nouveau tram sans caténaire de Nice se recharge en station en 20 secondes, https://www.bfmtv.com/economie/entreprises/transports/le-nouveau-tram-sans-catenaire-de-nice-se-recharge-en-station-en-20-secondes_AN-201806300073.html
- Biogas world (2018). Biogas and biomethane market in Italy: current state and perspectives, <https://www.biogasworld.com/news/development-biomethane-italy-present-situation-prospects/>
- Blue House (2021). Remarks by President Moon Jae-in at K-Battery Development Strategy, Presentation, <http://english1.president.go.kr/briefingspeeches/speeches/1030>
- Bombardier (2019). Realize your vision withBombardier TALENT 3 BEMU - The Battery Electric Multiple Unit Train, https://www.apta.com/wp-content/uploads/Realize-your-vision-with-Bombardier-TALENT-3-BEMU_Yves_Lappierre.pdf
- Butera, I. e Balestra R., (2015). Estimation of the hydropower potential of irrigation networks, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 48, 2015, Pages 140-151.
- Cabrera, E., Gómez, E., Cabrera, E. Jr., Soriano, J., e Espert, V. (2015). Energy Assessment of Pressurized Water Systems. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 141(8), 04014095, 2015. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000494.
- Carraro, C. (2021). Macroeconomic costs and financial needs of the EU post-Covid transition to carbon neutrality, in Carraro, C. et al., *Charting the European Economy post-Covid-19*, Report of the ECFIN High-Level Group, Brussels.
- Carravetta, A., Del Giudice, G., Fecarotta, O., e Ramos, H. M. (2012). Energy production in water distribution networks: A PAT design strategy. *Water resources management*, 26(13), 3947-3959.

C-ITS: Three observations on LTE-V2X and ETSI ITS-G5—A comparison, <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/CITSCOMPWP.pdf>.

Colombo, A.F., e Karney, B.W. (2002). Energy and costs of leaky pipes: toward comprehensive picture. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 128(6), 441-450, 2002. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496

COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI (2020) Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il futuro.

Correia, G., Milakis, D., Van Arem, B., e Hoogendoorn, R. (2016). Vehicle automation and transport system performance. *Handbook on transport and urban planning in the developed world*, 498-516.

Croce, P., Formichi, P., e Landi, F. (2019). Climate Change: Impacts on Climatic Actions and Structural Reliability. *Applied Science*, 2019, 9, 5416, doi:10.3390/app9245416.

David, N., Gao, H.O., Kumah, K.K., Hoedjes, J.C.B. H, Su Z., e Liu, Y. (2019). Microwave communication networks as a sustainable tool of rainfall monitoring for agriculture needs in Africa", 16th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, September 4-7, 2019.

Di Giglio, A., Paulo, P., Cortinhas, J., Gomes, A., Martins, H., Malafaya, H., Corujo, D., Panicucci, S., Cultrona, P., Iovanna P., Bottari, G., Contreras Murillo, L.M., Solano Rodriguez, A., Alonso, J. (2020). H2020 5G-Growth project deliverable "D1.2: Techno-economic analysis and business model validation methodology", August. 2020 (available at: https://5growth.eu/wp-content/uploads/2020/08/D1.2-Techno-economic_analysis_and_business_model_validation_methodology.pdf)

Dupraz C, Marroua, H., Talbota, G., Dufoura, L., Nogierb, A., and Ferardb, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaics schemes. *Renewables Energy*, 36, 2725.

Dziedzic, R., e Karney, B.W. (2015). Energy Metrics for Water Distribution System Assessment: Case Study of the Toronto Network. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 141(11), 2015. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000555

Ebenstein, A., Lavy, V., e Roth, S. (2016). The long-run economic consequences of high-stakes examinations: Evidence from transitory variation in pollution, *American Economic Journal: Applied Economics*, Vol. 8/4, pp. 36-65, <http://dx.doi.org/10.1257/app.20150213>.

EC, European Commission "Policy scenarios for delivering the European Green Deal" https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en

ECB, European Central Bank (2021). ECB economy-wide climate stress test, <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecb.op281~05a7735b1c.en.pdf>

EcoTransit World (2020). "Environmental Methodology and Data Update 2020".

EEA (2020). Agenzia Europea per l'Ambiente <https://www.eea.europa.eu/it/pressroom/newsreleases/multi-cittadini-europei-sono-ancora/morti-premature-attribuibili-all'inquinamento-atmosferico>

EEA (2021). Health impacts of air pollution in Europe, 2021, web report <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/health-impacts-of-air-pollution>

Està (2021). Il Green Deal conviene. Benefici per economia e lavoro in Italia al 2030, <https://assesta.it/progetti/valutazione-macroeconomica-dei-benefici-del-green-new-deal-per-litalia/>

EC, European Commission (2017). Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures

EC, European Commission (2018). In-depth analysis in support of the Commission communication, COM(2018) 773 A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf

EC, European Commission (2019). European Parliament and the Council of the European Union, "Directive (EU) 2019/1161 of the European Council and of the European Parliament of 20 June 2019, amending Directive 2009/33/EC on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles," *Off. J. Eur. Union* L 111(July):13-53, 2019

EC, European Commission (2019a). COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The European Green Deal COM/2019/640 final

EC, European Commission (2020). Proposal for a Regulation of the European Parliament and the of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020, COM/2020/798 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798>

EC, European Commission (2020a). Valutazione del piano nazionale per l'energia e il clima definitivo dell'Italia, SWD(2020) 911 final/2, <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11893-2020-REV-1/it/pdf>

EC, European Commission (2020b). Proposal for a Regulation of the European Parliament and the of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020, COM/2020/798 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798>

EC, European Commission (2020c). COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM(2020) 301 final," 2020

EC, European Commission (2021). Proposal for a Regulation of the European Parliament and the of the Council amending Regulation (EU) 2018/842 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/proposal-amendment-effort-sharing-regulation-with-annexes_en.pdf

European Commission (2021a). Critical raw materials, https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

European Commission (2021b). Proposal for a Council Directive restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity(recast), COM/2011/0169 final - CNS 2011/0092, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52011PC0169>

European Commission (2021c). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport. COM (2021) 561 final, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueeu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf

European Commission (2021d). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council, Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council and Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652, COM/2021/557 final, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/amendment-renewable-energy-directive-2030-climate-target-with-annexes_en.pdf

European Commission (2021e). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council, COM(2021) 559 final, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision_of_the_directive_on_deployment_of_the_alternative_fuels_infrastructure_with_annex_0.pdf

European Commission (2021f). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC, COM(2021) 562 final, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/fueeu_maritime_-_green_european_maritime_space.pdf

European Commission (2021g). Questions and Answers - Emissions Trading – Putting a Price on carbon, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3542

European Commission (2021h). Proposal for a Council Directive restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity(recast), COM/2011/0169 final - CNS 2011/0092, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52011PC0169>

European Commission (2021i). Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027. C (2021) 5430.

EC, European Commission (2021l). Proposal for a Regulations of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO2 emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition, COM/2021/556 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021PC0556>

EC, European Commission, (2021m). COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. "Fit for 55": delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality, COM(2021) 550 f.

European Maritime Transport Environmental Report, 2021

EMSA/EEA (2021). European Maritime Transport Environmental Report 2021, (European Maritime Safety Agency)/ European Environment Agency, https://www.eea.europa.eu/publications/maritime-transport/at_download/file

ENTSO-E (2021). Manually Activated Reserves Initiative, https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/mari/

EU, European Union (2018). DIRECTIVES DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) (Text with EEA relevance).

EU, European Union (2004). Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 concerning Minimum Safety Requirements for tunnels in the Trans-European Road Network

Fagnant, D.J., e Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 77, 167-181.

Fecarotta O. e McNabola A. (2017). Optimal Location of Pump as Turbines (PATs) in Water Distribution Networks to Recover Energy and Reduce Leakage. *Water Resources Management*, 31(15), 5043-5059, 2017. doi: 10.1007/s11269-017-1795-2.

Fiedler, F., Cominola, A., e Lucia, S. (2020). Economic nonlinear predictive control of water distribution networks based on surrogate modeling and automatic clustering. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 16636-16643.

Gawron J., Keoleian, G.A., De Kleine, R.D., Wallington, T.J., e Kim, H.C. (2018) Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects. *Environmental Science & Technology*. Vol. 52, pp. 3249-3256.

Germani, A.R., Morone, P., e Testa, G. (2014). Environmental justice and air pollution: A case study on Italian provinces. *Ecological Economics*, 106: 69-82, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.010>.

Haack, A. (1998). Fire protection in traffic tunnels: general aspects and results of the EUREKA project. *Tunnelling and underground space technology*, 13(4), 377-381.

Hargreaves, J.J., e Jones, R.A. (2020). Long Term Energy Storage in Highly Renewable Systems. *Front. Energy Res.* 8:219. doi: 10.3389/fenrg.2020.00219

Hensher, D., e Reyes, A. (2000). Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport. *Transportation* 27 (4), 341-361.

Hernandez Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., e Buisman, C.J.N. (2010). Bioflocculation of Grey Water for Improved Energy Recovery within Decentralized Sanitation Concepts. *Bioresour. Technol.*, 101 (23), 9065– 9070.

Howarth, R.W., e Jacobson, M.Z. (2021). How green is blue hydrogen? *Energy Science Engineering*, 9(10), <https://doi.org/10.1002/ese3.956>

Huseien G., Ghasan F., e Kwok W. (2021). Potential Applications of 5G Network Technology for Climate Change Control: A Scoping Review of Singapore. *Sustainability* 13(17): 9720.

ICEF (2020), Biomass Carbon Removal and Storage (BiCRS) roadmap, <https://www.icef.go.jp/pdf/2020/roadmap/roadmap.pdf>

IEA (2005)., Prospects for Hydrogen and Fuel Cells, <https://doi.org/10.1787/9789264109582-en>

IEA (2017). The Future of Trucks, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

IEA (2018). Global EV outlook 2018, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2018>

IEA (2019). The future of rail, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>

IEA (2019a). The Future of Hydrogen, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

IEA (2019b). Global EV outlook 2019, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>

IEA (2021). Global EV Data Explorer, <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>

III (2020). Background on: Pay-as-you drive auto insurance (telematics), Insurance Information Institute, www.iii.org/article/background-on-pay-as-you-drive-auto-insurance-telematics

IMF (2020). Global Smartphone Sales May Have Peaked: What Next?, www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2020/English/wp20070-print-pdf.ashx

- IMO, Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020, IMO, 2021.
- ISPRA (2021). Italian Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2019. National Inventory Report.
- ISTAT (2019). Report_Ambiente Urbano dell'ISTAT https://www.istat.it/it/files//2021/06/REPORT_AMBIENTE-URBANO_2019.pdf
- IT&IA (2021). Logistics and infrastructure 2020, Italian Trade & Investment Agency, <https://www.ice.it/en/sites/default/files/2021-02/ita-logistics-and-infrastructure-2020.pdf>
- ITF (2018). Decarbonising Maritime Transport Pathways to zero-carbon shipping by 2035, ITF, <http://www.itf-oecd.org>
- ITF (2020). Navigating Towards Cleaner Maritime Shipping: Lessons From the Nordic Region, International Transport Forum Policy Papers, No. 80, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ab3d3fbc-en>.
- ITF (2020a). Regulations and Standards for Clean Trucks and Buses: On the Right Track?, International Transport Forum Policy Papers, No. 77, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ed7ef18b-en>
- ITF (2020b). How Urban Delivery Vehicles can Boost Electric Mobility, <https://www.itf-oecd.org/how-urban-delivery-vehicles-can-boost-electric-mobility>
- ITF (2021). Decarbonising Air Transport: Acting Now for the Future, International Transport Forum Policy Papers, No. 94, OECD Publishing, Paris, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-air-transport-future.pdf>
- ITF (2021a). Ready for Take Off? Integrating Drones into the Transport System, ITF Research Reports, OECD Publishing, Paris, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/take-off-integrating-drones-transport-system.pdf>
- ITF (2021b). Cleaner Vehicles: Achieving a Resilient Technology Transition, International Transport Forum Policy Papers, No. 90, OECD Publishing, Paris, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cleaner-vehicles-technology-transition.pdf>
- ITF (2021c). Transport outlook, https://www.oecd-ilibrary.org/transport/itf-transport-outlook-2021_16826a30-en
- LTS, (2021). Long Term Strategy presentata dal Governo italiano alla Commissione Europea, Gennaio 2021, https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts_it_it.pdf
- Jamieson, D.G., Shamir, U., Martinez, F. e Franchini, M. (2007). Conceptual design of a real-time, near-optimal control system for water-distribution networks. *Journal of Hydroinformatics*, 9(1), 3-14, .
- Jens J., Wang A., van der Leun K., Peters D., e Buseman M. (2021) Extending the European Hydrogen Backbone: A EUROPEAN HYDROGEN INFRASTRUCTURE VISION COVERING 21 COUNTRIES. https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/European-Hydrogen-Backbone_April-2021_V3.pdf
- Kelly et al. (2019). Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries, <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2>
- Kenway S.J., Binks A., Lane J., Lant P.A., Lam K.L., and Simms A. (2015). A systemic framework and analysis of urban water energy. *Environ. Model. Softw.* 73, C (November 2015), 272–285. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.08.009>
- Köster, S. (2021). How the Sponge City becomes a supplementary water supply infrastructure. *Water-Energy Nexus* 4, 35-40.
- Krygsman, S. Dijst, M e Arentze, T. (2004) Multimodal public transport: An analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio. *Transport Policy* 11(3), 265-275.
- Lanzara G., D'Ovidio G., Haitao L., Zigang D., e Weihua Z., (2021). Magnetic Levitation System Assessment from Transport Engineering Point of View: Background and Future Prospects. *Ingegneria. Ferroviaria*,7-8, 1885-1905.
- Legambiente, 2021. "Rapporto Pendolaria 2021"
- Liu J., Wang J., Ding X., Shao W., Mei C., Li Z. e Wang K. A (2020). Assessing the mitigation of greenhouse gas emissions from a green infrastructure-based urban drainage system. *Applied Energy*, 278, 115686, doi:10.1016/j.apenergy.2020.115686.
- Liu, Y., et al. (2016). Global and regional evaluation of energy for water. *Environmental Science and Technology* 50(17): 9736–9745.

- López, J. C., Grindlay, A. L., e Peña-García, A. (2017). A proposal for evaluation of energy consumption and sustainability of road tunnels: The sustainability vector. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 65, 53-61.
- Malavasi, S., Rossi, M. M. A., e Ferrarese, G. (2018). GreenValve: hydrodynamics and applications of the control valve for energy harvesting. *Urban Water Journal*, 15(3), 200-209.
- MATM (2019). Ministero delle Inf, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, and Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti., “Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima,” p. 294, 2019.
- McKinnon, A., (2018). Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World <https://www.koganpage.com/product/decarbonising-logistics-9780749483807>
- McKuin, B., Zumkehr, A., Ta, J. et al. (2021) Energy and water co-benefits from covering canals with solar panels. *Nat Sustain* 4, 609-617 <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00693-8>
- McNabola, A., Coughlan, P., e Williams, A.P. (2013). Energy recovery in the water industry: an assessment of the potential of micro-hydropower. *Water and Environment Journal*, 27(3), 435-436, 2013. doi: 10.1111/wej.12046
- Mena-Oreja, J., Gozalvez, J., e Sepulcre, M. (2018). Effect of the Configuration of Platooning Maneuvers on the Traffic Flow under Mixed Traffic Scenarios. In 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC) (pp. 1-4). IEEE.
- METI (2018). Strategic energy plan, https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic_plan/5th/pdf/strategic_energy_plan.pdf
- METI (2020), Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050, https://www.meti.go.jp/english/press/2020/1225_001.html
- MIT (2005). Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto 28 ottobre 2005 “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”.
- MIT (2006). Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto Legislativo 5 ottobre 2006, n. 264 “Attuazione della direttiva 2004/54/CEE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea”.
- MIT (2018). Piano Nazionale Strategico della Mobilità Sostenibile (PNSMS) https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/normativa/2019-06/DPCM_PSNMS.pdf
- MITE (2021). Strategia Italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra https://www.mite.gov.it/sites/default/files/lts_gennaio_2021.pdf
- MITE (2021a). La situazione energetica nazionale nel 2020. https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2020.pdf
- Moore, S.J., Nugent C.D., Zhang S. et al. (2020). IoT reliability: a review leading to 5 key research direction. in *Trans. Pervasive Comp. Interact* 2, 147-163.
- Moretti, L., Cantisani, G., e Di Mascio, P. (2016). Management of road tunnels: Construction, maintenance and lighting costs. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 51, 84-89.
- Muratori, M., et al. (2021). The rise of electric vehicles—2020 status and future expectations. *Progress in Energy* 3.2, 022002
- OECD (2016). The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264257474-en>
- OECD (2019a). The fiscal implications of the low-carbon transition, issue paper, Green Growth and Sustainable Development (GGSD) Forum, www.oecd.org/greengrowth/GGSD_Forum%20Paper_Fiscal%20Implications.pdf
- OECD (2019b). Taxing vehicles, fuels, and road use: Opportunities for improving transport tax practice, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/e7f1d771-en>
- Pai, Sandeep, Emmerling, J., Drouet, L., Zerriffi, H., e Jewell, J. (2021). Meeting Well-below 2°C Target Would Increase Energy Sector Jobs Globally. *One Earth* 4 (7): 1026–36. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.005>.
- Park, S.W. e Jang, C.H. (2010). Characteristics of Carbonized Sludge for Co-Combustion in Pulverized Coal Power Plants. *Waste Manag.*, 31 (3), 523-529.
- Paroussos, L., Fragkiadakis, K. e Fragkos, P. (2020). Macro-Economic Analysis of Green Growth Policies: The Role of Finance and Technical Progress in Italian Green Growth. *Climatic Change* 160 (4): 591–608. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02543-1>.

- Pavia, R. (2021) "Porti: transizione difficile per l'Italia", ISPI, 2021
- Piersanti, A., D'Elia, I., Gualtieri, M., Briganti, G., Cappelletti, A., Zanini, G., e Ciancarell, L. (2021). The Italian National Air Pollution Control Programme: Air Quality, Health Impact and Cost Assessment. *Atmosphere* 12 (2): 196. <https://doi.org/10.3390/atmos12020196>.
- PNACC (2018) Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
- Polimi (2021). Smart Mobility Report, 2021.
- Prasad, K. N. R. S. V., Hossain E. e Bhargava V. K. (2017). Energy Efficiency in Massive MIMO-Based 5G Networks: Opportunities and Challenges, in *IEEE Wireless Communications*. 24(3), 86-94.
- Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M. e Edwards, R. (2020). JEC Well-To-Wheels report v5, EUR 30284 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-20109-0, doi:10.2760/100379, JRC121213.
- Quadro strategico nazionale. Sezione C: fornitura di gas naturale per il trasporto e per altri usi. Prima sottosezione: fornitura di gas naturale liquefatto (GNL) per la navigazione marittima e interna, per il trasporto stradale e per altri usi.
- Regulation (EU) No 1303/2014 of 18 November 2014 concerning the Technical Specification for Interoperability Relating to 'Safety In Railway Tunnels'
- Regulation (EU) No 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the Establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088 (Text with EEA relevance)
- Rodrigues, R., Pietzcker, R., Fragkos, P., Price, J., McDowall, W., Siskos, P., Fotiou, T., Luderer, G., e Capros, P. (2022). Narrative-Driven Alternative Roads to Achieve Mid-Century CO2 Net Neutrality in Europe. *Energy* 239 (January): 121908. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121908>.
- Ruiz P. et al. (2019). ENSPRESO - an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials, *Energy Strategy Reviews* Volume 26, November 2019, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100379>
- Saft (2019). Saft livre les dernières batteries lithium-ion des tramways sans caténaire CAF Urbos de Birmingham au Royaume-Uni, (<https://www.saftbatteries.com/fr/m%C3%A9dias-et-ressources/communiqu%C3%A9s-de-presse/batteries-lithium-ion-tramways-sans-catenaire-caf>)
- Sanders, K.T. e Webber, M.E. (2012). Evaluating the energy consumed for water use in the United States. *Environmental Research Letters* 7(3): 1-11.
- Schindele S., Trommsdorff M., Schlaak A., Obergfell T. Bopp G., Reise C., Braun C., Weselek A., Bauerle A., Högy P., Goetzberger A., Weber E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications, *Applied Energy*, Volume 265.
- Sheffi, Y. (2020), Logistics Clusters - Delivering value and driving growth, <https://covid-19.mitpress.mit.edu/logistics-clusters>
- Sinagra, M., Aricò, C., Tucciarelli, T., e Morreale, G. (2020). Experimental and numerical analysis of a backpressure Banki inline turbine for pressure regulation and energy production. *Renewable Energy*, 149, 980-986.
- SNAM, 2018 Piano decennale di sviluppo della rete di trasporto del gas naturale 2018-2027 <http://pianodecennale.snamreegas.it/it/executive-summary/obiettivi-del-documento.html>
- Sousa, M. L. et al. (2020). Expected implications of climate change on the corrosion of structures. JRC Technical Report, Doi: 10.2760/05229.
- Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Chiriaco M. V., Coppini G., Essenfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G., Rizzo A., Santini M., Sini E., Staccione A., Villani V., Zavatarelli M., (2020). "Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia". DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO
- Statista (2021), Natural gas consumption in Italy from 2005 to 2019 (in billion cubic meters), <https://www.statista.com/statistics/265428/natural-gas-consumption-in-italy-in-oil-equivalent/>
- TERNA (2020) "Produzione Di Energia Elettrica in Italia".
- Terna (2021), Piano di sviluppo della rete, <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/rete/piano-sviluppo-rete>
- Tsakalidis et al. (2020), Electric light commercial vehicles: are they the sleeping giant of electromobility?, Joint Research Centre of the European Commission, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118132>

- Tucker R. S., (2006) "The Role of Optics and Electronics in High-Capacity Routers," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 24, no. 12, pp. 4655-4673.
- US DOE (2019), 2019 Annual Progress Report, https://www.hydrogen.energy.gov/annual_progress19.html
- US DOT (2016), History of Intelligent Transportation Systems, U.S. Department of Transportation, www.its.dot.gov/history/pdf/HistoryofITS_book.pdf
- Valcarengi L., Giorgetti A., Martini B., Kondepu K., Gharbaoui M., Castoldi P. (2019) "Reliable Slicing in 5G Networks", in *Proceedings of 5G Italy*
- Vandyck, T. et al. (2018), "Air quality co-benefits for human health and agriculture counterbalance costs to meet Paris Agreement pledges", *Nature Communications*, Vol. 9/1, <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-06885-9>.
- Vuilleumier, F., Weatherill, A., e Crausaz, B. (2002). Safety aspects of railway and road tunnel: example of the Lötschberg railway tunnel and Mont-Blanc road tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 17(2), 153-158.
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S. et al. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 35 <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>
- White House (2021), Executive Order on America's Supply Chains, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/02/24/executive-order-on-americas-supply-chains/>
- White Paper (2021). Cisco Visual Networking Index: Global Data Traffic Forecast Update.
- Wyttenbach, A.F. (2021). Satellite Navigation (GNSS) bringing innovation to Road User Charging, www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/satellite-navigation-gnss-bringing-innovation-roaduser-charging.pdf
- World Bank (2021). Charting a Course for Decarbonizing Maritime Transport, <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/04/15/charting-a-course-for-decarbonizing-maritime-transport>
- WHO (2018). World Health Organization & United Nations. "Climate change and health country profile: Italy." World Health Organization, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260380>.
- WHO, 2019. World Health Organisation "Environmental health inequalities in Europe. Second assessment report." Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Wu Q. e Zhang R., (2020). "Towards Smart and Reconfigurable Environment: Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Network," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 1, pp. 106-112, January 2020
- Yang Christopher, Ogden Joan (2007), Determining the lowest-cost hydrogen delivery mode, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 32, Issue 2, February 2007, Pages 268-286, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.05.009>
- Zema, D., Nicotra, A., Tamburino, V., Zimbone, So. (2017). Energy Production by Small Hydro Power Plants in Collective Irrigation Systems of Calabria (Southern Italy). *Chemical Engineering Transactions*. 58. 10.3303/CET1758088.
- Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., e Zhang, G. (2015). Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 19, 34-45.
- Zhang, X., Chen, X. e Zhang, X. (2018). The impact of exposure to air pollution on cognitive performance, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 115/37, pp. 9193-9197, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1809474115>.
- Zhang Q., Meng Z., Hong X., Zhan Y., Liu J., Dong J., Bai T., Niu J., e Deen M.J., (2021). A survey on data center cooling systems: Technology, power consumption modeling and control strategy optimization. *Journal of Systems Architecture*, Vol. 119.
- Ziegler, S.Z., e Trancik, J.E. (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. *Energy Environ. Sci.*, 2021,14, 1635-1651, <https://doi.org/10.1039/D0EE02681F>

Capitolo 7

Politiche e strumenti di incentivazione e controllo della sostenibilità di infrastrutture e mobilità: stato dell'arte e prospettive



Capitolo 7

Politiche e strumenti di incentivazione e controllo della sostenibilità di infrastrutture e mobilità: stato dell'arte e prospettive

Coordinamento

P. Giangualano

La EU Climate Law, il pacchetto Fit for 55 e le implicazioni per infrastrutture e trasporti

A. Tilche, M. Tavoni

Linee guida per il progetto integrato di politiche di sostegno ad adattamento e mitigazione

P. Giangualano, I. Panicia

Politiche e incentivi per una mobilità sostenibile

P. Cazzola, E. Cherchi, F. Ricci Feliziani, P. Giangualano, I. Panicia, A. Cesarini, M. Alteri, G. Medici

Politiche e incentivi per le infrastrutture di supporto

A. Castelletti, A. Cominola, P. Croce M. Tanelli, M. Tornatore

Strumenti trasversali

F. Ricci Feliziani, P. Giangualano, M. Tanelli, M. Duca, L. Lotti

Sintesi

Il capitolo 7 si occupa di identificare misure politiche, legali, sociali, gestionali e finanziarie, utili alla *governance del processo di transizione ecologica* e ad aumentare la consapevolezza sui problemi legati al cambiamento climatico nel settore del trasporto e delle mobilità sostenibili nelle diverse fasi di transizione.

In particolare nel capitolo sono descritte le modalità di intervento più idonee per favorire concretamente l'introduzione delle misure delineate nei capitoli precedenti, adattandole al sistema giuridico, istituzionale e di mercato italiano, sulla base delle linee guida e normative europee con l'obiettivo di favorire una transizione ordinata e giusta e garantire una coerenza di fondo, e quindi una sinergia, tra gli strumenti che si adottano.

Innanzitutto si fa riferimento a quanto previsto dalla EU Climate Law e dal pacchetto Fit for 55, che aggiorna e introduce novità in numerose direttive e regolamenti che hanno a che fare con i trasporti e le infrastrutture. In relazione all'obiettivo della legge europea al 2030 di riduzione delle emissioni di CO₂ del 55% rispetto al 1990 e dell'obiettivo specifico dell'Italia (da studi RSE del 52%), nel capitolo sono analizzati i settori nei quali l'abbattimento è più facilmente realizzabile e "cost effective" considerando le tecnologie disponibili, gli investimenti necessari e le opportunità fornite dal PNRR rispetto a quelli dove investimenti

sono difficilmente realizzabili in scala significativa entro il 2030 (combustibili sintetici per il settore aereo e navale, chimica, cemento, ceramica vetro) e per i quali vengono indicate azioni di più lungo periodo (cambiamenti profondi di sistema, comportamentali e culturali). A parte viene esaminato l'idrogeno verde che prevede nel decennio in corso sviluppo di programmi di ricerca e innovazione e dimostrazione.

In particolare l'obiettivo è quello di identificare le priorità e gli strumenti che permettano di fare scelte di breve che garantiranno il raggiungimento della sfida di lungo periodo nel modo più sicuro ed efficiente tenendo anche conto degli impatti sul mondo e della redistribuzione dei vantaggi. In questo quadro i settori dei trasporti e del riscaldamento civile si candidano, insieme ai settori coperti dall'ETS (i cui obblighi salgono ad un -4,2%/anno) ed in particolare alla generazione elettrica (si ricordi tra l'altro l'impegno a dismettere il carbone entro il 2025) a rappresentare la parte principale delle riduzioni di emissioni al 2030.

Nel campo dei trasporti vengono pertanto esaminati strumenti per favorire la riduzione dell'uso dei mezzi privati in seguito all'aumento dell'offerta di trasporto pubblico e allo sviluppo di forme di mobilità condivisa che non comporta soltanto il rinnovo delle flotte, ma anche l'introduzione di nuovi tipi di veicoli (già visibili nel caso della micromobilità), il miglioramento dell'offerta complessiva di servizi e delle reti ed un profondo cambio di mentalità sul simbolo "auto propria" nonché nuove forme di concepire la vita sociale.

Nel capitolo si tratta anche del potenziamento della multi-modalità, per cui gli investimenti che iniziano con il PNRR, se non opportunamente indirizzati con politiche di disincentivo all'uso dell'auto e tutta una serie di misure combinate di push and pull, potrebbero dare un effetto sensibile sulle emissioni nel decennio 2030-40.

La trasformazione delineata nelle proposte del Fit for 55 e del Green Deal per essere attuata necessita di azioni che comportano il coinvolgimento di una pluralità di attori sia privati (cittadini, imprese e associazioni) sia amministrazioni pubbliche, con funzioni istituzionali di progettazione, pianificazione costruzione, manutenzione, finanziamento e controllo di infrastrutture e servizi di modalità. In questo campo il capitolo discute della qualità dell'intervento pubblico e dell'adeguata competenza, nonché delle istanze territoriali, spesso di scarso respiro strategico. Al riguardo vengono proposte soluzioni volte all'adozione di precise metodologie di analisi e di utilizzo dei dati a supporto delle decisioni da assumere (strumenti di soft regulation come linee guida e di consenso delle comunità) ma anche strumenti di erogazione dei fondi correlati ai risultati ottenuti in coerenza con gli obiettivi strategici definiti.

Le politiche e gli incentivi per una mobilità sostenibile riguardano il trasporto delle persone e delle merci e sono orientate a modificare le modalità con cui la domanda utilizza i sistemi di trasporto con riferimento alle politiche di utilizzo del suolo, alle politiche economiche, amministrative e finanziarie distinguendo *strumenti onerosi* (road pricing, tariffazione della sosta, tasse sul possesso e l'acquisto dei veicoli) e *misure di carattere economico* (abbonamenti sovvenzionati, incentivi all'utilizzo di trasporto ad elevato coefficiente di occupazione, sovvenzioni al car pooling o all'uso di minibus rimborsi sulla sosta e incentivi economici indiretti) ma anche *campagne informative* sui vantaggi della mobilità dolce, nudging, framing per superare bias cognitivi, tipping points sociali con gruppi di paragone dinamici dando visibilità a gruppi virtuosi.

Per rendere più ecologico il trasporto delle merci, l'analisi è effettuata sulla base dei risparmi conseguibili tramite la conversione all'utilizzo del trasporto ferroviario rispetto alla modalità stradale così come anche la Commissione Europea prevede (entro il 2030, il 30 % del trasporto merci su strada, su percorrenze superiori a 300 km, dovrà utilizzare ferrovia o le vie navigabili e entro il 2050 la conversione dovrà salire a più del 50 %). Gli interventi e le politiche attengono alla revisione della struttura di mercato in chiave intermodale, alla semplificazione normativa, all'innovazione e a strumenti fiscali tramite pacchetti stabili di incentivi e per il mercato del lavoro.

A fronte dell'evoluzione della crescita della vendita al dettaglio on line e la necessità di consegne a domicilio e anche a seguito del periodo di lockdown, la necessità di approvvigionamento di negozi e famiglie soprattutto nei centri urbani (*last mile*), sono state identificate soluzioni in grado di efficientare la logistica e diminuire le crescenti quote di utilizzo di energia ed emissioni. Nel capitolo sono esaminate le misure di efficienza dell'ultimo miglio, la riprogrammazione delle consegne urbane e la costituzione di centri di consolidamento cittadino.

Affinchè anche il settore dell'aviazione e del trasporto marittimo, che incidono rispettivamente per lo 0,75% e il 4,3% delle emissioni domestiche di GHG (a cui vanno aggiunti contributi più di 4 volte superiori per i movimenti di passeggeri e merci su tratte internazionali), conseguano un abbattimento delle emissioni di gas serra, un aumento dell'efficienza del sistema dei trasporti ed un contestuale miglioramento della qualità dell'aria a livello locale, contribuendo così anche a salvaguardare la salute dei residenti nelle vicinanze, sono discusse, fra le altre, le politiche capaci di farli diventare parte della **mobilità multimodale**. I fattori che hanno un ruolo chiave per ottenere questo obiettivo riguardano: l'accessibilità ai nodi, la domanda di soluzioni più sostenibili e la promozione di intermodalità così come pure aspetti di sicurezza e qualità delle infrastrutture.

Per quanto riguarda le iniziative specifiche per lo sviluppo del settore del trasporto aereo sono stati analizzati: il carbon pricing, gli aspetti regolatori, le opzioni tecnologiche per miglioramenti atti a ridurre l'energia necessaria per volare così come l'uso di vettori energetici a basse emissioni e strumenti per migliorare l'efficienza energetica.

In relazione invece al trasporto marittimo, destinato a rimanere l'asse portante del commercio mondiale anche al 2050, la discussione ha riguardato l'analisi delle possibili nuove rotte che potrebbero aprirsi a fronte dello scioglimento dei ghiacci così come misure per ridurre le pressioni ambientali sull'atmosfera e sull'ambiente marino che prevedono lo sviluppo di navi basate su tecnologie avanzate e soluzioni efficienti dal punto di vista energetico, capaci di sfruttare l'assistenza del vento e della transizione verso vettori energetici decarbonizzati. Si tratta anche il tema dell'elettificazione e si annoverano tecnologie per il miglioramento dell'efficienza energetica che includono soluzioni come modifiche progettuali e ottimizzazione strutturale, riduzione della resistenza/attrito con l'acqua, miglioramento dell'efficienza delle eliche, miglioramento dell'efficienza dei macchinari (motori principali e ausiliari). A queste va aggiunta l'integrazione di energie rinnovabili (compresa l'assistenza del vento) e altre soluzioni che includono sia misure operative (rilevanti anche per navi già in uso) che tecnologie applicabili a nuove costruzioni, che tecnologie di "retrofit" per navi esistenti nonché, come per il settore del trasporto aereo, l'adozione di tecnologie e combustibili alternativi fondamentali per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione.

Per lo sviluppo della mobilità sostenibile a sostegno della transizione tecnologica verso veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati, la discussione è volta a comprendere le ragioni, nonostante gli sviluppi positivi, del non ancora forte utilizzo rispetto a soluzioni basate sulla combustione di combustibili fossili, e individuare gli strumenti, compresi informazione, conoscenza della tecnologia e fattori culturali, in grado di consentire sviluppi su larga scala. Al riguardo vengono anche proposti strumenti di fiscalità sui combustibili e su altri vettori energetici, norme, regolamenti e standard di natura tecnica nonché incentivi economici volti a favorire la transizione tecnologica.

A complemento dell'analisi delle mobilità e infrastrutture core è poi delineata una sezione che identifica politiche e incentivi per la difesa del suolo, e per realizzare le misure di adattamento e mitigazione relative alle infrastrutture idriche e ICT trattate nei precedenti capitoli.

Fanno da cornice l'analisi di standard in ambito Climatico (Climate Risk e Climate Disclosure), che sono già in uso presso grandi organizzazioni e che in alcuni casi stanno divenendo cogenti anche per aziende medie (es. EU Taxonomy Regulation e Corporate Sustainability Reporting Directive). Tali logiche da

estendersi anche ad enti, organizzazioni e aziende di minore dimensione ed enti pubblici, secondo principi di progressività e di materialità, hanno la finalità di innescare meccanismi incentivanti di carattere reputazionale, tanto nel settore privato quanto nel pubblico. L'integrazione nei vari processi decisionali e gestionali, di aziende ed enti, del clima, del rischio e delle opportunità (da esso derivanti) è condizione indispensabile per avviare percorsi virtuosi di adattamento climatico, con potenziali benefici a tutti i livelli (strategici manageriali e operativi).

Infine come evidenziato nei capitoli 5 e 6 del rapporto è fondamentale quale preconditione per poter progettare, realizzare e monitorare le misure proposte per migliorare la resilienza e l'adattamento delle infrastrutture esistenti e avviare la decarbonizzazione delle infrastrutture stesse, dotare il Paese della capacità di monitorare le infrastrutture stesse in modo attivo. A tal fine, occorrerà sensorizzare le infrastrutture, ispezionarle con modalità che consentano di crearne mappe digitali tridimensionali aggiornate, costruire modelli di simulazione che integrino i modelli delle infrastrutture con i simulatori di clima e soprattutto costruire attorno a tali dati una infrastruttura fisica e digitale di raccolta, gestione, estrazione dell'informazione e manutenzione.

Introduzione

Il capitolo 7 definisce le modalità più idonee di intervento per favorire concretamente l'introduzione delle misure delineate nei capitoli precedenti, adattandole al sistema giuridico, istituzionale e di mercato italiano, sulla base delle linee guida e normative europee.

L'obiettivo di fondo per ottenere una transizione ordinata e giusta è quella di garantire una coerenza di fondo, e quindi una sinergia, tra gli strumenti che si adottano: il che è reso spesso difficoltoso per via delle diverse ispirazioni che li animano, e dei diversi momenti storici di nascita. Se da un lato è chiaro che occorre perseguire la *carbon neutrality* e la *climate resilience*, è meno chiaro, dall'altro, il come farlo in modo strutturato: cioè realizzando policy organiche e strumenti idonei a definire un percorso di trasformazione delle regole e del mercato che concretamente garantiscano il raggiungimento dei *target* e non solo l'attuazione dei singoli interventi.

Un modo per perseguire questo obiettivo è quello di **suddividere gli ambiti di intervento per finalità e per natura**. Per quanto riguarda **le finalità** distinguiamo due alvei di intervento: uno è il sistema dei mezzi e delle infrastrutture che riguardano la mobilità delle persone e delle merci; l'altro è il sistema delle infrastrutture di base, su cui la mobilità stessa poggia, e che sono riferite alla difesa del suolo, alla sostenibilità delle infrastrutture energetiche, idriche e di telecomunicazione.

Per quanto invece riguarda **la natura degli strumenti di intervento** distinguiamo tra:

- i) politiche e regole che fanno perno su incentivi (monetari o non monetari), obblighi/prescrizioni o disincentivi (divieti, tassazioni, prelievi, ecc.); e altre modalità più idonee e necessarie per guidare la transizione ecologica ed energetica.
- ii) pratiche di Governance e di Risk Management, nel senso di nuove modalità di pianificazione strategica basate sulla valutazione e gestione del rischio, resilienza addotta ai sistemi e calcolo dei costi-opportunità legati alle diverse leve di intervento;
- iii) strumenti di trasparenza, monitoraggio e reporting in materia di sostenibilità ambientale, economica e sociale;
- iv) modalità idonee a garantire il corretto storage e il processing dei dati in piattaforme condivise con precisi ruoli e responsabilità.

Relativamente soprattutto alle **politiche** (punto i) deve esservi un chiaro nesso causale rispetto agli obiettivi di mitigazione e adattamento, e un'altrettanto chiara corrispondenza con le priorità già individuate a livello europeo: priorità a loro volta riferite alla strategia di mobilità sostenibile e alla strategia di adattamento come declinate, per l'Italia, nei capitoli 5 e 6 di questo documento.

Per agire in maniera efficace, per poter raggiungere i target prefissati e contribuire alla decarbonizzazione, come si vedrà nel capitolo, **occorre combinare politiche di incentivazione** (cosiddette misure *pull*) e **politiche di restrizione** (cosiddette misure *push*). Se gli ambiti di intervento - mobilità e infrastrutture di base - non richiedono qui soverchie spiegazioni essendo ampiamente trattate nei capitoli precedenti, è invece utile chiarire la differenza tra le forme di intervento individuate, per facilitare la comprensione di coerenza e di sinergia rispetto alla meta della decarbonizzazione e della resilienza climatica che le sovrastiede.

Le buone pratiche di Governance e Risk Management (punto ii) permettono di introdurre metodiche comuni e standardizzate in materia di climate risk governance e climate risk management. Se da un lato devono rispecchiare il meglio delle conoscenze e delle best practice, dall'altro devono garantire una visione integrata dei rischi, al fine di non sottovalutare probabilità di eventi e fenomeni congiunti legati da relazioni non lineari ed essere in grado di adottare tutte le possibili azioni di *remediation*.

L'uso di **standard e obblighi di rendicontazione** (punto iii) permette di rendere comparabile e trasparente il grado di impegno e la capacità di raggiungimento dei *target* dei diversi operatori del mercato, pubblici e privati. In questa area rientra, quindi, anche tutta la componente di monitoraggio dello stato di raggiungimento degli obiettivi, sia dei singoli attori sia aggregati (standardizzando si può aggregare), sulla base di metriche razionali e comuni.

Infine, affinché tutto il processo di transizione ecologica nel mondo delle mobilità e delle infrastrutture possa essere compiutamente avviato è necessario che il Paese possa disporre di tutte le **iniziative e le infrastrutture di base e sistemiche** (punto iv) per gestire e monitorare i dati e le informazioni fondamentali per avviare azioni concrete ed informate. In particolare è necessario poter disporre di un efficace sistema informativo di supporto alle decisioni: dall'acquisizione dei dati al loro processing.

Relativamente alla governance e agli standard, per ulteriori approfondimenti, analisi delle risorse dedicate al settore NextGenerationEU (NGEU), in ottica anche di Partenariato Pubblico Privato (PPP) e strumenti di misurazione puntuale della qualità e risultati degli investimenti, nonché descrizioni delle diverse tipologie di rischio, si rimanda al lavoro finale realizzato dalla Commissione istituita dal Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità sostenibili (Commissione FIMS) guidata dal Prof. Fabio Pammolli il cui obiettivo principale è proprio quello di individuare interventi per la realizzazione di infrastrutture innovative e strumenti finanziari.

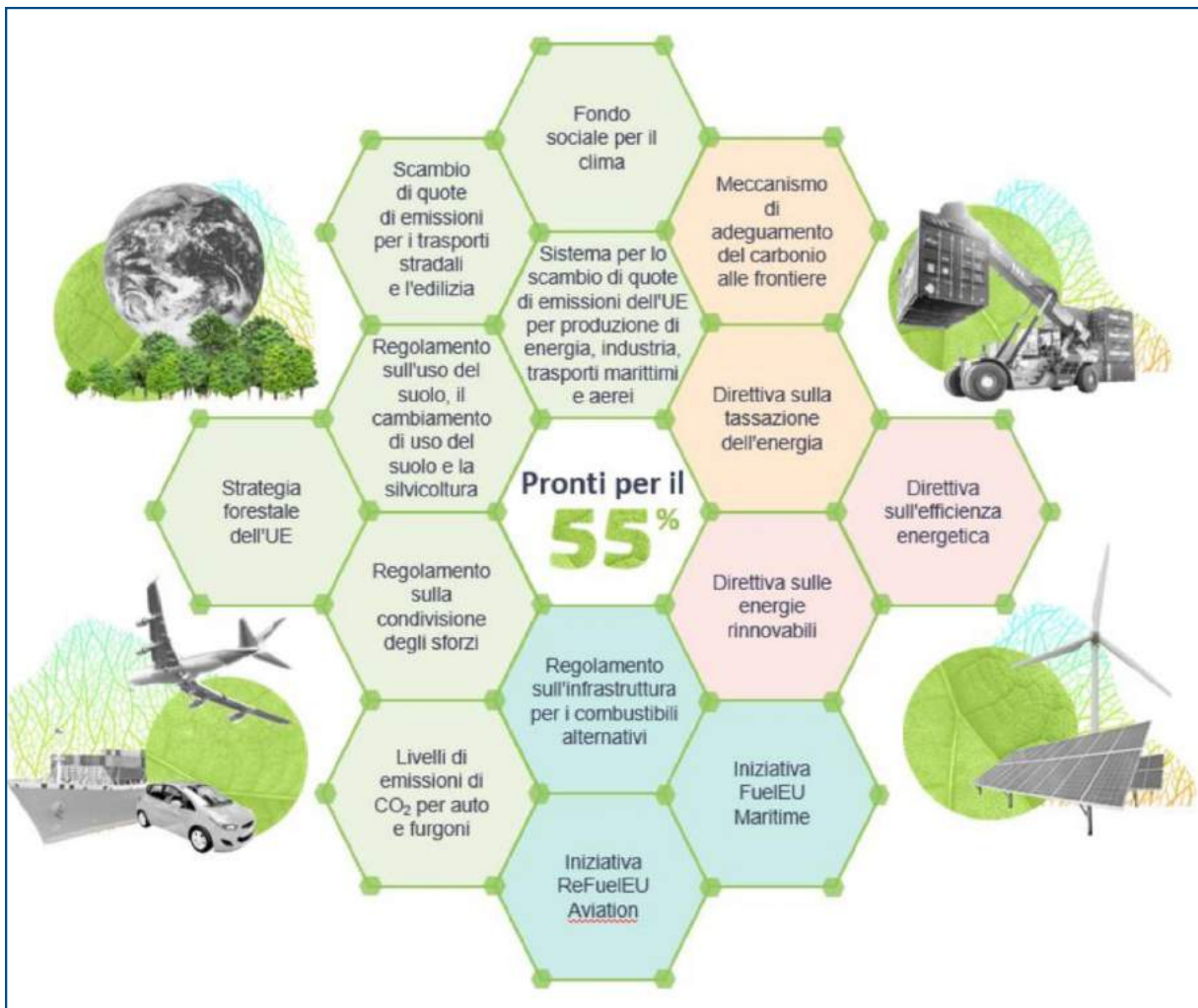
Nel presente capitolo ci si limita pertanto a delineare le best practice di governance, risk management e standard in materia di gestione e rendicontazione del rischio climatico; pratiche che possono indirizzare l'azione di governo di amministrazioni pubbliche e imprese. In appendice sono disponibili degli approfondimenti di supporto per gli argomenti trattati nelle diverse sezioni di questo capitolo.

7.1 La EU Climate Law, il pacchetto Fit for 55 e le implicazioni per infrastrutture e trasporti

La legge europea sul clima (Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo e del Consiglio Europeo del 30 giugno 2021) ha introdotto nel corpus della legislazione dell'Unione l'obbligo di raggiungere la neutralità climatica tra emissione e cattura di gas a effetto serra al 2050, con il passo intermedio di raggiungere nell'Unione una riduzione del 55% delle emissioni al 2030, tenendo sempre in dovuto conto una transizione socialmente inclusiva.

A questa legge ha fatto seguito un corposo pacchetto di proposte della CE presentate il 14 luglio 2021 chiamato "Fit for 55" e composto da differenti elementi rappresentati nella figura sottostante che accompagna la Comunicazione.

Figura 1: Schema del "pacchetto Fit for 55" presentato dalla Commissione Europea (EC, 2021n)



Il pacchetto di proposte contiene molti elementi rilevanti per lo scopo del presente Rapporto, in quanto aggiorna e introduce novità in numerose direttive e regolamenti che hanno a che fare con i trasporti e le infrastrutture, a partire dall'estensione del sistema ETS ai trasporti marittimi, alla proposta di inclusione del sistema di trasporti stradali (tramite i providers di fonti di energia) in un sistema ETS parallelo, al nuovo regolamento per la condivisione degli sforzi, alle infrastrutture per i combustibili alternativi, ai nuovi

combustibili per aviazione e navi, e alle nuove proposte sui livelli di emissione di CO₂ per auto e furgoni che prevede la fine della vendita di motori a combustione interna al 2035. La tabella che segue riporta le varie componenti del pacchetto nel loro rapporto logico e funzionale:

Tabella 1: Componenti del pacchetto Fit for 55 e loro relazione funzionale (EC, 2021n)

Fissazione dei prezzi	Obiettivi	Norme
<ul style="list-style-type: none"> • Un sistema per lo scambio di quote di emissioni più robusto, anche nel settore dell'aviazione • Estensione dello scambio di quote di emissioni ai trasporti marittimi e stradali e all'edilizia • Aggiornamento della direttiva sulla tassazione dell'energia • Nuovo meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere 	<ul style="list-style-type: none"> • Aggiornamento del regolamento sulla condivisione degli sforzi • Aggiornamento del regolamento sull'uso del suolo, il cambiamento di uso del suolo e la silvicoltura • Aggiornamento della direttiva sulle energie rinnovabili • Aggiornamento della direttiva sull'efficienza energetica 	<ul style="list-style-type: none"> • Prestazioni più rigorose in termini di CO₂ per auto e furgoni • Nuova infrastruttura per i combustibili alternativi • ReFuelEU: carburanti più sostenibili per l'aviazione • FuelEU: carburanti più puliti per il settore marittimo
Misure di sostegno		
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzare entrate e regolamenti per promuovere l'innovazione e la solidarietà e per mitigare le ripercussioni sui soggetti vulnerabili, in particolare attraverso il nuovo Fondo sociale per il clima e il potenziamento del Fondo per la modernizzazione e del Fondo per l'innovazione. 		

Pur in presenza di una lunga fase negoziale di questo pacchetto, è evidente che l'imposizione legislativa già acquisita dei limiti alle emissioni al 2030 (e 2050) permetterà soltanto piccoli aggiustamenti che non potranno in alcun modo alterarne gli effetti finali.

Pertanto, anche in questo capitolo, è bene fare alcune considerazioni sul significato del pacchetto "Fit for 55" per l'Italia, e in particolare per i sistemi dei trasporti e le infrastrutture.

7.1.1 Riduzione emissioni in Italia al 2030 e strumenti disponibili

Le emissioni nazionali al 1990 sono state contabilizzate (dati ISPRA)¹³² in 516 Mt CO_{2eq}, e le emissioni del 2019, ultimo anno pre-Covid su cui sarà fissato il benchmark, sono state contabilizzate in 418 Mt CO_{2eq} (ipotetiche emissioni di un primo anno post-Covid). Questa ipotesi è parzialmente confermata dalle sta-

¹³² <https://www.isprambiente.gov.it/it/istituto-informa/comunicati-stampa/anno-2021/emissioni-gas-serra-in-calo-nel-2019-nette-zero-entro-il-2050>

tistiche stagionali del 2021 che, nonostante le non complete riaperture dei primi mesi dell'anno, fanno intravedere un rimbalzo dei consumi energetici non lontano dai livelli del 2019.

L'obiettivo della legge europea sul clima al 2030 è di raggiungere il -55% delle emissioni di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990 (globalmente tra tutti gli Stati UE) per poi arrivare alla "carbon neutrality" nel 2050. La valutazione dei sink di carbonio per l'Italia è di un massimo di 35 Mt CO_{2eq} ottenuti attraverso un aumento della forestazione (la legge europea parla di 225 Mt CO_{2eq} a livello EU, Il Fit for 55, nella proposta LULUCF (Land-Use, Land-Use Change and Forestry), prevede che gli stati membri possano mettere in atto politiche di aumento dei sink di carbonio con l'obiettivo di raggiungere un sink complessivo di 310 Mt CO_{2eq}).

L'Istituto di Ricerca del Sistema Energetico (RSE), nel contabilizzare in modo analitico le riduzioni previste dal Fit for 55 per il comparto coperto dall'ETS e da quello non presidiato, è giunto alla **conclusione che le emissioni italiane dovrebbero scendere del 52%**. Pertanto, ipotizzando un pieno raggiungimento dell'obiettivo della riduzione delle emissioni e degli assorbimenti di gas a effetto serra risultanti dall'uso del suolo, dal cambiamento di uso del suolo e dalla silvicoltura, le emissioni nazionali al 2030 dovranno scendere a $(516 \times 0,48) + 35 \cong 283 \text{ Mt CO}_{2\text{eq}}$.

La differenza tra le emissioni pre-Covid e l'obiettivo al 2030 sono di $418 - 283 = 135 \text{ Mt CO}_{2\text{eq}}$, corrispondenti a circa 45 Mtep di combustibili fossili (tra cui tutto il carbone) da sostituire con energie rinnovabili (o da abbattere con Carbon Capture and Storage - CCS).

Considerando il breve lasso di tempo di 8-9 anni che resta per raggiungere questo obiettivo, è necessario avere coscienza di quali siano i settori nei quali l'abbattimento delle emissioni sia più facilmente realizzabile e "cost-effective", considerando le tecnologie oggi disponibili, gli investimenti necessari, e le occasioni fornite dal PNRR per un avanzamento accelerato verso l'obiettivo. Per questa analisi è utile prima di tutto identificare i settori o il tipo di interventi di decarbonizzazione per i quali le tecnologie non sono ancora disponibili o solo in fase di sviluppo e quindi difficilmente realizzabili in scala significativa entro il 2030 e successivamente identificare le azioni da avviare.

Tipico è il caso dei combustibili sintetici a zero emissioni per il trasporto aereo e navale, che per il 2030 non potranno che avviare delle sperimentazioni senza alcun impatto significativo sulle emissioni dei rispettivi settori, iniziando a crescere in termini di volumi verso la fine del decennio ed oltre, come richiesto dai regolamenti inclusi nel quadro della Renewable Energy Directive: Refuel EU per l'aviazione e Fuel EU Maritime per la navigazione.

Analogamente, non sarà facile ridurre nei prossimi 10 anni **l'impiego di petrolio nella chimica e ridurre sensibilmente le emissioni di processo di certi processi industriali (cemento, ceramica, vetro)** senza l'impiego di CCS (carbon capture and storage), che ha un ambito di applicazione limitato¹³³, è soggetto a costi energetici significativi, dovrebbe poter essere finanziato con i proventi dell'estrazione di idrocarburi¹³⁴. In Italia, il CCS è

¹³³ Può essere utilizzata per grandi cementifici, impianti di produzione di acciaio, impianti chimici, produzione di idrogeno e/o ammoniaca "blu" - purché capace di abbattimenti significativi delle emissioni di gas serra e per importanti centri di domanda centralizzata, come gli impianti chimici - o alcune centrali turbogas da mantenere in riserva di capacità per la stabilità e la resilienza del sistema elettrico.

¹³⁴ Nei casi in cui il prezzo del carbonio si applica anche alle tecnologie di rimozione della CO₂, in particolare il CCS, si deve prestare attenzione a differenze di scala associate a diverse tecnologie di utilizzo finale dell'energia. Questo perché le tecnologie che hanno un fabbisogno di energia fossile maggiore per unità di servizio fornito rispetto alle alternative concorrenti sono intrinsecamente associate a requisiti di cattura e stoccaggio del carbonio molto più elevati. Ad esempio, l'estrazione e la combustione di combustibili fossili richiedono quantità assai maggiori di cattura del carbonio rispetto a quelle necessarie in sistemi in cui l'uso di elettrificazione diretta e fonti rinnovabili è massimizzato. Tali considerazioni aiuterebbero ad evitare effetti perversi, quali la generazione di profitti sproporzionati ed inadeguati ad una transizione sistemica efficiente per gli attori economici coinvolti sia nell'estrazione di combustibili fossili che in quella dello stoccaggio geologico di CO₂ (per via di un aumento deliberato dei volumi di CO₂ che devono essere sequestrati), a scapito delle opzioni che probabilmente avranno un profilo di gran lunga migliore in termini di efficienza delle risorse e potrebbero rivelarsi più efficaci per ridurre i costi totali della decarbonizzazione, se adottate su larga scala.

anche da valutare attentamente per ciò che riguarda il rischio sismico ed in termini di accettabilità sociale, per quanto possa avere implicazioni positive per la gestione delle dinamiche occupazionali in un settore (quello dell'energia fossile) soggetto a maggiori rischi di ridimensionamento in un quadro di decarbonizzazione.

Un discorso più complesso riguarda l'**idrogeno "verde"**, per il quale esiste una strategia europea che prevede nel decennio in corso lo sviluppo di programmi di ricerca e innovazione, un primo periodo di realizzazione a scopo dimostrativo e per test in scala delle tecnologie di 6 GW di elettrolizzatori nell'area UE con la produzione di 1 Mt/anno di idrogeno verde al 2024, a cui potrebbe fare seguito una crescita a 40 GW e 10 Mt/anno al 2030. Questo *target* corrisponderebbe per l'Italia a circa 6 GW e 1,5 Mt/anno H₂, ovvero ad una quantità che potrebbe permettere la prevista decarbonizzazione al 2030 dell'ILVA di Taranto oltre a dare la possibilità di avviare applicazioni dell'idrogeno ad altri settori. A questo obiettivo si aggiungono altri 40 GW in "*Europe's neighbourhood*" dedicati a export verso l'UE.

Tale strategia, che peraltro non fa parte integrante del pacchetto Fit for 55 (a parte il provvedimento proposto di realizzare stazioni di ricarica ogni 160 km lungo i principali assi autostradali), è di difficile previsione in termini di effettiva piena realizzazione, con l'eccezione di alcuni progetti previsti dal PNRR che coprono l'avviamento di un sistema di produzione in siti dismessi, un primo utilizzo dell'idrogeno in sostituzione di combustibili fossili per settori *hard-to-abate*, la sperimentazione di un sistema di distribuzione lungo gli assi autostradali principali per permettere un primo utilizzo per il trasporto merci (anche se argomentaremo come questa non sia probabilmente la soluzione migliore).

Vanno poi considerate quelle misure che sono essenziali per raggiungere gli obiettivi al 2050, in particolare modo per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni, ma il cui effetto richiede cambiamenti profondi di sistema, comportamentali e culturali.

Nel campo dei trasporti - ad esempio - l'effetto pieno della riduzione dell'uso dei mezzi privati in seguito all'aumento dell'offerta di trasporto pubblico e mobilità condivisa non comporta soltanto il rinnovo delle flotte, ma anche l'introduzione di nuovi tipi di veicoli (già visibili nel caso della micromobilità), il miglioramento dell'offerta complessiva di servizi e delle reti ed un profondo cambio di mentalità sul simbolo "auto propria" che fa dell'Italia il 2° paese europeo per maggior numero di mezzi in rapporto alla popolazione dopo il Lussemburgo. Discorso simile riguarda il potenziamento della multi-modalità, per cui gli investimenti che iniziano con il PNRR, se non opportunamente indirizzati con politiche di disincentivo all'uso dell'auto e tutta una serie di misure combinate di push and pull, potrebbero dare un effetto sensibile sulle emissioni nel decennio 2030-40.

Fatte queste premesse, possiamo considerare quali incentivi a sostegno degli interventi descritti nei capitoli 5 e 6 vadano messi in prima priorità al fine di raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni al 2030 nel modo più sicuro ed efficiente.

La conversione di una parte consistente del parco veicolare nazionale in autovetture elettriche (BEV) è sicuramente una strada da intraprendere nel breve periodo. Il motivo sta nel grandissimo vantaggio in termini di riduzione delle emissioni non solo di CO₂ ma anche di inquinamento locale con effetti benefici sulla salute e costi per la sanità. Infatti, un'auto con motore a combustione interna (ICE) presenta un'efficienza energetica molto bassa, da 3,5 a 5 volte inferiore ad una BEV. Si verifica quindi che sostituendo auto ICE che consumano 1 Mtep (41 PJ)/anno di combustibili tradizionali per autotrazione con auto BEV, dobbiamo produrre circa 3,3 TWh elettrici da fonti rinnovabili (l'equivalente energetico di 1 Mtep o 41 PJ in energia elettrica è 11,63 TWh), ovvero installare 2,2 GW di nuovo solare/eolico.

Un rapporto assolutamente simile si ha nel **riscaldamento civile** e in particolare nella **sostituzione di caldaie a gas tradizionali per il riscaldamento degli edifici con pompe di calore elettriche** che presentano coefficienti di prestazione normalmente tra 3 e 4, potenzialmente anche superiori per grandi installazioni.

Dovendo quindi ridurre le emissioni di circa 135 Mt CO_{2eq}, i settori dei trasporti e del riscaldamento civile si candidano, insieme ai settori coperti dall'ETS¹³⁵ (i cui obblighi salgono ad un -4,2%/anno) ed in particolare alla generazione elettrica (si ricordi tra l'altro l'impegno a dismettere il carbone entro il 2025) a rappresentare la parte principale delle riduzioni di emissioni al 2030.

Le proposte del pacchetto "Fit for 55" sui trasporti e le infrastrutture hanno sicuramente un impatto notevole che va gestito nel tempo. Il percorso verso la fine dei combustibili fossili riguarda necessariamente anche il modo di produrre i mezzi di trasporto.

La misura più forte del pacchetto è senza dubbio quella del **phase-out del motore a combustione interna (ICE) al 2035**, data comprensibile in considerazione della vita utile dei mezzi e della necessità di togliere dal mercato i combustibili fossili entro il 2050. Molti paesi membri (Austria, Slovenia, Islanda, Irlanda, Olanda) hanno già fissato la data per il 2030, altri (Francia e Spagna) per il 2040.

In aggregato, nel 2020 l'Europa ha sorpassato la Cina diventando il primo mercato al mondo per volumi di auto elettriche. Alfa Romeo, Opel, Fiat, Volvo, VW hanno introdotto tutti target di 100% con modalità EV¹³⁶ tra il 2027 e il 2035. Per cogliere i benefici di questa transizione e aiutare l'industria nazionale a riposizionarsi sulle nuove nascenti catene di valore sono necessarie politiche industriali, di ricerca e sviluppo, nonché di *re-skilling* del personale. La discussione del pacchetto necessita pertanto una revisione degli aiuti di Stato che sarà probabilmente la chiave più utile per affrontare elementi di criticità.

Fra le varie opportunità del pacchetto andrà poi valutata con attenzione la proposta di creare un **sistema ETS (Emission Trading) parallelo** per i trasporti. Se da una parte l'ETS accompagna con la sua curva di decarbonizzazione il sistema fornendo sicurezza nel processo di decarbonizzazione, d'altra parte il mantenimento dei trasporti nell'ambito dell'ESR (Effort Sharing Regulation) offre la possibilità di un intervento nazionale più mirato e più conseguente alle dinamiche del mercato (si veda l'Appendice 1).

Il posizionamento italiano su questo importante pacchetto legislativo va quindi affrontato con competenza e visione strategica, nella consapevolezza che il mercato del 2050 non solo sarà, ma dovrà essere molto diverso da quello di oggi e che questa transizione va costruita nell'ambito primariamente europeo, che con l'iniziativa del Green Deal sta scommettendo in modo coeso sul futuro.

7.1.2 Una transizione socialmente inclusiva

La trasformazione delineata nelle proposte del Fit for 55 e del Green Deal è senza dubbio epocale per vastità ed ambizione. Se verrà completata entro i termini previsti, i sistemi energetici e di mobilità europei saranno molto diversi da quelli attuali. Come discusso nei capitoli precedenti, i benefici ambientali, sulla salute e sull'economia saranno superiori agli eventuali costi. Anche se il saldo netto sarà positivo a livello aggregato non si è però ancora nelle condizioni di assicurare la fattibilità politica e sociale della transizione energetica, né tantomeno di determinare la sua desiderabilità.

Il programma per essere approvato dal Parlamento e per garantire che la riduzione delle emissioni si accompagni ad un miglioramento del benessere sociale necessita di politiche in grado di garantire una "transizione giusta". Questo termine molto usato ha in realtà una definizione molto vasta e con diverse accezioni, ma qui consideriamo due elementi fondanti della "*just transition*": **il mercato del lavoro e l'impatto distributivo sulle famiglie**.

¹³⁵ Vedi Appendice 1

¹³⁶ La modalità EV rende possibile attivare la forma elettrica, con cui si può guidare fino ad una velocità di 50 km/h.

Per quanto riguarda il **mercato del lavoro**, la Commissione europea stima che la transizione potrebbe **creare 1 milione di nuovi posti al 2030**. Altri lavori però andrebbero persi, e a livello netto l'occupazione è prevista rimanere piuttosto stabile, a meno che non si usi il gettito fiscale del carbonio per ridurre la tassazione sul lavoro per la forza lavoro meno specializzata (in questo caso la commissione prevede un aumento netto di 400.000 posti di lavoro al 2030, un aumento comunque di solo lo 0.45%).

La questione più delicata riguarda la distribuzione settoriale della forza lavoro: se i settori di estrazione dei fossili, carbone in primis, e quelli energivori sono previsti perdere occupazione di contro i settori delle costruzioni e della generazione elettrica si prevede possano registrare incrementi di occupazione. Questi cambiamenti della composizione settoriale delle occupazioni richiederanno adeguati programmi di *training* e *up-skilling* con significativi investimenti in capitale umano da parte degli individui e dei governi, che però sono difficili da quantificare e da programmare.

Per aiutare le regioni a maggiore rischio sociale ed economico, la Commissione ha creato il **fondo per la transizione giusta (Just Transition Fund)**, che fornirà sovvenzioni nelle regioni e nei settori che sono maggiormente esposti alle ripercussioni della transizione. Il fondo ha una dotazione di circa 19 Miliardi, di cui circa 1 per l'Italia. A questo si aggiungono uno schema di transizione giusta nell'ambito del programma **InvestEU** e un nuovo strumento di prestito del settore pubblico da parte della **Banca Europea degli investimenti**.

Relativamente alle famiglie, gli impatti del welfare dovuti al cambiamento dei prezzi relativi dell'energia sono previsti essere maggiori per le famiglie meno abbienti, che spendono una quota maggiore del loro reddito in energia. La redistribuzione del gettito dei permessi di CO2 nei mercati europei direttamente alle famiglie potrebbe annullare tali impatti regressivi ma dall'altro canto, toglierebbe capacità di usare il gettito per finanziare progetti di decarbonizzazione, di compensazione settoriale e di programmi di educazione e di training. Il *trade off* nell'uso delle *revenue* dal mercato della CO2 fra obiettivi redistributivi e di ristrutturazione economica suggerisce di compensare le famiglie economicamente più vulnerabili.

Particolarmente delicata sarà la proposta di creazione di un nuovo mercato dei permessi di CO2 dedicato ai settori trasporti ed edifici, che si affiancherà all'ETS esistente, che per altro sarà anch'esso esteso (si veda l'Appendice 1). Anche se la regolamentazione avverrà a monte sui fornitori, il sistema potrebbe impattare i cittadini attraverso l'aumento dei prezzi del carburante per i trasporti e delle bollette del riscaldamento - un tema politicamente e socialmente difficile che potrebbe rischiare di innescare disordini sociali o che richiederebbe costose misure compensatorie come quelle attualmente in essere per limitare l'impatto degli alti prezzi del gas.

Per limitare gli inevitabili impatti sociali delle misure, la Commissione Europea ha chiesto di convogliare il 25% dei ricavi del nuovo ETS in un Fondo Sociale per il Clima volto a sostenere le ristrutturazioni edilizie e l'adozione di auto pulite da parte delle famiglie vulnerabili e piccole imprese, e fornire pagamenti forfettari temporanei a tali soggetti per compensare l'aumento dei prezzi del trasporto su strada e del combustibile per riscaldamento. Non è chiaro però se questa percentuale sia sufficiente, e se effettivamente i governi seguiranno questa raccomandazione: per l'Italia, che ha una percentuale di povertà energetica oltre il 10% della popolazione e che ha prezzi dell'energia già alti, sarà fondamentale utilizzare una considerevole percentuale del gettito del nuovo mercato ETS per fini distributivi.

Molto dipenderà anche dalle politiche di incentivazione per la transizione energetica. Sussidi a veicoli alternativi come quelli elettrici rischiano di beneficiare le famiglie con maggiore disponibilità economica. Lo stesso nel caso delle ristrutturazioni edilizie. I sistemi incentivanti dovranno essere sempre accompagnati da altri che favoriscano esplicitamente le classi medio-basse, dove l'efficienza energetica è spesso bassa. Se questo avverrà, i benefici ambientali ed economici saranno meglio distribuiti aumentando la fattibilità politica della transizione.

7.2 Linee guida per il progetto integrato di politiche a sostegno di adattamento e mitigazione

Le strategie di adattamento e di mitigazione discusse nei capitoli precedenti poggiano su azioni in capo ad una pluralità di attori, sia privati - cittadini, imprese e associazioni - sia amministrazioni pubbliche, con funzioni istituzionali di progettazione, pianificazione, programmazione, costruzione, manutenzione, finanziamento e controllo di infrastrutture e servizi di mobilità. Tali amministrazioni, anche in qualità di soggetti attuatori delle politiche pubbliche, agiscono con dotazioni/*expertise* tecniche, strumentazioni e disponibilità di dati non sempre corrispondenti alle missioni istituzionali assegnate.

La qualità dell'intervento pubblico e in primis della pianificazione trasportistica è inoltre condizionata dalla *governance* stratificata su più livelli amministrativi che caratterizza il settore. Tali livelli non esprimono spesso un grado di competenza tecnica adeguata, mentre con riguardo a indirizzi di policy prevalgono istanze territoriali di scarso respiro strategico (cfr. anche Capitolo 2).

Nell'ambito dei soggetti attuatori delle politiche pubbliche vanno considerate anche quelle imprese che, pur essendo soggetti di diritto privato, svolgono funzioni pubbliche nell'ambito di schemi concessori. È il caso di RFI e di ANAS, imprese del Gruppo FSI, delle società aeroportuali e delle autorità di sistema portuale. In questi casi non si pone tanto un problema di competenze tecniche, ma certamente vi è un'esigenza di rendere coerente il loro operato con gli indirizzi di tipo strategico del decisore pubblico.

Con riguardo alle problematiche sopra evidenziate, senza tuttavia entrare nello specifico di valutazioni di riforma amministrativa, si intendono proporre alcune soluzioni per rendere più efficaci le politiche pubbliche in discussione/oggetto del capitolo. Si noti che, non a caso, il PNRR prevede alcuni interventi volti a potenziare la capacità tecnico-amministrativa degli enti territoriali o a finanziare l'acquisto di alcune dotazioni informatiche o di banche dati da mettere a disposizione delle stesse amministrazioni.

Tuttavia, qui si intende discutere gli strumenti più opportuni per introdurre nelle amministrazioni pubbliche o negli altri soggetti privati un *modus operandi* o, più propriamente, un insieme di regole e prassi decisionali funzionali al raggiungimento delle azioni o dei target individuati nell'ambito delle politiche di adattamento e mitigazione del cambiamento climatico. Le scelte discrezionali di politica menzionati nel Capitolo 2, possono essere conseguiti agendo su due principali leve:

- i) **vincolando alla adozione di precise metodologie di analisi e all'utilizzo di dati a supporto delle decisioni da assumere;**
- ii) **subordinando l'erogazione dei fondi alla dimostrazione dei risultati ottenuti (KPIs da monitorare) in coerenza con gli obiettivi (outcome) strategici definiti (nell'ambito delle politiche di adattamento e mitigazione).**

In relazione, in particolare, alle finalità di cui al punto sub i), uno strumento di *soft regulation* come le *linea guida* si presta bene a definire un insieme di indicazioni, criteri, metodologie, selezionate anche nell'ambito di *best practices*, volte ad accompagnare le amministrazioni e gli altri soggetti attuatori delle politiche pubbliche nei loro processi decisionali.

Diversamente, la proposta di cui al punto sub ii) poggia su un incentivo monetario, per sua natura molto forte, alla realizzazione dei risultati voluti che trova la sua efficacia soprattutto quando vi è competizione (tra enti, tra modalità di trasporto o tra territori) per l'accaparramento delle risorse pubbliche¹³⁷. Al fine di

¹³⁷ Vedi Fondo Nazionale Trasporti per il concorso finanziario dello Stato agli oneri del trasporto pubblico locale, anche ferroviario, nelle regioni a statuto ordinario, destinato a finanziare i servizi minimi di trasporto pubblico locale e regionale oggetto di affidamento nei contratti di servizio, istituito dalla legge n. 228/2012 "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge di stabilità 2013)" (art. 1, comma 301).

rafforzare la capacità decisionale e realizzativa dei soggetti sarebbe poi necessario potenziare adeguatamente le strutture tecniche, con immissione di competenze professionali adeguate, ma anche assicurarsi il necessario consenso delle comunità interessate, attraverso l'adozione di metodi concertativi (i.e. *débat public*) per l'identificazione degli obiettivi (e relativi KPIs), previa *disclosure* dei dati e delle indagini correlate ai progetti/decisioni.

Linee guida e indicatori di risultato vincolanti potrebbero, ad esempio, essere definiti per i processi decisionali che riguardano: la pianificazione e programmazione delle reti/infrastrutture e dei servizi di mobilità sostenibili, in maniera tale che essi siano effettivamente rispondenti ai fabbisogni di domanda potenziali e in grado di realizzare uno *shift modale* di passeggeri e merci; e la progettazione di opere coerenti con i requisiti di adattamento di cui ai precedenti capitoli 5 e 6.

Per quanto riguarda la **pianificazione delle reti e delle infrastrutture di trasporto pubblico locale e regionale da parte delle Regioni e province autonome**, le scelte effettuate non appaiono supportate da un approccio integrato alla pianificazione né basate su dati quantitativi e analisi tecniche robuste (economiche, ambientali e trasportistiche), e sono più orientate allo sviluppo di progetti singoli invece che alla funzionalità del sistema complessivo (Cascetta *et al.*, 2016; ART, 2017 e 2021). Tale prassi porta a un assetto delle reti di trasporto poco funzionale rispetto alle effettive esigenze degli utenti, anche con riguardo all'effettivo grado di interconnessione modale tra servizi di trasporto diversi e al grado di funzionalità multimodale delle infrastrutture, e dunque poco in grado di aumentare le quote modali del trasporto pubblico. Ma non solo, una pianificazione non soddisfacente delle reti ha rilevanti risvolti anche in termini di esternalità ambientali negative, quali quelle che si generano in caso di sovrapposizioni tra modalità diverse che potrebbero essere superate attraverso una pianificazione più efficace.

A fronte delle sopra descritte criticità, potrebbe essere opportuno vincolare gli Enti territoriali e, in generale, anche gli altri soggetti decisori prima citati, che investono in progetti a impatto locale, oltre che nazionale (i.e. investimenti in ambito aeroportuale o portuale) a integrare i diversi livelli di intervento secondo un approccio che segua **metodologie e procedure uniformi basate sull'evidenza di dati di domanda e offerta aggiornati e granulari, con la previsione di KPIs** (anche ambientali) da raggiungere e monitorare nel tempo.

Lo strumento potrebbe consistere in un documento di Linee guida, approvato per legge (DM, sentite le autonomie territoriali e altri soggetti competenti) che vincoli a utilizzare determinati criteri, metodologie, modelli, standard e dati e a monitorare i risultati sulla base di un set uniforme di KPIs. Uno dei KPIs da prevedere nel contesto delle politiche di decarbonizzazione potrebbe essere legato alle emissioni di GHG, sia con riferimento alla costruzione e operatività delle infrastrutture o facilities, sia all'uso delle stesse (ad esempio g CO₂/km percorsi dai veicoli). Un altro KPI, connesso agli obiettivi di *shift modale*, potrebbe misurare le variazioni delle quote modali sia merci che passeggeri, ma anche altri correlati agli obiettivi di connessione multimodale e di riduzione dei tempi di viaggio potrebbero essere considerati. Al raggiungimento dei KPI individuati potrebbe essere legata anche l'erogazione nel tempo di risorse finanziarie, in ottica premiale.

Per le Linee Guida che riguardano progetti a livello regionale o di bacini della mobilità sarebbe poi opportuna una integrazione con le Linee Guida, in questo caso già esistenti, per la progettazione strategica a livello urbano (PUMS) di cui al DM 4 agosto 2017. Si tratta di uno strumento molto efficace previsto anche a livello europeo per il coordinamento dei diversi interventi di policy a livello urbano, ancorché suscettibile di ulteriori affinamenti (Sipotra, 2021).

Con riguardo alla costruzione di opere, occorre considerare che esistono già delle "*Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*" (MIT, 2017) alle quali ha fatto riferimento il DEF nel seguire un nuovo approccio program-

matorio. Un ulteriore sviluppo di tale approccio è presente anche nelle Linee guida per la redazione del progetto di fattibilità tecnica ed economica da porre a base dell'affidamento di contratti pubblici di lavori del PNRR e del PNC (Art. 48, comma 7, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, convertito nella legge 29 luglio 2021, n. 108).

Relativamente ai contratti pubblici di lavori del PNRR e del PNC, "l'accesso alle risorse finanziarie disponibili per i singoli progetti è condizionato, tra le altre cose, a una rigorosa verifica dei potenziali impatti degli interventi sugli obiettivi ambientali (principio di "non recare danni significativi all'ambiente") prioritari in ambito dell'Unione così come definiti dal Regolamento (UE) 2020/852 (cd. "Regolamento Tassonomia" degli investimenti sostenibili) e richiamati esplicitamente anche nel Regolamento (UE) 2021/241 che istituisce il dispositivo di ripresa e resilienza. La cornice europea in tema di cambiamenti climatici (che riguarda due dei sei macroobiettivi del Regolamento (UE) 2020/852) è poi completata dalla Comunicazione CE (2021) 550 denominata "Fit for 55: delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality".

Come evidenziato dalla commissione incaricata dello studio, si tratta di un approccio nuovo rispetto alla progettazione, la realizzazione e la gestione di un'infrastruttura, che mette al centro la sostenibilità e l'innovazione in tutte le sue principali accezioni, estendendo tale principio ed attenzione anche all'efficientamento dei processi di trasporto e logistica funzionali alle varie fasi del progetto di realizzazione e di manutenzione ordinaria dell'opera, seppur non di diretta competenza della Stazione Appaltante (ma tuttavia qualificanti in termini di impatto sostenibile dell'opera stessa, per un punto di equilibrio tra territorio, imprese, committenza pubblica e istituzioni autorizzative).

La definizione del processo nel prevedere l'anticipazione al PFTE (Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica) dei pareri, nulla-osta ed autorizzazioni delle diverse Amministrazioni coinvolte nell'autorizzazione delle opere permette di concretizzare il più possibile gli elementi caratterizzanti e gli impatti dell'opera, demandando alle fasi successive la sola definizione di aspetti tecnici che non incidono sul contenuto dell'intervento infrastrutturale. Si tratta di entrare nella logica di strumenti agili in grado di garantire i rapporti tra l'infrastruttura e il territorio che potrà basarsi su livelli di conoscenza dell'opera e dei suoi riverberi sempre più approfonditi.

Un'analisi critica di tali Linee Guida evidenzia che per quanto si tratti di strumento di *soft regulation* sempre più avanzati, esistono ancora margini di discrezionalità lasciati alle amministrazioni, in particolare per quanto riguarda la valutazione dei valori dei parametri da considerare e che probabilmente saranno necessari strumenti di rendicontazione in grado di valutare le opere dai diversi punti di vista (ambientali ma anche sociali e di governance) così come sta evolvendo il mondo delle imprese che rispetto ai propri investitori e stakeholder garantisce disclosure e commitment in ottica di comparabilità e ritorno sociale dell'investimento (questi aspetti sono ulteriormente sviluppati nella sezione supporti trasversali di questo capitolo).

7.3 Politiche e incentivi per una mobilità sostenibile

Questa parte del capitolo 7 tratta delle politiche e degli incentivi a sostegno degli interventi esposti nei precedenti Capitoli 5 e 6, con particolare riferimento alla questione della mobilità delle persone e delle merci. Come già sottolineato in precedenza (Capitolo 6), il sistema di trasporto delle persone e delle merci contribuisce al totale delle emissioni GHG, in Italia, per una quota stimata intorno al 25-30%. Il trasporto stradale rappresenta, da solo, il 93% delle emissioni. È pertanto evidente che, stante l'obiettivo dell'azzeramento delle emissioni e gli obiettivi di accessibilità discussi nel Capitolo 2, servono politiche specifiche e incentivi volti a **modificare profondamente le pratiche di trasporto**: sia in ambito urbano sia in quello extra-urbano; sia per le persone che per le merci.

Così come discusso nel Capitolo 6, gli obiettivi strategici o, se si preferisce, i fattori critici di successo per un sistema di trasporto accessibile e sostenibile sono due:

- uno è quello di **ridurre la domanda di veicoli stradali e incentivare l'impiego di mezzi e modi di trasporto sostenibili (anche nel settore aereo e navale)**;
- l'altro è quello di **intervenire sui veicoli (stradali, aerei, treni e navi) per ridurre o possibilmente azzerare le emissioni inquinanti non solo locali ma di tutta la catena produttiva (produzione e trasporto energia)**.

È evidente che entrambe le famiglie di interventi sono sinergiche. Si tratta di scopi funzionali alla sostenibilità, anche se in parte diversi in quanto alle politiche e agli incentivi che ne discendono. D'altra parte, è altrettanto intuitivo riconoscere che, per accelerare la transizione ecologica, lo *shift modale* a favore di modi sostenibili, deve andare di pari passo con la riconversione tecnologica dei mezzi di trasporto, ed entrambe le soluzioni hanno necessità di consistenti investimenti anche in nuove infrastrutture, anche se alcune politiche e incentivi allo *shift modale* possono essere realizzate in tempi relativamente brevi e a costi relativamente limitati.

Cambi significativi nello *shift modale* possono richiedere variazioni nelle scelte della residenza o della localizzazione del lavoro, che richiedono tempi più lunghi. Al riguardo esistono studi (Fulton, Mason & Meroux, 2017) che evidenziano l'elevato potenziale di riduzione delle emissioni di gas serra (oltre ad altri benefici) con politiche di ripianificazione urbana tese a ridurre il traffico, complementate da ulteriori benefici ottenibili con miglioramenti tecnologici dei veicoli, come evidenziato in diverse analisi dell'International Energy Agency (IEA) e del Consiglio Internazionale per il Trasporto Pulito (ICCT).

In aggiunta, è inusuale che la mera sostituzione della motorizzazione del parco veicoli di un'azienda di trasporto pubblico, anche se realizzata con soluzioni tecniche meno inquinanti, possa modificare in termini significativi la (dis)utilità percepita dal cittadino ai fini della propria scelta modale, né tantomeno possa migliorare le prospettive dei ricavi da traffico aziendali e quindi gli investimenti potenziali di sviluppo. Il rischio, in altri termini, è che il servizio di trasporto pubblico resti prigioniero nella trappola del basso prezzo e della bassa qualità in tutti i sensi, abdicando al suo ruolo portante per la riduzione delle emissioni.

La riduzione del traffico veicolare e lo *shift* verso modi di viaggio sostenibili ha il vantaggio di profilarsi come soluzione sistemica (per quanto parziale), capace anche di migliorare l'accessibilità (nel senso descritto nel Capitolo 2).

Il ricorso a veicoli elettrici ed a tecnologie abilitanti la transizione energetica decarbonizzata, consente di complementare questo sviluppo, contribuendo a miglioramenti molto significativi di efficienza energetica e di abbattimento delle emissioni da traffico, nonostante eventuali effetti limitanti l'accessibilità (a meno che i costi operativi inferiori non siano gestiti da politiche specifiche di *road pricing*).

La transizione verso i veicoli elettrici è anche associata ad un incremento della generazione di elettricità,¹³⁸ che resta tuttavia compensata da una riduzione ben più vasta della domanda primaria di combustibili fossili grazie all'efficienza energetica di gran lunga maggiore rispetto ai veicoli a combustione. Gestire la domanda di traffico e la scelta modale può anche contribuire al contenimento dei fabbisogni energetici ed apportare vantaggi significativi per il consumo dei materiali connessi alla produzione dei veicoli, il che favorisce il raggiungimento degli obiettivi di mitigazione globali (IPCC, 2018).

In linea con il significato di politica e di incentivo, la discussione su come stimolare una mobilità sostenibile è articolata rispetto sia all'esigenza di spostare merci e persone sia alla capacità competitiva esercitata dai diversi sistemi di trasporto nel soddisfare suddetta esigenza.

Nelle parti che seguono si fornisce un'analisi critica delle politiche funzionali all'incentivo della mobilità in ambito urbano; cui si aggiunge una disamina dei principali incentivi a contenuto economico finanziario diretto ed indiretto anche sulle lunghe distanze; si identificano gli strumenti per sviluppare nuove forme di trasporto sostenibile delle merci e ci si occupa delle politiche a sostegno della transizione tecnologica verso veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati.

7.3.1 Verso uno “shift modale” nel trasporto passeggeri

Questa sezione discute le misure e gli incentivi mirati a favorire la diminuzione dei viaggi realizzati con l'autovettura privata e nel contempo lo shift modale verso mezzi e modi di trasporto sostenibili. La maggior parte di queste politiche (non tutte) si riferiscono all'ambito urbano, ma hanno effetti positivi anche sui viaggi extraurbani in quanto questi hanno spesso origine e/o destinazione in ambiti urbani.

Le misure possono essere orientate a **modificare l'offerta di trasporto** oppure la **domanda di trasporto**. Le prime mirano a modificare le infrastrutture di trasporto. Rientrano in questa categoria tutti gli interventi descritti nella sezione 6.1.1. ed in parte della sezione 6.1.4 del Capitolo 6. Le misure sulla domanda, oggetto di questa sezione, invece non prevedono modifiche strutturali del sistema di trasporto, ma sono orientate a modificare le modalità con cui la domanda utilizza i sistemi di trasporto. **Rientrano in questa categoria le politiche d'uso del suolo, le politiche economiche, finanziarie e amministrative.**

Dal punto di vista del trasporto terrestre, è importante sottolineare due aspetti:

- 1) Come ben noto, una volta che si è comprata l'autovettura privata, il suo utilizzo rappresenta una forma per recuperare i costi sommersi (Ortúzar et al., 2021). Per promuovere efficacemente lo shift modale **occorre pertanto incidere a monte del processo, disincentivando il possesso dell'auto privata.**
- 2) I soli interventi di miglioramento del trasporto pubblico, della *shared mobility*, della ciclabilità o della micromobilità non sono purtroppo sufficienti a produrre uno shift modale che possa incidere sulla decarbonizzazione. Per agire in maniera efficace, per poter raggiungere il target di shift modale in grado di contribuire alla decarbonizzazione, **occorre combinare politiche di incentivazione per i mezzi di trasporto collettivo e per favorire la mobilità attiva** (cosiddette misure *pull*) **e politiche di restrizione nei confronti dell'auto privata** (cosiddette misure *push*), specie in ambito urbano.

L'acquisto e uso dell'autovettura privata è spesso associata oltre a motivazioni di convenienza intrinseca, anche a valori culturali e psicologici (Moody & Zhao, 2020) e questo richiede una crescente consapevolezza collettiva circa il problema ambientale nella sua totalità. Questa sezione non tratta le misure mirate

¹³⁸ Secondo il Sustainable Development Scenario dell'IEA (IEA, 2020) la domanda di elettricità proveniente dai veicoli elettrici dovrebbe aumentare da 100 TWh nel 2019 a quasi 1000 TWh nel 2030.

a cambiare attitudini o norme comportamentali, o misure di *nudging*¹³⁹ (Thaler & Sustain, 2008), tuttavia, dato il ruolo che questi aspetti hanno nei comportamenti di viaggio¹⁴⁰, si ritiene importante aggiungere raccomandazioni per mirate campagne di sensibilizzazione e di *nudging* alla mobilità sostenibile per incentivare il cambio di "cultura" e per supportare gli interventi infrastrutturali ed economici.

Le persone devono essere messe nella condizione di optare per i servizi pubblici o per la mobilità attiva come scelta di *default*, riservando al veicolo privato il ruolo sussidiario; il che è l'esatto contrario di ciò che avviene, perché ad essere di *default* è l'impiego del veicolo privato. Così come sottolineato da Litman (2021) le persone sceglierebbero di guidare meno la propria auto e di utilizzare modi alternativi di trasporto (tra cui l'andare a piedi e in bicicletta) se gli incentivi di fatto e le decisioni politiche non favorissero proprio le auto stesse.

7.3.1.1 Politiche per la riconversione degli spazi e delle strade

Nonostante il nucleo originale di diverse città italiane sia compatto e storicamente strutturato a misura di mobilità sostenibile, la forte gravitazione di vaste aree verso i centri maggiori ha di fatto incentivato un modello di sviluppo orientato all'uso dell'autovettura privata con aumento del volume di traffico e all'espansione delle aree metropolitane.

Un aspetto non certo marginale di questo problema è la sua correlazione dal lato sociale. I sistemi tradizionali di mobilità fondati sul trasporto privato penalizzano le famiglie meno agiate, obbligate di fatto ad acquistare e mantenere automobili e motocicli per raggiungere le destinazioni partendo da luoghi lontani e poco serviti, se non dalle strade. Il vantaggio di poter acquistare case più economiche in periferia o nei sobborghi è limitato dai costi di acquisto e di esercizio dei motoveicoli privati.

Alla luce di questo quadro, come anticipato nel Capitolo 2, svolgono un ruolo fondamentale le cosiddette **politiche per la prossimità** che mirano a modificare lo sviluppo urbano in modo da rendere le funzioni accessibili entro un tempo inferiore ai 15 minuti (si veda l'Appendice 2). Nello spazio-tempo di 15 minuti si creano inoltre le condizioni che rendono preferibile il camminare, e l'uso delle bici, sia normali sia elettriche, sia quelle cargo o adattate anche per il trasporto di bambini piccoli (vedi Appendice 2).

In generale (IEEE Transactions on Smart Grid, 2020) una buona prassi è quella di destinare ai pedoni metà dello spazio stradale in strade larghe più di 2,5 metri, e di abolire del tutto il traffico dei veicoli nelle strade al di sotto dei 2,5 metri di larghezza. Si tratta di iniziative che permettono di valorizzare il suolo pubblico e quindi recuperare e reinvestire gli aumenti del valore dei terreni (land value capture).

L'espansione della capacità stradale ha eroso la quota di spazio pubblico destinato alle altre modalità ed altri usi (quali per esempio verde pubblico). La riconversione degli spazi correntemente dedicati al traffico veicolare e ai parcheggi offre ulteriore libertà ai pianificatori urbani per ideare installazioni più utili al benessere dei cittadini in una logica di densità edilizia più controllata nel tempo e nello spazio con zone a densità variabile piuttosto che a gestione di emergenze edilizie. Un programma del genere nella città di Rimini prevede, per esempio, di dedicare la strada del *waterfront* all'attività ginnica, come se fosse una palestra a cielo aperto, in armonia con la vocazione dei suoi piani di sviluppo turistico.

A Parigi, dopo aver riallocato parte delle sedi stradali a favore di piste ciclabili in occasione della crisi pandemica, il numero di ciclisti è aumentato considerevolmente (sei su dieci); il che segnala anche un

¹³⁹ Il *nudge* o spinta "gentile" è un concetto delle scienze comportamentali che consiste nel mettere in evidenza aspetti del sistema dei trasporti che indirettamente stimolino o incoraggino comportamenti virtuosi.

¹⁴⁰ Per esempio, una meta-analisi condotta da Armitage and Conner (2001) su 185 studi mostra che la Theory of planned behaviour è in grado di spiegare rispettivamente tra il 27% ed il 39% della varianza del comportamento.

effetto di massa critica. Si tratta di politiche che possono essere implementate in tempi relativamente rapidi e con costi contenuti. In Italia le politiche descritte sopra sono in atto da anni nei centri storici, data la peculiare natura del territorio.

Una prassi diversa ma molto efficace è quella sperimentata a Barcellona: i “Superblock” di Barcellona riorganizzano la città in poligoni di circa 400 m x 400 m. I veicoli a motore possono entrare nel superblocco ma non possono attraversarlo se non entro un limite di velocità di 10 km/h. Tali soluzioni permettono di convertire le strade da un’unica funzione (ad es. dedicate ai veicoli a motore) a spazi che accolgono modalità attive e con funzioni multiple (ad es. ricreative) (Ajuntamento de Barcelona, 2014). I superblocchi sono una “urbanistica a basso costo” (López, Ortega & Pardo, 2020) con il potenziale di trasformare l’ecosistema urbano e portare benefici in termini di salute, sicurezza, sociali e ambientali (ad es. migliore qualità dell’aria, riduzione delle emissioni).

7.3.1.2 Politiche per la multimodalità e il potenziamento dei servizi di trasporto pubblico

Come discusso nel Capitolo 6, il potenziamento (in senso quantitativo e qualitativo) dei servizi pubblici di trasporto in congiunzione con lo sviluppo di reti multimodali è una politica essenziale per emulare la flessibilità del veicolo privato per gli spostamenti sia urbani che extraurbani.

Gli interventi strutturali e funzionali per la multimodalità descritti nel capitolo 6 devono essere supportati attraverso contratti di collaborazione tra gli enti territoriali e i fornitori dei servizi di mobilità collettiva, ma soprattutto attraverso la progettazione/realizzazione di nodi di connessione multimodali (fermate, auto-stazioni, stazioni ferroviarie, ecc.) che consentano il facile interscambio tra modalità e tipologie di trasporto diverse (trasporto urbano e media-lunga percorrenza; di linea e non di linea; sharing, micromobilità), sia attraverso piattaforme digitali di integrazione delle fasi di pianificazione del viaggio, acquisto, tariffazione¹⁴¹.

La qualità dei servizi pubblici di trasporto si gioca infatti sulla puntualità e affidabilità, che oltre alle corsie preferenziali discusse nel Capitolo 6, prevede che le autorità locali monitorino e “contrattualizzino” opportuni e molto stringenti Service Level Agreement (SLA) con le aziende di trasporto a tutela degli utenti (nell’ambito dei contratti di servizio).

Per rinforzare i nessi operativi tra trasporto pubblico e le opzioni di micro-mobilità le politiche e gli incentivi dovrebbero indirizzarsi in particolare a sostenere l’offerta nelle aree in cui il servizio di micro-mobilità fosse poco remunerativo per i fornitori privati. In aggiunta occorre tener conto che una certa sovrabbondanza di offerta va considerata come un dato strutturale per un sistema di trasporto pubblico-condiviso, al fine di renderlo funzionale e competitivo rispetto a quello corrente privato puro *sempre* disponibile.

7.3.1.3 Politiche amministrative

Le misure amministrative consistono in interventi di limitazione e/o interdizione, totale o parziale, del traffico veicolare. Esempio tipico sono le Zone a Traffico Limitato (ZTL) e le aree o percorsi pedonali, molto diffuse nelle città italiane. Il problema, tuttavia, è che si tratta di aree ridotte, pertanto attualmente non in grado di incidere sulla riduzione dei livelli di inquinamento. Si tratta tuttavia di misure utili anche in relazione all’uso del suolo come descritto precedentemente; pertanto, vanno adottate in integrazione con le altre misure discusse in questo capitolo.

¹⁴¹ L’integrazione tariffaria può essere supportata da politiche sul modello dell’Oyster Card a Londra che consentono di pagare il minimo tariffario in funzione dell’uso dei mezzi e l’utilizzo di un unico titolo di viaggio su tutti i sistemi di trasporto indipendentemente dal sistema o dal gestore.

Tra le misure amministrative è di particolare interesse sottolineare l'opportunità, soprattutto nel caso di aziende dislocate in aree mal servite dal trasporto collettivo, di elaborare **politiche di sostegno alla pattuizione di accordi aziendali e normative** quali ordinanze per la flessibilità del tempo di lavoro comprendenti normalmente disposizioni come:

- **orari variabili e arrivo distribuiti nel tempo** per diversi gruppi di lavoratori (dove i dipendenti pre-selezionano i loro orari di lavoro all'interno di intervalli imposti) in modo da alleggerire i periodi di punta; settimana lavorativa di quattro giorni in modo da ridurre anche il numero di tragitti casa-lavoro) e dispersione degli orari, cioè orari di arrivo distribuiti nel tempo per diversi gruppi di lavoratori.
- **costituzione di associazioni di trasporto**, cioè di gruppi formati sul luogo di lavoro per iniziativa del datore di lavoro, il cui obiettivo è quello di rispondere congiuntamente ai problemi locali di trasporto e mobilità.
- **ordinanze di riduzione degli spostamenti**: queste fanno riferimento a un meccanismo legale che impone alle imprese (e talvolta agli agenti immobiliari) l'introduzione di programmi di riduzione degli spostamenti in determinati luoghi di lavoro o in zone d'affari, residenziali e commerciali in corso di edificazione.

Di interesse al riguardo il rafforzamento del ruolo e delle competenze tecniche del Mobility Manager, la cui figura nasce in Italia con il Decreto Ministeriale del 27 marzo 1998. Fino al 2019 la legge prevedeva l'obbligo di identificare un Mobility Manager negli enti pubblici con più di 300 dipendenti e nelle aziende con almeno 800 unità di personale, ma solo in alcuni comuni identificati come a rischio inquinamento atmosferico. Con il recente Decreto Rilancio¹⁴² la sua adozione obbligatoria è stata estesa a tutte le società con 100 o più dipendenti localizzati in comuni, capoluoghi di provincia, regioni e città metropolitane con popolazione superiore a 50 mila abitanti.

I risultati di innumerevoli ricerche confermano che, se applicati ad una scala sufficientemente importante, queste misure possono ottenere un certo impatto e abbastanza diretto sugli spostamenti-auto. Su questo aspetto delle politiche, potrebbe anche essere molto opportuno integrare misure relative all'utilizzo dell'auto privata da parte dei dipendenti di un'impresa nei programmi di sostenibilità ambientale, sociale e di *governance* (ESG). Il che potrebbe anche essere riconosciuto sotto forma di "punti in più" nelle gare di appalto pubblico.

7.3.1.4 Politiche a favore di sistemi di mobilità condivisa

All'interno di questa categoria rientrano gli interventi intrapresi per incentivare il passaggio dall'uso singolo dell'auto a favore di forme di mobilità condivisa, (car sharing, car pooling, ride sharing, peer to peer, auto a noleggio, bike sharing, e-scooter sharing etc.), una maggiore predilezione di servizi di shared mobility capaci di abbattere le emissioni per unità di servizio svolto, ed alla loro integrazione con i servizi di trasporto pubblico di alta capacità. Questo aspetto è particolarmente importante nel caso dei veicoli a guida autonoma.

La letteratura di settore è concorde, infatti, nel ritenere che i benefici dell'automazione (in termini di congestione, utilizzo della capacità stradale etc.) sono strettamente legati all'uso condiviso dei veicoli autonomi (Fagnant & Kockelman, 2015; Narayanan et al., 2020; Alcorn & Kockelman, 2021). Benefici sull'ambiente richiedono ovviamente anche l'utilizzo di veicoli autonomi elettrici ed energia decarbonizzata (Mounce and Nelson, 2019).

¹⁴² Decreto del Ministero Transizione ecologica _ Piano Spostamenti Casa Lavoro e Mobility Manager (n. 179 del 12/5/2021, GU n.124 del 26/5 2021) emanato di concerto con il Ministro delle infrastrutture e della mobilità sostenibili.

L'uso condiviso dei vari mezzi di trasporto sta aumentando rapidamente a livello internazionale. Per esempio l'Europa rappresenta il secondo mercato al mondo per car sharing con oltre il 20% di tutte le sottoscrizioni mondiali (Shaheen & Cohen, 2020), anche se alcuni studi condotti in Germania non hanno riscontrato un effetto del car sharing sul possesso dell'autovettura privata (Kolleck, 2021), e altri studi hanno anche riscontrato una riduzione statisticamente significativa nell'uso del trasporto pubblico come conseguenza dell'uso di car sharing (Martin & Shaheen, 2011; Tyndall, 2019). Per contro uno studio condotto in Svizzera (Becker et al, 2017a,b) mostra invece una complementarità con un effetto positivo del car sharing nel promuovere stili di vita orientati al trasporto pubblico.

I principali tipi di intervento a sostegno del car sharing sono la realizzazione di corsie riservate ai veicoli ad alto tasso di occupazione, accesso gratuito a parcheggi e ZTL o anche alle corsie preferenziali per il trasporto pubblico su gomma. Tuttavia, visti i risultati degli studi sulla domanda, discussi precedentemente, l'uso di questi incentivi può avere effetti controproducenti. Le forme di bike e e-scooter sharing invece non presentano effetti negativi se accoppiate con veicoli capaci di avere una vita utile sufficientemente lunga, servizi operazionali adeguati ed una effettiva capacità di ridurre l'uso dell'auto privata. In questi casi, bike e e-scooter sharing possono e devono essere incentivate fortemente con misure sia amministrative che economiche soprattutto (ma non solo) come soluzioni di last miles.

I sistemi di mobilità condivisa sono gestiti prevalentemente da società private, ma diversi organismi concorrono alla realizzazione e alla gestione delle infrastrutture che consentono una migliore ripartizione della mobilità. Nella maggior parte dei casi il servizio responsabile della viabilità predispose operazioni di pianificazione, progettazione e costruzione opere.

7.3.1.5 Misure economiche e finanziarie¹⁴³

Questa tipologia di misure nasce dalla constatazione che il costo del trasporto privato¹⁴⁴ sopportato dagli automobilisti non riflette il costo reale d'uso in quanto un certo numero di costi esterni sono indistintamente sopportati da tutta la collettività. Le misure economiche e finanziarie possono ricondursi a due categorie:

- Misure che presuppongono il **pagamento di una certa somma** da parte degli utilizzatori di una determinata infrastruttura o veicolo, quali la tariffazione del traffico (*Road Pricing*, infra), della sosta e le tasse sull'acquisto e sul possesso del veicolo.
- Misure che presuppongono **incentivi aventi un carattere economico**, quali abbonamenti sovvenzionati del trasporto pubblico, incentivi alla costituzione di gruppi che utilizzino sistemi di trasporto ad elevato coefficiente di occupazione, sovvenzioni al car pooling o all'uso di minibus, rimborsi sulla sosta e incentivi economici indiretti.

Le misure economiche-finanziarie possono avere carattere temporaneo, al fine di incoraggiare l'utente a servirsi per la prima volta di un altro modo di trasporto, o permanente, al fine di modificare continuamente i costi relativi a modi di trasporto alternativi all'automobile. Le misure economiche possono essere proposte dalle imprese o dagli enti titolari dei servizi di trasporto e delle politiche tariffarie. I migliori risultati, in termini di riduzione degli spostamenti e *shift* verso mobilità sostenibile, sono stati ottenuti dove i programmi di intervento di carattere economico e finanziario sono stati accompagnati da altre misure complementari, soprattutto miglioramenti nei sistemi di trasporto collettivo.

¹⁴³ Basato sullo studio "Definizione di linee guida per la gestione del traffico urbano finalizzata alla prevenzione dell'inquinamento acustico e atmosferico" condotto per conto del Ministero dell'Ambiente (Cherchi e Meloni (2002).

¹⁴⁴ Costi di congestione, costi ambientali dovuti prevalentemente all'inquinamento atmosferico e acustico e costi non coperti da infrastrutture imputabili prevalentemente ai trasporti pubblici.

Per esempio alcuni studi realizzati negli Stati Uniti hanno permesso di concludere che le sovvenzioni al car pooling ed i "canoni" di sosta costituiscono i fattori essenziali per l'efficacia dei programmi di gestione della domanda di trasporto. Gli studi mostrano che gli incentivi "positivi" possono essere tanto efficaci quanto i contributi o "canoni", che sono percepiti negativamente come delle penalità. Laddove gli interventi economici coinvolgono imprese, datori di lavoro, etc., occorre una forte promozione da parte degli interessati e il contemporaneo sostegno delle imprese ed una corretta e continua pubblicizzazione del programma a tutti i dipendenti.

Una questione, spesso sollevata relativamente all'introduzione delle misure economiche e finanziarie, è l'equità rispetto alle categorie che non percepiscono la sovvenzione. Problema che riguarda tanto le imprese private quanto quelle pubbliche. Per esempio, quello che a Londra un tempo si chiamava *Greater London Council* aveva avviato un importante cambiamento di politica con una riduzione molto marcata delle tariffe della metropolitana e dell'autobus. L'iniziativa si era dimostrata molto difficile da finanziare e aveva indotto delle discriminazioni tra i diversi distretti della regione urbana di Londra, tanto che un intervento legale ne ha causato la fine. In questo esempio oltre al problema dell'equità emerge anche il problema legato alla valutazione degli effetti dell'intervento che, purtroppo aveva influito sulle proporzioni d'uso fra trasporto collettivo e bicicletta piuttosto che fra trasporto collettivo e automobile.

Il Road pricing

Il Road Pricing è un pedaggio richiesto all'utente come forma di risarcimento per i costi sopportati da tutti gli automobilisti, in ragione del ritardo supplementare provocato dal suo ingresso nel flusso di traffico. In termini più strettamente economici l'imposizione di un pedaggio trova una sua giustificazione nella perdita di benessere sociale dovuta alla non percezione, da parte dell'utente, dei costi di congestione.

I costi possono essere recuperati attraverso l'imposizione di una imposta, definita appunto *Road User Tax* o *Congestion Tax*, o più comunemente *Road Pricing*, pari (o il più vicino possibile) alla differenza tra il costo marginale (sociale) dello spostamento ed il costo medio (privato) percepito da ogni singolo utente (Jara-Díaz, 2007). Questo tipo di intervento trova applicazione in **ambito extraurbano**, in forma di pedaggi autostradali o in punti specifici (ponte, tunnel o singolo tratto di strada) per la copertura di costi di gestione dell'infrastruttura e in **ambito urbano**, in forma di pedaggi all'ingresso della città o pedaggi di traffico per l'ingresso in una particolare zona, ai fini della internalizzazione dei costi, specie quelli ambientali, altrimenti ricadenti in modo identico su tutta la collettività.

Nelle applicazioni in ambito urbano, il Road Pricing ha anche una funzione dissuasiva nei confronti dell'uso del mezzo privato ed aspira a rendere efficiente il sistema di trasporto stradale mediante una riduzione del numero di auto private circolanti e quindi della congestione nelle aree interessate dal provvedimento, con conseguente beneficio per i modi di trasporto alternativi all'auto propria, in termini di diminuzione del tempo di spostamento (mezzi pubblici), di sicurezza, di qualità ambientale (pedoni e ciclisti) e abbattimento delle emissioni. Questo beneficio, tuttavia, diventerà meno rilevante con l'ampliamento della quota di mercato di veicoli elettrici.

L'ultimo obiettivo, ma solo in ordine temporale è la raccolta di fondi che le amministrazioni pubbliche, peraltro sempre con limitati finanziamenti, possono destinare a interventi di diverso tipo. La scelta della destinazione dei fondi ha un impatto sul livello di accettazione della misura da parte dell'utenza.

I risultati delle esperienze di road pricing, peraltro non molto numerose (Singapore, Oslo, Trondheim, Durham, Londra, Stoccolma, Milano, Gothenburg, Valletta e New York), consentono di essere ottimisti in quanto a riduzione dei flussi. Circa la reale efficacia dell'intervento esistono tuttavia ancora posizioni molto discordanti. In generale il road pricing è caratterizzato da bassi costi di predisposizione ed ammi-

nistrazione e da alti proventi, sul cui impiego tuttavia sorgono numerosi problemi. I costi variano evidentemente a seconda dei sistemi adottati ma richiedono spesso ricorso a sistemi complessi come quelli elettronici di riconoscimento dei veicoli.

Il road pricing è anche rilevante per la gestione del rischio di una riduzione del gettito fiscale legato alla vendita di combustibili fossili, sia nel caso di transizione verso il trasporto pubblico sia in caso di transizione tecnologica (per esempio mobilità elettrica).

La tariffazione della sosta

La tariffazione della sosta è lo strumento attraverso il quale ai veicoli in sosta viene fatta pagare una certa quota per l'occupazione del suolo pubblico, in funzione naturalmente della quantità di suolo occupato e del tempo di occupazione. Poiché ogni auto deve essere virtualmente parcheggiata alla fine di ogni spostamento, si comprende la grande potenzialità che le politiche di tariffazione della sosta, e più in generale di gestione, hanno come strumento di regolazione dei flussi di traffico e della mobilità urbana.

Esistono svariate tipologie di tariffazione della sosta, dalla più semplice e diffusa (soprattutto in Italia) **quale la tariffa (quasi fissa)** per i parcheggi lungo la sede stradale, a forme più avanzate quali il **park pricing**, cioè una differenziazione delle tariffe di parcheggio per aree cittadine e/o per fasce orarie o anche in funzione della domanda.

Le diverse forme di tariffazione devono essere supportate da un'accurata stima dell'elasticità della domanda, ovvero della reazione dell'utenza (in termini di disponibilità a modificare percorsi, orari o modi di spostamento) rispetto alla variazione delle tariffe e dei costi dei servizi alternativi offerti. Tuttavia, è importante sottolineare che la diversa tipologia di interventi, nelle sue diverse forme, non dovrebbe riguardare l'aspetto economico legato alla riscossione del pagamento, quanto piuttosto la possibilità di regolamentare la domanda mediante l'applicazione di una adeguata struttura tariffaria.

Alla luce di queste considerazioni, gli obiettivi che possono e devono essere perseguiti sono:

- i) **l'internalizzazione dei costi esterni del trasporto**, che consente di far pagare all'utente parte del costo ambientale, sociale e di uso del suolo del proprio spostamento, altrimenti interamente sostenuto dalla collettività;
- ii) **la regolamentazione della domanda** riducendo il numero di utenti che utilizzano l'auto a favore di modi di trasporto diversi dall'auto;
- iii) **la riduzione della congestione nei centri storici e nelle zone limitrofe**, liberando le aree ad elevato valore artistico ed architettonico dalle auto in sosta.

Troppo spesso, purtroppo, questo tipo di tassa viene imposta dalle giurisdizioni locali con il solo obiettivo di ricavare introiti fiscali, limitando, e talvolta persino vanificando, gli effetti stessi degli interventi.

Una corretta applicazione, invece, dovrebbe mirare a obiettivi più qualificanti destinando gli introiti ricavati ad iniziative di miglioramento delle condizioni di circolazione e ambientali delle aree interessate dall'intervento.

Affinchè l'intervento sia applicato in modo corretto occorre che il provvedimento sia inserito in un programma più ampio di politica urbana ambientale, in cui l'individuazione delle aree di sosta a pagamento e il relativo costo siano definiti tenendo in considerazione:

- i) tipi di mobilità su cui si vuole maggiormente incidere (per lavoro nelle ore di punta, shopping durante tutta la giornata, affari personali, etc.);
- ii) specifiche esigenze di sosta e la loro incidenza sulla collettività, al fine di applicare una tariffazione adeguata e flessibile;

- iii) potenziamento di altre forme di viaggio (trasporto pubblico, Park and Ride, etc.) per evitare che l'utente si abitui alle nuove tariffe, ritenendo insostituibile la propria auto;
- iv) definizione di una chiara politica di utilizzo degli introiti in interventi connessi strettamente legati al miglioramento della qualità della mobilità e dell'ambiente in genere;
- v) efficacia dei sistemi di distribuzione, con riferimento alle tessere prepagate o agli abbonamenti, individuando forme di incentivazione per gli esercenti chiamati a collaborare;
- vi) adozione di un sistema di tariffazione elastico, per le soste al di sotto dei 10-15 minuti.

Uno studio recente condotto a Copenaghen (Cherchi, 2017) ha mostrato l'efficacia della regolamentazione della sosta (combinazioni di interventi quali disponibilità parcheggi, distanza dei parcheggi dalla destinazione, tariffa) anche come incentivo per l'acquisto e uso di veicoli elettrici invece dei veicoli a combustione interna.

Un aspetto chiave per l'efficacia dell'intervento di tariffazione della sosta è rappresentato dal controllo della corretta applicazione delle misure e, in particolare, il controllo dell'evasione o l'efficacia dell'attività di vigilanza della sosta nelle zone prossime all'area regolata. Ciò permette di non lasciare agli utenti alternative più appetibili di sosta gratuita.

Misure fiscali sull'acquisto, possesso e uso dei veicoli

Le misure fiscali sul possesso del veicolo in genere esprimono il pagamento di un diritto di accesso alle infrastrutture. In Italia queste sono determinate sulla base della potenza effettiva misurata in KW, e rappresentano una tassa di registrazione, piuttosto che un'imposta legata all'effettivo uso del veicolo. Queste misure incidono sulla decisione relativa all'acquisto del veicolo e, indirettamente, dovrebbero incidere sulle scelte di viaggio.

Tuttavia, possono anche risultare controproducenti, in quanto, come già visto, è dimostrato che una volta acquistata l'autovettura (qualunque sia la sua alimentazione), l'utente tende ad incrementare il suo uso per cercare di ammortizzare le spese fisse già sostenute (acquisto e possesso).

Fanno eccezione a questo discorso le misure fiscali sui carburanti, che mirano a far pagare in funzione del consumo, anche se, molto spesso, l'utente ritiene la spesa per il carburante necessaria e una esazione "dovuta" e non è a conoscenza della quota di spesa relativa al reale costo del carburante e della quota correlata alle sanzioni fiscali.

Le analisi delle esperienze effettuate in numerosi paesi hanno dimostrato la forte correlazione esistente fra consumi di carburante e prezzo e pertanto possono favorire la diffusione di veicoli a basso consumo (veicoli elettrici). Le misure a sostegno dei veicoli elettrici sono trattate nella sezione 7.4.4.

Incentivi economici all'uso di sistemi alternativi all'auto privata

Sono riconducibili a questa categoria una serie di interventi attivabili attraverso la corresponsione di sovvenzioni in denaro o altri incentivi economici, che non consistono in un pagamento diretto ma che hanno comunque un valore monetario misurabile, e di norma si presentano sotto forma di trattamenti preferenziali.

Un ulteriore obiettivo che andrebbe perseguito di pari passo con la riduzione dei costi è quello di rendere consapevole l'utente della possibilità che gli viene offerta di risparmiare sui costi di trasporto (le spese sostenute per gli spostamenti in auto, in particolare in modalità solo guidatore, costituiscono, infatti, per l'utente un costo "metabolizzato" rispetto al quale ogni automobilista assume un atteggiamento

“passivo”, conferendogli una connotazione di ineluttabilità). Occorre invece fornire all’utente un sistema di trasporto a costi vantaggiosi e anche di qualità. In questa categoria rientrano differenti tipologie di incentivi economici:

- I) **sistemi di abbonamento in linea con il concetto di MaaS (Mobility as a Service) in cui il titolo di trasporto sia utilizzabile su più (o tutte le) linee di trasporto pubblico** ma più importante anche su tutti i modi di spostamento connessi in un sistema integrato e intermodale con il sistema di trasporto collettivo, con tariffazione ridotta rispetto alla tariffa giornaliera media;
- II) **indennità di trasporto in forma di pagamenti regolari, periodici, di una certa somma** destinata a compensare i costi di spostamento per recarsi a lavoro. Si tratta spesso di incentivi legati a dei “canoni” di sosta: i datori di lavoro garantiscono ai propri dipendenti un posteggio, facendo pagare la sosta oppure offrendo loro un “buono” di trasporto, uguale al valore del posto-auto;
- III) **sovvenzioni per l’impiego di minibus** (massimo 15 passeggeri) in genere messi a disposizione dalle imprese per spostamenti casa-lavoro, in modo da disincentivare l’uso dell’autovettura privata;
- IV) **ulteriori modalità di applicazione degli incentivi** quali: messa a disposizione di veicoli aziendali per il *car pooling*; gratuità (o riduzione sulle spese) del carburante, della manutenzione e delle riparazioni dei veicoli utilizzati collettivamente; concessione di ferie supplementari per coloro che si servono dei modi alternativi di trasporto per gli spostamenti casa-lavoro; condivisione di biciclette; assicurazione di gratuità (o una riduzione sulla spesa d’acquisto) di accessori come scarpe da ginnastica, caschi per ciclisti, etc.

Un recente esempio di incentivi all’uso di sistemi alternativi all’auto privata è rappresentato dal *Clean Miles Standard and Incentive Program* in fase di realizzazione in California, che prevede incentivi a supporto del *car pooling*, e di tutti modi di trasporto sostenibili (ciclabilità, scooter condivisi e pedonalità) in connessione con il trasporto pubblico per servire il last-mile. Il programma include incentivi per garantire equità nel trasporto (accessibili a tutti) e prevede l’integrazione nel sistema dei veicoli a guida autonoma.

La responsabilità dell’applicazione di questa ampia tipologia di interventi ricade generalmente sulle imprese private o pubbliche, anche se spesso ciò può avvenire di concerto con le amministrazioni locali o nazionali ed anche con le società che gestiscono il servizio di trasporto collettivo nelle aree in questione. Una valutazione (realizzata per conto del Ministero dei Trasporti degli Stati Uniti) di più di 20 programmi di gestione della domanda avviati dalle imprese private suggerisce che gli incentivi economici per favorire l’uso di modi alternativi hanno un’efficacia valutabile in una riduzione degli spostamenti in auto compresa tra l’8 e il 18%.

7.3.2 Rendere più sostenibile il trasporto delle merci

La mobilità delle merci è una componente essenziale del mercato interno dell’Unione Europea ed è di fondamentale importanza per salvaguardare la competitività dell’industria e dei servizi europei. Tale componente ha un impatto significativo sulla crescita economica e sulla creazione di posti di lavoro. Negli ultimi anni, il volume di trasporto interno delle merci nell’UE (su strada, rotaia e per vie navigabili interne) si è stabilizzato a circa 2300 miliardi di tonnellate-chilometro all’anno, di cui il trasporto su strada rappresenta approssimativamente il 75 % del totale.

Poiché i trasporti hanno anche un impatto negativo sull’ambiente e sulla qualità della vita dei cittadini e sono causa di circa un terzo del consumo energetico e delle emissioni totali di CO₂ nell’UE, la promozione di modalità di trasporto efficienti e sostenibili, come il trasporto su rotaia o per vie navigabili interne, piuttosto che su strada, o in prossimità delle consegne in città, è fondamentale per essere meno dipendenti

dall'importazione di petrolio e per ridurre l'inquinamento. Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente, le emissioni di CO₂ provenienti dal trasporto ferroviario sono 3,5 volte inferiori, per tonnellata-chilometro, a quelle prodotte dal trasporto su strada. Modalità di trasporto più sostenibili favorirebbero non solo la diminuzione dei costi associati alla congestione stradale (destinati ad aumentare) ma, secondo le stime attuali, una diminuzione di circa il 50 % entro il 2050, raggiungendo circa 200 miliardi di euro all'anno, ma anche una significativa riduzione del numero di vittime legate ai trasporti.

La promozione di metodi di trasporto più efficienti e sostenibili, in particolare del trasporto merci su rotaia, ha un ruolo chiave nella politica dell'UE. Se già nel 1992, la Commissione Europea definiva come obiettivo principale il riequilibrio tra diverse modalità di trasporto per rivitalizzare il settore ferroviario, l'obiettivo attuale è quello di trasferire, entro il 2030, il 30 % del trasporto merci su strada, su percorrenze superiori a 300 km, verso altri modi di trasporto, quali la ferrovia o le vie navigabili, e di trasferirne più del 50 % entro il 2050.

Gli obiettivi della politica dell'UE che promuovono il trasferimento del trasporto delle merci dall'infrastruttura stradale all'infrastruttura ferroviaria sono stati tradotti in una serie di misure legislative volte principalmente a liberalizzare il mercato e ad assicurarne un accesso non discriminatorio promuovendo l'interoperabilità e la sicurezza.

In questa sezione vengono pertanto affrontate le strategie indicate dalla Comunità Europea nel suo piano strategico per una mobilità sostenibile e intelligente e le principali *policy* da adottare per la promozione del trasporto merci ferroviario con riferimento ai sussidi in chiave intermodale e il tema del trasporto delle merci in città.

7.3.2.1 Linee guida per la razionalizzazione dei sussidi in chiave intermodale

Il Green Deal europeo richiede che una parte sostanziale del 75 % dei trasporti interni di merci che oggi avviene su strada sia trasferita alle ferrovie e alle vie navigabili interne. In tale senso anche il trasporto marittimo a corto raggio e veicoli a emissioni zero efficienti possono contribuire a rendere più ecologico il trasporto di merci in Europa. Di fronte agli scarsi progressi compiuti finora (la quota modale delle ferrovie nel trasporto interno di merci è scesa al 17,9 % nel 2018 rispetto al 18,3 % del 2011) è necessario intervenire con urgenza.

Per sostenere l'ecologizzazione delle operazioni di trasporto di merci in Europa, l'attuale **quadro per il trasporto intermodale necessita di una sostanziale riforma** e deve essere trasformato in uno strumento efficace che, accanto alla revisione della direttiva sui trasporti combinati, sia in grado di introdurre incentivi economici sia per le operazioni che per le infrastrutture. I meccanismi di incentivazione dovrebbero basarsi su un monitoraggio imparziale delle prestazioni, secondo un quadro europeo atto a misurare le emissioni dei trasporti e della logistica". La logistica multimodale deve essere parte integrante della trasformazione sia all'interno che all'esterno delle aree urbane.

Se la crescita dell'e-commerce ha modificato notevolmente i modelli di consumo, occorre anche considerare i costi esterni di milioni di consegne, tra cui la riduzione delle corse a vuoto o non necessarie. La pianificazione di una mobilità urbana sostenibile, attraverso appositi piani di logistica urbana sostenibile, deve includere necessariamente anche la dimensione delle merci. I piani dovranno accelerare la diffusione delle soluzioni a emissioni zero già disponibili, come bici da trasporto, consegne automatizzate e droni (aeromobili senza equipaggio), accanto a un migliore utilizzo delle vie navigabili interne nelle città.

Nell'ambito dell'integrazione dei corridoi della rete TEN-T di trasporto europeo e della revisione dei regolamenti, la Commissione Europea suggerisce di agire puntando su "azioni con risultato immediato"

come la lunghezza dei treni, migliori regole operative unitamente al completamento dei principali collegamenti mancanti e all'adeguamento della rete centrale in modo da renderla pienamente idonea al trasporto delle merci, rafforzando la dimensione infrastrutturale delle azioni volte alla promozione del trasporto intermodale.

Nell'affrontare i temi dell'incentivazione all'autotrasporto in chiave intermodale, in relazione a quanto già descritto nel Capitolo 2, la scelta della modalità di trasporto è determinata dal prezzo, in considerazione del fatto che i costi di produzione della ferrovia crescono più di quelli della strada, con effetti sullo *shift modale*.

L'analisi dei potenziali ostacoli allo *shift modale* non può quindi prescindere da un approfondimento sulla struttura dei costi e sulle esternalità prodotte dalle varie modalità di trasporto tenendo conto che il settore stradale, favorito da agevolazioni fiscali, da un prezzo basso del gasolio, da minore regolamentazione del mercato del lavoro, ha nel corso del tempo, mantenuto prezzi praticamente stabili.

7.3.2.2 Struttura dei costi ed esternalità

Sulla base di uno studio PWC¹⁴⁵, pubblicato dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti nel 2016, i risparmi realizzati grazie ai trasporti effettuati dalle imprese ferroviarie merci in Italia sono stati quantificabili in 680 milioni di euro in un anno. Il trasporto ferroviario rispetto alla modalità stradale consente di risparmiare 34,97 euro di costi esterni ogni 1000 tonnellate-chilometro di merce trasportata. Di seguito un rapido confronto dei costi e dei sussidi all'autotrasporto con una proposta di possibili misure di intervento.

Costi del trasporto ferroviario: gli operatori ferroviari nel corso del tempo si sono dovuti confrontare con continui aumenti dei costi di produzione, che sono stati ribaltati sui clienti finali facendo crescere lo svantaggio competitivo rispetto alla strada. Alcuni esempi di cui tener conto riguardano: i) **Il materiale rotabile;** i costi di servizio e manutenzione di locomotive e carri è salito continuamente negli ultimi anni a causa dei costi crescenti dei materiali e della manodopera e a seguito di nuove normative sulla riduzione del rumore o sulla sicurezza (installazione di nuovi dispositivi come l'ETCS¹⁴⁶, solo in parte compensati da specifici finanziamenti pubblici; ii) **le tariffe di accesso alla rete;** il trasporto ferroviario si fa carico dei costi di gestione dell'infrastruttura pagando il pedaggio lungo l'intera tratta e le soste superiori ai 60 min., rispetto al trasporto stradale che può contare su un'ampia rete stradale e aree sosta gratuite.

Costi dell'autotrasporto. Il Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, con decreto direttoriale n. 206 del 27 novembre 2020, ha pubblicato i valori indicativi di riferimento dei costi di esercizio dell'autotrasporto merci conto terzi, dai quali emerge un costo-km unitario compreso tra 1,353 e 2,494 euro per veicoli con una massa complessiva oltre 26 tonnellate¹⁴⁷.

Ricognizione degli incentivi fiscali per l'autotrasporto. I sussidi all'autotrasporto rischiano di neutralizzare eventuali forme di incentivazione del trasporto ferroviario. A titolo esemplificativo di seguito vengono riportate le principali misure previste:

- Riduzione compensata dei pedaggi autostradali, calcolata in ragione dei diversi scaglioni di fatturato globale annuo, sulla base della classe ecologica (Euro) del veicolo (percentuale di riduzione per il 2021: max 13%, delibera n. 4 del 10/6/ 2021).

¹⁴⁵ Fonte: Elaborazioni basate su Update of the Handbook on External Cost of Transport, Report for the European Commission: DGMOVE, Ricardo-AEA/R/ ED57769 Issue Number 1, 8th January 2014

¹⁴⁶ European Train Control System

¹⁴⁷ Stima effettuata sulla base di una percorrenza media annuale di 100.000 km.

- Incentivi per l'acquisto di autoveicoli di nuova generazione.
- Esonero dell'80% della contribuzione previdenziale (ad eccezione dei premi Inail) per i conducenti dei veicoli dotati di tachigrafo digitale che effettuano trasporti internazionali per almeno 100 giorni all'anno fino al 2018.
- Deduzione forfetaria di spese non documentate (dal 2016) spetta: I) in un'unica misura per i trasporti effettuati personalmente dall'imprenditore oltre il territorio del Comune in cui ha sede l'impresa (48,00 euro per ogni giorno di effettuazione del trasporto nel 2020); II) nella misura del 35% del predetto importo per i trasporti effettuati all'interno del Comune in cui ha sede l'impresa.
- Rimborso accise sul gasolio impiegato come carburante per l'autotrasporto merci ed altre categorie di trasporto passeggeri, inserito nel catalogo dei sussidi dannosi per l'ambiente dal Ministero dell'Ambiente.

A tutto si aggiunga anche il beneficio indirettamente percepito dal settore in corrispondenza del contributo marebonus erogato alle compagnie di navigazione e da queste trasferito agli autotrasportatori (infra), che possono usufruire di un pricing assolutamente competitivo e fuori mercato per i lunghi collegamenti nord-sud/isole, una volta indiscusso punto di forza della modalità ferroviaria.

7.3.2.3 Leve di intervento

Sulla base di quanto sopra descritto e dell'obiettivo di muovere il trasporto merci verso forme sempre più ecologiche vengono elencati alcuni interventi sulla struttura di mercato, per la semplificazione normativa, finalizzati alla razionalizzazione dei trasporti e allo sviluppo dell'innovazione nonché interventi fiscali e a supporto del mercato del lavoro.

Interventi sulla struttura di mercato anche in chiave intermodale.

- Ridurre le differenze normative e di pedaggio tra il trasporto su gomma e quello su ferro a livello europeo e nazionale, tenendo tuttavia conto del diverso criterio di pricing delle due infrastrutture
- Determinare l'ability to pay tenendo conto della competizione intermodale e quindi anche del pedaggio pagato nel trasporto su strada e della presenza di eventuali riduzioni o sconti quantità.
- Neutralizzare il costo della sosta di locomotive e carri inutilizzati nel trasporto ferroviario al pari del trasporto su strada (ove i camion nei periodi in cui non sono utilizzati possono essere parcheggiati gratuitamente quasi ovunque),
- Promuovere una differenziazione tariffaria per gli invii di materiale vuoto, sia per una evidente minore ability to pay sia per una minore usura dell'infrastruttura dovuta all'assenza del carico.
- Predisporre contributi a fondo perduto per l'acquisto di una flotta di carri RoLa, al fine di incentivare lo shift modale e rendere competitivo, in una logica di completa intermodalità ferro-gomma, il trasporto di semirimorchi su ferrovia.

Interventi per la semplificazione normativa

- Introdurre semplificazioni procedurali e riduzione dei tempi di stoccaggio all'interno dei porti italiani, per intercettare i traffici diretti nei porti del Mare del Nord.
- Applicare il divieto di gold plating, ossia il divieto di introduzione o di mantenimento di livelli di regolazione superiori a quelli minimi richiesti dalle direttive comunitarie o nel caso i benefici della regolazione siano inferiori ai suoi costi.

- Applicare i vantaggi delle Zone Economiche Speciali attorno ai principali impianti ferroviari del Sud, per attrarre la localizzazione di imprese che intendono avvalersi del trasporto su ferro, beneficiando delle opportunità consentite.

Interventi normativi finalizzati alla razionalizzazione dei trasporti

- Prevedere nella normativa urbanistica vincoli tesi a favorire la localizzazione delle aree produttive in prossimità di raccordi ferroviari in una logica di Transit-oriented development.
- Privilegiare il trasporto ferroviario per i corridoi doganali, in quanto il trasporto a guida vincolata offre standard di sicurezza più elevati.
- Semplificare e digitalizzare il settore dei rifiuti al fine di migliorarne la tracciabilità sia in ambito nazionale che internazionale.
- Nella pianificazione dei cosiddetti "distretti circolari", dedicati al recupero di materie prime seconde, sarebbe opportuno prevedere che i vari siti del distretto siano raccordati alla rete ferroviaria nazionale e possano fornire forme di aggregazione tali da poter concentrare i volumi e rendere competitivo il trasporto ferroviario. Laddove i volumi non fossero sufficienti sarebbero necessari specifici contributi a copertura degli extra-costi per il meno remunerativo trasporto di gruppi di carri.
- Sviluppare forme di incentivazione positiva o negativa (permessi o divieti) per il trasporto di merci pericolose su ferro oppure per distanze superiori a certe soglie.
- Fissare dei target di trasporto su ferro per i porti connessi alla rete nazionale, ai quali legare l'erogazione di finanziamenti alle Autorità di Sistema Portuale.

Interventi per l'innovazione

Favorire la digitalizzazione¹⁴⁸ può far superare alcune inefficienze dovute alla frammentazione del trasporto merci ferroviario europeo sia a livello verticale (gestori dell'infrastruttura e imprese ferroviarie) che orizzontale con un numero crescente di imprese ferroviarie in competizione per la fornitura di servizi di trasporto merci, con la conseguenza di ridurre i margini e la capacità di investire in innovazione.

La digitalizzazione, infatti, può migliorare il coordinamento e ridurre i costi di transazione, anche superando la riluttanza degli operatori del settore a condividere i propri dati¹⁴⁹. al riguardo è anche fondamentale inserire delle misure di sostegno all'innovazione, per uno specifico programma Industria 4.0 applicato al trasporto ferroviario, che favorisca l'upgrade tecnologico attraverso ad esempio: l'automazione delle manovre (installazione del gancio automatico sui carri, impianti di caricamento orizzontale dei carri, ecc...); il trasporto di container modulari per il trasporto di piccole quantità; la sicurezza della merce e tracciabilità del percorso (connessione dei carri, galileo, RFID, ecc...).

Interventi fiscali tramite un pacchetto stabile di incentivi

Le "Linee guida comunitarie per gli aiuti di Stato alle imprese ferroviarie" - Comunicazione della Commissione 2008/C 184/07 - fissano al 50% dei costi esterni evitati il limite massimo della contribuzione riconoscibile alle imprese ferroviarie. Le misure di incentivazione vigenti riconoscono un beneficio cumulato di circa 100 milioni annui. Al riguardo sarà necessario:

¹⁴⁸ In fase di sviluppo la piattaforma digitale *Easy Rail Freight* da parte di RFI, che si propone di assistere i clienti nella gestione del trasporto door to door, oppure altre esperienze europee mirate a facilitare l'informazione sul reticolo e quindi l'accesso (cfr. *Rail Facilities Portal*).

¹⁴⁹ Un contributo in tal senso può continuare a darlo la regolazione, individuando un formato standard per i dati e implementare piattaforme e borse merci per ottimizzare i carichi, sfruttando così anche la capillarità del reticolo.

- Verificare la compatibilità con il trasporto ferroviario quale requisito di ammissibilità per eventuali incentivi per il rinnovo di semirimorchi per l'autotrasporto.
- Riconoscere, dal punto di vista economico, le esternalità negative risparmiate dal trasporto ferroviario, nella misura del 50% del loro valore.
- Istituire un incentivo territoriale per chi sceglie la modalità ferroviaria per le tratte aventi origine o destino nelle regioni meridionali, al fine di compensare le carenze infrastrutturali ferroviarie e i minori pedaggi di accesso all'infrastruttura stradale (i.e. autostrada del Mediterraneo gratuita, ecc...).
- Nella fase transitoria, in attesa degli interventi di upgrading infrastrutturale, è opportuno prevedere per le imprese ferroviarie un sistema di incentivi decrescenti nel tempo a copertura degli onerosi costi della manovra portuale (utilizzando come benchmark i costi delle manovre portuali dei porti del Nord Europa o di quelli italiani più virtuosi), i quali si annulleranno con la fine dei lavori di adeguamento.
- Supportare gli investimenti delle imprese ferroviarie in innovazione e nei fattori produttivi necessari al raggiungimento dell'obiettivo del 30% di *shift modale* entro il 2030¹⁵⁰.

Interventi per il mercato del lavoro

Relativamente al mercato del lavoro si tratta di esigere il rispetto della normativa sulla sicurezza e sul lavoro nel trasporto su gomma tramite la piena adozione del cronotachigrafo digitale¹⁵¹. L'applicazione di contratti disomogenei, l'assenza di un minimo salariale, consente soprattutto negli impianti di servizio, una concorrenza basata sul dumping del costo del lavoro, che non ha nulla a che vedere con l'efficienza e la qualità del servizio.

7.3.2.4 Il trasporto delle merci in città

Una riflessione a parte merita il tema del trasporto in città a fronte dell'evoluzione della crescita della vendita al dettaglio on line. La necessità di consegne a domicilio, anche a seguito del periodo di lockdown che ha comportato l'aumento della domanda di consegne *just in time* e la necessità di approvvigionamento di negozi e famiglie soprattutto nei centri urbani (last mile), pone il problema di come efficientare la logistica e diminuire le crescenti quote di utilizzo di energia ed emissioni. Le possibili misure (IEA, 2017) sono di seguito riportate.

Misure di efficienza dell'ultimo miglio

Per attenuare picchi stagionali e giornalieri è molto importante innanzitutto gestire le previsioni della domanda in modo dinamico anche se una maggiore concorrenza tra i vettori urbani dovrebbe portare di per sé ad una maggiore efficienza dell'ultimo miglio. In particolare, nelle regioni urbane congestionate, le società di servizi logistici per spedire le merci in modo più economico ed efficiente dovrebbero sfruttare le opportunità offerte dall'ICT ed dalla sharing economy (es. *crowdshipping* e abbinamento digitale delle merci), ma anche adottare opzioni "*click-and-collect*", come *packstation* di DHL, opzioni di ritiro e restituzione in negozi locali per gli acquisti online, oppure utilizzando cassette postali incustodite nelle residenze private.

¹⁵⁰ Nei prossimi anni serviranno 1.000 nuovi locomotori, 300 loco di manovra, 3.000 carri e 6.500 nuovi macchinisti, per un investimento complessivo di circa 6 mld di euro (Mercintreno 2021).

¹⁵¹ Regolamento UE 1054/2020 il cui scopo è contrastare il dumping sociale degli autisti e l'uso irregolare del cabotaggio stradale.

Riprogrammare le consegne urbane

Un'ulteriore soluzione riguarda la riprogrammazione delle consegne fuori orario (o in notturna). È stato dimostrato che un passaggio completo a tale formula porta a una riduzione degli inquinanti locali nell'intervallo del 45-67% in città come New York, Bogotá e San Paolo (Holguín-Veras, 2016). È probabile che anche i risparmi di carburante e di emissioni di CO₂ siano considerevoli, ma per tutta la flotta urbana di veicoli commerciali leggeri e MFT, nel complesso, si stima che in modo più conservativo rientrino nell'intervallo del 10-15%.

Un prerequisito cruciale per passare con successo alle consegne fuori orario è fornire incentivi ai destinatari della spedizione (come negozi di alimentari e punti vendita al dettaglio) per accertare gli impatti assicurativi e logistici del passaggio alle consegne di prima mattina. La prova che le operazioni notturne possono essere eseguite senza rumore eccessivo servirà anche a convincere le persone scettiche al cambiamento (*nimbyismo*).

Centri di consolidamento urbano

Diverse città europee ma anche in Giappone, hanno istituito dei centri di consolidamento urbano (*UCC - Urban Consolidation Centres*) che effettivamente hanno permesso una riduzione del traffico locale e delle emissioni.

La soluzione consiste nel raggruppare le spedizioni da più spedizionieri e rivenditori e consolidarle su un singolo mezzo di trasporto per la consegna in una particolare regione geografica. Si stima che con tali soluzioni le emissioni di CO₂ all'interno dei centri urbani possono essere ridotte di circa il 30-80% (Allen et al., 2012). Tuttavia, la progettazione degli UCC è altamente specifica per le singole città, rendendo difficile la diffusione delle best practice.

Per promuovere l'integrazione dei centri di consolidamento nella rete di distribuzione urbana, i comuni possono per esempio allentare le restrizioni sull'uso del suolo in luoghi definiti e accessibili poiché questa soluzione, nell'aggiungere un collegamento alla catena di approvvigionamento, può aumentare i costi di consegna (Cherrett et al., 2012). In effetti, potrebbero essere necessari finanziamenti pubblici aggiuntivi (ad esempio da istituzioni locali, governi municipali o dall'Unione Europea). In alcuni casi, gli UCC sono stati in grado di migliorare la propria redditività incorporando ulteriori attività a valore aggiunto, come la preparazione del punto vendita e la raccolta degli imballaggi dei rifiuti.

7.3.3 Trasporto Aereo e Marittimo

Le politiche capaci di allineare il sistema aeroportuale e marittimo con gli obiettivi dell'*European green deal* e della *Smart and sustainable mobility strategy* necessitano che navigazione e aviazione diventino parte integrante della **mobilità multimodale**. Ciò permetterà un abbattimento delle emissioni di gas serra, un miglioramento dell'efficienza del sistema dei trasporti ed un contestuale miglioramento della qualità dell'aria a livello locale, contribuendo così anche a salvaguardare la salute dei residenti nelle vicinanze di porti e aeroporti. I fattori che hanno un ruolo chiave per ottenere questo obiettivo riguardano: un adeguato quadro normative con strategie condivise, l'accessibilità ai nodi, la domanda di soluzioni più sostenibili e la promozione di intermodalità così come pure aspetti di sicurezza, qualità delle infrastrutture e miglioramento dell'efficienza energetica dei servizi navali ed aerei con abbattimento delle emissioni dei vettori energetici.

Quadro normativo e strategia industriale. Con l'obiettivo di identificare misure concrete volte a raggiungere obiettivi globali di riduzione delle emissioni, la Commissione Europea lavora a stretto contatto con le organizzazioni internazionali che si occupano di traffico internazionale in ambito aeronautico (l'Organizzazione per l'aviazione civile internazionale, ICAO) e marittimo (l'Organizzazione marittima internazionale, IMO). Le misure contenute nella **strategia industriale europea**, ed in particolare quelle legate ad alleanze nel campo dell'elettrificazione, dell'idrogeno decarbonizzato ed alla nuova alleanza (in corso di formazione) su *Renewable and Low-Carbon Fuels Value Chain* (EC, 2021g), consentono di accelerare la capacità dell'industria aeronautica/navale e di offrire soluzioni tecnologiche più efficienti dal punto di vista energetico anche ad altre industrie (chimica e biochimica) nonchè riorientare il lavoro verso la produzione di vettori energetici a basso contenuto di carbonio sul ciclo di vita.

In particolare le misure contenute nella revisione dell'*Emission Trading Scheme* e la proposta di tassazione di combustibili per l'aviazione e la navigazione incluse nella revisione dell'*Energy Tax Directive* contribuiscono ad accelerare il processo di trasformazione sia per gli impatti legati alle variazioni di costi operativi su domanda sia per le decisioni di investimento relative all'efficienza energetica e alle scelte dei combustibili.

I regolamenti specifici integrati nel pacchetto Fit for 55, come il *Refuel EU* per l'aviazione e il *Fuel EU Maritime* per la navigazione (entrambi inquadrati nel contesto della revisione della *Renewable Energy Directive*), sono anch'essi essenziali per assicurare un progresso nel campo della decarbonizzazione dei vettori energetici a costi competitivi. Gli obiettivi di decarbonizzazione potranno essere raggiunti attraverso misure che favoriscono la ricerca e l'innovazione (R&I), ma anche attraverso partenariati che potrebbero essere istituiti nell'ambito di *Orizzonte Europa* (quali "*Zero Emission Waterborne Transport*", "*Clean Aviation*" e il partenariato per l'idrogeno pulito), e *Getting to Zero Coalition del WEF*.

Nel quadro normativo nazionale, le politiche di supporto alla mobilità sostenibile dovranno anche tenere conto della strategia del Piano Strategico degli Aeroporti (che dovrà proseguire di pari passo alla strategia del Cielo Unico Europeo) e del Piano Strategico della Portualità e della Logistica, assieme ai decreti attuativi che da essi ne discenderanno.

Necessariamente saranno necessarie altre politiche, legate a diritti aeroportuali e servizi ed operazioni nei porti e negli aeroporti nonché alla gestione intelligente del traffico ed all'efficienza energetica degli edifici di pertinenza e limitrofi, strumenti tutti che possono garantire una migliore gestione/ottimizzazione della domanda e l'abbattimento delle emissioni legate alle infrastrutture di terra.

Per aumentare gli investimenti pubblici e privati nella produzione locale di energia rinnovabile, in accessi multimodali più sostenibili, nel rinnovo ed efficientamento energetico della flotta nel trasporto aereo e navale, saranno anche fondamentali la definizione di pertinenti criteri di *tassonomia di sostenibilità* che contemplino le specificità di ciascuna mobilità, anche durante la transizione verso l'azzeramento delle emissioni (come da numerosi finanziamenti già emessi dedicati all'energia rinnovabile) e progetti di efficienza energetica nonché investimenti per il trasporto sostenibile.

Il miglioramento dell'accessibilità ai nodi della rete, in particolare ai porti e aeroporti della rete core, volto alla costruzione di un'offerta modale integrata, dovrà essere in grado di rafforzare le modalità di trasporto efficienti ed a basse emissioni. Per raggiungere tale obiettivo occorrerà investire su collegamenti stradali e ferroviari di ultimo miglio¹⁵² e tecnologie capaci di massimizzare l'attrattività di opzioni di trasporto multimodali.

¹⁵² Fra le principali cause di ritardo infrastrutturale, non necessariamente legate alla carenza di infrastrutture materiali, sono da evidenziare lo squilibrio modale e le scarse capacità delle infrastrutture esistenti di servire la domanda. Non solo l'accessibilità ai principali nodi ma anche insufficienza dei collegamenti a porti e aeroporti.

Per riequilibrare la domanda di mobilità verso soluzioni più sostenibili è importante incoraggiare, come già evidenziato nelle parti precedenti di questo rapporto, la concorrenza sul mercato interno del trasporto ferroviario di passeggeri e merci, garantendo che questo avvenga attraverso procedure trasparenti e obbligatorie. Aumentare la competitività degli scali portuali migliorandone l'accessibilità lato terra e lato mare è strumentale allo scopo.

La **promozione dell'intermodalità**, oltre che attraverso una riduzione dei costi e dei tempi del trasporto intermodale (ferro e nave) e ad assicurarsi che il trasporto su gomma sia soggetto al pagamento degli effetti negativi su salute ed ambiente, deve garantire la piena interoperabilità tra sistemi informativi e tecnologici nei porti e aeroporti lungo l'intera catena logistica. Al riguardo la tecnologia digitale può contribuire efficacemente attraverso piattaforme aperte ed interoperabili in grado di ottenere in tempi brevi e a costi contenuti, incrementi di capacità, velocizzazione dei collegamenti esistenti, e maggiore sicurezza sulle reti di trasporto. Il digitale permette inoltre di creare, a basso costo, strumenti capaci di consentire la tracciabilità delle merci in tempo reale e garantire la responsabilità intermodale, favorendo il trasporto ferroviario, marittimo e fluviale e aereo quando necessario.

Accanto ai temi dello sviluppo della rete e della qualità dell'offerta di trasporto, rimangono anche prioritari gli **obiettivi di sicurezza, qualità ed efficientamento delle infrastrutture ed il loro adattamento alle conseguenze del cambiamento climatico**, al fine di assicurare continuità ai programmi manutentivi del patrimonio infrastrutturale esistente. L'adattamento delle infrastrutture portuali ed aeroportuali al cambiamento climatico è fondamentale per continuare ad assicurare la connettività internazionale.

Un'altra linea fondamentale di intervento deve riguardare il **miglioramento dell'efficienza energetica dei servizi aerei navali nonché l'abbattimento delle emissioni dei vettori energetici**, attraverso un approccio basato sul ciclo di vita. Poiché l'aviazione e la navigazione sono tra i settori economici in cui l'abbattimento delle emissioni di gas serra è più difficile, in entrambi i casi, le soluzioni di decarbonizzazione, come anche verrà meglio illustrato nella sezione successiva, devono combinare sia aspetti legati alla gestione ed ottimizzazione della domanda di mobilità (per esempio attraverso la massimizzazione dell'uso della capacità di trasporto disponibile) ed alla sua ripartizione modale sia miglioramenti tecnologici dell'efficienza energetica dei veicoli e dei loro sistemi propulsivi con riduzioni dell'intensità carbonica dei combustibili.

Ulteriori **riduzioni delle emissioni di gas serra** saranno anche **possibili nei porti e negli aeroporti**, ovvero nelle infrastrutture di terra necessarie all'operatività di navi ed aerei. Porti e aeroporti non dovranno solo essere snodi fondamentali di trasporto, in grado di collegare tutte le diverse mobilità pertinenti, ma anche strumenti in grado di abbattere radicalmente le emissioni.¹⁵³

7.3.3.1 Trasporto aereo

In Italia, allo stato attuale, non esiste ancora un riferimento univoco, specifico e completo che consenta di valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sui trasporti. L'**adattamento** e la mitigazione del sistema infrastrutturale e dei trasporti dovrebbero trovare attuazione attraverso i diversi strumenti di pianificazione della mobilità aerea, a partire dal **Piano Nazionale degli Aeroporti** (attualmente in fase di revisione) e quindi dei singoli **Masterplan aeroportuali**, ma il percorso di revisione e aggiornamento di tali strumenti non è strettamente codificato in termini di frequenza e tempistiche, quindi deve essere messa in campo un'azione straordinaria di analisi dei rischi specifici e progettazione dei conseguenti interventi di mitigazione.

¹⁵³ Necessità di avviare modalità di transizione in grado di identificare e replicare le migliori *best practice*.

Le tematiche dell'adattamento e resilienza delle infrastrutture possono trovare l'opportuno ambito di trattamento nel corso delle procedure di valutazione ambientale strategica (VAS) e valutazione di impatto ambientale (VIA). Mentre la procedura VAS si applica a piani e programmi in fase preparatoria, prima quindi che ricevano l'approvazione da parte degli organi competenti (ed è il caso del Piano Nazionale degli Aeroporti - PNA), le procedure VIA, il cui scopo è quello di individuare, descrivere e valutare, la realizzazione delle opere, gli effetti sull'ambiente, sulla salute e benessere umano e identificare le misure atte a prevenire, eliminare o rendere minimi gli impatti negativi sull'ambiente prima che questi si verifichino effettivamente, entra in campo in merito alla realizzazione di singole opere civili e ambientali con l'obiettivo proprio di verificarne la concreta applicazione.

Considerando il percorso storicamente accidentato delle procedure VIA dei Masterplan aeroportuali, che solitamente includono interventi di espansione/sviluppo, che spesso incontrano difficoltà di accettazione da una parte degli stakeholder sul territorio, andrebbe valutato uno specifico quadro di interventi di mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici partendo dalla base conoscitiva, a breve disponibile nel PNA che è, a sua volta, e' correlata ad analisi sviluppate su contesti più generali e su scale più ampie.

Con l'intensificarsi degli impatti dei cambiamenti climatici, diversi studi elaborati sul tema e in particolare il "*Climate Change Mitigation. Policies and progress*" dell'OECD (2015), tenendo conto dell'elevata incertezza relativa alla localizzazione e alla intensità di calamità naturali, hanno evidenziato fra i vari strumenti di copertura, il possibile scarso impegno del sistema assicurativo che potrebbe decidere di non coprire interamente i rischi climatici, o in alternativa di non assicurare infrastrutture particolarmente a rischio per la loro localizzazione.

In relazione alle infrastrutture aeroportuali è quindi sempre più necessario indirizzare rapidamente azioni per la gestione dei rischi, in particolare quelli legati alle alluvioni e agli allagamenti e all'innalzamento del livello del mare attraverso misure di tutela del territorio, diffusione della consapevolezza dei rischi ("*Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati*" ISPRA, 2021) anche con possibilità di assicurazioni obbligatorie e introduzione di meccanismi di compensazione (vedi sezione strumenti di supporto trasversali).

I nuovi strumenti potrebbero garantire una migliore comprensione di questi fenomeni ed essere così in grado di **sviluppare analisi predittive** tese ad intervenire laddove i rischi siano più concreti. Al riguardo sarà fondamentale acquisire ed elaborare *big data* per analizzare, prevedere e valutare i danni economici emergenti da eventi climatici estremi.

Questo aspetto risulta particolarmente importante per poter sviluppare strategie supportate da dati e dovrebbe essere sostenuto, coinvolgendo tutti gli attori del settore aereo che sono in possesso anche di dati provenienti dalle osservazioni meteorologiche. Tali informazioni, potrebbero essere utilizzate sempre più largamente per mettere a punto valutazioni sulla possibilità dei diversi tipi di fenomeni estremi (ondate di calore, precipitazioni intense) su una scala spaziale dettagliata e una maggiore condivisione (il tema sarà poi affrontato nella sezione sulle iniziative trasversali).

Un'altra importante priorità per il settore del trasporto aereo riguarda la revisione delle pratiche attuali di manutenzione e di gestione, in particolare per le infrastrutture di trasporto, essenziali per l'abilitazione del processo transizione. Al riguardo sarà fondamentale lo sviluppo di un quadro coerente e condiviso che metta a sistema le conoscenze, spesso distribuite nei singoli aeroporti o realtà territoriali (regioni, autorità di bacino ecc...), individuando interventi standard e strumenti di sostegno adeguati e replicabili.

Di seguito le principali iniziative e politiche per lo sviluppo del settore attinenti il carbon pricing e gli strumenti regolatori, le opzioni tecnologiche per apportare miglioramenti atti a ridurre l'energia necessaria per volare, così come uso di vettori energetici a basse emissioni, e ulteriori strumenti e misure di mitigazione delle emissioni di gas serra e dei vettori nonché di sostegno alla ricerca, sviluppo infrastrutturale e miglioramento operativo.

Carbon pricing e misure di mitigazione delle emissioni di gas serra dei vettori energetici

I combustibili a basse emissioni di carbonio e altri vettori energetici richiedono il passaggio dall'energia fossile a processi e materie prime in grado di soddisfare una serie di requisiti di sostenibilità: basse emissioni di gas serra sul ciclo di vita, bassi impatti diretti e indiretti per quello che riguarda il cambiamento d'uso del suolo, elevata efficienza energetica nella produzione di combustibili e disponibilità su larga scala.

Per guidare una transizione efficiente verso un settore dell'aviazione più verde (ITF, 2021a), oltre allo Schema di compensazione e riduzione del carbonio per l'aviazione internazionale (CORSIA) dell'ICAO, il carbon pricing nell'aviazione¹⁵⁴ potrà essere introdotto attraverso diversi tipi di meccanismi e dovranno anche essere sviluppati nuovi regolamenti in grado di tenere conto delle caratteristiche dei vettori energetici.

Le tasse sul carbonio nei carburanti per l'aviazione - in linea con la proposta di revisione dell'*Energy Tax Directive* e con il fatto che queste sono significativamente più basse rispetto al trasporto su gomma (OECD, 2019) - possono essere introdotte attraverso **accordi fiscali multilaterali e meccanismi basati sul mercato delle emissioni** come da proposta "Fit for 55" e in linea con l'inclusione dell'aviazione nell'*Emission Trading Scheme* (vedi Appendice 1).

Fra gli strumenti che tengono conto del prezzo del carbonio vi sono le **politiche che combinano la tariffazione della CO₂ e strumenti regolatori**. Un esempio chiave è quello del *Low Carbon Fuel Standard (LCFS)* usato in California, Oregon, Washington negli Stati Uniti e nella provincia del British Columbia in Canada, ma non ancora in una forma che integra del tutto l'aviazione (che è solo coperta come opzione "opt-in", in California) (IATA, 2021).

Altri meccanismi regolatori con funzionamento analogo all'LCFS, ma senza forme esplicite di carbon pricing) consistono in **mandati di miscelazione di carburanti con frazioni a basse emissioni sul ciclo di vita e sanzioni per il loro mancato rispetto**. Questo è il caso della proposta *Refuel EU in Europa* (ITF, 2021a; EC, 2021e)

Relativamente ai regolamenti tecnici sulla sostenibilità sviluppati all'ICAO ed in sede europea, pur tenendo conto delle caratteristiche dei vettori energetici sul ciclo di vita rispetto a emissioni di gas serra, compresi gli effetti legati a cambiamenti diretti e indiretti nell'uso del suolo, dovranno essere presi in considerazione altri indicatori in grado di coprire uno spettro maggiore di processi produttivi (in particolare i combustibili derivati dalla combinazione di idrogeno decarbonizzato e biomasse sostenibili).

Strumenti migliorare l'efficienza energetica

Il miglioramento dell'efficienza è di fondamentale importanza, per la mitigazione di incrementi del prezzo dell'energia (per via del contesto globale del mercato del petrolio e/o di interventi di natura fiscale o ibrida finalizzati all'introduzione di un prezzo del carbonio) sui costi dei voli. Si può pertanto operare su strumenti di efficienza energetica delle aeromobili o su attività da avviare negli aeroporti.

Per migliorare l'efficienza energetica degli aeromobili si può **incentivare il rinnovo delle flotte** e l'**uso di retrofits**, fermi restando i limiti concordati a livello internazionale per i nuovi aerei e nel rispetto dei regolamenti che permettono di ottenere, con standard progressivi di efficienza per le flotte nazionali e/o a livello dell'Unione Europea, miglioramenti dell'efficienza delle flotte migliori rispetto alla media globale.

Ulteriori strumenti per ridurre l'energia necessaria per volare riguardano **interventi tecnologici per la riduzione del peso degli aeromobili**, miglioramenti dell'efficienza termodinamica dei loro sistemi di propulsione e delle loro caratteristiche aerodinamiche. Le tecnologie si possono dividere in modifiche agli

¹⁵⁴ Il prezzo del carbonio è più efficace se applicato sull'intera economia, non solo un singolo settore. È meno dirompente se utilizza aumenti progressivi piuttosto che variazioni improvvise dei prezzi (ITF, 2021a)

aeromobili attualmente in uso o che utilizzano sistemi di propulsione simili a quelli in uso commerciale e sistemi di propulsione alternativi costituiti da tecnologie che richiedono modifiche più profonde del sistema di propulsione dell'aeromobile, che vanno dall'aereo ibrido elettrico a quello completamente elettrico, e possono anche richiedere un cambiamento nel vettore energetico.

Altre misure che possono stimolare sviluppi e vanno nella direzione di migliorare l'efficienza possono essere prese negli aeroporti, come nel caso di **oneri e tasse differenziati in base al consumo specifico di diverse categorie di velivoli** (ITF, 2021a).

Misure di sostegno alla ricerca e lo sviluppo di tecnologie innovative

La ricerca, lo sviluppo e la diffusione di sistemi di propulsione alternativi e combustibili puliti possono contribuire al miglioramento dell'efficienza ed all'abbattimento delle emissioni nei vettori energetici. Queste sono anche in linea con le strategie industriali europee, che includono l'alleanza sull'idrogeno pulito (EC, 2021f) e la nascente alleanza sulla catena del valore di combustibili rinnovabili ed a basso contenuto di carbonio (EC, 2021g).

Sullo stesso filone possono essere sviluppati **finanziamenti e incentivi per la ricerca** e finalizzati al supporto dell'innovazione, per via degli effetti positivi che ne risultano per l'economia, sul medio-lungo termine. Tale supporto può venire in diverse forme, incluse borse di ricerca, sviluppo di programmi di ricerca governativi e riduzione del rischio di investimenti nel settore.

Un ulteriore esempio è quello delle **agevolazioni fiscali** recentemente adottate negli Stati Uniti, (IATA, 2021), che seguono una lunga tradizione di supporto all'innovazione (ITF, 2021a). Questo tipo di misure può essere finanziato dai bilanci delle amministrazioni pubbliche o con entrate stanziare dalla tassazione del carbonio (ITF, 2021a). Il programma potrebbe essere avviato attraverso il *Clean Aviation Joint Undertaking* (Clean Aviation, 2021) e ulteriori iniziative nazionali per lo sviluppo di tecnologie altamente innovative nell'abbattimento delle emissioni di CO₂ nell'aviazione.

Altre proposte sono anche sorte di recente nell'ambito del settore privato, in partnership con il settore pubblico. Tra tutte, una delle più rilevanti è quella lanciata nel 2019 dal World Economic Forum, *Clean skies for tomorrow*, con l'obiettivo di facilitare la transizione verso il volo a zero emissioni entro il 2050 (WEF, 2021).

Strumenti di sviluppo infrastrutturale

Dal punto di vista infrastrutturale, a fronte della necessità di nuove architetture per gli aeromobili (in particolare nel caso di configurazione "*blended wing body*") e all'introduzione di vettori energetici a basso contenuto di carbonio saranno necessari interventi di armonizzazione con le politiche dell'ICAO per evitare distorsioni del mercato e forti penalizzazioni della competitività della filiera europea del settore aereo.

L'uso dei *Sustainable Aviation Fuels (SAF)* sarà sempre più essenziale ai fini del raggiungimento del target di decarbonizzazione del settore del trasporto aereo che mostra un crescente interesse verso l'utilizzo di questi prodotti, visto anche il livello di maturità tecnologica che hanno raggiunto, che li rende perfettamente compatibili con gli attuali motori per aerei. Nonostante tali presupposti il consumo di SAF resta oggi ancora ad un livello marginale e sono pertanto necessarie scelte che ne promuovano rapidamente l'utilizzo¹⁵⁵.

¹⁵⁵ I SAF hanno impatti infrastrutturali minimi dal momento che possono essere mescolati con i combustibili derivati dal petrolio) e, potenzialmente (per via dei costi di produzione, trasporto, stoccaggio e distribuzione), con l'idrogeno prodotto da percorsi a basse emissioni (che merita di essere preso in considerazione, come il caso dell'elettrificazione, in progetti di ricerca, anche facendo leva sul recente partenariato per l'idrogeno pulito (Politico, 2021).

L'adozione di una normativa in grado di valorizzare al massimo la capacità di riduzione della *carbon intensity* dei combustibili alternativi, rafforza la premialità sui SAF ben oltre il 20% introdotto con il moltiplicatore previsto dalla *Direttiva RED*, a favore delle fasi iniziali di utilizzo di biocarburanti a basso contenuto di carbonio. Sotto il profilo economico, per un reale sviluppo dei SAF serve l'introduzione di misure volte a stimolare la ricerca, l'industrializzazione e l'utilizzo al fine di pervenire ad un prezzo finale del prodotto *drop-in*, se non in linea con quello fossile, almeno molto vicino. Poiché i tempi di sviluppo di tali nuovi prodotti nonché delle certificazioni per renderli idonei all'utilizzo, sono molto lunghi, è fondamentale un quadro normativo semplice, chiaro e stabile nel lungo periodo per incentivare gli ingenti investimenti, sia sotto forma di sussidi alla ricerca e industrializzazione, sia sotto il profilo fiscale.

Altri investimenti che si renderanno necessari includono l'installazione di fornitura di energia elettrica da terra (per rimpiazzare gruppi elettrogeni alimentati a gasolio fossile ancora in uso) negli aeroporti per gli aerei in stazionamento.

Miglioramenti operativi

Un altro gruppo di opzioni che possono contribuire alla decarbonizzazione dell'aviazione consiste nell'attuare miglioramenti operativi. Queste politiche incluse nel quadro della *Strategia del Single European Sky* riguardano strategie per migliorare le operazioni degli aerei e negli aeroporti al fine di promuovere la decarbonizzazione del settore. Il completamento del programma passa attraverso: la realizzazione di un sistema di *Air Traffic Management (ATM)* europeo digitale e centralizzato; una regolamentazione di supporto e R&D (trasferimento dei risultati di R&D alla pratica operativa); la quantificazione e realizzazione di un ulteriore potenziale di riduzione di CO₂ attraverso una pianificazione delle rotte ottimizzate dal punto di vista dei consumi e delle emissioni; l'innovazione nella comunicazione, navigazione e sorveglianza in ambito *Air Traffic Control (ATC)*; la riduzione delle emissioni nelle fasi di taxi e dell'utilizzo dell'*Auxiliary Power Unit (APU)*, nonché elettrificazione e accesso a fonti energetiche alternative, sostenendo lo sviluppo delle necessarie infrastrutture.

Gli aeroporti, come abilitatori potrebbero necessitare anche di aree di intervento specifiche per la riduzione consumi energetici delle infrastrutture; transizione per i servizi di terra a energia green; elettrificazione delle operazioni di rampa; sviluppo accessibilità aeroportuale sostenibile, dimostrazione dell'uso di idrogeno decarbonizzato come vettore energetico.

Per quanto le soluzioni di mobilità aerea abbiano uno scopo di applicazione limitato in termini di capacità¹⁵⁶ (McKinnon, 2015), è possibile che emergano soluzioni innovative, facilitate da tecnologie digitali, da cui possono scaturire nuovi modelli di business che potrebbero essere allineati con il concetto di "*Mobility as a Service*" (*MaaS*). Questo tipo di soluzioni sono parte integrante del *Progetto nazionale di Urban Air Mobility (UAM)*.

7.3.3.2 Trasporto marittimo

In termini economici, il 77% del commercio estero europeo e il 35% di quello tra gli Stati membri dell'UE avviene via mare (EMSA/EEA, 2021). Il trasporto marittimo rappresenta una parte fondamentale della catena di approvvigionamento internazionale ed è anche un importante pilastro della globalizzazione e dello sviluppo economico in tutto il mondo.

¹⁵⁶ Per esempio, l'uso di droni può fare poco per sostituire i veicoli stradali per trasportare l'enorme volume di merci che circolano ovunque. In base a ipotesi ragionevoli per il carico, lo scarico e il volo volte, ci vorrebbero circa 15 droni che operano 24 ore su 24 per fornire lo stesso numero di prodotti di un veicolo commerciale leggero in un tipico turno di otto ore (McKinnon, 2015).

Nonostante un calo dell'attività marittima nel 2020 a causa degli effetti della pandemia di COVID-19, le aspettative puntano verso un incremento della domanda nel breve periodo (EEA, 2021). Le prospettive a lungo termine dipenderanno da effetti legati a diverse tendenze strutturali, che comprendono il cambiamento di modelli di globalizzazione, lo sviluppo di catene di approvvigionamento più resilienti, cambiamenti nella spesa dei consumatori, la crescita dell'e-commerce, la necessità di sostenibilità ambientale, la transizione energetica globale e la continua diffusione della digitalizzazione (UNCTAD, 2021). Nonostante questo, il trasporto marittimo è destinato a rimanere l'asse portante del commercio mondiale, anche al 2050 (UNCTAD, 2021; ITF, 2021b).

Misure di adattamento e di mitigazione delle emissioni

Il trasporto marittimo produce pressioni ambientali significative sull'atmosfera e sull'ambiente marino. Dati recenti presentati dall'Agenzia europea dell'ambiente e dall'Agenzia europea per la sicurezza marittima in relazione sull'impatto ambientale del trasporto marittimo europeo evidenziano che le navi producono il 13,5% delle emissioni di gas serra generate dai diversi mezzi di trasporto¹⁵⁷ nell'UE, classificando il trasporto marittimo subito dopo il trasporto stradale (71%) e l'aviazione (14,4%) (EMSA/EEA, 2021).

In aggiunta, le emissioni di inquinanti atmosferici del settore rappresentavano il 24% degli ossidi di azoto (NO_x) e degli ossidi di zolfo (SO_x) combinati e il 9 % del particolato fine (PM_{2,5}) in proporzione alle emissioni dell'UE di tutti i settori nel 2018. Nel 2019 le emissioni delle navi negli spazi economici europei rappresentavano il 22 % di NO_x, il 16 % di SO_x e il 18 % di PM_{2,5} come proporzioni delle emissioni complessive del trasporto marittimo internazionale (EMSA/EEA, 2021).¹⁵⁸

Inoltre, come anticipato nei capitoli precedenti a fronte di eventi meteorologici estremi dovuti ai cambiamenti climatici e all'innalzamento del livello del mare i porti dovranno anche prepararsi alle potenziali conseguenze cui dovranno essere associate le nuove rotte che potrebbero aprirsi a seguito dello scioglimento dei ghiacci nell'Oceano Artico. In questo contesto l'UE svolgerà un ruolo chiave nel garantire che le nuove rotte non rappresentino una minaccia per gli ecosistemi artici (EMSA/EEA, 2021).

Attualmente esiste un numero significativo di iniziative guidate dalla Commissione Europea, dagli Stati membri dell'UE e dall'industria che hanno l'obiettivo di riorientare il settore del trasporto marittimo verso la sostenibilità. In particolare, la Commissione Europea ha sviluppato regolamenti tecnici e meccanismi di rendicontazione che consentono il monitoraggio, la comunicazione e la verifica delle emissioni di CO₂ da grandi navi che utilizzano porti dell'UE ed ha definito obiettivi di riduzione dei gas a effetto serra per il settore dei trasporti marittimi (EMSA/EEA, 2021). Questo è il primo di diversi passaggi volti a garantire la trasparenza delle performance energetiche ed ambientali nel settore ed a migliorare l'efficienza energetica che, nonostante un potenziale significativo (ITF, 2020c), ha visto miglioramenti limitati per via di diversi tipi di barriere (Fitzpatrick et al., 2019).

La Commissione Europea ha anche promosso l'uso di combustibili alternativi ed energia rinnovabile attraverso diverse versioni della *Renewable Energy Directive (RED)*. Questa include - nell'ultima formulazione, proposta con il pacchetto "Fit for 55" - una riduzione dell'intensità carbonica dei combustibili del 13% al

¹⁵⁷ Questo calcolo include le emissioni legate al traffico internazionale in partenza dall'unione.

¹⁵⁸ Nel 2019 le navi che hanno fatto scalo nei porti europei hanno prodotto circa 1,63 milioni di tonnellate di emissioni di anidride solforosa (SO₂) una cifra che se anche è diminuita rispetto agli anni precedenti dovrebbe ulteriormente scendere nei prossimi decenni grazie all'introduzione di misure legislative più rigide per la tutela dell'ambiente e in considerazione della natura estremamente pericolosa sull'ambiente marino (EMSA/EEA, 2021). Si stima inoltre che il trasporto marittimo abbia contribuito a raddoppiare i livelli di inquinamento acustico sottomarino nelle acque dell'UE tra il 2014 e il 2019 e sia stato responsabile dell'introduzione della metà delle specie non indigene nei mari europei dal 1949, la maggior parte delle quali è stata rilevata nel Mediterraneo. Si tratta di un totale di 51 specie, tutte classificate ad alto impatto, nel senso che possono incidere sugli ecosistemi e sulle specie autoctone (EMSA/EEA, 2021).

2030 ed integra il regolamento (*Fuel EU Maritime*) che include obiettivi specifici per il settore marittimo e richiede di calcolare le emissioni di CO₂ sulla base delle performance legate al ciclo di vita (EC, 2021h). In linea con il *Green Deal europeo* e la *Smart and Sustainable Mobility Strategy*, la strategia adottata è anche allineata con l'obiettivo di riduzione, al 2050, dell'80% circa delle emissioni rispetto al 1990 e quasi il 90% al 2008 (EMSA/EEA, 2021).

Nel quadro del pacchetto "Fit for 55", la Commissione ha anche proposto l'integrazione del trasporto marittimo nel quadro dell'*Emission Trading Scheme* per i viaggi internazionali in uscita dalla UE ed i viaggi intra-UE (EC, 2021i) e la revisione della tassazione per i combustibili navali al fine di rimuovere il regime di esenzione fiscale per quello che riguarda i viaggi intra-EU (EC, 2021l).

Come nel caso dell'aviazione, la Commissione europea partecipa anche alle attività dell'*International Maritime Organisation (IMO)*, che ha adottato una strategia iniziale di decarbonizzazione che richiede un abbattimento delle emissioni per il trasporto marittimo internazionale almeno del 50%, in termini assoluti e su scala globale, al 2050 (IMO, 2021). L'abbattimento delle emissioni del trasporto marittimo dipenderà principalmente dallo sviluppo di navi basate su tecnologie avanzate e soluzioni efficienti dal punto di vista energetico, capaci di sfruttare assistenza del vento e dalla transizione verso vettori energetici decarbonizzati.

Strumenti migliorare l'efficienza energetica

Una gamma di tecnologie può migliorare l'efficienza energetica di navi esistenti e nuove e ridurre la loro dipendenza dai combustibili fossili: al di là dell'elettrificazione (discussa nel seguito), si annoverano tecnologie per il miglioramento dell'efficienza energetica che includono soluzioni come **modifiche progettuali e ottimizzazione strutturale, riduzione della resistenza/attrito con l'acqua, miglioramento dell'efficienza delle eliche, miglioramento dell'efficienza dei macchinari** (motori principali e ausiliari). A queste va aggiunta l'**integrazione di energie rinnovabili** (compresa l'assistenza del vento). Queste soluzioni includono sia misure operative (rilevanti anche per navi già in uso) che tecnologie applicabili a nuove costruzioni, che tecnologie di "retrofit" per navi esistenti (ITF, 2020c).

Due strumenti politici che affrontano queste misure sono l'*Energy Efficiency Design Index (EEDI)* dell'IMO e lo *Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)*. L'EEDI stabilisce requisiti di efficienza energetica per le navi di nuova costruzione ed è il primo ad avere scopo globale. Il SEEMP mira invece a migliorare l'efficienza operativa.¹⁵⁹ Questi strumenti sono stati complementati di recente dall'*Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)* e dal *Carbon Intensity Indicator (CII)*, che introducono requisiti di miglioramento progressivo per le caratteristiche tecniche delle navi esistenti (EEXI) e per le loro caratteristiche operative (sulla base dei dati SEEMP) (IMO, 2021a). Ulteriori sviluppi e programmi maggiormente ambiziosi saranno certamente necessari per permettere a questi strumenti di allineare le tecnologie navali agli obiettivi dell'Accordo di Parigi, alla strategia iniziale di decarbonizzazione dell'IMO (Smith et al. 2021) e ai successivi interventi previsti dalla Cop 26.

Come nell'aviazione, anche per le navi è possibile (ma va valutato in termini di impatto sul commercio) usare regolamenti che permettano di ottenere miglioramenti dell'efficienza delle flotte migliori rispetto alla media globale per le navi che operano in Italia e/o nell'Unione Europea (incentivando il rinnovo delle flotte e l'uso di retrofits), fermi restando i limiti concordati a livello internazionale.

¹⁵⁹ Entrambi seguono l'introduzione di politiche che hanno consentito di misurare il consumo di energia delle navi (che non era trasparente), introdotte su scala globale solo nel 2019, con il Fuel Oil Data Collection System (DCS) dell'IMO, relativo a navi con più di 5000 t di stazza lorda.

Altre misure che possono stimolare sviluppi che vanno nella direzione di migliorare l'efficienza delle navi sono oneri portuali differenziati sulla base delle performance ambientali delle navi (ITF, 2018). Questi sono anche rilevanti per quello che riguarda l'uso di combustibili a basse emissioni sul ciclo di vita (discusse nel seguito) e le emissioni di inquinanti locali. Anche il miglioramento dell'efficienza è di fondamentale importanza anche per le navi, per la stessa ragione già citata per l'aviazione: la mitigazione di incrementi del prezzo dell'energia sui costi della navigazione.

Adozione di tecnologie e combustibili alternativi

L'adozione di tecnologie e combustibili alternativi è essenziale per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dell'IMO e quelli europei. Le navi elettriche possono essere altamente efficaci nel ridurre le emissioni delle navi e sono state impiegate con successo in diversi paesi scandinavi (ITF, 2020c). Tuttavia, la bassa densità di energia delle batterie limita la loro applicabilità a viaggi di breve distanza (fattibili per il trasporto da/per le isole minori, in Italia, ma difficilmente applicabili su tratte più lunghe).

L'uso del GNL come carburante per i trasporti marittimi può aiutare a ridurre le emissioni di NO_x , SO_x e altri inquinanti atmosferici. Il GNL può inoltre ridurre di circa il 20% le emissioni dirette di CO_2 prodotte a bordo delle navi. Tuttavia, le emissioni di metano nei motori e lungo tutta la catena di approvvigionamento a monte dell'uso finale rischiano di portare a emissioni di gas serra sul ciclo di vita più elevate rispetto all'uso dei combustibili derivati dal petrolio (ITF, 2020c; Pavlenko et al. 2020), a meno che queste emissioni fuggitive non possano essere efficacemente controllate.

L'idoneità del metanolo come carburante per navi dipende fortemente dal metodo con cui viene prodotto. Il metanolo prodotto da combustibili fossili ha un'intensità di emissioni di gas serra assai maggiore rispetto ai combustibili marittimi esistenti. La combustione del metanolo (che contiene carbone) produce inevitabilmente emissioni dirette di CO_2 , il che significa che è essenziale che il metanolo venga prodotto mediante un processo che porti a emissioni nette negative, come nel caso di biomasse o *e-fuels* ottenuti con la cattura atmosferica del carbonio e l'idrogeno decarbonizzato (ITF, 2020c).

I biocarburanti avanzati, in particolare i liquidi che possono utilizzare l'infrastruttura del carburante esistente, possono svolgere un ruolo nella riduzione domanda di carburante a base di petrolio ed emissioni di gas serra.

Considerata la probabile concorrenza di altre modalità e settori di trasporto (in particolare l'aviazione) è richiesto un solido quadro normativo per garantire che tali rifornimenti possano essere forniti su larga scala in modo sostenibile (ITF, 2020c).

L'uso di idrogeno liquido e ammoniaca come combustibili nelle grandi navi potrebbe offrire alternative a basse emissioni di carbonio, ma rimane ancora in fase di dimostrazione. La produzione di idrogeno mediante elettrolisi ed energia rinnovabile (idrogeno "verde") è probabilmente il percorso con emissioni inferiori sul ciclo di vita, ma - come gli *e-fuels* - è ancora soggetta a barriere significative in termini di costi, nonché a perdite importanti nella catena energetica (anche legate alle difficoltà di stoccaggio).

Per una maggiore facilità di trasporto, stoccaggio e distribuzione, oltre a utilizzare le rotte commerciali internazionali esistenti, l'ammoniaca offre un vantaggio rispetto all'idrogeno, ma comporta anche il probabile requisito di un carburante pilota ed è altamente tossica (e può quindi essere soggetta a barriere legate al suo uso in sicurezza, specie in porti prossimi a grandi centri urbani).

Date queste circostanze, lo sviluppo di motori capaci di utilizzare diversi combustibili e di progetti dimostrativi e programmi di ricerca che consentano di progredire nella standardizzazione tecnica e nell'acquisizione di conoscenza (anche da parte di maggiori soggetti industriali) emergono come priorità importanti per la decarbonizzazione del trasporto marittimo.

In analogia con il caso dell'aviazione, questo tipo di misure - che richiedono finanziamenti pubblici - può essere finanziato dai bilanci delle amministrazioni pubbliche o con entrate stanziare dalla tassazione del carbonio. Questo tipo di misure, come per l'aviazione, è allineato con la strategia industriale europea, che include l'alleanza sull'idrogeno pulito (EC, 2021f) e quella (nascente) sulla catena del valore di combustibili rinnovabili ed a basso contenuto di carbonio (EC, 2021g). Anche qui, i finanziamenti per la ricerca e incentivi possono e devono essere finalizzati al supporto dell'innovazione, per via degli effetti positivi che ne risultano per l'economia, sul medio-lungo termine.

Anche per il trasporto marittimo sono sviluppate iniziative che coinvolgono attori della finanza e del settore privato, in partnership con il settore pubblico, al fine di influenzare lo sviluppo di soluzioni sostenibili per il commercio internazionale via mare.

Tra tutte, una delle più rilevanti è il *Global Maritime Forum*, che ha lanciato iniziative di grande rilevanza in questo contesto, come i *Poseidon Principles* per quello che riguarda la finanza e la *Getting to Zero Coalition* per facilitare lo sviluppo e l'adozione, entro il 2030, di navi per il trasporto di lunga distanza compatibili con l'obiettivo di decarbonizzare il settore al 2050 (si veda GMF, 2021 e Global Maritime Forum <https://www.globalmaritimeforum.org>).

Impatti sulle infrastrutture

Dal punto di vista infrastrutturale, gli impatti principali di queste misure sono quelli associati all'introduzione di vettori energetici a basso contenuto di carbonio. I principali investimenti includono l'installazione di fornitura di energia a terra (che prevede lo spegnimento dei motori quando le navi sono ormeggiate in porto, ed è anche un soggetto rilevante per la nautica da diporto) e investimenti necessari per progetti pilota su combustibili alternativi, a basse emissioni sul ciclo di vita (in particolare metanolo ed ammoniaca "verdi").

A seguito di questi progetti pilota e dello sviluppo di un consenso globale sui vettori energetici decarbonizzati per il settore marittimo internazionale, i porti interni e marittimi potranno anche diventare **nuovi hub di energia pulita per sistemi integrati**, comprendenti idrogeno e altri combustibili a basse emissioni di carbonio, specie se sono collocati in prossimità di impianti chimici (o viceversa) o altri grandi impianti industriali che necessitano anch'essi di idrogeno decarbonizzato.

Altri investimenti importanti riguardano l'ottimizzazione degli scali portuali per ridurre i tempi di attesa delle navi, l'adattamento e l'ammodernamento delle strutture portuali di raccolta per lo smaltimento dei rifiuti prodotti dalle navi e l'adozione di politiche e incentivi portuali per promuovere navi ad impatto ambientale ridotto. I porti potranno anche contribuire all'economia circolare aderendo alla certificazione ambientale e adottando nuove più virtuose pratiche. L'efficacia delle risposte che si stanno attuando è ancora da misurare.

La promozione del trasporto marittimo a corto raggio come alternativa al trasporto su strada con infrastrutture agili e pulite potrebbe anche ridurre ulteriormente le emissioni di gas a effetto serra, in particolare se verranno utilizzate nuove soluzioni alternative di combustibili ed energia e potenzialmente introdotte navi autonome.

Esigenze di osservazione, modellizzazione, monitoraggio e rendicontazione

In sinergia con la diffusione di combustibili alternativi per uso marittimo e degli interventi sulle infrastrutture si dovrebbero compiere altri sforzi nell'ambito dell'obiettivo "inquinamento zero" per ridurre drasticamente l'impronta ambientale più ampia proveniente dal settore. Una priorità è rappresentata

dalla realizzazione di vaste “**zone di controllo delle emissioni**” in tutte le acque dell’UE con l’obiettivo finale di azzerare l’inquinamento atmosferico e idrico provocato dal trasporto marittimo a vantaggio dei bacini marittimi, delle zone costiere e dei porti. Al riguardo sarà necessario anche un riesame della legislazione dell’UE sul riciclaggio delle navi al fine di individuare possibili misure volte a rafforzare, ossia a promuovere ulteriormente pratiche sicure e sostenibili. In questo contesto, la designazione delle aree di controllo delle emissioni nel Mare del Nord e nel Mar Baltico si è rivelata un successo, con una notevole riduzione delle emissioni di SOx e PM.

Tenendo presente la necessità di garantire la continuità del commercio e del traffico, l’ampia introduzione di zone di controllo delle emissioni in tutte le acque dell’UE (compreso il mar Mediterraneo) è da incoraggiare, come proposto dalla Commissione Europea nel quadro della *Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution* di Barcellona (EC, 2021o). Se approvata dall’IMO nel 2022, questa proposta avrà effetti molto positivi sia dal punto di vista della salute dei cittadini che degli ecosistemi, aumentando la biodiversità nelle zone costiere e contribuendo a sviluppare ulteriormente le attività economiche correlate.

Al fine di sviluppare ulteriormente una capacità di modellazione e monitoraggio di dati relativi alle emissioni nell’aria, ai rifiuti marini, al rumore sottomarino e alle specie non indigene a livello dell’UE, è anche rilevante lo sviluppo di un approccio sempre più completo e coerente per poter calcolare il contributo relativo del settore marittimo alle varie pressioni e impatti ambientali. Gli schemi e i piani d’azione esistenti (ad esempio i gruppi tecnici della direttiva quadro sulla strategia per l’ambiente marino), nonché i futuri programmi e iniziative europei legati allo sviluppo e all’adozione di tecnologie digitali innovative, possono supportare alcune di queste esigenze di monitoraggio.

Il Programma di osservazione della Terra Copernicus, l’iniziativa *EU Digital Twins/Destination Earth*, il quadro di monitoraggio e prospettive nell’ambito del piano d’azione *Zero Pollution* sono passi positivi e importanti in questa direzione. È fondamentale che il settore del trasporto marittimo sia parte integrante di questi programmi in modo che tutte le esigenze di osservazione, modellizzazione, monitoraggio e rendicontazione specifiche del settore siano adeguatamente integrate e soddisfatte.

7.3.4 Politiche a sostegno della transizione tecnologica verso veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati

Recenti sviluppi tecnologici, specie per le batterie e l’elettricità rinnovabile, sono stati in grado di ridurre i costi e aumentare la competitività dei componenti chiave di tecnologie capaci di disaccoppiare strutturalmente attività di trasporto ed emissioni di gas serra. Questi sviluppi hanno stimolato cambiamenti significativi nella capitalizzazione di mercato delle case automobilistiche e delle società energetiche.

Sono sorti nuovi concorrenti sul mercato, guidati dalle prospettive di vendite significative per i loro prodotti e dai vantaggi tecnologici rispetto ad operatori storici che non hanno investito in modo significativo nella transizione verso elettrificazione e digitalizzazione. A queste dinamiche si sono aggiunti gli effetti del Covid-19, che hanno accelerato lo sviluppo di politiche capaci di supportare la transizione verso il digitale, affiancandola a soluzioni capaci di allinearsi con una visione della ripresa più sostenibile, sintetizzata dal concetto di “*build back better*”.

La consapevolezza di queste dinamiche è aumentata tra i responsabili politici, determinando azioni rafforzate e politiche tecnologiche che mirano a promuovere l’innovazione stimolando al tempo stesso l’implementazione della tecnologia e lo sviluppo industriale. La proposta delineata nel pacchetto Fit for 55

in Europa va letta anche in questa chiave. In considerazione di questi sviluppi l'industria ha investito (in alcuni casi già massicciamente, in altri meno) in soluzioni tecnologiche con miglior profilo di sostenibilità, come i veicoli elettrici a batteria in campo automobilistico, l'elettrificazione di linee e veicoli nel trasporto ferroviario, tecnologie ad alta efficienza energetica e capaci di diversificare i vettori energetici nell'aviazione, fonti rinnovabili per la generazione elettrica e sistemi di ottimizzazione dei sistemi (per esempio le tecnologie usate nelle "smart grids" per le reti elettriche).

Nonostante questi sviluppi positivi, le tecnologie capaci di disaccoppiare in profondità attività di trasporto e emissioni di gas serra non sono ancora fortemente utilizzate rispetto a soluzioni basate sulla combustione di combustibili fossili. Per quanto riguarda le vetture elettriche, ad esempio, non è sufficiente che il **Total Cost of Ownership (TCO) sia già oggi migliore delle vetture tradizionali** secondo (il *Car Cost Index 2021 di LeasePlan* il TCO delle auto elettriche è dal 2021 in Europa inferiore alle auto diesel e benzina (si veda il *Car Cost Index 2021*).

La scelta è frenata da altri fattori, quali un'informazione e conoscenza della tecnologia che non è ancora sviluppata, fattori culturali, ancora una non diffusa esperienza nell'uso della rete di ricarica. L'azione di politiche pubbliche capaci di rovesciare questi fattori limitanti è importante per consentire a queste tecnologie di emergere su larga scala e sono necessari, nell'ambito dei rispettivi business model e piani di sviluppo, anche interventi per accompagnare la transizione con lo sviluppo di infrastrutture che consentano l'accesso a vettori energetici decarbonizzati (specialmente l'elettricità, e, potenzialmente, anche altri vettori come idrogeno e ammoniaca, mentre i combustibili sintetici ed i biocombustibili avanzati possono fare uso di infrastrutture già esistenti).

Oltre alle infrastrutture pubbliche, è anche importante supportare, via incentivi fiscali e *building codes*, l'installazione di sistemi privati di ricarica, specialmente per automobili, anche per palazzine residenziali e affittuari che altrimenti dovrebbero dipendere unicamente sul sistema di ricarica pubblico, con limitazioni in termini di praticità e convenienza.

L'entità della transizione è vasta e le implicazioni che essa può avere per il sistema industriale, il lavoro, le opportunità di crescita economica, i rischi di "stranded assets", la domanda di materie prime, le catene di approvvigionamento e le finanze pubbliche (per esempio per via della variazione del gettito fiscale legato alla vendita di combustibili fossili) sono profonde. Questo richiede l'adozione di misure che non siano limitate alla stimolazione della domanda di nuovi prodotti, ma comprendano anche strumenti capaci di favorire una trasformazione del sistema industriale, della formazione e della fiscalità, in aggiunta a strumenti di politica estera multilaterale volti a gestire la sicurezza di approvvigionamento delle materie prime necessarie alla transizione.

In questo quadro, prioritizzare risorse su ambiti che hanno una funzione chiave per la transizione (come batterie, produzione di energia rinnovabile, tecnologie digitali per l'ottimizzazione dei sistemi) può portare vantaggi significativi e minimizzare i rischi. Nello stesso tempo, gestire i rischi richiede anche lo sviluppo di progetti ambiziosi per la sperimentazione di soluzioni innovative per tecnologie che sono ancora in fase pre-commerciale (come nel caso di soluzioni legate all'idrogeno decarbonizzato).

Data la rilevanza degli impatti legati alla transizione, lo sviluppo delle politiche pubbliche richiede anche una **visione condivisa** (comprese industria, finanza, società civile e sindacati) ed un **coordinamento efficace tra diverse parti della pubblica amministrazione**, sia in termini di aree di competenza (che fanno capo a diversi ministeri) sia a livello amministrativo (comuni, province, regioni e governo centrale).

Per quello che riguarda lo stimolo della domanda (e dell'offerta) di tecnologie capaci di disaccoppiare attività economica ed emissioni, le azioni si possono distinguere in base **allo scopo** (veicoli o vettori energetici), **la natura dell'intervento** (tecnico, economico, regolatorio), **il tempo più appropriato per l'intervento** ed **il livello amministrativo dell'intervento**. L'aspetto temporale va anche legato al livello di

sviluppo delle tecnologie (technology readiness level, TRL), dal momento che non tutti gli strumenti sono ottimali per le diverse fasi dello sviluppo tecnologico.

Nella misura in cui le politiche volte a stimolare l'abbattimento dei costi hanno successo e si traducono anche in incrementi delle parti di mercato per veicoli e energia decarbonizzati, il quadro regolatorio va adattato. Un esempio che mostra come questo sia già successo è quello dell'elettricità rinnovabile prodotta su larga scala, che - a seguito dell'efficacia delle politiche adottate in passato - è già stata esclusa, nelle misure adottate nel 2020 in Europa, da misure di *dispatching* prioritario rispetto ad altre fonti di generazione elettrica.

Le azioni capaci di stimolare la transizione verso veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati includono diverse possibilità. La discussione che segue tiene anche conto che l'effetto ambientale dei veicoli alimentati da fonti non fossili non coincide necessariamente con una diminuzione delle emissioni, e va quindi considerato analizzando gli impatti che la transizione tecnologica ha sul ciclo di vita (infra).

È fondamentale che la definizione delle tecnologie da promuovere/incentivare sia tale da garantire un abbattimento reale e significativo delle emissioni sul ciclo di vita assicurando allo stesso tempo alta efficienza energetica. Inoltre va considerato che l'elettrificazione diretta può fornire una quota significativa delle riduzioni delle emissioni di gas serra nel trasporto su gomma ed in quello ferroviario, ma non nel caso del trasporto aereo e marittimo su lunghe distanze, come discusso nel Capitolo 6. Le considerazioni che seguono considerano che il progresso tecnologico in altre tecnologie a basse emissioni di carbonio deve ancora essere accelerato.

Il tema è specialmente rilevante per tecnologie con le migliori credenziali di sostenibilità (in particolare sulla loro capacità di ridurre le emissioni di gas serra, minimizzare l'uso del suolo, evitare elevate perdite termodinamiche attraverso la loro catena di approvvigionamento e garantire che l'approvvigionamento delle risorse naturali non comportino violazioni dei diritti umani, conflitti o crimini finanziari) e il miglior potenziale per competere con l'elettrificazione diretta sui costi, specie nel caso dell'aviazione e del trasporto navale. Tali tecnologie includono idrogeno verde (o in fase di transizione a basse emissioni di carbonio) e combustibili sintetici (in particolare *e-fuels*), altre forme di combustibili a emissioni zero e alcuni percorsi di biocarburanti sostenibili a basse emissioni di carbonio (almeno in specifiche regioni globali, e non necessariamente in Italia).

Nel seguito della sezione vengono analizzati gli aspetti legati a veicoli e vettori energetici per la mobilità, gli aspetti legati alla loro integrazione nella parte restante del sistema energetico, senza entrare nel dettaglio delle politiche relative ad altri usi finali di energia. I temi trattati includono pertanto: la fiscalità sui combustibili e su altri vettori energetici; norme, regolamenti e standard di natura tecnica, incentivi economici volti a favorire la transizione tecnologica, strumenti regolatori e le modalità di preparazione della transizione dovuta ad una riduzione del gettito fiscale dall'energia fossile.

7.3.4.1 Fiscalità sui combustibili e su altri vettori energetici

La prima classe di strumenti include misure capaci di applicare un costo per il carbonio, nella forma di tasse o prezzi determinati da un mercato di emissioni. Questo è in linea con l'*Emission Trading Scheme (ETS)*, finalizzato ad applicare prezzi del carbonio per settori caratterizzati da grandi quantità di emissioni (compresa produzione elettrica, raffinazione per la produzione di combustibili liquidi derivati dal petrolio, ed altri settori industriali o energetici) e copre le emissioni legate alla produzione dei vettori energetici (*well-to-tank*). Questo è anche in linea (per la parte *tank-to-wheel*, ovvero le emissioni dirette di gas serra) con le politiche nazionali di tassazione dei combustibili destinati al trasporto e con la proposta di revisione della *Energy Tax Directive* avanzata a luglio 2021 dalla Commissione Europea.

La tassazione dei combustibili fossili è anche particolarmente rilevante nel caso di aerei e navi, ovvero modalità di trasporto dove i livelli di imposizione fiscale sui combustibili sono molto più bassi rispetto al trasporto su gomma. Questa è effettivamente la direzione inclusa nella proposta di revisione dell'*Energy Tax Directive*, che tiene presente anche la necessità di un coordinamento con altri paesi europei e rischi potenzialmente maggiori, in termini di impatto sulla competitività dei prodotti europei per l'export, nel caso delle navi, rispetto agli aerei.

I meccanismi di stimolazione della transizione legati alla tassazione sono riconducibili agli impatti che il prezzo del carbonio ha sulla competitività di diversi vettori energetici, favorendo quelli decarbonizzati. Altri impatti sono associati agli effetti che questo tipo di interventi hanno sui costi totali del trasporto, con conseguenze legate al valore di interventi di efficienza energetica nei veicoli, e possono anche avere effetti potenzialmente regressivi.

L'impatto sull'efficienza è più rilevante in casi in cui il prezzo del carbonio aumenta il prezzo dei vettori energetici, un aspetto che ha rilevanza maggiore nei casi in cui i vettori abbiano più difficoltà ad essere decarbonizzati a costi accessibili, e può portare ad una compensazione dell'incremento dei costi totali di trasporto se le misure di miglioramento dell'efficienza sono disponibili a costi competitivi. Gli effetti regressivi sono più importanti in casi in cui l'aumento dei prezzi non è focalizzato sulle modalità di trasporto utilizzate dalla parte più affluente della società (come succede invece, spesso, per l'aviazione).

Altri impatti potenzialmente negativi possono anche verificarsi per esportazioni e per i prezzi dei beni importati, per esempio nel caso del trasporto marittimo delle merci (ed ancora una volta in casi in cui miglioramenti dell'efficienza energetica e della decarbonizzazione a basso costo dei vettori energetici non siano possibili).

La proposta contenuta nel pacchetto Fit for 55 di creare un ETS parallelo (vedi Appendice 1) per i vettori energetici nei trasporti e nel riscaldamento delle abitazioni va valutata positivamente in quanto capace di garantire il raggiungimento degli obiettivi al 2030 e 2050. Peraltro, tale estensione del mercato ETS va accompagnata da una reale concorrenza tra i diversi operatori e capace di non trasferire i costi del sistema ETS sugli utenti finali come accadrebbe in regimi di semi-monopolio purtroppo ancora molto presenti.

L'effetto del mercato ETS del carbonio sui prezzi dell'energia e dei vettori energetici non deve essere sistematicamente annullato con interventi statali in quanto il calmieramento annullerebbe l'effetto di aumento della convenienza di vettori e tecnologie a basse o zero emissioni o la possibilità per gli utenti finali di operare scelte di cambio di fornitori verso fornitori virtuosi per evitare gli aumenti. La transizione non può essere neutra per gli operatori economici, ma deve premiare quelli che sono più capaci di innovare in modo sostenibile. Soltanto se questi effetti di mercato diventano sensibili si possono generare evoluzioni virtuose.

La formazione del prezzo nel mercato dell'energia all'ingrosso avviene il giorno precedente per slot di 15 minuti della giornata seguente secondo il metodo del prezzo marginale. Viene messo a gara un quantitativo di energia che il gestore di rete ritiene necessaria e i vari operatori rispondono con un quantitativo e il relativo prezzo. L'asta viene aggiudicata a coloro che offrono prezzi via via superiori per quantitativi crescenti fino alla saturazione del quantitativo totale richiesto dal gestore. Il prezzo per tutto lo slot è quello dell'ultimo offerente al prezzo più alto.

Questo sistema ha funzionato bene in periodi di prezzi delle materie prime energetiche stabili. Nell'autunno 2021 si è verificata un'impennata molto forte dei prezzi del gas sui mercati spot, e questo ciò ha comportato una impennata quasi parallela nel prezzo dell'energia all'ingrosso dovuto all'effetto sul prezzo marginale di quegli operatori che dovevano rifornirsi sui mercati spot. Di fatto, altri operatori che producono con centrali turbogas che si erano preventivamente coperti con contratti a prezzo fisso di lungo termine hanno potuto vendere con margini altissimi.

Questo involontario effetto del sistema ha fatto pensare a forme alternative di mercato, su cui l'Agenzia Europea ACER dovrà riferire agli stati membri nella primavera 2022. Il sistema usato in UK del "pay as you bid" paga ad ogni offerente entrato nel lotto il prezzo richiesto, e non il prezzo marginale. Questo sistema farebbe scendere il prezzo all'ingrosso pur con alcuni inconvenienti. Va comunque progettato un nuovo sistema per il momento in cui le rinnovabili saranno prevalenti in quanto fotovoltaico ed eolico devono essere dispacciati e hanno solo costi fissi e di ammortamento ai quali male si adatta il sistema attuale.

7.3.4.2. Norme, regolamenti e standard di natura tecnica

L'incremento della domanda di veicoli e vettori energetici efficienti, sostenibili e decarbonizzati richiede lo sviluppo di normative di tipo tecnico che ne consenta l'operazione e l'uso in condizioni di sicurezza e la valutazione dell'impatto che diverse soluzioni tecnologiche hanno su salute e ambiente, incluse emissioni di gas serra ed inquinanti locali. Questa valutazione deve avere un approccio basato sull'analisi del ciclo di vita di veicoli, vettori energetici ed infrastrutture necessarie alla loro operazione ed al loro uso. Per la mobilità condivisa, l'analisi deve anche tenere conto di impatti dovuti alla necessità di servizi che ne garantiscono l'operatività.

Le normative tecniche sono essenziali per permettere una misurazione accurata dei diversi impatti e, come tali, sono prerequisiti essenziali per lo sviluppo di altre misure, come incentivi economici e limitazioni di natura regolatoria. Esempi chiave di settori in cui occorre sviluppare nuove norme tecniche ed adattare quelle esistenti includono i veicoli a basse o zero emissioni dirette, le stazioni ed i sistemi di ricarica (specie per quelle ad alta potenza per veicoli pesanti nel trasporto su gomma, per i componenti relative a veicoli ed infrastruttura nel caso di sistemi stradali elettrici - "electric road systems" (ERS), e per lo scambio di batterie), le stazioni per il rifornimento di idrogeno (specie per mezzi pesanti per il trasporto su gomma) ed ammoniacca (specie per le navi), i combustibili sintetici sostenibili e le loro caratteristiche (specie per l'aviazione en nel caso del metanolo "verde", le navi, ma possibilmente anche per altri mezzi di trasporto).

A questo si aggiungono anche analoghe norme tecniche particolarmente rilevanti per forme di mobilità condivisa, connettività ed automazione, anche nel caso della sharing e dello scambio di informazioni.

Considerazioni simili vanno anche estese al caso della logistica, dove una maggiore armonizzazione del packaging può portare a vantaggi significativi per l'ottimizzazione dei sistemi, sulla linea di quanto è successo in passato con i container. L'interoperabilità dei sistemi attraverso le frontiere (non solo europee) è un aspetto di fondamentale importanza per consentire uno sviluppo tecnologico su larga scala e per ridurre i rischi di investimento per gli operatori privati. Un caso è quello dell'interoperabilità delle stazioni di ricarica (compresi pagamenti e protocolli di comunicazione tra diversi attori del mercato).

Considerando l'ambizione temporale delle politiche europee come l'European Green Deal, è importante che il processo di sviluppo degli standard tecnici necessari all'adozione su larga scala ed in sicurezza di tecnologie capaci di rendere veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati sia accelerato. Data la natura globale o quantomeno internazionale dei mercati di veicoli, dei vettori energetici e dei servizi di mobilità, è fondamentale che lo sviluppo dello sopracitate norme tecniche sia inquadrato nel contesto di attività internazionali, come quelle relative al Foro mondiale per l'armonizzazione dei regolamenti per i veicoli (WP.29), nel quadro delle Nazioni Unite ed ad altre istituzioni internazionali legate alla standardizzazione, come l'International Organization for Standardization (ISO), the International Electrotechnical Commission (IEC), l'European Committee for Standardisation (CEN), l'European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC) e l'International Telecommunication Union (ITU), nonché nell'ambito delle discussioni CORSIA-ICAO e IMO.

Considerata la rilevanza degli standard tecnici per consentire l'adozione su larga scala di tecnologie innovative, la necessità di accelerare il ritmo di sviluppo ed adozione di nuove norme, la complessità del soggetto e la sua importanza per il mondo industriale e lo sviluppo del sistema produttivo in un contesto di transizione, è fondamentale che le autorità pubbliche nazionali si dotino di sistemi competenze tecniche e sistemi capaci di coinvolgere e favorire il dialogo con il settore privato in questo contesto, costruendo una capacità sistemica di anticipare il cambiamento e contribuire a questo processo in modo informato, attivo, sinergico e fedele agli obiettivi dell'European Green Deal.

Oltre agli impatti relativi ad efficienza energetica ed emissioni di gas serra, gli standard tecnici devono continuare a coprire altri impatti di agenti inquinanti su salute ed ambiente. È questo il caso per inquinanti locali come particolato ed ossidi di azoto, già coperti, con altri inquinanti locali. Questo tema è soggetto ad importanti sviluppi in sede europea e ONU, come nel caso dello sviluppo delle norme Euro 7 (o VII) per auto e mezzi pesanti, e norme analoghe per veicoli motorizzati più leggeri. In questo quadro è necessario ricordare che l'evoluzione verso l'azzeramento delle emissioni di inquinanti locali tenderà ad includere emissioni dovute al consumo di freni e pneumatici. Non a caso, il soggetto dello sviluppo di standard e regolamenti di natura tecnica, è parte integrante delle attività che caratterizzano la strategia industriale europea, sviluppata con la volontà esplicita di supportare la transizione "verde" e quella digitale (EC, 2021a).

Tra le norme da considerare vanno menzionati gli interventi che vincolano la progettazione di nuovi edifici alla realizzazione di un numero minimo di "posti macchina". Questa regolamentazione, se ha lo scopo di non intasare le vie pubbliche con le auto dei futuri residenti, d'altra parte conferma la centralità dell'automobile privata in contrasto con l'obiettivo di riduzione del traffico. Non solo, lo spazio dedicato ai posti auto e i costi per la loro realizzazione penalizzano i cittadini che non ritengono di dover utilizzare un'auto: se la logica del "minimo" numero di posti auto fosse rovesciata nel senso di prevederne un numero massimo allora gli architetti avrebbero maggior agio nel disegnare *facilities* a maggior valore di benessere, come spazi per la socialità, verde, attrezzature sportive eccetera.

7.3.4.3 Incentivi economici volti a favorire la transizione tecnologica

Gli incentivi economici finalizzati ad aumentare l'offerta e la domanda di questi veicoli ha un ruolo rilevante in questo contesto, specie in casi in cui le tecnologie si sono dimostrate capaci di contribuire efficacemente (anche dal punto di vista dei costi) ad una transizione verso una maggiore mobilità sostenibile ed un parallelo sviluppo del sistema industriale. Tuttavia occorre che tali incentivi siano ben calibrati in modo da agire in modo mirato, cioè differenziato per categorie di utenti e di spostamento, ed in modo complementare e non concorrenziale alle misure di shift modale.

Gli incentivi economici possono essere generalmente classificati in **due gruppi**. Il primo è costituito dal lato dell'**offerta** o misure di spinta tecnologica ("*technology push*") che promuovono gli investimenti nella produzione di veicoli puliti e/o progresso tecnologico per ridurre i costi. Il secondo consiste in misure dal lato della **domanda** o "*market pull*" che stimolano la domanda dei consumatori di veicoli puliti.

Il sostegno pubblico alla ricerca e all'innovazione è la misura dal lato dell'offerta di maggiore rilevanza nella fase iniziale dello sviluppo tecnologico, quando gli stanziamenti di bilancio per stimolare la domanda sono probabilmente utilizzati al meglio in programmi mirati, consentendo la prima commercializzazione di forme innovative di veicoli efficienti ed a basse emissioni e vettori energetici decarbonizzati. Il sostegno alla ricerca e sviluppo attraverso incentivi fiscali può assumere la forma di un trattamento fiscale vantaggioso delle spese di ricerca e sviluppo, nonché di agevolazioni trattamento dei redditi derivati da ricerca e sviluppo o brevetti (OECD, 2018).

L'accelerazione dello sviluppo di tecnologie alternative a basse emissioni di carbonio (fondi per la ricerca e l'innovazione per prodotti ad alta qualità) è particolarmente importante per i settori che sono più esposti alla transizione verso un sistema decarbonizzato. Promuovere l'innovazione e un maggiore allineamento con la capacità di riduzione delle emissioni di gas serra, la riduzione dei costi, l'efficienza energetica e delle risorse saranno importanti, in questo contesto, per mitigare i rischi di "stranded assets", gli impatti sull'occupazione, nonché gli impatti geopolitici. In questo quadro va letta la strategia industriale europea con la volontà esplicita di supportare la transizione "verde" e quella digitale con una combinazione di azioni che includono esplicitamente il supporto all'innovazione (EC, 2021a).

Le politiche in particolare attengono a sovvenzioni a copertura parziale o totale degli interessi sui prestiti privati, in tutto o in parte in grado di coprire le spese specifiche del progetto, ed anche co-investimenti, che aiutano a condividere il rischio commerciale tra settore pubblico e privato. Al di là della fase iniziale della diffusione della tecnologia, il sostegno pubblico dal lato dell'offerta deve orientarsi verso la leva della domanda pubblica complementata dalla mobilitazione di investimenti privati.

Questa modalità, di cui si riporta una più ampia discussione in Appendice 3, è più rilevante per casi in cui le tecnologie sono più vicine a competere in modo economicamente efficace ed hanno bisogno di incrementi di scala. Un esempio concreto è quello dei veicoli che vengono utilizzati in modo intensivo, come autobus urbani e altre flotte.

Man mano che le tecnologie efficienti, sostenibili e decarbonizzate si muovono verso la parità di costo per profili specifici di utilizzo (generalmente più intensivi in termini di fabbisogno di energia), le politiche di supporto alla transizione devono coinvolgere applicazioni di più larga scala. Dal lato dell'offerta, strumenti finanziari come *green bonds* acquistano una maggiore rilevanza, rispetto ad altre forme di sostegno pubblico, per la mobilitazione del capitale privato, che consente investimenti in linea con l'aumento di scala del mercato. Dal lato della domanda, l'attenzione deve iniziare a spostarsi su porzioni più grandi del mercato.

Nel caso dei veicoli individuali, la **tassazione differenziata sull'acquisto o la circolazione in base alle caratteristiche ambientali** può dare un contributo significativo in questo contesto ed anche in termini di miglioramento della qualità dell'aria e della riduzione di emissioni, specie se è indirizzata verso la sostituzione di veicoli tecnologicamente obsoleti e nello stesso tempo soggetti a norme di emissione ed efficienza meno stringenti (IEA, 2018a; Runkel & Mahler, 2018; IEA, 2019; Wappelhorst & Cui, 2020).

Tale strumento, in funzione delle performance relative ad efficienza ed emissioni dirette, può anche essere complementato da politiche sviluppate da amministrazioni locali, come nel caso di **tariffe differenziate per parcheggio, accesso e uso delle infrastrutture stradali** in base alle prestazioni ambientali dei veicoli.

Soprattutto (ma non solo) quando la domanda del mercato e l'offerta di veicoli raggiungono la maturità, gli incentivi alla domanda e all'offerta devono evolvere verso strumenti regolatori (discussi nel seguito) sia per garantire resilienza e sostenibilità nella trasformazione del mercato sia per le implicazioni sullo sviluppo di infrastrutture che sono all'intersezione del settore della mobilità e di quello dell'energia.

Caratteristiche tecniche che influenzano gli incentivi

La complessità della sfida di fissare efficacemente gli incentivi economici è influenzata da fattori di natura tecnica quali ad esempio gli sviluppi del mercato, le modalità di diffusione della tecnologia e le modalità di competizione e condivisione sui costi.

- **Gli sviluppi del mercato** non sono uniformi per tutti i modi di trasporto su strada. Alcune modalità (es. bus, veicoli per le consegne urbane e due ruote) sono in una posizione migliore per una transizione più rapida (in particolare per quello che riguarda l'elettrificazione) (ITF, 2020b; ITF, 2020a), altre (ad esempio i veicoli pesanti usati su percorsi lunghi) potrebbero essere più adatti per una transizione successiva, beneficiando delle riduzioni dei costi che ne derivano dalla precedente diffusione del mercato nel segmento automobilistico (ovvero il segmento di mercato con il più grande volume delle vendite); nelle valutazioni è anche importante considerare le differenze nei profili di missione (es. uso urbano rispetto a uso non urbano).
- **La diffusione tecnologica** non avviene in modo isolato e deve tenere conto delle dinamiche che influenzano costi e volumi di produzione al di là del settore del trasporto. Un esempio cruciale è il caso delle batterie, il cui costo è diminuito grazie alla domanda su larga scala in un mercato ad alto valore come l'elettronica di consumo (IEA, 2018b), prima di raggiungere le auto, partendo anche in questo caso da veicoli ad alto margine (ITF, 2020a).
- **Le tecnologie che mostrano un chiaro potenziale per competere sui costi** con quelle attualmente in uso sono in una posizione di gran lunga migliore per avere successo rispetto alle tecnologie che non hanno aspettative convincenti per offrire costi operativi inferiori.
- **Le tecnologie sono notevolmente favorite se possono offrire la prospettiva di una condivisione dei costi di trasporto e/o trasmissione dell'energia.** Questo è più probabile nei casi in cui il vettore energetico non è usato esclusivamente nei trasporti, ma utilizzato anche in altri settori, come nell'edilizia e nell'industria. La disponibilità delle infrastrutture di distribuzione dell'energia è anche importante in questo contesto.

Gli ultimi tre punti (oltre alle differenze nella probabilità di contribuire al risparmio netto di energia e le emissioni di gas a effetto serra una volta raggiunta la diffusione su larga scala) spiegano in gran parte la netta differenza nella risposta del mercato dei veicoli per quello che riguarda la diffusione di tecnologie elettrificazione diretta (PHEV e BEV) e le tecnologie basate su pile a combustibile e idrogeno. Queste considerazioni, focalizzate sul caso dei veicoli per il trasporto su gomma nella discussione precedente, possono essere generalizzate ad altre applicazioni, compresi i vettori energetici decarbonizzati. La necessità di un chiaro potenziale per competere sui costi con quelle attualmente in uso è fondamentale nell'analisi di vettori energetici alternativi e della loro produzione.

L'esempio più evidente è quello delle energie rinnovabili per la generazione elettrica, che - come discusso nel Capitolo 6 - sono oggi competitive con altre tecnologie e certamente destinate ad una indispensabile forte crescita futura, con implicazioni importanti per le prospettive di sviluppo economico ed industriale, rendendole molto rilevanti per l'indirizzo della politica industriale anche in Italia. Un altro esempio è quello di diversi tipi di "sustainable aviation fuels" (SAF), con prospettive di riduzione dei costi (ed allineamento con la necessità di abbattere le emissioni) che non sono uniformi per tutti i processi produttivi.

L'importanza di caratteristiche tecniche che permettono un abbattimento dei costi (e la loro rilevanza per le scelte delle infrastrutture su cui investire) sottolinea la necessità di sviluppare una capacità analitica in ambito nazionale al fine di massimizzare i benefici legati all'indirizzo degli incentivi economici per lo sviluppo tecnologico legato alla decarbonizzazione.

Il caso delle infrastrutture di ricarica dei veicoli

Gli incentivi economici sono rilevanti anche per quello che riguarda l'accesso a fonti energetiche che possono essere significativamente decarbonizzate. Dato lo stato dello sviluppo tecnologico, questo è particolarmente rilevante per l'installazione di stazioni di ricarica per veicoli elettrici, per casi in cui occorre garantire una distribuzione geografica, nonostante frequenze di utilizzo che, specialmente attualmente (data la fase iniziale della transizione tecnologica), possono rimanere limitate.

La disponibilità di stazioni di ricarica accessibili al pubblico è importante per accompagnare la transizione verso la tecnologia BEVs. Nella fase iniziale di sviluppo delle infrastrutture, il supporto pubblico e le flotte di veicoli possono essere strumentali, specie nei casi in cui l'elettrificazione è o è destinata ad essere economicamente competitiva più rapidamente (veicoli a lunga percorrenza annuale, utilizzati in ambito urbano e con chilometraggio giornaliero prevedibile e limitato da tempi di utilizzo e velocità limitata in città, combinato a vantaggi in termini di efficienza energetica degli EV per la guida nel traffico).

Per i **veicoli privati**, dati relativi a paesi scandinavi (IEA, 2018a) mostrano chiaramente che la **ricarica a casa è la soluzione più adottata**. Si tratta di una soluzione meno impattante per il network di trasporto e distribuzione elettrica (per via delle potenze limitate), ha costi di capitale (hardware ed installazione) che possono essere ripagati dai benefici legati al costo inferiore di energia al km ed anche da benefici ulteriori in presenza di gestione ed ottimizzazione della domanda, dove gli strumenti più adeguati sono di tipo regolatorio (e quindi discussi nel seguito). Tuttavia, la ricarica a casa non è applicabile laddove le auto siano parcheggiate in spazi pubblici, come in casi in cui i possessori dei veicoli non abbiano accesso a posto auto privato, come in molte città italiane e per parti della società meno affluenti.

Con il recepimento della Direttiva RED II è stato dato un inquadramento regolatorio certo alle cosiddette **"comunità energetiche"**¹⁶⁰, per esempio costituibili in condomini privati. L'installazione di una copertura fotovoltaica sul tetto del condominio e di una capacità di stoccaggio stazionario (che può essere limitata da sistemi di ottimizzazione di approvvigionamento e domanda) possono diventare proprietà collettive da cui ciascun co-proprietario può beneficiare, anche realizzando per esempio stazioni di ricarica comuni nelle quali tutti i co-proprietari possono accedere, anche in assenza di posti auto personali.

Lo sviluppo delle comunità energetiche sarà un componente essenziale del progresso verso l'estensione delle energie rinnovabili e la promozione della mobilità elettrica. La scommessa oggi è quella di riuscire a passare dalla fase sperimentale degli ultimi anni, che è stata fortemente sovvenzionata, ad un sistema senza sovvenzioni basato sul risparmio in bolletta dei partecipanti alla CER. Oltre a una campagna di informazione, che in questo periodo di bollette elettriche molto alte può avere senza dubbio successo, potrebbe essere costituito un fondo di garanzia per facilitare il rilascio di crediti bancari ai gruppi di cittadini o alle imprese che vogliono costituire una CER.

Eventuali strumenti in tal senso premiano l'autoconsumo e favoriscono l'installazione di impianti di stoccaggio e di sistemi intelligenti per massimizzare l'utilizzo, anche tramite utenze quali ricariche per auto elettriche, pompe di calore, etc. L'energia elettrica in eccesso non può essere scambiata sul posto ma viene retribuita dal gestore della rete in modo molto più conveniente rispetto al caso dei privati autoproduttori per mezzo di una tariffa incentivante.

Gli incentivi per l'installazione di punti di ricarica sono più appropriati laddove i bassi tassi di utilizzo pongono un problema per la sostenibilità economica delle infrastrutture di ricarica e laddove investimenti sono necessari al rafforzamento della rete elettrica (specie in un contesto in cui quest'ultimo è legato anche ad una maggiore elettrificazione degli usi finali di energia in altri settori).

Man mano che la quota di auto elettriche cresce e il mercato matura, con la diffusione di veicoli dal costo di acquisto più accessibile al grande pubblico, è ragionevole aspettarsi che la frazione di stazioni di ricarica capace di autosostenersi economicamente (grazie anche a tassi di utilizzo più elevati) aumenti. Il completo recupero dei costi può essere facilitato dalla disponibilità di flussi di entrate aggiuntivi, come il pagamento dell'uso di suolo pubblico per il parcheggio o il reddito derivante dalla possibilità di attrarre clienti nel caso di strutture commerciali che offrono la ricarica dei veicoli elettrici.

¹⁶⁰ Le comunità energetiche hanno la potenzialità di diventare non solo il sistema di diffusione principale del solare fotovoltaico, ma anche di promozione della mobilità elettrica. L'autoproduzione fa scendere i costi delle bollette elettriche per i partecipanti alla Comunità, e non comporta oneri di adeguamento della rete in quanto è limitata ad un sottoinsieme di una medesima cabina primaria.

Per la **ricarica pubblica** (queste considerazioni sono rilevanti anche nel caso di “*shore power*” per le navi attraccate) occorrono **modelli di business che ne consentano l’installazione, il funzionamento e la manutenzione, rendendola praticabile senza sussidi** ed a costi sufficientemente bassi per garantire la competitività economica delle tecnologie BEV e PHEV.

Data la necessità di mantenere l’infrastruttura di ricarica accessibile al pubblico e sufficientemente diffusa dal punto di vista geografico, strumenti di incentivazione potrebbero includere requisiti normativi che consentano la sovvenzione incrociata da punti di ricarica con tassi di utilizzo più elevati e/o utilizzo di mezzi pubblici attraverso contratti analoghi a quelli relativi alla fornitura di servizi di trasporto pubblico. Questo tipo di approccio è già stato adottato in Norvegia, nel caso dei punti di ricarica per le auto (IEA, 2018a).

Altri approcci che consentono di massimizzare l’uso delle infrastrutture di ricarica accessibili al pubblico (o semi-accessibili) includono (sempre per veicoli privati usati nel trasporto su gomma):

- Il modello adottato ad Amsterdam per i veicoli elettrici, basato sull’installazione di stazioni di ricarica “on-demand” per nuclei familiari che non hanno la possibilità di installare stazioni in un posto auto privato (Interreg Europe, 2021).
- La mobilitazione di capitali privati per l’installazione di stazioni di ricarica in luoghi di lavoro (anche grazie alla pressione legata a politiche di promozione dell’azione di mitigazione di emissioni dal punto di vista della mitigazione del rischio, e quindi legata a tassonomia delle attività sostenibili e finanza), data la rilevanza della frequenza d’uso di questo tipo di soluzione di ricarica, seconda solo alla ricarica a casa (IEA, 2018a).
- La mobilitazione di capitali privati per l’installazione di networks di stazioni di ricarica veloce sulle autostrade, come dimostrato dagli investimenti effettuati da Tesla (facendo leva su capitali resi disponibili dalla valutazione azionaria ed integrando i costi dell’infrastruttura di ricarica veloce in quelli dei veicoli), dal consorzio Ionity (che coinvolge diversi produttori di auto) e da altre società private emergenti.
- Il concetto “*battery on demand*”, combinato a “*battery swapping*” in un network di attività commerciali, già citato in precedenza come soluzione commercialmente utilizzata in Asia per veicoli a due ruote (Gogoro, 2021) e potenzialmente rilevante anche per auto, con sviluppi commerciali in Cina (BNEF, 2021), e mezzi pesanti, con progetti pilota già avviati, anche in questo caso in Cina (Liu & Danilovic, 2021).
- L’installazione di stazioni di ricarica in comunità energetiche condominiali o multi-condominiali, di cui si è parlato.

Valutazione degli incentivi in vigore per l’offerta e la domanda di veicoli a basse emissioni

Una panoramica degli incentivi economici in vigore per l’offerta e la domanda di veicoli puliti, nonché per la ricarica e infrastrutture di rifornimento (ITF, 2021), mostra che:

- I governi hanno la tendenza a intraprendere azioni più incisive per i veicoli *plug-in* che richiedono elettricità (BEV e PHEV) rispetto a veicoli a idrogeno. Ciò riflette un livello più alto di disponibilità tecnologica e minori barriere economiche per la disponibilità dell’elettricità, grazie al ruolo già diffuso dell’energia elettrica come vettore degli usi finali dell’energia.
- Gli incentivi economici si sono storicamente concentrati su auto e autobus urbani, sebbene siano in corso di ampliamento per includere altri veicoli pesanti.
- Per più di un decennio, la Cina ha utilizzato una serie di incentivi economici per stimolare sia la domanda per la fornitura di “veicoli di nuova energia” (in particolare BEV e PHEV, ma anche FCEV); questo include la fornitura di componenti chiave, come le batterie. La Cina è anche il mercato automobilistico che, ad oggi, ha posto la maggiore enfasi sulla distribuzione delle infrastrutture di ricarica.

- Anche lo spazio economico europeo emerge come una regione con un'importante serie di decisioni politiche sugli incentivi economici e una forte tradizione di investimenti in ricerca e sviluppo nel settore automobilistico, in particolare per i veicoli elettrici (BEV e PHEV). Questo mercato ha anche margini per una maggiore coerenza e un'azione più efficace nel caso della realizzazione di infrastrutture per la ricarica e il rifornimento. Ciò riflette la notevole autonomia di ciascun governo su argomenti che richiedono allocazioni specifiche di budget, che andrebbero armonizzate, specie alla luce della disponibilità di fondi legati allo strumento Next Generation EU.
- Gli Stati Uniti hanno utilizzato strumenti economici per incoraggiare sia la ricerca sia lo sviluppo e produzione di veicoli a basse emissioni e le relative infrastrutture energetiche, con investimenti importanti in questo settore, annunciati di recente, nonostante alcune scelte eterogenee tra gli stati. Le recenti decisioni hanno spostato l'attenzione verso lo scale-up della produzione di veicoli elettrici, batterie, catene di approvvigionamento del materiale delle batterie e implementazione dell'infrastruttura di ricarica, nonostante un interesse residuo nelle tecnologie FCEV e in altri veicoli puliti ed energie alternative tecnologie.

Considerazioni relative all'equità sociale degli incentivi economici per i veicoli elettrici

L'analisi degli incentivi relativi alle auto individuali mostrano anche che gli impatti sull'equità sociale meritano maggiore attenzione quando si esaminano le misure economiche in corso di attuazione per accelerare il passaggio alla mobilità a basse emissioni di carbonio.

È quindi **fondamentale che incentivi e programmi siano progettati in modo inclusivo e capace di consentire a tutti i gruppi di reddito di beneficiarne** (e sempre tenendo conto della maggiore equità sociale offerta da incentivi per il trasporto pubblico).

Per quello che riguarda le auto, esistono già esempi di buone pratiche. Nel 2016, il "*Clean Vehicle Rebate Project*" in California ha introdotto requisiti di idoneità al reddito per garantire una distribuzione più equa dell'incentivo (*Clean Vehicle Rebate Project*, 2016). In Francia, il sistema di tassazione differenziata dei veicoli è limitato da una soglia superiore per il prezzo dei veicoli a cui è applicabile (Ministère de l'économie, des finances et de la relance, 2021). I crediti d'imposta (inclusi i rimborsi fiscali) possono anche aiutare a ridurre l'importo dovuto in imposte di un importo specifico o di un intervallo di importi.

Per l'**infrastruttura di ricarica**, è importante tener conto che la differenza del costo del capitale necessario all'installazione di punti di ricarica domestici varia in funzione del tipo di abitazione. Il costo può essere più basso per unità unifamiliari, possibilmente anche rispetto ad edifici multifamiliari, specie se le installazioni in unità multifamiliari si devono fare carico dei costi di adattamento del network di distribuzione.

Considerazioni simili si applicano anche al costo operativo (con maggiori opportunità di sfruttare meccanismi di "demand response" per le unità unifamiliari, e quindi ridurre i costi). I costi per kWh sono invece maggiori per la ricarica pubblica, che è soggetta a costi di capitale (installazione, hardware) maggiori rispetto a quella privata a casa (anche nel caso di unità multifamiliari).

L'uso di incentivi per l'installazione di punti di ricarica pubblica può essere importante per abbattere i costi di accesso all'elettricità a segmenti della popolazione che hanno minore reddito ed assicurare che la parità di costi sia raggiunta in un modo che garantisce maggiore equità sociale. Allo stesso tempo, questo tipo di incentivi va valutato anche rispetto ad altri strumenti (discussi nella sezione precedente), capaci di migliorare l'equità sociale e l'accessibilità urbana a famiglie a basso reddito attraverso l'offerta di migliori servizi di trasporto pubblico, anche grazie all'integrazione con la micromobilità.

Nel caso dei **veicoli pesanti**, diversi studi mostrano che la competitività economica di veicoli a basse o zero emissioni (in particolare BEVs) è già una realtà nei segmenti leggeri e medi (IEA, 2018b, ITF, 2020a; Noll et al., 2022) e che i segmenti in cui è rilevante aumentano in presenza di incentivi specifici e politiche mirate (Basma et al. 2021, Noll et al., 2022).

Sulla base di queste considerazioni e dell'importanza del calcolo economico nelle flotte di veicoli usati nel trasporto merci, diverse analisi suggeriscono che un **mix di interventi volti ad alterare strutturalmente i costi operativi** dei veicoli merci potrebbe essere più adeguato rispetto a strumenti di tassazione differenziata sui costi di acquisizione (Noll et al., 2022).

Questo può garantire una maggiore efficienza economica e una maggiore flessibilità delle politiche pubbliche, anche alla luce della necessità di adottare, in futuro, misure che consentano il recupero dei costi di utilizzo delle infrastrutture anche per veicoli a basse emissioni (ITF, 2021).

Allo stesso tempo, questo **va valutato rispetto a potenziali impatti negativi per attività economiche posizionate ai margini del sistema industriale europeo**, e quindi potenzialmente soggette a svantaggi competitivi legati alla distanza, con potenziali impatti occupazionali. Come nel caso dei taxi, visto il maggior costo iniziale delle tecnologie elettriche, strumenti capaci di ridurre gli interessi dei prestiti necessari all'acquisizione dei veicoli è anche rilevante, specie per piccoli operatori con profili di rischio più alti rispetto ad imprese più solide e con altre opportunità di guadagno ed investimento.

Considerazioni sugli incentivi economici al di fuori del settore dei trasporti

È importante sottolineare la rilevanza generale di incentivi volti a promuovere una transizione sistemica verso tecnologie di uso finale di energia ad alta efficienza e vettori energetici capaci di vedere un abbattimento significativo dei costi se prodotti su larga scala e, nello stesso tempo, di essere profondamente decarbonizzati a costi competitivi.

La necessità di un chiaro potenziale per competere sui costi con quelle attualmente in uso è particolarmente importante nell'analisi di vettori energetici alternativi e della loro produzione, e non solo nel caso dei veicoli, discusso in precedenza. L'esempio più evidente è quello delle energie rinnovabili per la generazione elettrica, che - come discusso nel Capitolo 6 - sono oggi competitive con altre tecnologie e certamente soggette a prospettive di crescita futura, con implicazioni importanti per le prospettive di sviluppo economico ed industriale, rendendole molto rilevanti per l'indirizzo della politica industriale anche in Italia. Si tratta di implicazioni importanti per lo sviluppo delle infrastrutture, specie per combinazioni tecnologiche veicolo/vettore energetico con maggiori potenzialità di decarbonizzazione e costi più contenuti, dal momento che sono soggette ad un'aspettativa di crescita (ed una parallela domanda di nuove infrastrutture) più dinamica.

Nel campo della produzione di energia elettrica, che è candidato ad una completa decarbonizzazione in anticipo rispetto ad altri settori, sono in opera schemi incentivanti dalla metà degli anni '90, purtroppo con un andamento tortuoso e un affastellamento di norme, esenzioni e casi specifici che rendono il sistema molto complesso. Per gli impianti "utility scale" esiste un meccanismo di registri e aste gestito da GSE che permette di allocare gli incentivi seguendo una procedura standardizzata. Tale procedura peraltro ha visto negli ultimi anni un tasso di allocazione estremamente basso, dovuto al fatto che sono stati molto pochi i concorrenti alle aste ad avere ottenuto preventivamente le autorizzazioni amministrative (ambientali, paesaggistiche e tecniche) necessarie.

La necessità di realizzare almeno l'installazione di 7-8 GW/anno di nuovo rinnovabile (o di *repowering*) ha portato il governo ad approvare il decreto semplificazioni (decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, convertito con modificazioni dalla legge 108 del 29 luglio 2021, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n.181 del 30 luglio 2021) che cerca di ridurre i tempi di approvazione. È inoltre necessario moltiplicare le aste per assegnare più potenza da realizzare.

Al di là dei meccanismi incentivanti, le società energetiche che vincono una gara hanno fatto conto di produrre energia rinnovabile e di venderla ad un prezzo adeguato per remunerare i propri costi di investimento e coprire i costi operativi con un margine adeguato per garantirne la convenienza. Questo significa che le aziende, con il supporto del sistema bancario, anticipano gli investimenti che vengono ripagati nel tempo con la tariffa riconosciuta in bolletta. Per i costi di adeguamento e gestione della rete vige il metodo RAB (*Regulatory Asset Base*) che permette anche in questo caso di coprire i costi di ammortamento degli investimenti attraverso gli oneri di rete presenti in bolletta.

Oggi esiste anche un "*Capacity Market*" nel quale una serie di impianti turbogas sono retribuiti dal gestore del sistema elettrico (con costi recuperati in bolletta) per essere tenuti a disposizione in caso di necessità di equilibrio del sistema. Con la crescita delle rinnovabili e con il progressivo abbandono delle fonti fossili, si pone sempre di più il problema di chi debba realizzare gli impianti di stoccaggio e con che metodo retribuirli, se con un'estensione del Capacity Market, anche considerando che dovendo arrivare a "*net-zero*" gli impianti turbogas odierni tenuti in riserva dovranno essere dismessi entro il 2050, oppure con un'estensione del metodo RAB per il gestore della rete.

La realizzazione di impianti di energie rinnovabili di piccole dimensioni privati è oggi possibile con l'applicazione di bonus fiscali (soggetti a scadenze), mentre gli incentivi riconosciuti sull'energia immessa in rete si applicano sui nuovi impianti domestici con il meccanismo più conveniente dello "scambio sul posto". In questo caso il micro-produttore anche consumatore (prosumer) utilizza la rete come fosse uno stoccaggio, e preleva dalla rete in scambio con la possibilità che l'eventuale energia in più immessa nella rete e non scambiata viene a conguaglio retribuita con una tariffa bassa.

Per altre categorie e tipi di rinnovabili si applicano le disposizioni del Dlg. 8/11/2021 n°199 (GU n°285 del 30/11/2021). Questo atteso Decreto, che recepisce con ritardo la Direttiva RED II (quando a luglio 2021, nel pacchetto Fit for 55, la Commissione Europea ha fatto uscire la proposta di revisione di tale Direttiva per renderla compatibile con la legge Europea sul clima), ha finalmente regolato anche le "Comunità Energetiche" o CER.

Il caso tipico è quello della Comunità Energetica di un condominio (già sopra trattato) nel quale viene realizzato un grande impianto fotovoltaico (1 MW di limite massimo per l'incentivazione) sul tetto di cui possono usufruire tutti i partecipanti alla Comunità.

7.3.4.4 Strumenti regolatori

La discussione sviluppata nelle sezioni precedenti mostra che gli strumenti regolatori hanno un ruolo importante e complementare a quello degli incentivi finalizzati a promuovere e/o richiedere l'adozione di veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati. Nella misura in cui questi sviluppi regolatori riguardano il trasporto e la distribuzione di energia per il settore della mobilità, queste hanno rilevanza diretta per i futuri sviluppi infrastrutturali.

Diversi tipi di provvedimenti normativi sono in atto o in procinto di essere adottati nei principali settori dell'automotive e dell'energia a livello mondiale, rivolgendosi sia ai veicoli che ai vettori energetici. Nei casi direttamente o indirettamente legati alla mobilità (esclusa la costruzione delle infrastrutture), questi riguardano (ITF, 2021, CARB, 2021):

- Le emissioni di inquinanti locali.
- Il consumo di energia/le emissioni dirette di gas serra.
- La parte di mercato dei veicoli a basse o zero emissioni dirette.
- Il contenuto di carbonio ed i requisiti di sostenibilità per i componenti dei veicoli (in particolare le batterie).

- L'accesso all'uso della rete stradale per veicoli che non siano a basse o zero emissioni dirette, specie in ambito urbano.
- La parte dell'attività di trasporto di flotte specifiche su veicoli a basse o zero emissioni dirette.
- L'integrazione dei veicoli a basse o zero emissioni nel sistema energetico.
- L'intensità di carbonio e la sostenibilità dei vettori energetici.
- L'infrastruttura di ricarica/rifornimento.

Ad oggi, i requisiti regolatori o normativi sono stati introdotti nella maggior parte dei mercati automobilistici con l'obiettivo di gestire gli impatti dei veicoli di trasporto sulla qualità dell'aria locale, garantire che i veicoli contribuiscano al miglioramento dell'efficienza energetica e alla riduzione delle emissioni di gas serra, facilitando anche la diversificazione energetica, specialmente importante in un settore - come quello dei trasporti - che dipende ancora largamente da energia fossile. L'azione normativa è stata giustificata dal desiderio di aumentare la produttività economica, dato che un risparmio energetico conveniente può contribuire a favorire lo sviluppo sia economico che industriale. Ciò è particolarmente importante nei casi in cui l'industria automobilistica ha un ruolo centrale nell'economia e dove la sua competitività è fondamentale per garantire che lo sviluppo economico poggi su solide basi. Le normative sul consumo energetico e le emissioni di CO₂/km di auto e furgoni attualmente in vigore richiedono miglioramenti significativi in Cina, Europa, Giappone, Corea e presto lo faranno anche negli Stati Uniti (GFEI/IEA, 2021). Cina, Europa, Giappone e Stati Uniti hanno anche adottato regolamenti che limitano le emissioni di gas serra per i veicoli pesanti, sebbene con approcci differenti (ITF, 2020d).

Misure regolatorie sono anche state sviluppate in tutti i mercati di veicoli globali (con diversi limiti, ed in parallelo con normative relative alla qualità dei combustibili) per quello che riguarda gli inquinanti locali e per tutte le modalità di trasporto su gomma (oltre a mezzi mobili che non sono finalizzati principalmente a servire la mobilità, e comprendono anche imbarcazioni da diporto). In questo quadro, una nuova proposta di regolamento è attesa a breve in Europa (con implicazioni a cascata per altri paesi che adottano regolamenti modellati su quelli europei). Questa riguarda la misurazione ed i limiti di emissioni di inquinanti locali per auto/furgoni (Euro 7) e mezzi pesanti (Euro VII).

California, Cina ed Europa hanno anche adottato testi normativi con requisiti specifici e/o incentivi di tipo regolatorio per i veicoli leggeri (auto e furgoni) a basse o zero emissioni dirette. Questi includono lo "Zero Emission Vehicle" obbligatorio in California, il sistema di crediti e obblighi regolatori per "new energy vehicles" in Cina e il Regolamento Europeo sui limiti di emissione di gas serra per km per auto e furgoni. Quest'ultimo è stato rivisto nel pacchetto di politiche "Fit for 55" di luglio 2021, con requisiti di riduzione più stringenti al 2030: dal 37,5% al 55% per le auto e dal 31% al 50% per i furgoni, relativi a una base 2021 basata sulle procedure di prova per veicoli leggeri armonizzate a livello mondiale (WLTP). A questo si aggiunge anche un requisito per una transizione completa a veicoli con emissioni zero di CO₂ entro il 2035 (EC, 2021c).

Gli sviluppi nelle risposte del mercato e nei piani di sviluppo dei veicoli dei costruttori nelle regioni globali che hanno introdotto requisiti normativi su emissioni locali e di gas serra indicano chiaramente che queste misure regolatorie hanno un'importanza chiave nella trasformazione tecnologica necessaria per lo sviluppo di veicoli a basse o zero emissioni dirette di gas serra e nella definizione dell'offerta dei veicoli (ITF, 2021).

Le **batterie**, che sono un pilastro tecnologico centrale per tutti tipi di veicoli a basse o zero emissioni dirette (sono essenziali nei BEV, strumentali per i PHEV e fondamentali per garantire che l'efficienza dei veicoli a pile a combustibile ed idrogeno sia ottimizzata), **sono anche oggetto di strumenti regolatori**, come dimostrato da recenti proposte di regolamenti pubblicate in Cina, Europa e Corea, così come le politiche in corso di sviluppo negli Stati Uniti (ITF, 2021). Questo argomento è importante non solo in

termini di sostenibilità ambientale, ma anche in termini di armonizzazione internazionale della sicurezza, un argomento che sta acquisendo rilevanza per gli sforzi volti a incoraggiare la concorrenza sulla base di un quadro competitivo equo.

In tale contesto l'uso di batterie può essere inquadrato in una serie più ampia di sviluppi normativi emergenti relativi ai gas serra che mirano a limitare gli effetti della rilocalizzazione delle emissioni di carbonio (trasferimento di attività produttive da un'area globale all'altra con requisiti di prezzo del carbonio più lassisti) per ragioni di costi legate a politiche climatiche (ITF, 2021).

Il più importante di tali sviluppi normativi è la proposta di regolamento sul "*Carbon Border Adjustment*" incluso nel pacchetto "Fit for 55", volto a gestire il rischio di rilocalizzazione delle attività produttive in presenza di politiche che introducono un prezzo per il carbonio, garantendo che i prodotti importati siano soggetti a prezzi del carbonio equivalenti a quelli dei prodotti nazionali, senza tuttavia attribuire crediti per misure non fiscali (come requisiti tecnici normativi in materia di sicurezza e impatto ambientale) (ITF, 2021). La rilevanza che questo tipo di politica ha per i veicoli è che il suo campo di applicazione include materiali usati per la loro costruzione: acciaio e alluminio.

Delle **normative che disciplinano l'accesso urbano**, di cui si è ampiamente trattato nelle politiche per lo *shift modale*, la logica spesso guidata da politiche di gestione della qualità dell'aria e la mitigazione dell'inquinamento locale, è stata quella di favorire il trasporto pubblico, ma anche associare deroghe ed esenzioni per i veicoli privati a basse o zero emissioni.

Sino ad ora le norme relative agli inquinanti locali sono stati il fattore dirimente per la definizione di queste deroghe, e comunque decise da ogni amministrazione pubblica in base a criteri definiti localmente (Sadler, 2020) e non in maniera coordinata, come accade in altri paesi europei (per esempio grazie al label "Crit'Air" in Francia).

In questo quadro, recenti sviluppi mostrano una crescita del movimento globale (con annunci di molte città) orientato verso la creazione di **aree urbane a zero emissioni dirette**, estendendo le misure relative all'inquinamento locale anche al caso della CO₂ (C40, 2019a; C40, 2019b). Per quanto le norme di emissioni Euro 7 possano favorire l'uso di limiti chiaramente stringenti, lo stimolo all'uso ed allo sviluppo (anche industriale) su larga scala di veicoli a zero emissioni dirette (e capaci di avere costi inferiori a quelli attuali) beneficerebbe in modo significativo di un quadro normativo capace di definire i veicoli a zero emissioni, assicurando così maggiore omogeneità alle iniziative locali.

Questo tipo di politiche regolatorie ha impatti indiretti sulla necessità di infrastrutture di trasporto e distribuzione di vettori energetici, come nel caso di altri strumenti regolatori che alterano la parte di diverse tecnologie dei veicoli e dei vettori di energia, citati in precedenza.

L'unico quadro regolatorio che richiede che l'attività di trasporto su flotte di veicoli condivisi si sposti verso tecnologie a basse emissioni di CO₂ è il caso del *Clean Miles Standard* adottato in California (CARB, 2021). Questo strumento incoraggia i gestori di servizi di flotte di veicoli condivisi per il trasporto passeggeri a fornire opzioni di mobilità meno impattanti, con meccanismi di incentivo per il raggruppamento dei veicoli, l'integrazione con il trasporto pubblico e servizi di bike e scooter sharing. Ciò permette di tenere conto dei rischi di incremento della domanda associati ad una transizione verso veicoli autonomi senza conducente e di garantire che avvenga in modo disaccoppiato dall'incremento di emissioni di gas serra.

Dal punto di vista delle infrastrutture e della decarbonizzazione, questo tipo di strumento regolatorio richiede investimenti e normative adeguate (per esempio rispetto alla disponibilità di stazioni di ricarica a casa, specie in edifici multifamiliari, oppure di stazioni pubblicamente accessibili) per permettere agli operatori di veicoli che offrono questo genere di servizi l'accesso all'elettricità ed altri vettori energetici decarbonizzati.

Per garantire che la mobilità elettrica possa contribuire ad aumentare la flessibilità dei sistemi elettrici sono anche da ricordare alcuni particolari strumenti regolatori: è il caso dell'aggiornamento delle regole relative al mercato interno in elettricità in Europa, in particolare nel quadro del nuovo regolamento sul mercato interno dell'elettricità (EC, 2019).

Il suddetto regolamento stabilisce principi fondamentali per i mercati dell'energia elettrica ed integra, in particolare, aspetti finalizzati a facilitare l'aggregazione di domanda distribuita per permettere una maggiore, più efficace e resiliente integrazione di energie rinnovabili nella produzione elettrica. Recentemente, la *Federal Energy Regulatory Commission* degli Stati Uniti ha anche iniziato a prendere iniziative che muovono in questa direzione, con una richiesta di input relativa ad una eventuale revisione dei regolamenti esistenti (ITF, 2021, FERC, 2021). Per le infrastrutture, questo tipo di misure sottolinea l'importanza di tecnologie capaci di permettere il controllo remoto della ricarica da parte degli aggregatori di domanda elettrica e quella delle infrastrutture a bassa potenza (più frequentemente installate, in generale, in casa in luoghi di lavoro).

La **regolazione dell'intensità di carbonio dei vettori energetici** è stata introdotta in molte giurisdizioni attraverso quote di elettricità rinnovabile, politiche che richiedono la miscelazione obbligatoria di combustibili fossili con alternative a basse emissioni di carbonio e il concetto del "Low Carbon Fuel Standard". Quest'ultimo usa meccanismi di mercato combinati a requisiti relativi alla diminuzione progressiva dell'intensità di carbonio dell'energia per applicare un prezzo del carbonio limitato ed - allo stesso tempo - poter fornire incentivi economici significativi.

L'efficacia di questi strumenti dipende dalla loro capacità di contabilizzare accuratamente le emissioni del ciclo di vita dei vettori energetici, in particolare le fasi di produzione ("*well-to-tank*") e di utilizzo ("*tank-to-wheel*"). Integrare le emissioni del ciclo di vita in modo adeguato a livello internazionale in regolamenti e norme tecniche è un requisito importante per un'effettiva transizione verso il basso intensità di carbonio complessiva.

Esempi di politiche regolatorie basate su un approccio che tiene in conto le emissioni sul ciclo di vita (*well-to-wheel*) includono: la direttiva europea sulla qualità del carburante (*Fuel Quality Directive*); la direttiva sulle energie rinnovabili (*Renewable Energy Directive*), che integra - nel "Fit for 55" regolamenti specifici per l'aviazione e le navi; i "*Low Carbon Fuel Standards*" introdotti in California, Oregon, nello stato di Washington e nella provincia del British Columbia in Canada (Gladstein, 2019); lo standard nazionale per il carburante pulito (in fase di finalizzazione) del Canada, (Government of Canada, 2020), in linea con modello del LCFS californiano; *renovaBio*, la politica nazionale brasiliana sui biocarburanti, usa anche un approccio basato sulla regolazione dell'intensità di carbonio dei combustibili (Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis, 2020).

Da un punto di vista infrastrutturale, la regolazione dell'intensità di carbonio dei vettori energetici è rilevante solo nella misura in cui i costi di produzione di diversi tipi di veicoli e vettori energetici hanno un impatto sulla competitività economica delle diverse soluzioni di trasporto (dal momento che le soluzioni più competitive sono anche quelle per cui vi sarà maggiore necessità di investimenti).

Gli **strumenti regolatori** non sono stati utilizzati frequentemente **per facilitare la ricarica di e/o il rifornimento di carburante per veicoli a basse o zero emissioni dirette**, ma l'uso dei requisiti normativi in questo campo sta guadagnando slancio. L'esempio principale è la proposta di regolamento per sostituire la direttiva sulle infrastrutture per i combustibili alternativi in Europa, rilasciato nel contesto più ampio del pacchetto di politiche "Fit for 55".

Mentre indicatori quantitativi erano già stati integrati negli obiettivi e nei piani relativi alle infrastrutture nel Direttiva sulle infrastrutture per i combustibili alternativi del 2014, la nuova proposta integra informazioni dettagliate e metodologie vincolanti per il calcolo degli obiettivi e l'adozione delle misure necessarie a raggiungerli. Altri requisiti normativi per la ricarica di veicoli elettrici sono stati introdotti per i parcheggi negli edifici e per i porti.

Inevitabilmente, lo sviluppo di politiche regolatorie di questo tipo ha impatti diretti sugli investimenti necessari all'installazione di infrastrutture di trasporto e distribuzione di energia e anche in questi casi, è importante tenere presente che i costi di produzione di diversi tipi di veicoli e vettori energetici hanno effetti rilevanti sulla competitività economica delle diverse soluzioni di trasporto, con impatti a cascata sulle infrastrutture di trasporto e distribuzione di energia per cui vi sarà maggiore domanda di investimenti.

Come ricordato nel caso di **standard e regolamenti di natura tecnica** (che sono prerequisiti essenziali per le politiche regolatorie qui discusse), la **strategia industriale europea** comprende anche azioni di natura regolatoria tra gli strumenti finalizzati al sostegno dell'industria nelle fasi di transizione "verde" e digitale che caratterizzano questo momento storico (EC, 2021a).

7.3.4.5 Effetti della riduzione del gettito fiscale dall'energia fossile

La transizione verso l'elettrificazione e le rinnovabili eroderà inevitabilmente la base imponibile dei combustibili fossili (ITF, 2021). Lo stesso si può dire per l'effetto di altre politiche finalizzate al cambio modale, sia nel trasporto passeggeri che nel trasporto merci, nella misura in cui anche queste portano ad una riduzione dell'uso di combustibili fossili per i trasporti.

Nonostante parte di questa erosione possa essere compensata con una possibile parallela riduzione della spesa per l'import di energia e da un incremento della tassazione di combustibili per navi ed aerei, è probabile che sarà necessario trasferire la base imponibile per i trasporti (in particolare su gomma) dall'energia fossile alle distanze percorse. Questo seguirebbe anche la strada che è già stata inizialmente intrapresa, per i mezzi pesanti, con l'accordo relativo alla revisione dell'*Eurovignette Directive* (Consiglio dell'Unione Europea, 2021). Tale transizione può anche integrare considerazioni specifiche sulla posizione ed allinearsi con le considerazioni relative al cambio modale sul road pricing.

In particolare, l'azione politica sulle tecnologie digitali come la connettività e l'automazione dovranno integrare considerazioni legate al clima ed alla necessità di gestire la transizione da un punto di vista del budget pubblico a considerazioni più tradizionali, legate alla generazione di nuove opportunità economiche (potenziamento nel settore automotive dell'*"infotainment"*, servizi alla guida) ed opportunità di migliorare la sicurezza stradale. Un aspetto particolarmente importante è lo sviluppo della telematica inserita nei veicoli in una direzione che consenta di applicare pedaggi basati sull'uso delle infrastrutture e sugli impatti su salute, ambiente e rumore in modo che siano interoperabili a livello transfrontaliero, pronti per adattamenti che potrebbero rendersi necessari in futuro e retrocompatibili.

In questo quadro, gli investimenti fatti in Europa sulle tecnologie GNSS possono svolgere un ruolo importante, soprattutto se complementati da altre soluzioni tecnologiche digitali (*cooperative intelligent transport systems*, o C-ITS). Per raggiungere questo obiettivo sarà necessaria una cooperazione più stretta con i dipartimenti della CE che si occupano dei regolamenti per i veicoli per il trasporto su gomma e l'integrazione del *road pricing* nell'agenda delle attività di regolamentazione internazionale al Forum mondiale per l'armonizzazione dei regolamenti sui veicoli (WP.29) delle Nazioni Unite sulla connettività dei veicoli. Analoghe considerazioni valgono anche per le normative che disciplinano comunicazioni per sistemi di trasporto intelligenti.

Saranno inoltre necessari maggiori sforzi politici per garantire una maggiore consapevolezza tra i proprietari di veicoli elettrici della necessità di una futura transizione verso un sistema che consenta, come minimo, la possibilità di pagare lo sviluppo e la manutenzione delle infrastrutture di trasporto e di distribuzione dell'energia che i veicoli richiedono per funzionare.

Riuscire a mantenere le entrate può anche richiedere l'integrazione di altre riforme fiscali. L'uso più socialmente produttivo e politicamente conveniente di queste entrate dipenderà dalle circostanze. Le opzioni di riforma includono la modifica del mix fiscale per promuovere una crescita inclusiva, ad esempio attraverso modifiche delle imposte sul reddito delle persone fisiche e/o delle società; aumentare gli investimenti, ad esempio nell'istruzione, nella salute e infrastruttura; e diminuire il livello del debito pubblico (nonostante le necessità di incremento nel breve termine per via della gestione dell'emergenza legata al Covid-19). I ricavi possono anche finanziare trasferimenti diretti alle famiglie.

Un'altra opzione è anche l'uso di entrate dalla carbon tax (nel breve/medio termine) per finanziare spese di ricerca, sviluppo e dimostrazione di nuove tecnologie ed altre misure di politica climatica (OECD, 2019). A lungo termine, man mano che il sistema energetico si avvicina alla piena decarbonizzazione, potrebbe anche rivelarsi necessario reintrodurre una tassazione più elevata su elettricità, idrogeno ed altri vettori energetici decarbonizzati (OECD, 2019).

7.4 Politiche e incentivi per le infrastrutture di supporto

Questa sezione ha lo scopo di delineare politiche e incentivi per la difesa del suolo, e per realizzare le misure di adattamento e mitigazione relative alle infrastrutture idriche e ICT trattate nei precedenti capitoli.

7.4.1 Difesa del suolo

Gli impatti del cambiamento climatico descritti nei Capitoli precedenti sottolineano la necessità di predisporre strategie di adattamento per aumentare la resilienza delle infrastrutture a difesa del territorio contro il rischio idrogeologico. Queste ultime infrastrutture modellano, disegnano e cambiano il territorio con lo scopo precipuo di aumentarne la sicurezza, mitigando gli effetti del rischio climatico, per garantire l'efficienza di quanto è già stato costruito o che verrà costruito e la preservazione dell'ecosistema in cui le infrastrutture vengono realizzate.

Gli interventi dovranno giocoforza tener conto delle diverse caratteristiche delle reti e delle infrastrutture in funzione della loro scala geografica, distinguendo quelle a scala di bacino da quelle a scala locale. In effetti, mentre gli eventi a scala di bacino sono caratterizzati da uno sviluppo temporale tale da consentire l'implementazione di sistemi di allerta di tipo "early warning", gli eventi a scala locale, che si sviluppano ed esauriscono al più nell'arco di qualche ora, richiedono strategie di intervento diverse, come meglio evidenziato nel seguito.

La protezione delle infrastrutture a scala di bacino nei riguardi del rischio climatico richiede interventi su scala paragonabile, con tempi di intervento e investimenti elevati da richiedere comunque un'adeguata programmazione a livello centrale. Poiché è irrealistico ipotizzare di mettere in sicurezza in tempi brevi tutto il territorio, le strategie di intervento debbono essere quindi coniugate con piani di protezione civile e con sistemi predittivi avanzati che, in condizioni di emergenza, consentano di attuare misure locali di prevenzione tali da ridurre i rischi alle persone e alle cose.

Occorre peraltro sottolineare che, poiché molte infrastrutture esistenti risultano già oggi in larga parte inadeguate a gestire eventi climatici fino ad ora rari, ulteriori intensificazioni degli eventi estremi causate dal cambiamento climatico potrebbero ridurre l'affidabilità a tal punto da renderla "inaccettabile".

Per i sistemi fluviali è indispensabile, quindi, incentivare un sistema di preallerta meteo basato su una modellistica avanzata sia meteorologica che idraulica in grado di allarmare la Protezione Civile e le popolazioni per mitigare il rischio, attuando tutte le misure locali, preventivamente concordate. Naturalmente, tanto maggiore sarà l'accuratezza dei modelli tanto maggiore e tempestiva sarà la possibilità di previsione delle eventuali zone critiche interessate da esondazioni.

Sul reticolo idraulico minore e, in particolare, sulle reti fognarie il rischio climatico potrebbe avere un'incidenza in termini economici e di rischio per le vite umane più elevato a causa dei cosiddetti *flash flood* che si verificano a causa di intense precipitazioni su areali di dimensioni modeste. I *flash flood* provocano ondate di piena che saturano rapidamente canali e collettori fognari (progettati con bassi tempi di ritorno) generando alluvioni intense localizzate che, soprattutto in ambito urbano provocano allagamenti di sottopassi, di locali interrati e comunque di tutte le attività ubicate a livello del suolo.

In questi casi la mitigazione del rischio deve essere gestita in maniera preventiva, individuando il rischio in anticipo per predisporre sistemi di protezione locali (chiusura dei sottopassi, posizionamento di paratie stagne a difesa di locali interrati o al piano terra) o in tempo reale.

Come già ricordato, la gestione in tempo reale della rete fognaria, basata sulla realizzazione della modellistica del sistema e sull'introduzione di sensori e attuatori a controllo remoto in grado di gestire i singoli collettori della rete, è un'efficace strategia per prevedere gli scenari di rischio e per mitigare le conseguenze del cambiamento climatico soprattutto per l'esistente.

Va anche ricordato che il territorio italiano è così intensamente antropizzato da rendere estremamente complesse molte delle strategie di "difesa" passiva, frequentemente impiegate in altri Paesi, che, in caso di eventi estremi, sfruttano come zone di espansione naturale quelle meno popolate, ove semmai sono incentivati i singoli interventi puntuali di protezione "individuale".

Per rendere efficaci tali modelli è necessario *programmare azioni e investimenti concreti che promuovano l'installazione di reti digitali dedicate* composte da una sensoristica diffusa in grado di rendere disponibili al sistema predittivo il maggior numero di dati per definire adeguatamente i fenomeni climatici in intensità ed estensione che definiranno le condizioni al contorno dei modelli fluviali di propagazione.

Un'efficace strategia di intervento sarà quella, di *incentivare, sia in fase di realizzazione di nuove infrastrutture, sia in fase di manutenzione straordinaria di infrastrutture esistenti, oltre che l'installazione e la predisposizione di cavi in fibra ottica* per la trasmissione dei dati, anche *di sensori e data logger dedicati* in grado di garantire un monitoraggio in tempo reale di tutti i parametri significativi. In considerazione dei costi limitati e dei notevoli ritorni attesi, è peraltro auspicabile che questo tipo di intervento sia esteso a qualsiasi tipo di infrastruttura a rete, in particolare a quelle trasportistiche.

Lo sviluppo di queste reti di raccolta e trasmissione dei raccolti dai diversi sensori, per es. idrometri, sensori di velocità del flusso delle acque nei corsi d'acqua del reticolo principale e secondario, consentirà di implementare una piattaforma di monitoraggio ed elaborazione dei principali indicatori del rischio idrogeologico a livello nazionale.

La dotazione e l'implementazione in tutta la rete di sensoristica avanzata dovrà essere associata a un suo modello digitale virtuale, il cosiddetto "gemello digitale" (*digital twin*). Questo gemello digitale, interagendo sistematicamente con la sensoristica della rete reale, consentirà di sviluppare e tarare dinamicamente, anche con l'utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale, modelli predittivi in grado di valutare in tempo reale il possibile verificarsi dei diversi scenari di rischio e la loro evoluzione, sì da consentire l'adozione delle opportune misure di protezione civile e di attivare le necessarie procedure di intervento.

Naturalmente, tutti i dati raccolti, che dovranno essere resi accessibili agli esperti su una piattaforma comune a livello nazionale, costituiranno la base per lo sviluppo di modelli teorico-numeriche efficaci ed adattativi, che consentano non solo di tener conto degli effetti del cambiamento climatico sulle infrastrutture esistenti, ma anche di valutare le conseguenze dei interventi di mitigazione e adattamento, nonché la definizione di una scala di priorità in sede di definizione degli interventi e di pianificazione di nuovi progetti infrastrutturali. La stessa architettura di sistema dovrebbe essere adottata alle reti idriche con lo scopo precipuo di individuare rapidamente le perdite.

Il sistema potrà essere ulteriormente ampliato, realizzando una piattaforma unica di raccolta e scambio dati chimico-fisici sul clima, l'idrologia, l'idrogeologia, l'idraulica marittima e fluviale, la qualità delle acque in formato omogeneo. I dati raccolti dovranno essere accessibili agli esperti per l'allerta meteo, la verifica dei modelli e per la pianificazione dei progetti infrastrutturali.

Poiché l'armonizzazione dei protocolli di raccolta dei dati è condizione necessaria per la corretta analisi su scala territoriale nazionale degli stessi e per la implementazione di efficaci modelli predittivi dovranno essere sviluppate un'adeguata ontologia e una semantica comune, indipendenti dalle specifiche piattaforme di analisi e gestione dei dati, che consentano di ottimizzare l'introduzione, l'immagazzinamento, il recupero e lo scaricamento dei dati, anche provenienti da fonti diverse, e la loro gestione. Queste procedure

dovranno anche essere estese ai dati storici disponibili presso i vari enti gestori. Naturalmente, potranno essere previsti privilegi di accesso differenziati in funzione della tipologia di utente, per esempio consentendo accessi generalizzati in lettura e scaricamento, e accessi ristretti per l'introduzione di nuovi dati e la modifica di dati esistenti. La transizione delle reti a reti digitali intelligenti potrebbe essere oggetto di incentivi per gli Enti gestori delle reti.

Per quanto riguarda i privati, invece, al fine di *garantire l'invarianza idraulica potrebbe essere incentivata sia sulle nuove costruzioni, sia sul patrimonio edilizio esistente la realizzazione di vasche di pioggia intelligenti*, da collegare alla rete fognaria, anche per uso irriguo o di ricarica della falda.

Possibili forme incentivanti potrebbero essere bonus fiscali per le costruzioni esistenti e sistemi di sconto dagli oneri di urbanizzazione per le nuove edificazioni.

Particolare attenzione dovrà essere poi posta alla pianificazione urbana favorendo lo sviluppo nelle aree dismesse e il riempimento dei vuoti urbani, utilizzando così i sistemi idrici, energetici, di smaltimento dei rifiuti e di trasporto esistenti anziché costruire in siti vergini con maggiori requisiti infrastrutturali.

Un ulteriore aspetto, legato alla mitigazione dei cambiamenti climatici per le infrastrutture considerate, è quello relativo alla durabilità delle infrastrutture in generale e dei materiali da costruzione in particolare. Come riportato negli "Orientamenti tecnici per infrastrutture a prova di clima nel periodo 2021-2027" della Commissione Europea (2021/C 373/01), si dovrà considerare l'impatto in termini di emissioni dirette ed indirette di gas ad effetto serra in fase di progettazione di nuove infrastrutture prediligendo l'utilizzo di materiali riciclati/rigenerati e a basse emissioni di carbonio. Sempre in fase di progettazione dovrà essere valutato l'impatto del cambiamento climatico sui fenomeni di degrado dei materiali e di conseguenza sull'affidabilità nel tempo dell'opera.

7.4.2 Infrastrutture idriche

La protezione dell'acqua e degli ambienti marini, delle risorse e degli ecosistemi condivisi in Europa dall'inquinamento, dall'eccessiva estrazione e dai cambiamenti strutturali è gestita in modo coordinato a livello dell'UE. La direttiva quadro sulle acque fornisce un quadro per la protezione e la gestione delle acque nell'UE. Nel 2010, gli Stati membri dell'UE hanno pubblicato 160 piani di gestione dei bacini idrografici per il periodo 2009-2015, che miravano a proteggere e migliorare l'ambiente idrico. La seconda serie di piani di gestione dei bacini idrografici per il periodo 2016-2021 è stata completata nel 2016/2017.

Nel 2012 la Commissione europea ha pubblicato un progetto per salvaguardare le risorse idriche europee (COM(2012)673), che si concentra su azioni politiche che miglioreranno il modo in cui l'attuale legislazione sull'acqua viene applicata nella pratica e sull'integrazione degli obiettivi della politica idrica con altre politiche.

Il progetto si basa sulle politiche idriche relative all'efficienza delle risorse idriche e alla gestione sostenibile delle risorse idriche nello stesso arco di tempo della strategia dell'UE 2020 fino al 2050.

Oltre alla direttiva quadro sulle acque e al progetto, esistono quattro direttive sulle acque per garantire il buono stato delle acque europee: la direttiva sulle acque reflue urbane (91/271/CEE); la direttiva sulle acque di balneazione (2006/7/CE); la direttiva sui nitrati (91/676/CEE); la direttiva sull'acqua potabile (98/83/CE)

Anche la Direttiva Alluvioni (2007/60/CE), che incoraggia lo sviluppo di piani di gestione del rischio di alluvioni, sostiene in modo significativo gli obiettivi della direttiva quadro sulle acque.

La struttura Eionet dell'AEA fornisce anch'essa solide basi per stabilire una politica armonizzata e un quadro di attuazione tra i paesi membri del SEE non UE e i paesi vicini. Il rapporto dell'OECD "OECD report Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters" (OECD, 2013) fornisce una guida per i policy-maker su come si possano assegnare le priorità alle azioni e migliorare l'efficienza, la tempestività e equità delle decisioni di adattamento.

Tali politiche si differenziano **in regolatorie, economiche e di informazione degli stakeholder**, in particolare modo gli utenti finali delle risorse idriche da esse gestite. Nel seguito vengono indicati alcuni strumenti specifici per supportare le azioni di adattamento e di mitigazione delle infrastrutture idriche indicate nei Capitoli 5 e 6.

Nel Capitolo 5 sono state indicate alcune azioni "green" per favorire l'adattamento, azioni che sono anche particolarmente suggerite tra quelle prioritarie della "Strategia di Adattamento Europea". Questi interventi, purché opportunamente progettati per gestire traiettorie evolutive *worst* o *quasi-worst case*, rientrano sempre nella categoria "*no regrets*", e hanno spesso molteplici co-benefici (ad esempio la promozione della biodiversità). Sono pertanto particolarmente efficaci in termini di costi/benefici. Essi costituiscono in generale anche una scelta efficace per affrontare l'incertezza degli scenari climatici in termini di previsione di eventi estremi, anche perché sono spesso meno *capital-intensive* e più facilmente reversibili o adattabili rispetto alle alternative ingegnerizzate (misure "*grey*"), fornendo quindi un valore aggiuntivo, (OECD 2020).

In tema di adattamento, come indicato nel Capitolo 5, si suggeriscono soluzioni infrastrutturali di tipo blu/verde per migliorare il servizio dei sistemi di drenaggio (es. infrastrutture verdi come tetti verdi e zone umide multifunzionali per ridurre il picco di afflusso durante eventi di precipitazione estrema), aumentare lo stoccaggio e la disponibilità di risorsa idrica (es. sistemi di raccolta d'acqua piovana) e il suo riuso per scopi non idropotabili e contribuire in generale al microclima e servizi ecosistemici in ambiente urbano. Forme di collaborazione pubblico-privato sono da incentivare per favorire una maggior diffusione di soluzioni blu/verdi su più scale e la loro inclusione nei piani regolatori e di uso del suolo.

Oltre ad ampliare il deficit, il finanziamento dell'adattamento ai cambiamenti climatici solleva diverse sfide per il loro finanziamento, a causa di tempi lunghi e la forte incertezza sugli impatti futuri. Il costo previsto delle misure di adattamento è generalmente noto e sostenuto a breve termine, mentre i benefici attesi sono più incerti e maturano spesso in un futuro non prossimo. Questo è vero in generale, ma le infrastrutture idriche hanno la particolarità di avere una vita utile molto lunga (ad esempio 80-100 anni per le dighe), il che significa che tenere conto del cambiamento climatico è essenziale per evitare disadattamenti.

Dal punto di vista dei finanziamenti, quelli per la gestione delle risorse idriche si basano in generale su tre principi:

- i) "*il beneficiario paga*", che consente la condivisione dell'onere finanziario tra coloro che beneficiano della gestione delle risorse idriche;
- ii) *l'equità*, in termini di accessibilità e competitività ed eventualmente di forme di compensazione/mitigazione (*utility transfer*) laddove la risorsa sia distribuita in modo iniquo tra i beneficiari;
- iii) la *coerenza tra le politiche che incidono sulle risorse idriche* (per es. agricoltura, uso del suolo e/o politiche energetiche). Questo principio riconosce che tenere conto degli impatti sulle risorse/infrastrutture idriche nell'allocazione delle risorse pubbliche per i settori ad esse connessi può essere un approccio più conveniente rispetto alla mobilitazione di finanziamenti aggiuntivi specifici per il solo settore idrico.

Per inquadrare le possibili strategie e ambiti di azione nel contesto specifico della decarbonizzazione, facciamo riferimento al più recente report della International Water Association (IWA) sul tema delle "*low-carbon water utilities*" (Ballard et al. 2019). L'approccio suggerito è quello di selezionare le priorità e le modalità di intervento sulla specifica infrastruttura verificando come gli obiettivi di decarbonizzazione si integrino con gli specifici driver e obiettivi della gestione dell'infrastruttura stessa.

Questa idea di interconnessione di diversi piani nella definizione delle politiche di decarbonizzazione delle infrastrutture idriche è fondamentale, anche alla luce del fatto che l'uso della risorsa idrica è legato a doppio filo alle esigenze dei settori (agricolo, industriale e privato), che allo stesso tempo saranno caratterizzati da profondi cambiamenti dovuti proprio alle politiche messe in campo per centrare gli obiettivi di decarbonizzazione di medio e lungo periodo.

Per quanto riguarda gli **investimenti pubblici nel settore delle risorse idriche**, si suggerisce di prevedere investimenti che promuovano:

- La digitalizzazione delle infrastrutture per il monitoraggio più capillare e continuo della risorsa, dall'accumulo alla distribuzione, attraverso il potenziamento della rete di sensori per l'acquisizione di dati con maggior risoluzione spazio-temporale (ad. esempio favorendo l'installazione di *smart meters*) eventualmente prevedendo incentivi per i gestori che si dotano di tali strumenti;
- L'avvio di progetti per lo sviluppo di modelli matematici, *digital twin* e sistemi di supporto alla decisione fondati su simulazione, strumenti previsionali su più scale temporali e analisi di scenari e affinamento dei sistemi di *early warning* (es. per rischio di esondazioni, presenza di contaminanti, anomalie nel funzionamento dei sistemi di pompaggio).
- Un'azione sulla domanda idrica che la renda più efficiente, eventualmente anche agendo sui prezzi in modo dinamico, incentivando interventi di ammodernamento tecnologico degli impianti di utilizzo e campagne di informazione/educazione che promuovano consumi idrici sostenibili e consapevoli.
- Sinergie nella gestione integrata di risorse idriche ed energetiche, favorendo, ad esempio, la diffusione dell'agrivoltaico, del piccolo idroelettrico sui canali irrigui e del recupero energetico nelle reti in pressione.

Per dare risposte efficaci e formulare uno schema di incentivi compatibile con lo specifico contesto, occorre essere in grado di sviluppare un insieme coordinato di interventi di gestione dell'acqua che promuovano l'utilizzo più efficiente della risorsa, rafforzino le istituzioni che regolano l'allocazione dell'acqua e incentivino la risposta comportamentale al miglioramento dell'efficienza.

Quanto discusso ci riporta alla centralità dell'azione preparatoria di strumentazione delle infrastrutture e della raccolta di dati aggiornati e consistenti, che si rivela cruciale anche in ottica di disegno delle politiche e degli incentivi, che devono poter essere adattati alla realtà specifica, e i cui impatti devono poter essere monitorati ex-post sempre in modo oggettivo e quantitativo.

7.4.3 Infrastrutture ICT

Le telecomunicazioni e i data center sono infrastrutture fondamentali per l'economia italiana e svolgono un ruolo cruciale a supporto di tutte le infrastrutture per mobilità sostenibile menzionate in questo report.

Interruzioni nella connettività di rete e/o il mancato accesso alle informazioni contenute in un data center possono creare enormi problemi alla pubblica amministrazione, alle imprese, e, in generale, ai cittadini. In caso di eventi distruttivi estremi (si pensi a terremoti, o inondazioni), l'incapacità di comunicare ed accedere ai servizi online mette a rischio la sicurezza e l'economia dell'intero Paese e rallenta fortemente le operazioni di ripristino del normale funzionamento delle infrastrutture critiche del paese.

Il cambiamento climatico, in particolare, minaccia l'integrità e la continuità di funzionamento dei sistemi ICT, aumentando il numero e la gravità dei guasti ai sistemi ICT. Tuttavia, nonostante l'importanza del settore ICT per il benessere del Paese, non esistono studi che valutino sistematicamente l'entità e le natura dei rischi che il cambio climatico pone ai sistemi ICT in Italia. Questo rapporto, nei Capitoli 5 e 6,

rappresenta un primo passo verso la comprensione di come il cambiamento climatico possa impattare il settore ICT, e di come la resilienza di questi sistemi possa essere migliorata.

Inoltre, il settore ICT svolge un ruolo fondamentale, ma ambivalente, rispetto alla sostenibilità ambientale delle infrastrutture critiche del paese. Il settore ICT è l'indispensabile tecnologia abilitante per la quasi totalità delle soluzioni, attualmente sul tavolo di governi, industrie e aziende, volte a sviluppare nuovi processi che migliorino l'efficienza nell'utilizzo delle risorse e conseguentemente minimizzare il consumo energetico o le emissioni in molteplici settori. Solo per fare alcune menzioni, particolarmente rilevanti a questo report:

- i) la gestione della domanda e della distribuzione dell'energia per veicoli elettrici mobilità,
- ii) la riduzione della necessità di spazi per uffici e delle emissioni dovute al pendolarismo lavorativo, e
- iii) l'utilizzo di piattaforme IoT per la gestione *real-time* delle acque e dei nuovi sistemi elettrici *Smart Grid*.

Per dare un'idea della magnitudine di questi effetti abilitanti del settore ICT, secondo il report SMART 2020 dell'International Telecommunication Union (ITU-T,2020), l'effetto delle sole comunicazioni mobili sul taglio delle emissioni di CO₂ a livello globale è stato stimato nell'ordine di 2,135 milioni di tonnellate nel 2018, e, con l'arrivo delle tecnologie 5G, questo taglio delle emissioni abilitato dal settore ICT potrebbe ammontare fino ad un 15% delle emissioni globali (ITU,2012).

Concentrandoci solo su aspetti di mobilità sostenibile, studi recenti hanno quantificato una riduzione delle emissioni di gas serra da parte di motoveicoli del 30% in città come Londra, Berlino, e Madrid (con un picco del 60% a Copenhagen) (C40c, 2019) grazie a programmi "smart city" e innovazione 5G (GSMA, 2019).

Sfortunatamente, l'effetto abilitante sul taglio di emissioni del settore ICT non viene raggiunto "gratuitamente", ed al contrario richiede che, nei prossimi anni, il settore ICT affronti e risolva complesse sfide di innovazione tecnologica. Queste sfide sono particolarmente complesse in termini di diminuzione del consumo energetico del settore ICT stesso, se si considera l'enorme crescita dei dati da raccogliere, trasferire, elaborare e immagazzinare e la necessità di nuove soluzioni di rete che garantiscano bassissima latenza e al contempo altissima affidabilità. Si consideri per esempio che, entro il 2030, ci si attende che il numero di dispositivi connessi alla rete a livello globale cresca fino a 100 miliardi (Smarter2030, 2015), e che le reti 5G dovranno supportare fino a 1,000 volte più traffico dati che le reti 4G del 2018.

Nonostante l'evidente impegno del Governo per sviluppare nuove attività regolatorie che favoriscano lo sviluppo del settore ICT nel Paese, questo impegno appare essere principalmente legato alle opportunità di crescita economica offerte dal rafforzamento del settore ICT, e molto meno legato invece all'obiettivo di utilizzare il digitale come tecnologia abilitante per la decarbonizzazione (del settore ICT stesso, così come di altri settori ed infrastrutture (ITF, 2021).

Come già menzionato, molti studi esistenti indicano come un ricorso sistematico a soluzioni ICT a supporto della mobilità possano non solo abilitare una crescita economica nel settore dei trasporti (IEA, 2017a; Sperling, 2018; Noussan & Tagliapietra, 2020), ma anche abilitare significative riduzioni di emissioni. Al Governo, si chiede di gestire la transizione digitale separando le politiche e gli incentivi volti a promuovere nuove opportunità di crescita economica dalle politiche ed incentivi mirati alla decarbonizzazione del Paese. Gli aspetti più propriamente legati alla decarbonizzazione e all'efficienza energetica finora non hanno rappresentato una priorità nell'agenda della transizione digitale, sebbene il settore ICT abiliti ampi margini di riduzione dell'impatto ambientale dei settori del trasporto, soprattutto in vista del rapido aumento di veicoli elettrici nei prossimi anni.

Il governo dovrà dunque assicurarsi che le politiche e gli incentivi per la transizione digitale prendano in considerazione esplicita gli obiettivi di decarbonizzazione abilitati dal settore ICT. Nel resto di questa sottosezione, identifichiamo e discutiamo politiche ed incentivi per promuovere la sostenibilità e la resilienza dei sistemi ICT.

Politiche e incentivi per promuovere la resilienza/adattamento dei sistemi ICT

Sono necessarie politiche fiscali (o altre misure concrete di natura economica) ed interventi regolatori pubblici che incentivino: i) Il potenziamento delle tecniche di protezione e resilienza delle reti di telecomunicazione e data center descritte nei capitoli 5 e 6 e ii) la condivisione di risorse tra operatori di rete, e tra operatori cloud, soprattutto in guasti di ampia portata in sistemi ICT interagenti in quanto la condivisione delle risorse fisiche significa condivisione della resilienza.

I vari attori del settore ICT (per esempio, gli operatori, i fornitori di servizi e di tecnologia) e, in senso più esteso, gli attori nei settori che usufruiscono dei servizi ICT vanno inoltre incentivati a condividere tra loro anche il know-how per la mitigazione dei rischi e la sostenibilità dei sistemi ICT. Vanno consultati direttamente gli attori (privati e pubblici) del settore per identificare punti di forza e debolezza delle loro infrastrutture e tecnologie sotto vari scenari di cambiamento climatico.

Va richiesto che tutti i fornitori di servizi ICT per la pubblica amministrazione dimostrino in fase di progetto/asta come i loro servizi possano assicurare continuità di funzionamento, usando misure standardizzate di qualità di servizio e chiara documentazione di supporto. La pianificazione dei sistemi ICT va condotta considerando non solo le previsioni conservative, ma anche le previsioni estreme del cambiamento climatico. Formazione sull'argomento protezione e sostenibilità dei sistemi ICT va fornita non solo a livello di istruzione terziaria, ma anche nelle aziende private e nella pubblica amministrazione.

Le politiche di "rottamazione", già citate nella lista precedente sulla sostenibilità, creano opportunità anche per migliorare la resilienza dei sistemi ICT. Le tecnologie ICT sono in rapida evoluzione, e quindi offrono alle aziende frequenti opportunità di aggiornare le proprie apparecchiature, sostituendolo con altre più resilienti.

Politiche e incentivi per promuovere la decarbonizzazione dei sistemi ICT

Sono necessarie politiche fiscali (o altre misure concrete di natura economica) ed interventi regolatori pubblici che incentivino:

- la dismissione di apparecchiature ad alto consumo energetico che assicurano continuità di servizio per tecnologie ormai desuete, e per le quali gli operatori di rete sono ad oggi ancora tenuti a fornire supporto (si pensi alle tecnologie radiomobili 2G e 3G, o a vecchie centrali di commutazione telefonica).
- una campagna pubblica di "rottamazione" di questi apparati ad alto consumo energetico (sia lato operatore di rete, che non deve incorrere in penalizzazioni di mercato, sia lato utente, che deve essere messo in condizione di abbandonare le vecchie tecnologie senza incorrere in aumenti significativi dei costi) permetterebbe almeno in parte di compensare "carbon credits" da utilizzare per tecnologie avanzate.
- la migrazione verso infrastrutture *cloud/edge computing* per l'elaborazione e lo storage di dati, soprattutto per piccole medie imprese, che non sono dotate della massa critica necessaria per giustificare apparecchiature ad alto consumo energetico ospitate all'interno della loro infrastruttura ICT aziendale.
- l'inclusione di energie rinnovabili nei nodi di rete, nei sistemi di comunicazione (per es. stazioni base) e nei data center, per esempio attraverso meccanismi che incentivino gli operatori di rete ad acquistare apparati per generazione distribuita e rinnovabile di energie da inserire nelle loro infrastrutture.

È auspicabile che il governo sovvenzioni studi quantitativi che valutino l'impatto del cambiamento climatico, in termini di sostenibilità e di resilienza, sia sulla rete di comunicazione che sui data center. Il rischio climatico nel settore ICT va rappresentato e quantificato non solo da un punto di vista tecnico, ma come un rischio di impresa, assumendo il punto di vista delle imprese del settore privato, dei loro clienti, degli investitori e del legislatore. In senso più ampio, va incoraggiata la ricerca e sviluppo a livello industriale e universitario nella direzione di nuove soluzioni per tecnologie ICT ad alta efficienza energetica (e ad alta resilienza rispetto ai cambi climatici).

Va richiesto che tutti i fornitori di servizi ICT per la pubblica amministrazione dimostrino in fase di progetto/asta come i loro servizi possano assicurare sostenibilità di funzionamento anche, usando misure standardizzate di sostenibilità. In particolar modo, queste misure di sostenibilità devono includere nuove tecniche per la stima dell'energia grigia (*embodied energy*, relativa all'intero ciclo di vita) e dell'energia per lo smaltimento (*disposal energy*).

I cittadini che utilizzano servizi ICT sono preziosi alleati nella lotta al cambio climatico e possono significativamente contribuire alla riduzione delle emissioni di questo settore. Affinché ciò avvenga, vanno effettuate campagne di sensibilizzazione riguardo all'impatto delle loro scelte tecnologiche e delle abitudini di consumo in ambito ICT sull'ambiente e vanno rese disponibili nuove tecnologie a basso costo e basso consumo energetico.

In conclusione, va notato come l'armonizzazione di due obiettivi contraddittori come resilienza e taglio delle emissioni rappresenti una sfida non solo tecnica, ma anche regolatoria e legislativa. Per esempio, laddove si investa su energie rinnovabili (per esempio idroelettrico) per l'alimentazione di data center, sarà necessario richiedere una valutazione attenta dell'effetto dei cambi climatici sulla disponibilità di approvvigionamento idrico. Analogamente, le politiche volte al taglio di emissioni (per esempio attraverso spegnimento di apparati di rete nei periodi di basso carico) vanno sempre armonizzate con l'obiettivo di garantire resilienza dei sistemi ICT.

7.5 Strumenti trasversali

La transizione verso un'economia "decarbonizzata e adattata" al clima deve prevedere, accanto al sistema di regole, norme, incentivi, disincentivi, divieti ecc. coerenti con le strategie europee anche delle leve "soft" in grado di introdurre prassi gestionali idonee a favorire il perseguimento e il raggiungimento degli obiettivi climatici da parte di tutti i soggetti coinvolti.

In tale contesto, un ruolo fondamentale viene, infatti, svolto dai numerosi player¹⁶¹, privati e pubblici, aziende, enti, organizzazioni territoriali ecc. che sono chiamati a realizzare effettivamente tale transizione. L'idea di fondo è che tali soggetti oltre ad essere mossi da incentivi e divieti espliciti ed economici possano giovare anche di approcci gestionali basati sul rischio ed essere spinti dall'impatto reputazionale (*brand identity*) della trasparenza dei risultati ottenuti. Ciò in analogia a quanto avviene da anni in altri ambiti, a partire da quello finanziario, dove sono diffusi e applicati standard di Risk Governance, disclosure, strumenti di mitigazione dei rischi.

In questa sezione vengono pertanto analizzati gli strumenti che possono fungere da abilitatori all'adozione delle politiche di adattamento e mitigazione descritte nelle sezioni precedenti: **pratiche di Governance e Risk Management** per una corretta valutazione dei rischi alla base degli indirizzi strategici e il relativo controllo, **standard e obblighi di rendicontazione monitoraggio** al fine di rendere comparabili e trasparenti i target identificati, strumenti di copertura assicurativa e **infrastrutture di base e sistemiche** per gestire i dati e le informazioni necessarie.

7.5.1 Strumenti di Governance e Risk Management

Sul mercato si stanno progressivamente affermando standard in ambito Climatico (*Climate Risk e Climate Disclosure*), che sono già in uso presso grandi organizzazioni e che in alcuni casi stanno divenendo cogenti per le grandi aziende (es. *EU Taxonomy Regulation*). Tali logiche dovrebbero progressivamente essere estese anche ad enti, organizzazioni e aziende di minore dimensione ed enti pubblici, secondo principi di progressività e di materialità, con la finalità di innescare i medesimi meccanismi incentivanti di carattere reputazionale, tanto nel settore privato quanto nel pubblico.

L'integrazione nei vari processi decisionali e gestionali, di aziende ed enti, del clima, del rischio e delle opportunità (da esso derivanti) è la condizione indispensabile per avviare percorsi virtuosi di adattamento climatico, con potenziali benefici a tutti i livelli (manageriali e operativi).

Il concetto di 'rischio' e di "opportunità" deve permeare i vari ambiti del modello di business dell'impresa, dalla governance fino agli strumenti per la valutazione del cambiamento climatico¹⁶². Al riguardo sono state codificate due macro-categorie principali:

- **Rischi connessi alla transizione verso un'economia a basso impatto (cd rischio/opportunità di transizione).** La transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio può comportare infatti cambiamenti nelle policy, nella tecnologia e nella risposta del mercato. Esempio tipo sono i c.d. *stranded assets* di cui le centrali a carbone sono un tipico esempio.

¹⁶¹ Parleremo di seguito genericamente di player per intendere, ad esempio, Imprese Ferroviarie, gestori infrastrutturali, società di TPL, etc. Enti pubblici e PA potranno proficuamente mettere in atto alcuni dei principi oggetto del presente paragrafo, in particolare per quanto concerne il processo di Climate Risk Management

¹⁶² Si veda ad esempio "The Adaptation Support Tool" definito dalla Commissione Europea

- **Rischi connessi all’impatto fisico del cambiamento climatico (cd rischio fisico)** dovuti a variazioni in frequenza e magnitudo degli eventi estremi (rischio fisico acuto) e/o variazioni di variabili climatiche media, e.g. incremento temperatura media globale (rischio fisico cronico). Esempio tipico sono i danni diretti agli asset e le interruzioni di servizio.

Sulla base di tale impostazione, associazioni riconosciute a livello globale (e.g. TCFD, WEF, ISO) hanno definito standard internazionali per l’integrazione del clima e del rischio conseguente nei processi gestionali e decisionali dell’impresa. Tali standard, come verrà esplicitato successivamente, analizzano quattro aree (ambiti / processi) da evolvere secondo approcci basati sul rischio, di cui i primi tre riguardano processi “interni” di risk management e il quarto attiene alla rappresentazione dei risultati al pubblico: **i) Modello di Climate Risk Governance & Risk Appetite; ii) Processo di Strategic Planning Risk Management; iii) Processo di Climate Risk Management e iv) Climate Disclosure.**

In tale prospettiva di integrazione, l’approccio basato sul rischio contribuisce al miglioramento delle performance e della stabilità del business, attraverso la gestione dell’incertezza insita nei possibili scenari futuri dovuti al cambiamento climatico. In questo ambito i rischi climatici tipici, fisici e di transizione, vanno analizzati contestualmente nei diversi stati del mondo poiché gli scenari più favorevoli per la decarbonizzazione e che quindi riducono il rischio fisico spesso comportano alti rischi di transizione dovuti al cambio della regolamentazione e della struttura di mercato.

L’applicazione di tale approccio è possibile solo attraverso l’effettiva adozione di una governance di rischio che coinvolga i decisori di ultima istanza (CDA) e il management che diviene attore principale del cambio culturale con l’adozione di efficaci analisi di scenario (di transizione) integrate nel processo di pianificazione strategica e degli investimenti.

Analisi che riguardano contestualmente tanto il percorso di decarbonizzazione quanto quello della resilienza climatica e che deve prevedere un “ascolto” e una anche la piena rendicontazione dei risultati a tutti gli stakeholder interessati.

7.5.1.1 Modello di Climate Risk Governance e Risk Appetite

Gli organi amministrativi e decisionali hanno il compito primario di definire l’indirizzo strategico dell’impresa anche in relazione al *climate change*. Nella definizione di tale indirizzo, dovranno essere considerati gli effetti del cambiamento climatico anche e soprattutto su orizzonti di medio e lungo periodo, per forza di cose non allineati alla durata dei mandati. Il compito di indirizzo strategico sopra delineato assume quindi un valore sempre più importante e può essere declinato nelle seguenti responsabilità principali:

- individuare le macro-linee evolutive del modello di business dell’impresa nel lungo periodo in funzione dei mutamenti climatici, tenendo conto distintamente degli aspetti di rischio fisico e di rischio di transizione;
- approvare le *policy* di rischio climate change, inclusive della definizione del rischio, delle principali metriche, indicatori, metodologie o criteri utilizzati nella valutazione dello stesso, dei ruoli e delle responsabilità degli organi aziendali e delle funzioni coinvolte e dei macro-processi di gestione dei rischi;
- definire e aggiornare periodicamente il *Risk Appetite Framework*;
- valutare periodicamente report di rischio inclusivi dei profili legati *climate change*;
- fissare, monitorare e aggiornare periodicamente gli obiettivi legati al cambiamento climatico nell’ambito del sistema incentivante;
- assicurare una *disclosure* adeguata in materia di rischi, opportunità e strategie legate al tema nei confronti di tutti gli *stakeholder*, inclusi investitori e autorità di vigilanza;

- mantenere un costante dialogo e scambio riguardante le *best practice* in materia con entità comparabili, autorità di vigilanza, investitori e altri *stakeholder*.

Affinché gli organi decisori aziendali possano assolvere correttamente ai propri compiti è essenziale una composizione idonea ad assicurare competenze e consapevolezza in merito alle tematiche connesse alla materia. Laddove sono previsti comitati all'interno dell'Organo amministrativo, è opportuno che l'attribuzione delle competenze in materia di *climate change* sia chiaramente attribuita ad uno dei comitati, e che nella sua composizione si tenga conto della necessità di garantire competenze specifiche e consapevolezza della rilevanza del tema.

Al management che ha il compito di tradurre gli indirizzi strategici (*climate strategy*) in azioni gestionali, tanto nella condotta ordinaria di business quanto nell'implementazione di interventi a carattere trasformativo (quali ad esempio l'uscita da specifici mercati e l'ingresso in altri) spetta la modifica di processi produttivi, la revisione della catena di fornitura e tutti gli altri aspetti che renderanno possibile il cambiamento. Tra i compiti specifici del management rispetto alla *climate strategy* rientra la definizione di:

- **un piano di transizione**, che contenga le linee di indirizzo per il percorso di trasformazione verso l'adattamento al cambiamento climatico e specifici i modelli di riferimento per la valutazione del rischio, le modalità di disclosure selezionate dall'impresa rispetto al *climate change*, e le azioni da implementare sulle direttrici principali interessate, quali ad esempio le fonti di finanziamento;
- **un piano di adattamento**, che individui gli investimenti e finanziamenti necessari alla resilienza climatica, avendo valutato la rischiosità del business tramite opportuni *climate risk & vulnerability assessment*.

Compito fondamentale del management è quello di assicurare una relazione tra i due piani e in particolare il compito delle funzioni di controllo, sarà quello, anche nell'ambito della risposta al *climate change*, di assicurare il **corretto funzionamento delle "tre linee di difesa"** costituite rispettivamente dalle funzioni di linea, controlli di secondo livello (es. risk management, compliance), controlli di terzo livello (internal audit). L'esistenza e la reciproca indipendenza delle tre linee di difesa è fondamentale per assicurare una gestione efficace dei rischi anche nel contesto del cambiamento climatico.

Il documento "*How to Set Up Effective Climate Governance on Corporate Boards*" redatto nel 2018 dal World Economic Forum fornisce un insieme articolato di indicazioni in materia, identificando i principi chiave di una governance efficace dei temi legati al cambiamento climatico, suggerendo, per ciascuno di essi, come implementarli nella pratica.

Al fine di assicurare una buona governance è inoltre essenziale definire un **Risk Appetite Framework** che consenta all'organo decisionale di formulare la propensione al rischio dell'organizzazione attraverso uno o più *statement* relativamente semplici, da cui il management e le strutture tecniche possano derivare gli orientamenti di dettaglio da implementare. Posto che la formulazione del *Risk Appetite* sarà di norma soggetta ad un elevato grado di variabilità a seconda del tipo di impresa/organizzazione (settore, dimensione, contesto istituzionale, ecc...), è possibile individuare alcuni principi comuni di applicazione:

- riferirsi al livello di rischio che l'impresa è disposta ad assumere;
- identificare la *Risk Tolerance* come il livello massimo di deviazione dal *Risk Appetite*, in termini di maggior rischio, che l'impresa è pronta ad accettare ove necessario;
- di solito, ma non sempre, è possibile identificare o stimare un livello di *Risk Capacity*, cioè il rischio massimo che l'impresa potrebbe tecnicamente assumere, verificando che la *Risk Tolerance* si collochi all'interno della *Risk Capacity*;
- la formulazione di *Risk Appetite* e *Risk Tolerance* in materia di rischio *climate change* dovrebbe di norma articolarsi su più *statement*, alcuni dei quali basati su metriche di carattere quantitativo, e includere distintamente rischio fisico e rischi di transizione;

- il *Risk Appetite Framework* dovrebbe includere, oltre alla formulazione e approvazione di *Risk Appetite* e *Risk Tolerance*, processi di monitoraggio e *reporting, escalation* in caso di deviazione dai target stabiliti e revisione periodica degli stessi.

In materia di climate change, la formulazione di *Risk Appetite* e *Risk Tolerance* dovrebbe includere **obiettivi di mitigazione** (attraverso stabilizzazione o contenimento delle concentrazioni di gas a effetto serra nell'atmosfera, impedendo interferenze di origine antropica con il sistema climatico in linea con l'obiettivo di temperatura a lungo termine dell'Accordo di Parigi e della COP26) e **obiettivi di adattamento** (che prevengono o riducono in modo sostanziale il rischio di effetti negativi del clima attuale e del clima previsto per il futuro sull'attività economica o riducono in modo sostanziale tali effetti negativi, senza accrescere il rischio di tali effetti sulle persone, sulla natura o sugli attivi; **le soluzioni di adattamento sono valutate e classificate in ordine di priorità** utilizzando le migliori proiezioni climatiche disponibili - raggiungimento di un certo livello di climate resilience).

Per le imprese che già sono dotate di un Risk Appetite Framework per altre tipologie di rischi, la formulazione di Risk Appetite e Risk Tolerance per i rischi legati al climate change potrebbe evidenziare l'opportunità di una revisione strutturale di alcuni aspetti del framework, sia in termini di tassonomia dei rischi sia di processi e metriche.

7.5.1.2 Processo di Strategic Planning Risk Management

Un'adeguata gestione dei rischi legati al cambiamento climatico prende le mosse da una pianificazione strategica, inserita in un ciclo di pianificazione, valutazione dei rischi (fisici e di transizione) e implementazione delle azioni di mitigazione che può avere di norma cadenza annuale. La *Task Force on Climate-related Financial Disclosure* (di seguito TCFD) ha evidenziato come i cambiamenti climatici implicino due macro-categorie di rischio in funzione dell'evento determinante:

- **Rischi connessi alla transizione verso un'economia a basso impatto (cd rischio di transizione).** La transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio può comportare infatti cambiamenti nelle policy, nella tecnologia e nella risposta del mercato;
- **Rischi connessi all'impatto fisico del cambiamento climatico (cd rischio fisico)** dovuti a variazioni in frequenza e magnitudo degli eventi estremi (rischio fisico acuto) e/o variazioni di variabili climatiche media, e.g. incremento temperatura media globale (rischio fisico cronico).

Sulla base di tale distinzione e al fine di efficientare il processo decisionale, specie in ottica prospettica, appare evidente come i rischi e gli impatti economico - finanziari derivanti dal cambiamento climatico debbano essere parte integrante della pianificazione pluriennale, industriale e strategica. La stessa TCFD propone un framework ad hoc (tassonomie e strumenti) per la valutazione e rendicontazione delle informazioni economico - finanziarie inerenti il clima in chiave prospettica. Il processo integrato di *Strategic Planning Risk Management* appare dunque inevitabile per:

- Integrare il clima nei processi decisionali aziendali (operativi e d'investimento).
- Gestire l'incertezza derivante dal clima in evoluzione.
- Valutare le potenziali perdite economico-finanziarie cui il business è esposto.
- Definire azioni di mitigazione del rischio in ottica di adattamento al cambiamento climatico.

Data la natura del rischio climatico, il processo di pianificazione strategica dovrebbe di norma prendere le mosse dall'identificazione degli **scenari di riferimento** a partire dai quali il management potrebbe identificare e valutare i rischi e le opportunità di breve, medio e lungo periodo rilevanti per ciascuna linea di business e/o mercato di riferimento. Gli scenari sono descrizioni di stati futuri, ipotetici e plausibili (non

si tratta di previsioni), che aiutano aziende per rispondere alla domanda: “Quali sarebbero le potenziali implicazioni per la nostra strategia se il futuro descritto in uno scenario si avverasse?”. Normalmente gli scenari considerano rischi di transizione e rischi fisici e l’interazione fra loro, l’obiettivo è quello di descrivere, in estrema sintesi, un risultato ottenibile in un determinato orizzonte temporale e un percorso per il raggiungimento dell’obiettivo delineato.

Il numero di scenari da utilizzare dovrebbe essere sufficientemente ampio per costruire “*what-if analysis*” e catturare un’ampia gamma di possibili stati futuri incerti. Scenari pubblici (ad es. IPCC, International Energy Agency (IEA), Network for Greening the Financial System (NGFS) sono un utile punto di partenza per le attività di *strategic planning risk management*. I target definiti da scenari esogeni pubblici dovranno poi essere tradotti in metriche e target per “*company-level*” in diversi orizzonti temporali cui corrispondono specifiche implicazioni finanziarie.

L’attività successiva di mappatura può risultare piuttosto complessa a causa delle molteplici dimensioni da considerare (scenari, periodo, rischi, Business line), ma sulla base di essa il management potrà valutare gli impatti di carattere tecnico/operativo, quelli economico/finanziari e quelli di carattere legale, regolatorio e reputazionale, in connessione al *core business* e alla pianificazione strategica. A valle della valutazione assumono rilevanza le misure di trattamento/mitigazione dei rischi, da strutturare in veri e propri piani di transizione e adattamento. Un’analisi del rischio residuo, al netto degli effetti migliorativi delle azioni di trattamento/mitigazione consentirà di valutare la resilienza climatica dell’impresa, anche rivalutando alcune azioni in termini di costo-opportunità.

7.5.1.3 Processo di Climate Risk and Vulnerability Assessment

Nell’ambito delle analisi di rischio, e dei relativi scenari, assume particolare rilievo il tema del rischio fisico specie in ambito di reti infrastrutturali e mobilità, a causa della loro estensione, pervasività e potenziale fragilità ad eventi estremi o cronici. In tale contesto il primo gap da colmare riguarda proprio le informazioni necessarie per sviluppare piani di risposta (adattamento). È evidente che tale carenza non riguarda direttamente i modelli e le proiezioni climatiche ma l’impatto di tali dinamiche sugli asset e sui servizi.

La definizione di un processo che consenta di identificare e di valutare efficacemente tali rischi climatici, ovvero la realizzazione di un robusto “*Climate Risk and Vulnerability Assessment*”, rappresenta proprio uno degli elementi chiave per rispondere in modo adeguato alle sfide poste in essere dal cambiamento climatico.

L’importanza di tale strumento, come elemento propedeutico alla definizione di strategie e piani di adattamento, viene più volte sottolineata, oltre che dalla letteratura scientifica di riferimento, anche dall’Unione Europea. Le attività di valutazione del rischio e delle vulnerabilità connesse ai cambiamenti climatici rappresentano, ad esempio, uno dei passi che caratterizzano l’*Adaptation Support Tool (AST)* sviluppato all’interno della piattaforma *Climate-ADAPT* della Commissione Europea, o ancora nell’ambito della cd “*UE Taxonomy Regulation*” (Regolamento (UE) 852 del 18 giugno 2020 - recante modifiche al Regolamento UE 2019/2088). Il legislatore, nell’annoverarlo tra i criteri di vaglio tecnico, necessari per l’individuazione delle attività economiche di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici sostenibili dal punto di vista ambientale, individua nello sviluppo e utilizzo di un robusto “*Climate Risk & Vulnerability Assessment*” un fattore abilitante per la corretta classificazione dei relativi investimenti, dei costi operativi e fatturato.

In termini generali, un “*Climate Risk & Vulnerability Assessment*” può essere definito come uno strumento attraverso il quale è possibile condurre una robusta valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità che caratterizzano uno o più settori di interesse, in logica sia attuale che prospettica. È lo strumento che

permette di analizzare, in modo integrato, gli impatti indotti da una serie di pericoli climatici (o *hazard*)¹⁶³ note le condizioni di esposizione e vulnerabilità del sistema di interesse. L'analisi di queste componenti (ovvero dei fattori che compongono il rischio secondo lo schema proposto dall'IPCC), sfruttando le migliori pratiche e le più attuali conoscenze scientifiche e metodologie, rappresenta un elemento chiave del processo che porta alla definizione di strategie e piani di adattamento.

Attraverso la manipolazione di tali dati (es., proiezioni di temperatura massima, proiezioni di precipitazione cumulata, etc.) è possibile, attraverso opportuni indicatori di sintesi / *proxy* (es., numero di giorni con precipitazione cumulata giornaliera maggiore di 20 mm, ampiezza delle ondate di calore, etc.) che permettono di analizzare la dinamica dell'*hazard*, sia attuale che prospettica, valutare eventuali variazioni in termini di frequenza, distribuzione spaziale e intensità dei pericoli indotti dal cambiamento climatico¹⁶⁴. L'analisi dell'esposizione identifica e caratterizza il grado in cui gli elementi esposti possono essere distrutti o danneggiati a seguito del verificarsi di un dato *hazard* climatico. Gli indicatori di esposizione, quindi, vengono impiegati per rappresentare la presenza degli elementi del sistema di interesse nel territorio.

La valorizzazione del fenomeno può essere ottenuta utilizzando indicatori che esprimono la presenza dell'elemento esposto sul territorio (es., numero di chilometri di rete ferroviaria o di rete stradale), indicatori relativi alla rilevanza (es., economica / patrimoniale) dell'elemento esposto, oppure attraverso la combinazione di queste due dimensioni.

Dotarsi di un robusto "*Climate Risk & Vulnerability Assessment*" è fondamentale per tutte quelle imprese o organizzazioni che vedono nella costruzione di un futuro *climate-resilient* un imperativo. È tuttavia opportuno sottolineare che lo sviluppo / utilizzo di tale strumento richiede: (a) la disponibilità di dati climatici aggiornati e di alta qualità / risoluzione sia spaziale che temporale, (b) la disponibilità di dati storici relativi ai danni economici legati al manifestarsi dei pericoli climatici di interesse che sono fondamentali per la stima del danno economico atteso ed indotto dal cambiamento climatico, (c) la disponibilità di strumenti / tecnologie/ algoritmi di ultima generazione per la raccolta, l'integrazione, l'analisi di tutti gli elementi che caratterizzano il processo di valutazione dei rischi e delle vulnerabilità connesse ai cambiamenti climatici e, (d) la condivisione delle informazioni e dei risultati ottenuti al fine di rispondere alle richieste dell'Unione Europea che vede nel *data sharing*, nella politica *open access* e nell'approccio sistemico gli aspetti chiave della lotta ai cambiamenti climatici.

È fondamentale quindi che i grandi player collaborino al fine di costruire il futuro *climate-resilient* auspicato dall'Unione Europea (si veda ad esempio *EU Climate Adaptation Strategy*).

A complemento di quanto sopra va infine ricordato il tema del trasferimento assicurativo del rischio legato al clima, come strumento chiave per gestire il rischio climatico da un punto di vista finanziario. L'esistenza di un ampio gap di protezione ("*Insurance protection gap*") identificato dalla strategia europea, dimostra la necessità di costruire meccanismi assicurativi di natura pubblico-privata, con l'obiettivo sia di ridurre l'onere dei danni che ricadrebbero in gran parte su singole imprese o cittadini sia di favorire la crescita dell'attenzione e della conoscenza dei rischi legati al cambiamento climatico, innescando così comportamenti di prevenzione, tutela e adattamento.

¹⁶³ Gli hazard climatici vengono tipicamente analizzati sfruttando informazioni sulle condizioni climatiche attuali e sulle proiezioni climatiche future derivate da modelli climatici globali / regionali e rese disponibili dalla comunità scientifica.

¹⁶⁴ Le migliori pratiche e la letteratura scientifica di riferimento, suggeriscono di realizzare tali analisi considerando: (a) diversi periodi temporali futuri, così da poter valutare l'impatto del cambiamento climatico nel breve, medio e lungo periodo, (b) diversi scenari di emissione di gas climalteranti (es., scenario RCP8.5 ovvero lo scenario ad alte emissioni o scenario "business as usual", scenario RCP 4.5 ovvero lo scenario caratterizzato da forti mitigazioni delle emissioni di gas climalteranti, etc.) e, (c) le proiezioni climatiche di più modelli climatici (cd "model ensemble") così da valutare anche l'incertezza che caratterizza l'analisi di queste variabili climatiche.

Il sistema necessita però di un ruolo dello Stato che va al di là di quello normativo. L'esistenza di rischi così ingenti potrebbe mettere in pericolo il Sistema finanziario, poiché neanche i più ampi pool assicurativi potrebbero coprire interamente i rischi derivanti dal climate change senza fallire. La collaborazione pubblico-privato potrebbe portare benefici per il Sistema con parte dei rischi allocati al mercato assicurativo e finanziario e gli Stati che potrebbe fungere da "riassicuratori di ultima istanza" per danni oltre determinati livelli. Inoltre, le aree di collaborazione pubblico-privato delle responsabilità finanziarie nella gestione del rischio consentirebbero la messa in comune di dati e di modelli statistici. Anche la ricchezza di informazioni di cui dispongono le assicurazioni rappresenta, infatti, una risorsa preziosa per la prevenzione dei rischi e per il miglioramento delle politiche di adattamento.

7.5.2 Strumenti di trasparenza, monitoraggio e reporting in materia di sostenibilità ambientale

Come chiarito in precedenza, il tema dell'informativa pubblica è un elemento chiave per avere piena trasparenza e consapevolezza sulle azioni e sui risultati che i diversi attori del mercato stanno perseguendo ed ottenendo, con un effetto virtuoso indiretto giocato dalla comparabilità dei risultati che funge da incentivo di carattere reputazionale (*brand identity*).

La leva della *disclosure*, su cui le autorità e il mercato possono innestare un virtuoso monitoraggio dei risultati raggiunti dai diversi player, rappresenta, una leva di straordinaria rilevanza anche per perseguire gli obiettivi ambientali e climatici da adottare e adattare opportunamente su base nazionale, in ragione delle caratteristiche e delle dimensioni dei diversi attori pubblici e privati. In tale contesto gli organi decisionali hanno il compito di assicurare che gli *stakeholder* e più in generale il mercato sia efficacemente informato in materia di rischi e opportunità legate al clima e al cambiamento climatico. Il raggiungimento dell'ambizioso obiettivo dell'Unione Europa nella propria strategia al cambiamento climatico necessita la mobilitazione di capitali privati, oltre a quelli pubblici, per raggiungere il livello di investimenti necessari per l'innovazione e la transizione ad un'economia low-carbon.

Data tale premessa, negli ultimi anni è stato sollevato il tema di cosa rendicontare, ma soprattutto di come rendicontare al mercato le tematiche afferenti al clima. Al fine di individuare come il sistema italiano possa efficacemente utilizzare tale leva è necessario fornire una rappresentazione sintetica dell'articolato panorama in materia di *framework di disclosure* delle informazioni relative al clima. Ad oggi è possibile, infatti, delineare due principali cluster di "standard di rendicontazione" sulla base del soggetto promotore dell'iniziativa:

- **la Commissione Europea ha definito Direttive** (Direttiva 2014/95/UE, cd Non Financial Reporting Directive, **linee guida "volontaristiche"** ("Orientamenti sulla comunicazione di informazioni di carattere non finanziario: Integrazione concernente la comunicazione di informazioni relative al clima"), e **Regolamenti Delegati** (EU Taxonomy Regulation) vincolanti in materia;
- organizzazioni internazionali hanno definito linee guida e framework "volontaristici" di rendicontazione della sostenibilità e delle informazioni sul clima (GRI, SASB, International Integrated Reporting Council, United Nations Global Compact Communication On Progress, Taskforce on Climate-related Financial Disclosure (in appendice C si riporta una sintesi di attività), gruppi di studio sul bilancio sociale e integrato, su cui la maggior parte delle imprese financial e non-financial si sono già orientati nel corso dell'ultimo quinquennio per andare incontro alla necessità di disclosure al mercato, requisito sempre più discriminante in termini di vantaggio competitivo sul mercato.

Da tale premessa emerge un quadro piuttosto frammentato e disomogeneo, in cui da un lato vi sono le normative cogenti che disciplinano solo alcuni aspetti della rendicontazione, dall'altro framework puntuali che trattano numerosi ambiti, ma che ad oggi sono adottabili su base volontaria. Al fine di incrementare la comparabilità delle informazioni, la Commissione Europea si è mossa nel tentativo di definire un punto di tangenza tra la normativa e i vari framework nati negli ultimi anni.

Il 21 aprile 2021 la Commissione Europea ha infatti pubblicato una proposta di Direttiva sul reporting di sostenibilità (Corporate Sustainability Reporting Directive - CSRD): la normativa richiederà alle imprese europee di divulgare una serie di informazioni su rischi e impatti relativi ai temi di sostenibilità delle proprie attività aziendali. L'obiettivo principale della proposta di direttiva è incrementare la quantità, la qualità e soprattutto la comparabilità delle informazioni che vengono divulgate dalle imprese e che possono essere utilizzate dagli investitori per integrare le strategie d'investimento e soddisfare gli obblighi di informativa verso la clientela. I dati dovranno essere riportati sulla base di standard comuni di reporting, che saranno sviluppati dall'European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG) sulla base delle raccomandazioni tecniche pubblicate a marzo del 2021 al termine di uno studio di fattibilità richiesto dalla Commissione.

Gli standard di reporting dell'UE saranno compatibili con i sistemi già ampiamente diffusi a livello internazionale, come TCFD, GRI, SASB, IIRC, CDSB e CDP il lavoro del Technical Expert Group (TEG¹⁶⁵), e vengono adottati dalla Commissione UE con atti delegati.

Rimandando alla letteratura disponibile sugli standard di reporting si riporta di seguito una breve descrizione della recente *EU Taxonomy Regulation*, in via di consolidamento, che richiede informazioni dettagliate sulle emissioni GHG e l'adozione dei criteri di "Do No Significant Harm" (DNSH) per i gli investimenti e gli orientamenti sulla comunicazione di informazioni di carattere non finanziario relative al clima con un focus sul lavoro della TCFD.

La valutazione DNSH deve essere effettuata non solo per gli investimenti, ma anche per le riforme. Le riforme in alcuni settori, tra cui l'industria, i trasporti e l'energia, pur avendo il potenziale per contribuire in modo significativo alla transizione verde, possono anche comportare un rischio di danno significativo per una serie di obiettivi ambientali, a seconda di come saranno progettati.

7.5.2.1 EU Taxonomy Regulation e regolamenti delegati

La Commissione Europea ha definito un sistema di classificazione delle attività economiche sostenibili dal punto di vista ambientale attraverso la cd "UE Taxonomy regulation". La tassonomia è un importante fattore abilitante per:

- i) incrementare gli investimenti sostenibili, fornendo un linguaggio comune e una definizione univoca di "attività economica sostenibile"
- ii) attuare il Green Deal europeo; aumentare la trasparenza per gli investitori attraverso *disclosure* obbligatoria e proteggere gli investitori privati dal greenwashing e supportare le aziende verso la pianificazione degli interventi funzionali alla transizione

Il Regolamento (UE) 2020/852 del 18 giugno 2020 (recante modifiche al Regolamento UE 2019/2088) definisce (Art.3) un'**attività economica sostenibile** se rispetta quattro condizioni:

- Contribuisce in modo sostanziale al raggiungimento di **obiettivi ambientali** quali la i) Mitigazione e Adattamento ai cambiamenti climatici, ii) Uso sostenibile e protezione delle acque e delle risorse marine, iii) transizione verso un'economia circolare, iv) Prevenzione e riduzione dell'inquinamento e v) protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi

¹⁶⁵ Ovvero il gruppo di 35 esperti in materia di finanza sostenibile istituito dalla Commissione Europea

- **Non arreca un danno significativo a nessuno degli obiettivi di cui sopra** (cd principio “Do No Significant Harm” - DNSH). Nella predisposizione della valutazione DNSH devono essere seguiti specifici criteri di base di riferimento (vedi appendice 4)
- È svolta nel rispetto di **garanzie minime di salvaguardia sociale**
- È **conforme ai criteri di vaglio tecnico**

Per ciascuno obiettivo è necessario stabilire criteri uniformi per determinare se un'attività economica fornisce un contributo sostanziale all'obiettivo. Si vuole inoltre evitare che un investimento venga considerato sostenibile se le attività economiche che ne conseguono danneggiano l'ambiente in misura superiore al loro contributo all'obiettivo ambientale.

Il Regolamento UE conferisce alla Commissione Europea il potere di adottare **Atti delegati** in modo da definire i criteri di vaglio tecnico specificando dunque come e quando gli operatori debbano ottemperare agli obblighi del regolamento stesso; si applica a imprese soggette all'obbligo di pubblicare una dichiarazione di carattere non finanziario (DNF), emittenti di prodotti finanziari nell'UE e Stati membri che stabiliscono misure pubbliche, standard o etichette per prodotti finanziari

Il Regolamento infine definisce un **obbligo di trasparenza e rendicontazione** per gli utenti di cui sopra e in modo particolare le imprese soggette all'obbligo di DNF sono tenute a fornire informazioni su come e in che misura le attività dell'impresa sono associate ad attività economiche sostenibili (e.g. quota del fatturato proveniente da tali attività, la quota di spese in conto capitale - CapEx, e spese operative - OpEx che si qualificano come sostenibili dal punto di vista ambientale).

I Regolamenti delegati

Il Regolamento Delegato del 04/06/2021 (approvato dalla Commissione Europea), insieme ai relativi annessi, definisce i cosiddetti criteri di vaglio tecnico (“*Technical Screening criteria*”) per i primi due obiettivi ambientali (mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici) al fine di: i) definire puntualmente le attività economiche sostenibili, ricorrendo al sistema di classificazione NACE (Nomenclature des Activités Economiques dans la Communauté Européenne); ii) determinare a quali condizioni tecniche (“*Technical Criteria*”) si possa considerare che una determinata attività economica contribuisca in modo sostanziale agli obiettivi ambientali; iii) determinare se un'attività economica, pur rispettando le condizioni di cui sopra, arrechi un danno significativo a uno o più obiettivi (diversi da quello in valutazione).

Il Regolamento Delegato entrerà in vigore dal primo gennaio 2022. Per gli altri ulteriori obiettivi sopra menzionati è prevista la pubblicazione di specifici atti delegati in tema di “*Technical Screening criteria*”.

Il Regolamento Delegato del 06 Luglio 2021 (e i relativi annessi) disciplina in modo puntuale l'Art. 8 del Regolamento UE 2020/852, definendo quali informazioni saranno oggetto di *disclosure*, nell'ambito della singola attività economica sostenibile individuata a partire dai criteri di screening tecnici (contributo sostanziale + compliance al principio del DNSH) e le modalità di rendicontazione.

Le attività economiche sono distinte in:

- **Attività Eleggibili (ovvero che sono in linea con gli obiettivi ambientali del Regolamento 2020)** distinguendo in: i) Attività allineate ai criteri tecnici di screening (Codici NACE sono riportati negli Atti delegati 2021 + contributo sostanziale + rispetto del DNSH + rispetto garanzie minime di salvaguardia) e ii) Attività non allineate ai criteri tecnici di screening
- **Attività Non eleggibili** (ovvero fuori dal perimetro degli obiettivi)

Le informazioni da rendicontare per ogni attività, sulla base della classificazione di cui sopra, sono: KPI di fatturato, KPI di CapEx, KPI di OpEx. I soggetti inclusi nella disclosure sono: Imprese non finanziarie soggette all'obbligo di DNF, Asset managers, Istituti di credito, Società di investimento, assicurazioni e riassicurazioni.

7.5.3 Gestione dei dati

I Capitoli 5 e 6 del presente Rapporto hanno entrambi messo in luce la necessità, quale pre-condizione per poter progettare, realizzare e monitorare le misure proposte per migliorare la resilienza e l'adattamento delle infrastrutture esistenti e per realizzare la de-carbonizzazione delle infrastrutture stesse, di dotare il Paese della capacità di monitorare le infrastrutture stesse in modo attivo.

Per gli obiettivi sopra menzionati, occorre sensorizzare le infrastrutture e ispezionarle con modalità che consentano di creare mappe digitali tridimensionali aggiornate, costruire modelli di simulazione che integrino i modelli delle infrastrutture con i simulatori di clima, e, soprattutto costruire, attorno a tali dati, una infrastruttura fisica e digitale di raccolta, gestione, estrazione dell'informazione e manutenzione. In particolare saranno fondamentali azioni di digitalizzazione, trasversali a tutte le infrastrutture considerate, da utilizzare come abilitatori di azioni di adattamento che di mitigazione, al fine di:

1. Programmare azioni e investimenti concreti al fine di promuovere l'installazione di tecnologie digitali e IoT (*Internet of Things*) per il monitoraggio dei diversi processi e componenti infrastrutturali;
2. Prevedere la creazione di piattaforme digitali di *back-end* per la raccolta, lo *storage* ed il *processing* di tali dati;
3. Pianificare azioni di rilevazione automatica della condizione delle infrastrutture;
4. Costruire una rete di modelli matematici, gemelli digitali e sistemi di supporto alla decisione fondati su simulazione, analisi di scenari che integrano la descrizione delle infrastrutture e le loro interazioni con eventi climatici estremi;
5. Avviare un centro di analisi, controllo e valorizzazione di tali informazioni che possa tenere conto delle interconnessioni tra le diverse infrastrutture e avere una visione di insieme sulla loro evoluzione e gestione, specie in momenti di criticità, sviluppando contingency plan data-driven, discussi e gestiti anche a livello inter-ministeriale.

Avere meccanismi di raccolta, interpretazione e sintesi dei dati stabili, coerenti e consistenti nelle fasi che vanno dal progetto di una azione di adattamento o mitigazione fino alla sua messa in opera e successivo monitoraggio è di fondamentale importanza per una corretta valutazione dell'impatto di tale azione, e per poter essere in grado di farla evolvere in modo sintonizzato rispetto all'evoluzione dinamica dell'infrastruttura su cui essa stessa agisce.

È chiaro che per realizzare quanto descritto ai punti precedenti occorre valutare in modo attento quali siano i dati già disponibili a livello nazionale, ad esempio grazie ai sistemi proprietari delle aziende cosiddette "campioni nazionali", che gestiscono ed agiscono direttamente sulle varie infrastrutture.

Sicuramente agevolare partnership pubblico-privato che mettano a disposizione delle Istituzioni servizi a valore aggiunto derivanti da un processing concordato dei dati già disponibili e di interesse per i fini sopra descritti, potrebbe consentire di velocizzare la realizzazione della rete di informazioni necessaria, sfruttando anche le capacità di manutenzione e sviluppo della rete "IoT" di tali aziende, evitando duplicazioni. Sarà però cruciale sviluppare quelle parti di rete fisica-digitale che consentono di integrare le informazioni esistenti e permettono di "strumentare" anche quelle infrastrutture ad oggi non coperte

da monitoraggio privato. Questo nell'ottica, supportata anche dalle direttive EU in tema di dati [si veda il documento "A European Strategy for Data" (EC,2020a)], di favorire soluzioni per condivisione di dati a livello *Business-2-Governance* e *Governance-2-Business*.

Le partnership pubblico-privato dovranno ovviamente gestire anche le questioni relative alla *ownership* dei dati di origine e delle informazioni aggregate da essi derivate, in modo che la fase di integrazione non venga limitata dall'indisponibilità di mettere a fattor comune informazioni fondamentali per costruire gli indici di monitoraggio necessari ai fini di supportare efficacemente le decisioni pubbliche in tema di gestione delle infrastrutture e realizzazione delle azioni di adattamento e mitigazione che esse abilitano.

Oltre alle forti implicazioni sopra descritte nell'abilitare una politica di gestione delle infrastrutture che tenga conto dei cambiamenti climatici, i dati e le relative infrastrutture di gestione hanno anche un ruolo altrettanto fondamentale nell'operatività di soluzioni di trasporto e mobilità sostenibili, altrettanto importante per gli scopi di questo rapporto.

Come messo in luce dal documento della Comunità Europea "Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il future" (EC,2020b), infatti, la digitalizzazione ha anche un ruolo fondamentale e attivo nello specifico contesto delle infrastrutture per il trasporto e la mobilità sostenibile, quale strumento specifico per abilitare le azioni di shift modale e di comportamento degli utenti che sono la chiave per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione.

Gli aspetti legati a questo contesto, e che vanno tenuti in considerazione anche a livello nazionale, comprendono:

- La digitalizzazione come motore indispensabile per la modernizzazione dell'intero sistema, per renderlo fluido e più efficiente. L'Europa deve utilizzare la digitalizzazione e l'automazione per incrementare ulteriormente i livelli di sicurezza, protezione, affidabilità e comfort, mantenendo così la leadership dell'UE nella produzione di mezzi di trasporto e nei servizi di trasporto e migliorando la propria competitività globale attraverso catene logistiche efficienti e resilienti.
- La connettività continua, sicura ed efficiente come abilitatore di esperienze multimodali integrate. I sistemi connessi e automatizzati hanno enormi potenzialità per migliorare profondamente il funzionamento dell'intero sistema dei trasporti e contribuire al raggiungimento dei nostri obiettivi di sostenibilità e sicurezza.
- Una gestione dei dati attenta all'individuo, che sia inclusiva e sicura. Per garantire l'accettabilità delle nuove forme di mobilità è cruciale che i meccanismi di raccolta e gestione dei dati preservino i valori europei, le norme etiche, l'uguaglianza e le norme in materia di protezione dei dati e di privacy, investendo in misure di cyber-sicurezza per garantire la difesa dei dati personali e critici.
- Lo sviluppo di infrastrutture fisiche e digitali integrate per cogliere le opportunità presentate dalla cosiddetta mobilità connessa, cooperativa e automatizzata (CCAM). La CCAM può garantire la mobilità di tutti, e migliorare l'accessibilità e la sicurezza stradale, e deve preparare gli ambienti urbani ed extra-urbani per accogliere i veicoli autonomi nel loro ruolo di attori fondamentali nello shift dalla proprietà del veicolo al suo utilizzo condiviso (shared-mobility), passo fondamentale per una reale de-carbonizzazione della mobilità passeggeri.
- Il superamento dell'attuale insufficiente disponibilità e accessibilità dei dati per lo sviluppo di sistemi di informazione, biglietteria e pagamento integrati per soluzioni multimodali per passeggeri. In questo ambito le azioni devono concentrarsi sul superamento della cooperazione non ottimale tra i fornitori e i venditori, dell'assenza di biglietti digitali, dell'inadeguata interoperabilità dei sistemi di pagamento e dell'esistenza di accordi non consistenti di licenza e distribuzione.

Contestualmente, nella Comunicazione della Commissione “Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici - La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici” (EC, 2021d) vengono disegnati i capisaldi del processo di adattamento europeo enfatizzando, i temi della conoscenza e dell’incertezza. In primo luogo, stante l’obiettivo di costruire un futuro climate-resilient, è necessaria la consapevolezza che gli impatti della crisi climatica in atto sono inevitabili e di conseguenza l’adattamento al cambiamento climatico è da intendersi come un processo di lungo periodo.

La Strategia Europea, basata anch’essa su una visione di lungo periodo sulla base della quale l’Europa sarà completamente *climate-resilient* al 2050, promuove le azioni internazionali e si articola in tre filoni, enfatizzando il tema dei dati e della conoscenza.

I filoni della strategia europea e le principali azioni e linee guida

- i. Adattamento “SMART” basato su:
 - a. Ottimizzazione della conoscenza sul clima (e dei suoi impatti) facendo ricorso alla scienza, con cui instaurare un dialogo su base continuativa (e.g. studiare il link esistente tra le minacce climatiche future e le vulnerabilità economiche, modellare più accuratamente le stime future di danneggiamento)
 - b. Gestione dell’incertezza, poiché è necessario disporre di una solida base per porre in essere interventi particolarmente impegnativi in termini di costi adattamento, relativi benefici ed effetti distributivi
 - c. Accelerazione della digital transformation attraverso tecnologie (sensori, stazioni meteorologiche smart, intelligenza artificiale e centri di super calcolo), strumenti (e.g. Digital Twin) raccolta sistematica ed omogenea di dati connessi al clima (e alle perdite economiche subite, loss data collection) per agevolare il processo decisionale
- ii. Adattamento “SISTEMICO”: Messa a terra di piani di adattamento a tutti i livelli (governativi e settoriali) basati su scienza e su policy di Climate Risk Management
- iii. Adattamento “VELOCE” basato su: a) U-wide Climate Risk Assessment su infrastrutture critiche, corridoi TEN-T e network hotspot b) Accelerazione delle azioni/soluzioni concrete di adattamento c). Riduzione del climate protection gap (perdite economiche non assicurate)¹⁶⁶. Attualmente nell’UE solo il 35% dei danni totali causati da eventi meteorologici e climatici estremi in tutta Europa è assicurato¹⁶⁷. La parte non assicurata è quindi pari al 65% delle perdite economiche da eventi legati al clima.

Per fare quanto sopra descritto è necessario sicuramente avviare una serie di azioni che prevedano investimenti economici, ma esse devono poi essere accompagnate da decisioni di governance delle entità (eventualmente pubblico-private) che dovranno agire sulla filiera dei dati sopra descritta.

Infine, sono anche necessarie azioni regolatorie, un esempio eclatante è quello legato a stabilire le norme di circolazione e della responsabilità per i veicoli autonomi. Tale sforzo regolatorio va ovviamente sintonizzato al percorso europeo, che si sta avviando su vari fronti per dare vita a norme e regolamenti che consentano l’interoperabilità sia dei veicoli sia dei dati ad essi relativi su tutto il territorio dell’UE.

¹⁶⁶ Già nel 2010 l’OCSE sottolineava come “gli strumenti per il finanziamento ed il trasferimento del rischio, come i prodotti assicurativi, possono avere un ruolo fondamentale nella riduzione degli impatti economici dei rischi catastrofici.” (OECD, 2010)

¹⁶⁷ Feedback statement on comments received on the pilot dashboard on insurance protection gap for natural catastrophes, EIOPA, 8 luglio 2021

Per muoversi in coerenza rispetto alle tendenze europee e lungo il solco delineato dal presente rapporto, si suggerisce in particolare di considerare le seguenti azioni:

- porre in essere gli abilitatori digitali fondamentali, sopra descritti, combinando le capacità tecnologiche e di analisi dei dati con i meccanismi di governance necessari ad acquisirli ed integrarli;
- contribuire a rafforzare la capacità industriale nazionale correlata alla catena di approvvigionamento digitale, con particolare riguardo alle tecnologie di interesse per le infrastrutture trattate in questo rapporto. Ciò include la progettazione e la produzione di componenti, piattaforme software, la tecnologia dell'IoT e lo sviluppo di competenze sui metodi di analisi dei dati di interesse;
- supportare la creazione di un mercato unico digitale europeo, che consenta anche la copertura ininterrotta dei principali assi di trasporto in tutta Europa con le infrastrutture di connettività rapida e robusta;
- lavorare al contesto normativo che consenta di garantire disponibilità, accesso e scambio di dati, per essere pronti ad entrare nelle piattaforme dati europee in fase di sviluppo, quali "Data Economy"¹⁶⁸ lo spazio comune europeo dei dati sulla mobilità, che avrà lo scopo di raccogliere, collegare e rendere disponibili i dati per raggiungere gli obiettivi dell'UE, dalla sostenibilità alla multimodalità, lo spazio comune europeo dei dati sull'energia, che vuole promuovere uno scambio di dati cross-settoriale sicuro e affidabile, e lo spazio comune europeo dei dati sul Green Deal, che vuole rendere disponibili le informazioni sul cambiamento climatico e sugli obiettivi di de-carbonizzazione globali;
- promuovere il sostegno ai progetti legati ai temi di resilienza, adattamento e de-carbonizzazione delle infrastrutture privilegiando un approccio olistico e socio-tecnico, ovvero privilegiando, a parità di soluzione tecnica, i progetti che dimostrano il più alto valore sociale, ambientale, economico, e che hanno un impatto diretto sull'occupazione e sulla crescita;
- sfruttare l'imminente revisione delle norme europee pertinenti in materia di aiuti di Stato al settore dei trasporti per guidare la transizione del settore verso la sostenibilità, dando a tutti i modi di trasporto maggiori opportunità di competere a parità di condizioni per una sovvenzione;
- lavorare a strumenti normativi semplificati per l'accesso delle PMI a misure di sostegno per il rinnovo della flotta e per altri investimenti innovativi ed ecologici;
- partecipare attivamente al riesame del quadro europeo di governance economica degli investimenti nel settore dei trasporti, che è attualmente inteso evolvere per privilegiare i progetti infrastrutturali la cui attuazione si fonda sulla pianificazione strategica europea e che sono allineati alle politiche del Green Deal;
- formulare una strategia nazionale che consenta di posizionare in maniera ottimale l'Italia nell'ambito delle misure di sostegno europee per la protezione e lo sviluppo delle catene del valore strategiche dal punto di vista della de-carbonizzazione dei trasporti (es. batterie, idrogeno, combustibili rinnovabili, ecc.).

L'avvio, il coordinamento e la gestione di tali attività non sono di semplice pianificazione e realizzazione. Quali linee guida, possono essere indicate - ancora con riferimento alla "European Data Strategy", le seguenti direzioni principali suggerite per la pianificazione delle azioni legate al contesto digitale e di creazione delle infrastrutture ad esso relative.

- i. Il primo pilastro da considerare è quello legato allo sviluppo di una governance cross-settoriale per regolare l'accesso e l'uso dei dati. Le misure intersettoriali (o orizzontali) dovrebbero creare il quadro generale necessario per l'economia agile dei dati, evitando così una dannosa frammentazione del mercato interno attraverso azioni incoerenti tra i settori, pur considerandone le specificità. Strumenti che consentano la collaborazione e l'integrazione tra settori e rispettivi dati orchestrati dalle istituzioni pubbliche potrebbero essere particolarmente adeguate a gestire questa transizione.

¹⁶⁸ <http://www.dataeconomy.eu/eu-data-strategy-2020/#page-content>

- ii. Il secondo aspetto chiave è legato ai fattori abilitanti, ovvero **investimenti nei dati e rafforzamento delle capacità e delle infrastrutture europee per l'hosting, l'elaborazione e l'utilizzo dei dati, l'interoperabilità**. La possibilità di sviluppare una strategia solida per la gestione dei dati necessita di un *solido ecosistema di attori privati*, che consenta di creare valore economico e sociale dai dati. *Start-up* e *scale-up* svolgeranno un ruolo chiave nello sviluppo e nella crescita di nuovi modelli di business che sfruttino i dati in ogni settore. È quindi particolarmente importante offrire un ambiente che supporti l'innovazione basata sui dati e stimoli la domanda di prodotti e servizi che considerano i dati come un importante fattore di produzione, in questo caso con particolare riguardo al contesto delle infrastrutture, dei trasporti e della mobilità sostenibile.
- iii. Il terzo tema chiave riguarda lo **sviluppo delle competenze**, per il quale occorre formulare un piano di investimenti che tocchi gli individui e le imprese, in modo particolare le PMI. In particolare, è fondamentale far accedere gli attori dei settori di interesse a piani di formazione e di cd "*lifelong learning*" al fine di diventare operatori consapevoli nel mercato digitale connesso al proprio settore di business.
- iv. Una ulteriore direzione importante da considerare in questo contesto di sviluppo è quella di concepire, già a livello nazionale ancor prima che europeo, la costituzione di **uno spazio di dati comune che copra tutti i settori e le istituzioni strategiche a livello di adattamento e de-carbonizzazione**, per poter orchestrare misure sinergiche e comuni, i cui processi decisionali di progetto e di monitoraggio siano e restino confrontabili e comunicanti perché basati su dati univoci e condivisi.
- v. Infine, un'altra leva rilevante consiste nell'**utilizzare i c.d. "campioni nazionali"** delle reti e delle infrastrutture **per accelerare il processo di adattamento** attraverso dati e conoscenza, affidando a tali soggetti che hanno elevate capabilities la realizzazione degli interventi (reti di trasmissione, data center e sensori).

Tali soggetti hanno la necessità¹⁶⁹ e il vantaggio diretto nel disporre di tali infrastrutture digitali, ma in ragione dell'estensione e diffusione capillare territoriale delle reti che gestiscono, possono rappresentare una fonte di conoscenza e azione di contrasto degli impatti del clima per tutto il Paese a disposizione di Governo, Regioni, Comuni, Autorità di Bacino e degli altri operatori, non solo di trasporto.

¹⁶⁹ Per vincoli normativi e/o tematiche di responsabilità sono tenuti a sviluppare ed avere il controllo diretto

Appendici al Capitolo 7

Appendice 1

Il mercato europeo delle emissioni (ETS) e il suo ruolo nel pacchetto Fit-for-55

L'EU Emission Trading System (ETS) è uno degli strumenti cardini della politica climatica europea, coprendo al momento circa il 45% delle emissioni di gas serra (GHG) dell'UE. Il sistema prevede l'allocazione e il libero scambio di permessi di emissioni. Alcuni permessi sono allocati gratuitamente, e questi rappresentano circa la metà delle emissioni verificate. La proposta Europea Fit-for-55 prevede un rafforzamento e una estensione del principale strumento di mercato per la regolazione delle emissioni al settore del trasporto. Si tratta di una opportunità per incentivare la decarbonizzazione del settore trasporto in modo economicamente efficiente ma diverse incognite rimangono riguardo alla sua implementazione e alle conseguenze distributive.

Trasporto aereo. Il settore del trasporto aereo intra-EU è parte dell'ETS dal 2012, ma finora ha avuto per lo più allocazioni gratuite. La revisione del meccanismo EU ETS prevede una progressiva eliminazione delle quote gratuite distribuite agli operatori aerei dal 2024 al 2026 (rispettivamente: 25%, 50% e 75%) e una completa eliminazione dal 2027 in poi. La commissione prevede di applicare il CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) per i voli in ingresso e uscita verso paesi non UE. Il regolamento Refuel EU, inquadrato nella proposta di revisione della Renewable Energy Directive ed in linea con la parte relativa alla "Reduction" di CORSIA, richiede una transizione considerevole verso "sustainable aviation fuels" (SAF), con percentuali del 2% al 2025, 5% al 2030, 20% al 2035, 32% al 2040, 38% al 2045 e 63% al 2050.¹⁷⁰ La proposta di revisione dell'Energy Tax Directive include anche la tassazione di combustibili fossili convenzionali per l'aviazione (opzionale per voli extra-UE), con livelli di imposizione più alti per voli business privati e da turismo (ed una transizione su 10 anni), esenzioni possibili per il trasporto merci ed altre esenzioni per SAF ed altri vettori energetici alternativi - in particolare l'elettricità, anche per aerei in stazionamento, nel corso di 10 anni.

Trasporto marittimo. Dal 2023 (partendo dal 20% e con completa transizione al 2026), le navi di grosso tonnellaggio saranno incluse nell'ETS. L'estensione si applicherà ai viaggi intra-Europei, e al 50% di quelli da fuori Europa e di navi ferme nei porti europei. Due terzi delle emissioni del settore marittimo dovrebbero essere coperti dall'ETS al 2026. Le riduzioni di emissioni previste sono tra il 10-20% al 2030, con modesti impatti economici sul settore trasporto marittimo e sui prezzi dei beni. A complemento di questo, il Regolamento Fuel EU Maritime, incluso nel contesto di revisione della Renewable Energy Directive, limita le emissioni di gas serra dei combustibili navali in maniera progressiva (-2% al 2025; -6% al 2030; -13% al 2035; -26% al 2040; -59% al 2045; -75% al 2050) al fine di incrementare il contributo di combustibili a basse emissioni sul ciclo di vita (come biocombustibili avanzati, metanolo o ammoniaca "green") per il trasporto marittimo. La proposta di revisione dell'Energy Tax Directive include anche la tassazione di combustibili fossili convenzionali ed esenzioni per combustibili alternativi in alcune tratte (non soggette a rischio di "tankering") e per la navigazione da diporto.

¹⁷⁰ Per garantire che le tecnologie dei combustibili supportate dal Regolamento abbiano il massimo potenziale in termini di innovazione, decarbonizzazione e disponibilità, la parte dei combustibili sintetici per l'aviazione (l'equivalente per l'aviazione degli RFNBO) parte dallo 0,7% nel 2030 e cresce al 5% entro il 2035, 8% entro il 2040, 11% nel 2045 e 28% nel 2050.

Nuovo mercato ETS per gli edifici e il trasporto. La commissione ha proposto di creare un mercato parallelo all'ETS che copra i settori degli edifici e del trasporto. La ragione di questo è che entrambi i settori sono in ritardo negli obiettivi di decarbonizzazione. Una estensione dell'ETS attuale al trasporto ed edifici non aumenterebbe significativamente i tagli alle emissioni, secondo la Commissione. Pertanto, essa ha proposto di creare un nuovo mercato ad hoc, con prezzi differenziati. L'inizio è previsto per il 2025/26, e un possibile allineamento con l'ETS attuale è possibile negli anni successivi. L'obiettivo è di ridurre le emissioni del trasporto del 43% al 2030 (rispetto al 2005), e di applicare il nuovo ETS il più upstream possibile (al punto dei fornitori di carburanti).

Uno studio di Cambridge Econometrics prevede che il nuovo mercato abbia implicazioni positive per l'economia europea, con una crescita del PIL al 2030 dello 0.4% dovuta alle revenues ottenute dai governi dal nuovo mercato. Più complesse sono le implicazioni sociali di questo secondo mercato: lo studio modellistico prevede che per raggiungere una riduzione del 40% delle emissioni del trasporto ed edifici sia necessario un prezzo sulla CO2 tra 90 e 170 Euro/tonnellata al 2030. Se così fosse, gli impatti sulle famiglie più disagiate sarebbero significativi. Per i trasporti, lo studio sopra citato prevede un aumento dei prezzi dei carburanti del 16% al 2030, con un conseguente aumento di spesa del 10% (minore per l'attesa contrazione della domanda).

Gli aumenti dei prezzi al consumo ricadrebbero sulle famiglie che non sono passati all'elettrico per minore capacità o disponibilità. Qualora però misure complementari di incentivazione e di regolazione delle emissioni siano presenti, la pressione sul nuovo mercato sarebbe ridotta e di conseguenza i prezzi potrebbero rimanere entro limiti socialmente accettabili.

Gettito fiscale e suo utilizzo. L'estensione e creazione di un nuovo mercato porteranno risorse fiscali che se ben utilizzate possono aiutare la transizione e assicurare che i costi non ricadano sulle fasce più deboli della società. I proventi dell'ETS dovranno essere spesi interamente dagli stati membri in strategie climate-friendly. Questa è una opportunità molto importante da cogliere per l'Italia, che finora non ha diretto le risorse dell'ETS a strategie climatiche.

La Commissione ha proposto di creare un fondo sociale con una parte (25%) dei proventi del nuovo ETS per ridurre i possibili effetti regressivi del nuovo ETS riconducibili a possibili aumenti di prezzi al consumo. La Commissione stima che il Social Climate Fund fornirà 72 Miliardi di euro di finanziamento agli stati membri nel periodo 2025-32. La proposta di matching del fondo con finanziamenti degli stati membri ne raddoppierebbe l'entità.

Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Uno degli strumenti più dibattuti a livello internazionale è la proposta di introdurre dal 2026 dei dazi UE di elettricità, cemento, alluminio, fertilizzanti e prodotti siderurgici, a seconda del contenuto di emissioni della produzione e della differenza tra il prezzo dell'EU ETS e l'eventuale prezzo del carbonio pagato nel paese di produzione. Lo strumento mira a creare condizioni di parità per i produttori dell'UE soggetti ai prezzi del carbonio dell'UE. Il CBAM dovrebbe sostituire le allocazioni gratuite all'interno del sistema ETS. Se effettivamente implementato, e a seconda di quali paesi saranno oggetto dei dazi e in che entità, i costi di importazione di materiali come acciaio e alluminio, importanti componenti nel settore automobilistico, aumenterebbero. La produzione domestica sarà avvantaggiata, ma i costi potrebbero salire visto che i permessi gratuiti di CO2 saranno eliminati contestualmente all'introduzione della CBAM. Questo evidenzia la necessità di decarbonizzare l'industria energivora europea, per evitare che misure come il CBAM si riflettano in un aumento dei prezzi al consumo.

Appendice 2

Il modello della città a 15 minuti di Carlos Moreno

La logica dei 15 minuti (c.d. modello di città per quartieri proposto da Carlos Moreno per Parigi) porta la pianificazione a concentrarsi su una scala intermedia tra la città nel suo complesso e i suoi quartieri (Duany and Steuteville, 2021).

L'idea è di superare la tradizionale divisione tra centro da un lato e periferia e sobborghi dominati dalle auto dall'altro, creando appunto una rete di zone "15 minuti" a basso uso di veicoli termici e con un'elevata qualità della vita. La riprogettazione dei quartieri urbani, come riportato da Boeri in Urbania deve prevedere la "sostituzione della tripartizione spazio-temporale tra lavoro, residenza e tempo libero con una progressiva compresenza di tutte le funzioni vitali o comunque da un'intensa osmosi delle destinazioni d'uso).

Al suo interno la zona 15 minuti ha un **primo raggio di destinazioni essenziali giornaliere raggiungibili in 5 minuti a piedi**, di norma dislocate intorno a una piazza o in una strada principale. È stato calcolato che in questo primo cerchio possono vivere circa 2.600 persone. **Una seconda corona di destinazioni si colloca a 15' di distanza a piedi** (circa 1.2 Km) e comprende tipicamente i negozi di alimentari, la farmacia, i divertimenti e le scuole, aziende. All'incirca 23.000 persone possono vivere in questo spazio-tempo. **Il terzo raggio comprende destinazioni distanti circa 3 chilometri di bicicletta**, tra cui servizi sanitari, spazi verdi, stazioni e fermate di trasporto pubblico, scuole superiori: vi possono vivere circa 350.000 persone. In Italia, la città di Milano si sta indirizzando verso il modello di "Città 15 minuti" L'approccio non è di interesse esclusivo solo delle grandi città: aree urbane di dimensioni minori e, soprattutto in molti territori italiani, anche rurali possono avvalersene proficuamente.

La logica dei 15 minuti rappresenta una politica estremamente importante che può essere implementata in tutte le città italiane. Si può anzi aggiungere che le città italiane medievali e poi rinascimentali siano state in verità le inventrici di questa architettura. Un'architettura che, riproposta ai giorni nostri, permette di *massimizzare il numero di destinazioni raggiungibili nel corso di un unico tragitto* e di raggiungere facilmente fermate e stazioni di mezzi pubblici o di *car-sharing* o, ancora, di e-bike adatti agli spostamenti di più ampio raggio urbani ed extraurbani.

La logica delle aree 15 minuti si sposa molto bene anche con le politiche di disegno urbano, quali per esempio le *Complete Streets and Place-making* che prevedono la conversione degli spazi lasciati liberi dalla riduzione del traffico in spazi destinati a verde pubblico, giochi per bambini, teatri, musei, cinema, ristorazione, luoghi di ritrovo che possono generare valore aggiunto.

Appendice 3

La leva della domanda pubblica e la mobilitazione di investimenti privati

L'uso della leva della domanda pubblica può essere strumentale in una fase iniziale dello sviluppo delle tecnologie necessarie a veicoli e vettori energetici capaci di offrire soluzioni che combinano efficienza energetica, sostenibilità e decarbonizzazione a costi accessibili e su larga scala, per dare impulso all'industria ed alla conoscenza di nuove tecnologie.

Come già esposto nel corpo del capitolo una rilevante porzione del parco veicoli italiano è rappresentato dai **mezzi di trasporto collettivo su gomma**, comprendenti mezzi per il trasporto pubblico urbano, **auto-linee a media-lunga percorrenza, servizi turistici e servizi di noleggio**.

Il rinnovo delle flotte e l'acquisto di mezzi di trasporto collettivo a basse o zero emissioni dirette (in particolare i veicoli elettrici) possono essere l'oggetto di diversi strumenti di *green public procurement* (obblighi minimi di acquisto o divieti di acquisto, criteri ambientali minimi o CAM dei prodotti (veicoli) acquistati, ecc.) finalizzati a favorire la transizione verso tecnologie efficienti, sostenibili e decarbonizzate. Si tratta di politiche allineate con le indicazioni della "Cleaner Vehicles Directive". In questo contesto vale anche la pena ricordare che le amministrazioni pubbliche sono soggette a vincoli di sostenibilità per poter avere accesso ai fondi messi a disposizione nel quadro del Next Generation EU Recovery Plan (EC, 2021b).

Nel caso di **autobus, taxi e/o ride hailing**, il **chilometraggio elevato** risulta in costi operativi più bassi, capaci di portare veicoli elettrici alla parità con tecnologie a combustione più rapidamente (anche già da ora), come già dimostrato dalla transizione avviata in altre parti del mondo (Cina, Olanda ed anche America Latina).

La parità di costo (o la possibilità di una transizione tecnologica con benefici netti) giustifica scelte orientate **verso approcci regolatori anziché di incentivazione economica**, più virtuosi per le finanze pubbliche, mentre strumenti finanziari possono essere focalizzati sulla differenziazione dei tassi di interesse (anche a fini di equità sociale), visto il maggior costo di iniziale delle tecnologie elettriche (associato ad una maggiore rilevanza degli interessi per prestiti), specie per piccoli operatori con profili di rischio più alti rispetto ad imprese più solide.

Altri strumenti (applicabili su larga scala) includono i *green bonds e strumenti* nel quadro del lavoro fatto dall'Unione Europea per la caratterizzazione delle attività sostenibili, in particolare nel quadro della Taxonomy Regulation. (vedi rapporto Mims)

Nel quadro delle strategie europee di decarbonizzazione, il procurement di mezzi di trasporto alimentati da fonti rinnovabili non è incoraggiato solo per il trasporto su gomma (per esempio nella Clean Vehicles Directive), ma anche nel **settore ferroviario**, con riguardo ai treni a idrogeno, ibridi e a batteria che porteranno a ridurre il consumo di fonti di energia tradizionali, con conseguenze sui costi operativi e, a livello macroscopico, del grado di dipendenza dalle fonti di energia tradizionali.

Le politiche di green public procurement possono trovare applicazione anche con riguardo agli acquisti di **veicoli destinati ai servizi erogati dalla pubblica amministrazione**: flotte delle auto di servizio nelle amministrazioni centrali e regionali, flotte utilizzate per il trasporto scolastico (scuolabus) e disabili, flotte utilizzate per la raccolta urbana, dei medicinali, servizi sanitari, ecc. possono essere previste diverse modalità per orientare gli acquisti.

La leva della domanda pubblica è anche rilevante nel caso dei **vettori energetici decarbonizzati**, dal momento che divieti sull'uso di combustibili fossili o requisiti minimi di uso di energia decarbonizzata sono tecnicamente applicabili anche alla scelta dei vettori energetici utilizzati per le flotte di veicoli della pubblica amministrazione, assegnando target temporali e quantitativi.

Nell'ambito delle loro procedure di acquisto, le pubbliche amministrazioni possono includere questi ed altri requisiti di tipo ambientale introdurre nei bandi di gara (i.e. CAM) e/o criteri di aggiudicazione volti a selezionare e/o premiare fornitori che offrono veicoli/impianti green o si conformano a specifici standard (i.e. certificazioni) ambientali. Anche in questo caso, è importante che adeguati standard tecnici siano disponibili per consentire una precisa definizione delle caratteristiche necessarie a veicoli e vettori energetici efficienti, sostenibili e decarbonizzati.

Su questo tema va anche aggiunto che lo **sviluppo di criteri coerenti e applicabili da diverse amministrazioni pubbliche in maniera armonizzata** è importante per facilitare lo sviluppo - da parte del settore privato - di prodotti capaci di rispondere ai requisiti ambientali su larga scala.

Un chiaro esempio di mancata chiarezza delle norme, per cui questo tipo di quadro normativo coerente porterebbe benefici molto significativi, emerge chiaramente considerando l'esempio delle zone a traffico limitato. Queste sono attualmente applicate da ogni amministrazione pubblica in base a criteri ambientali definiti localmente (che comunque escludono spesso considerazioni legate alle emissioni di gas serra, e sono focalizzate sulle caratteristiche di emissione dei veicoli relative agli inquinanti locali) e non in maniera coordinata, come accade in altri paesi europei (per esempio grazie al label "Crit'Air" in Francia), con limitazioni importanti per lo sviluppo industriale su larga scala di prodotti a basso impatto ambientale e per la comprensione delle norme da parte di chi non ha un'esposizione regolare al transito nelle aree in cui la circolazione è regolamentata.

In questo contesto è importante anche ricordare che la transizione tecnologica nei veicoli e nei vettori energetici usati nel settore pubblico si allinea chiaramente con la **strategia industriale europea**, associata strutturalmente al supporto delle transizioni "verde" e digitale (EC, 2021g).

Un punto di ulteriore interesse relativo al ruolo della leva della domanda pubblica per sistemi energetici efficienti e vettori decarbonizzati è la sua **applicabilità, che non va limitata ai casi relativi alla sola mobilità, ma si può applicare su scala molto più vasta**, comprendendo per esempio edifici e prodotti allineati con la decarbonizzazione. Nel caso degli edifici per cui la domanda pubblica può e deve facilitare una transizione a tecnologie di alta efficienza energetica (come le pompe di calore e l'isolamento termico, alimentate da elettricità decarbonizzata, che può anche essere prodotta localmente, per esempio da pannelli solari) e grazie ai quali è anche possibile investire su infrastrutture di accesso a vettori energetici necessari alla transizione, a cominciare dalle colonnine di ricarica elettrica, che possono anche essere rese accessibili pubblicamente.

Mobilizzazione di investimenti nel settore privato

La crescente attrattività economica dei veicoli elettrici per il trasporto su gomma, combinata con la pressione sul sistema economico da parte di politiche volte alla minimizzazione dei rischi climatici per i grandi investitori (con conseguenze su flussi di capitale ed accesso a capitale a costi più bassi per i privati) sta mobilizzando **azioni legate alla transizione delle flotte anche da parte di grandi gruppi privati**. Esempi concreti esistono nella logistica, in cui grandi operatori hanno iniziato a stringere alleanze con i produttori di veicoli (anche attraverso investimenti diretti in nuovi attori economici) per progettare e costruire veicoli elettrici per il trasporto merci (ITF, 2020a). Esempi chiave includono Amazon e UPS, che hanno ordinato un gran numero di furgoni elettrici personalizzati da start-up di produttori di veicoli Rivian e Arrival, avendo anche investito in queste stesse società.

I programmi per elettrificare flotte di veicoli privati non si limitano al segmento dei veicoli commerciali leggeri (ITF, 2021). Le **autovetture di proprietà delle aziende** offrono anche vantaggi di elettrificazione che possono superare quelli dei passeggeri privati auto, grazie a chilometraggi superiori alla media che massimizzano il potenziale di risparmio e i benefici ambientali di elettrificazione, nonché opportunità di utilizzare infrastrutture di ricarica centralizzata, a seconda dell'uso.

Varie iniziative in corso (quantificabili in diversi milioni di veicoli leggeri a livello globale) sono evidenziate nell'ambito della campagna EV100 del Climate Group (Climate Group, 2021). Le flotte aziendali elettrificate hanno anche il supporto del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), un'associazione di imprese che sostiene lo sviluppo sostenibile, così come le Zero Emissioni Rete Urban Fleets (ZEUF) del World Economic Forum, che cerca di promuovere iniziative di collaborazione pubblico-privato (WBCSD, 2021; WEF, 2021).

Un altro programma che sostiene l'elettrificazione nel settore privato è la Corporate Electric Vehicle Alliance, un'iniziativa per investitori orientati alla sostenibilità con focus sugli Stati Uniti (Ceres, 2021).

L'importanza dell'iniziativa privata nel settore della transizione a tecnologie efficienti ed a basse emissioni nei trasporti è anche evidente nella **micromobilità**, con molteplici iniziative da parte di nuovi attori economici (anche in Italia) per quello che riguarda **veicoli condivisi** (dal momento che hanno profili di utilizzo più alto, e quindi meglio allineati con la competitività dei veicoli elettrici in termini di efficienza energetica e costi operativi più bassi).

Questo riguarda anche **scooter elettrici** ed è associato in modo crescente al modello di business del "battery swapping", molto diffuso nel caso dei veicoli a due ruote in alcune aree dell'Asia (Gogoro, 2021). Lo stesso concetto, combinato con iniziative private volte a rendere i costi iniziali dei veicoli elettrici più accessibili, è anche alla base di modelli di business basati sul concetto di "battery as a service", emergenti nel caso delle due ruote. Il "battery swapping" è anche già stato adottato a livello commerciale in Cina anche per le auto ed è oggetto di progetti pilota per i mezzi pesanti. Un altro caso rilevante e soggetto a sviluppi dinamici di adozione ed uso è quello di veicoli elettrici leggeri per la distribuzione merci porta a porta nell'ultimo miglio.

Più in generale, il supporto alla transizione verso veicoli e vettori energetici più efficienti, sostenibili e decarbonizzati nel settore privato è un **fenomeno che va anche associato alle pacchetto di strumenti adottato nell'Unione Europea per quello che riguarda gli investimenti sostenibili** ed allineati con gli obiettivi di decarbonizzazione inclusi nell'European Green Deal e convertiti in obblighi legali nell'European Climate Law, dal momento che questi strumenti incoraggiano gli investitori a richiedere scelte da parte degli attori del sistema economico che siano chiaramente e progressivamente allineate con gli obiettivi dell'European Climate Law.

Date queste premesse (combinare alle considerazioni precedenti relative alla leva della domanda e della spesa pubblica ed alla discussione che segue, relativa ad incentivi di natura economica ed a strumenti regolatori), le **condizioni dinamiche di sviluppo di iniziative private** per la transizione a veicoli e vettori energetici efficienti, sostenibili e decarbonizzati nelle flotte di veicoli sono accompagnate da implicazioni importanti per la mobilitazione di capitali e lo sviluppo di nuove società ed industrie, con ricadute occupazionali importanti ed un incremento della resilienza del sistema industriale al cambiamento tecnologico. Per questo motivo, è importante anche che il **quadro regolatorio** sviluppato da amministrazione nazionale ed enti locali sia **capace di poter promuovere ed incoraggiare investimenti privati** in questa direzione. Anche in questo contesto è importante anche ricordare che la transizione tecnologica nei veicoli e nei vettori energetici usati da imprese del settore privato si allinea chiaramente con la **strategia industriale europea**, associata al supporto delle transizioni "verde" e digitale (EC, 2021a).

Appendice 4

Raccomandazioni della Task Force on Climate-related Financial Disclosures

L'iniziativa internazionale più rilevante in tema di rendicontazione dei rischi legati ai cambiamenti climatici è certamente la Task Force on Climate-related Financial Disclosure (TCFD¹⁷¹). La Task Force, al fine di colmare la mancanza di informazioni e modalità di gestione dei rischi fisici e di transizione ha pubblicato le proprie raccomandazioni finali secondo quattro aree tematiche applicabili in tutti i settori e in tutte le giurisdizioni, supportate da 11 informative e da indicazioni settoriali: **governance, strategy, risk management e metrics and targets**.

Governance

Data l'entità degli effetti dei cambiamenti climatici sulle strategie e i modelli di business aziendali, è importante che i Consigli di Amministrazione e il top management aziendale siano informati e ricoprano un ruolo attivo nella definizione delle strategie per affrontare correttamente la transizione e per gestire correttamente rischi ed opportunità futuri. In particolare, il Consiglio di Amministrazione rispetto ai temi relativi al cambiamento climatico deve preoccuparsi di indirizzare la strategia gli obiettivi e le azioni relativi alla transizione e ai cambiamenti climatici, in coerenza con i piani industriali e un adeguato sistema di gestione dei rischi, che deve includere i rischi legati ai cambiamenti climatici. Anche i piani di incentivazione dovranno essere legati alle performance relative ai cambiamenti climatici e alla sostenibilità.

Strategia

Le organizzazioni nelle loro valutazioni dovranno approfondire gli scenari di valutazione della resilienza aziendale ai cambiamenti climatici e agli scenari di transizione. Il Consiglio di Amministrazione in questa attività deve poter disporre di competenze adeguate ed essere coadiuvato da comitati endoconsiliari che verificano l'integrazione dei temi di sostenibilità e il piano industriale. Talvolta è coinvolto un unico Comitato che si occupa di sostenibilità, mentre, sovente, sono coinvolti più comitati, tra cui anche il Comitato di Controllo Rischi, 'Advisory Board o comitati composti dal top management aziendale

Data la pervasività di questi temi in tutte le aree aziendali, il personale delle diverse organizzazioni deve essere fortemente coinvolto sia in termini assegnazione di responsabilità formali, in gruppi di lavoro inter-funzionali e programmi di lavoro tematici e attraverso Comitati di lavoro ad hoc, con il top management e l'executive management, per svolgere anche attività di supporto al Consiglio di Amministrazione.

Gestione di rischi e opportunità

L'identificazione dei rischi e la definizione di strategie di risposta di rischi e opportunità legate ai cambiamenti climatici varia a seconda delle aziende, sia per quanto riguarda le modalità di trattamento, sia per la forma secondo la quale viene rendicontata. La maggior parte delle aziende rendiconta i propri rischi relativi ai cambiamenti climatici esplicitamente nella sezione del documento in cui espone le informazioni secondo i requisiti della TCFD, descrivendo quali siano i rischi nel breve, medio e lungo periodo e le relative azioni di mitigazione. Spesso si effettuano rimandi alla sezione nella quale l'azienda rendiconta i

¹⁷¹ La Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) nata sulla spinta del Financial Stability Board ha lo scopo di facilitare la diffusione di informazioni sui rischi finanziari derivanti dai cambiamenti climatici e quindi favorire un'allocatione di risorse più efficiente e basata su informazioni complete per migliorare la resilienza del sistema finanziario

rischi ESG o altri tipi di rischi (ad esempio la relazione finanziaria annuale) e, qualora presenti, alle risposte fornite al questionario CDP. Le aziende del settore energetico e dei servizi pubblici (utilities) riportano un numero maggiore di rischi e opportunità rispetto alle altre aziende; tuttavia, pubblicano informazioni di maggior dettaglio nei questionari CDP, i quali sono disponibili al pubblico con tempistiche differenti rispetto ai bilanci di esercizio e ai bilanci di sostenibilità o Dichiarazioni non finanziarie.

Da ricerche effettuate da società di consulenza e associazioni¹⁷² emerge che rischi prevalenti sono quelli legati alla transizione ad una bassa intensità di carbonio, dovuta probabilmente alla prevalenza di aziende del settore energetico e utilities nel campione, le quali sono maggiormente esposte ai cambiamenti nelle normative e nelle strategie per il raggiungimento degli obiettivi contenuti all'interno dell'Accordo di Parigi. In particolare, le aziende identificano come rischi di transizione rilevanti sia il rischio relativo al cambiamento di politiche e norme (policy and legal), nonché relativo ai cambiamenti del mercato, ad esempio nelle preferenze dei consumatori.

Tra i rischi politici e legali emergono le aspettative delle aziende per l'introduzione di nuove norme o vincoli che limitino l'operatività delle aziende o che ne incrementino i costi operativi. I rischi di mercato, invece, includono le incertezze sulla futura domanda di energia e sugli impatti finanziari degli sviluppi futuri (es. rischio di 'stranded assets', gli attivi non recuperabili a causa degli obiettivi di mantenimento delle temperature). I rimanenti rischi riguardano i rischi relativi allo sviluppo di nuove tecnologie e competenze adeguate e i rischi reputazionali esterni (principalmente dovuti a rating ESG e tradizionali o gruppi di pressione). Le aziende identificano nel breve, medio e lungo periodo rischi fisici legati principalmente a eventi meteorologici estremi, nonché legati all'aumento di temperature, modifiche nell'andamento delle precipitazioni e dell'irradiazione solare.

Le opportunità relative ai cambiamenti climatici identificate si concentrano maggiormente su nuovi prodotti, servizi e mercato. Nella categoria di *opportunità legate a prodotti e servizi*, le aziende includono le possibilità di sviluppo di tecnologie, prodotti e servizi grazie all'innovazione e al cambiamento del contesto in cui esse operano. Questa opportunità può, infatti, essere analizzata e letta alla luce dei rischi tecnologici di transizione identificati nel medesimo processo di valutazione. La categoria *'opportunità di mercato'* include i probabili vantaggi positivi derivanti dalle spinte di mercato, ad esempio dall'attenzione delle società di rating rispetto alle performance di sostenibilità delle aziende o dall'aumento della domanda per alcuni prodotti e servizi, nonché da modifiche normative che portino ad aperture in nuovi mercati o al rafforzamento del posizionamento aziendale.

Le aziende rispondenti alle richieste della TCFD non riportano gli impatti finanziari previsti per tutti i rischi e opportunità identificati (in maniera quantitativa nel report sulla TCFD, nel bilancio di sostenibilità, nella dichiarazione di carattere non-finanziario o nella sezione del bilancio), tuttavia alcune aziende riportano una descrizione qualitativa degli impatti attesi con una stima dei danni derivanti dai rischi fisici cronici nel breve periodo. Spesso la quantificazione di tali impatti è disponibile all'interno dei questionari CDP. La quasi totalità delle aziende utilizza le analisi di scenario per l'elaborazione della strategia di medio-lungo periodo, nonché per l'identificazione di rischi e opportunità. Per elaborare gli scenari, le aziende integrano le proprie variabili con gli scenari forniti da società specializzate che li supportano in tale esercizio o utilizzano gli scenari messi a disposizione da organizzazioni internazionali.

In linea con i requisiti della TCFD, le aziende hanno avviato o prevedono di avviare iniziative finalizzate a integrare l'analisi dei rischi climatici all'interno del proprio sistema di risk management, approfondendo quindi il tema del rischio fisico e di transizione in relazione alla gestione del business. Il trend di una sempre maggiore integrazione tra tematiche ESG & Climate Change e i tradizionali framework di risk management si riscontra anche considerando il campione di società che pubblica la DNF ai sensi del D.Lgs. 254/16, con il 53% dei soggetti che dichiara di avere un sistema di gestione dei rischi integrato.

¹⁷² Analisi DNF Nedcommunity e kpmg

Va tuttavia notato come questo trend nell'evoluzione dei sistemi di risk management sia particolarmente significativo soprattutto per le società più mature in termini di rendicontazione: la percentuale di chi dichiara di avere un framework integrato sale infatti al 70% tra chi pubblica un'informativa non finanziaria da più di 3 anni, mentre scende per i soggetti al primo esercizio di rendicontazione. Il fermento rispetto dell'integrazione delle tematiche ESG & Climate Change nei sistemi di ERM è testimoniato anche dalla nascita dalle prime linee guida pubblicate da autorevoli soggetti che vogliono supportare le imprese in questo percorso, come il report 'Enterprise Risk Management - Applying enterprise risk management to environmental, social and governance-related risks' (CoSO, WBCSD, ottobre 2018).

Oltre a rappresentare i rischi e le opportunità, le aziende descrivono le attività e le progettualità avviate o in programma per mitigare tali rischi o per cogliere le opportunità, associate a target di miglioramento. In alcuni casi le aziende delineano una strategia ad hoc relativa ai cambiamenti climatici, allineata ai requisiti della strategia aziendale e al piano industriale, mentre altre aziende rimandano alla politica ambientale più ampia, la quale include elementi inerenti ai temi climatici.

Le strategie più mature dividono in pilastri tematici e prevedono degli obiettivi di breve, medio e lungo periodo che accompagnino la transizione. Talvolta le aziende forniscono anche un maggior dettaglio sugli investimenti necessari al raggiungimento di tali target e una timeline per la decarbonizzazione. Al fine di monitorare il proprio progresso rispetto ai target, nonché il relativo impatto ambientale, le aziende monitorano le proprie emissioni di carbonio, in linea con i requisiti di alcuni Standards che adottano per la loro rendicontazione in particolare sul tema delle emissioni in atmosfera.

Orientamenti sulla comunicazione di informazioni relative al clima

Le linee guida della Commissione Europea richiedono maggiore trasparenza da parte delle aziende sulla gestione dei rischi e delle opportunità legate al clima e agli impatti sulle aziende e sulle loro attività. Questa informativa ha l'obiettivo di facilitare il settore finanziario nell'orientamento di capitali verso iniziative di sostenibilità e, allo stesso tempo, condurre le aziende a prepararsi alla transizione e agli impatti presenti e futuri relativi al clima.

Gli orientamenti della CE sulla comunicazione di informazioni di carattere non finanziario vogliono, quindi, rafforzare l'informativa relativa al cambiamento climatico prendendo spunto da framework esistenti, come la TCFD, il questionario CDP per la lotta ai cambiamenti climatici e il lavoro del Technical Expert Group (TEG), ovvero il gruppo di 35 esperti in materia di finanza sostenibile costituito dalla Commissione Europea.

Il contesto della sostenibilità delle imprese e delle loro azioni nel corso del tempo è evoluto da un contesto legato alla reputazione, alla comunicazione e trasparenza, verso la valutazione di una crescita sostenibile e stabilità finanziaria. La *Direttiva 2014/95/UE sulla disclosure non finanziaria e sulla diversità nella composizione degli organi di amministrazione, gestione e controllo* nel rafforzare la rendicontazione delle imprese con elementi non finanziari ne ha accresciuto l'importanza e indirizzato le modalità di pubblicazione.

Le nuove disposizioni hanno permesso alle aziende di aumentare la disponibilità delle informazioni e la comparabilità delle performance per i diversi portatori di interesse (stakeholder) quali cittadini, consumatori, investitori, organizzazioni non governative e le istituzioni.

Obiettivi della comunicazione dei dati non finanziari sono quelli di ampliare la visione degli impatti aziendali, estendendola alla collettività nel suo complesso, rendere possibile il rafforzamento della reputazione, della fiducia e del consenso sociale verso l'azienda ma soprattutto valutare un maggior numero di rischi e opportunità, anche di natura sociale e ambientale, individuando modalità di mitigazione dei rischi correlati contribuendo a assicurare la sostenibilità del valore dell'impresa nel lungo termine.

Il sistema di reporting che ogni azienda privata o pubblica deve essere allineato con la strategia aziendale e riflettere i bisogni e le aspettative del target audience. Gli stakeholder sono sempre più interessati a capire l'approccio e le performance di sostenibilità dell'organizzazione. In particolare, utilizzano i dati e le informazioni contenuti nei bilanci, anche di sostenibilità, per:

- effettuare benchmark e valutazioni sulle performance di sostenibilità anche in riferimento a norme, codici, standard e sulla propensione ad attuare iniziative su base volontaria;
- comprendere come le organizzazioni influenzano e sono a loro volta influenzate dalle aspettative di sviluppo sostenibile;
- confrontare nel tempo le performance di una stessa organizzazione.

Le diverse organizzazioni, per poter fissare in maniera consapevole gli obiettivi dei loro reporting individuano prioritariamente i fabbisogni informativi dei propri stakeholder in modo che l'informativa fornita sia coerente con le loro aspettative. Le organizzazioni, oltre ad assicurarsi che il loro sistema di reporting sia allineato al proprio orientamento strategico, e devono fare in modo che il processo costruzione delle informazioni sia graduale e adeguato all'esperienza sviluppata in tale ambito.

Esiste una sostanziale differenza tra una rendicontazione sviluppata principalmente come strumento per ottenere un vantaggio reputazionale di breve periodo e una che tende a creare valore aggiunto per gli stakeholder e per l'organizzazione, generando ulteriori benefici associati a un processo strutturato di valorizzazione dei dati.

In questo contesto la predisposizione di metriche di misurazione e monitoraggio degli impatti ambientali e sociali come pure l'uso di criteri di rating ESG costituiscono un importante strumento di comunicazione e rapporto con gli stakeholder. strumento che potrà essere considerato anche nella valutazione e gestione degli investimenti infrastrutturali.

Bibliografia

- Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (2020), RenovaBio, <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio>
- Ajuntament de Barcelona (2014). Metropolitan Area Urban Mobility Plans (PMU).
- Alcorn, L. e Kockelman, K. (2021) Automated vehicles and vehicles of the future. *The Routledge Handbook of Public Transport*, 535-550.
- Allen, J., M. Browne, A. Woodburn e J. Leonardi (2012), "The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport", *Transport Reviews*, 32(4), pp. 473-490, <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441647.2012.688074>
- Armitage, C.J. e Conner, M. (2001) Efficacy of the Theory of Planned Behaviour: a meta-analytic review. *British Journal of Social Psychology* 40(4), 471 - 499.
- ART (2017), *Delibera n. 48 del 30 marzo 2017, Atto di regolazione e Relazione illustrativa*, <https://www.autorita-trasporti.it/delibere/delibera-n-48-2017/>
- ART (2021), *Ottavo Rapporto Annuale*, presentato alla Camera dei Deputati il 27 settembre 2021, par. 3.1.2, disponibile al seguente link: <https://www.autorita-trasporti.it/wp-content/uploads/2021/09/ART-Ottavo-Rapporto-Annuale-2021.pdf>
- Ballard et al, (2019): S. Ballard; J. Porro; C. Trommsdorff (2019) The roadmap to a Low-Carbon Urban Water Utility. International Water Association.
- Basma H. et al. (2021). Total cost of ownership for tractor-trailers in Europe: Battery electric versus diesel. *The International Council on Clean Transportation (ICCT), White paper*.
- Becker H., Loder A., Schmid B., Axhausen K.W. (2017a) Modelling Car-sharing membership as a mobility tool: A multivariate probit approach with latent variables *Travel Behaviour Soc.*, 8, pp. 26-36
- Becker H., Ciari F., Axhausen W. (2017b). Modelling free-floating car-sharing use in Switzerland: A spatial regression and conditional logit approach *Transp. Res. Part C: Emerging Technol.*, 81, pp. 286-299
- BNEF (2021), Battery Swapping Could Turbocharge Electric Vehicle Fleets, <https://about.bnef.com/blog/battery-swapping-could-turbocharge-electric-vehicle-fleets>
- C40 (2019a), "Amsterdam, Austin, Berlin, Jakarta and Liverpool commit to rid fossil fuels from city streets by 2030", www.c40.org/press_releases/green-healthy-streets-september
- C40 (2019b), "Our commitment to green and healthy streets", www.c40.org/other/green-and-healthystreets
- C40 (2019c) "Carbon emissions are already falling in 30 cities," Available at <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-09/c40-the-cities-where-emissions-are-dropping> (2019/10/09).
- CARB (2021), Clean miles standard, <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/clean-miles-standard>
- Cascetta E. G. R. Camus, E. Cantarella, S. Gori, B. Montella, a. Nuzzolo, F. Russo (2016), *Linee Guida per la programmazione dei servizi di Trasporto Pubblico Locale*, Progetto Di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN), Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca MM08471228.
- Ceres (2021), "Corporate Electric Vehicle Alliance" www.ceres.org/our-work/transportation/corporateelectric-vehicle-alliance
- Cherchi, E. (2017) A stated choice experiment to measure the effect of informational and normative conformity in the preference for electric vehicles. *Transportation Research Part A*, 100, 88-104.
- Cherchi, E. e Meloni, I (2002) Gestione della mobilità nelle aree urbane. Interventi per la riduzione dell'inquinamento da traffico. Università degli studi di Cagliari.
- Cherrett, T. et al. (2012), "Understanding urban freight activity - Key issues for freight planning", *Journal of Transport Geography*, 24, pp. 22-32, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692312001500.
- Clean Aviation (2021), Clean Aviation, <https://clean-aviation.eu>
- Clean Vehicle Rebate Project (2016), "Income Eligibility", <https://cleanvehiclerebate.org/eng/incomeeligibility>

Climate Group (2021), "EV100 Progress and Insights Report", Climate Group, London/New York/New Delhi, www.theclimategroup.org/sites/default/files/2021-02/EV100%20Progress%20and%20Insights%20Report.pdf.

Consiglio dell'Unione Europea (2021), Eurovignette road charging reform adopted by Council, <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2021/11/09/eurovignette-road-charging-reform-adopted-by-council/>

CoSO, WBCSD(2018). 'Enterprise Risk Management - Applying enterprise risk management to environmental, social and governance-related risks'.

Duany, A. e R. Steuteville (2021), "Defining the 15-minute city", Public Square: A CNU Journal, <https://www.cnu.org/publicsquare/2021/02/08/defining-15-minute-city> (accessed on 8 March 2021)

EC, European Commission (2019), Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0943&from=EN>

EC, European Commission (2020a). Una strategia europea per i dati <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0066&from=EN>

EC, European Commission (2020b). Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il futuro https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01a75ed71a1.0005.02/DOC_1&format=PDF

EC, European Commission (2021a). European industrial strategy, https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy_en

EC, European Commission (2021b). Make it green, https://europa.eu/next-generation-eu/make-it-green_en

EC, European Commission (2021c). Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence, European Commission, Brussels, <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/75788>

EC, European Commission (2021d). Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici - La nuova strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0082&from=IT>

EC, European Commission (2021e). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf

EC, European Commission (2021f). European clean hydrogen alliance, https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance_en

EC, European Commission (2021g). European Commission seeks views on the Renewable and Low-Carbon Fuels Value Chain Industrial Alliance, https://transport.ec.europa.eu/news/european-commission-seeks-views-renewable-and-low-carbon-fuels-value-chain-industrial-alliance-2021-11-09_en

EC, European Commission (2021h). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0562>

EC, European Commission (2021i). Proposal for a Directive of the European parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision-eu-ets_with-annex_en_0.pdf

EC, European Commission(2021l). Revision of the Energy Taxation Directive, https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/revision-energy-taxation-directive_en

EC, European Commission (2021m), European clean hydrogen alliance, https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance_en

EC, European Commission (2021n), Comunicazione della Commissione Europea al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni (COM(2021) 550 final) "Pronti per il 55 %": realizzare l'obiettivo climatico dell'UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN>

EC, European Commission (2021o), Council Decision on the position to be taken on behalf of the European Union in the Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean (the 'Barcelona Convention') on the adoption of a Decision to designate the Mediterranean Sea, as a whole, as an emission control area for sulphur oxides ('MED SOx ECA') pursuant to Annex VI of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (the 'MARPOL Convention'), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021PC0669&from=EN>

EEA (2021), EU maritime transport: first environmental impact report acknowledges good progress towards sustainability and confirms that more effort is needed to prepare for rising demand <https://www.eea.europa.eu/highlights/eu-maritime-transport-first-environmental>

EMSA/EEA (2021), European Maritime Transport Environmental Report 2021, https://www.eea.europa.eu/publications/maritime-transport/at_download/file

Fagnant, D. J., e Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181.

FERC (2021), "Participation of Aggregators of Retail Demand Response Customers in Markets Operated by Regional Transmission Organizations and Independent System Operators", Federal Energy Regulatory Commission, www.federalregister.gov/documents/2021/03/25/2021-06106/participation-of-aggregators-of-retail-demand-response-customers-in-markets-operated-by-regional.

Fitzpatrick, N.; Rehmatulla, N.; Lewis, C. Deyes, K. (2019), Reducing the Maritime Sector's Contribution to Climate Change and Air Pollution, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/815671/identification-market-failures-other-barriers-of-commercial-deployment-of-emission-reduction-options.pdf

Fulton, L., J. Mason e D. Meroux (2017), Three Revolutions in Urban Transportation: How to Achieve the Full Potential of Vehicle Electrification, Automation, and Shared Mobility in Urban Transportation Systems Around the World by 2050, UC Davis and Institute for Transportation & Development Policy <https://merritt.cdlib.org/d/ark%253A%252F13030%252Fm52c3sbx/1/producer%252FSTEPS2050.pdf>.

GFEI/IEA (2021). Vehicle fuel economy in major markets 2005-2019, <https://www.globalfueleconomy.org/media/792005/wp22-vehicle-fuel-economy-in-major-markets.pdf>

Gladstein, C. (2019) More States Follow California's Lead with Low Carbon Fuel Standard Programs, ACT News, <https://www.act-news.com/news/california-leads-with-low-carbon-fuel-standard-programs/>

GMF (2021), Global Maritime Forum, <https://www.globalmaritimeforum.org>

GOGORO (2021) <https://www.gogoro.com/news/gogoro-network-battery-swapping-can-help-transform-cities/>

Government of Canada (2020), Clean Fuel Standard, <https://www.canada.ca/en/environment-climatechange/services/managing-pollution/energy-production/fuel-regulations/clean-fuel-standard.html>.

GSMA (2020) "The Enablement Effect: The impact of mobile communications technologies on carbon emission reductions," Tech. Rep., Feb. 2020. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/betterfuture/wp-content/uploads/2019/12/GSMA-Enablement-Effect.pdf>

Holguín-Veras, J. et al. (2016), "Direct impacts of off-hour deliveries on urban freight emissions", *Transportation Research Part D*, Elsevier, Amsterdam, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916304710.

IATA (2021), Fact Sheet: EU and US policy approaches to advance SAF production, <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact-sheet---us-and-eu-saf-policies.pdf>

IEA (2017), The future of trucks, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

IEA (2017a) "Digitalisation and Energy", International Energy Agency, www.iea.org/reports/digitalisationand-energy (accessed 29 April 2021).

IEA (2018a), "Nordic EV Outlook", <https://webstore.iea.org/nordic-ev-outlook-2018>

IEA (2018b), "Global EV Outlook 2018", www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2018

IEA (2019), "Global EV Outlook 2019", www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019

IMO (2021), Initial IMO GHG Strategy, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

- IMO (2021a), Further shipping GHG emission reduction measures adopted , <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/MEPC76.aspx>
- Interreg Europe,2021. Amsterdam’s demand-driven charging infrastructure. <https://www.interregeurope.eu/policy-learning/good-practices/item/1699/amsterdam-s-demand-driven-charging-infrastructure/>
- IPCC (2018). Global warming of 1.5°C: Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty
- ISPRA (2021) Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati
- ITF (2018). Reducing Shipping Greenhouse Gas Emissions: Lessons From Port-Based Incentives. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/reducing-shipping-greenhouse-gas-emissions.pdf>
- ITF (2020a), How Urban Delivery Vehicles can Boost Electric Mobility, International Transport Forum. Policy Papers, No. 81, OECD Publishing, Paris, www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/urban-deliveryvehicles-boost-electric-mobility.pdf.
- ITF (2020b), “Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility”, www.itfoecd.org/good-go-assessing-environmental-performance-new-mobility
- ITF (2020c), Navigating Towards Cleaner Maritime Shipping - Lessons From the Nordic Region, <https://www.itf-oecd.org/navigating-towards-cleaner-maritime-shipping>
- ITF (2020d), Regulations and Standards for Clean Trucks and Buses -On the Right Track?, <https://www.itf-oecd.org/regulations-and-standards-clean-trucks-and-buses>
- ITF (2021), Cleaner Vehicles: Achieving a Resilient Technology Transition, International Transport Forum Policy Papers, No. 90, OECD Publishing, Paris, <https://www.itf-oecd.org/cleaner-vehicles>
- ITF (2021a), Decarbonising air transport - Acting now for the future, <https://www.itf-oecd.org/decarbonising-air-transport>
- ITF (2021b), Transport Outlook, <https://www.oecd.org/publications/itf-transport-outlook-25202367.htm>
- ITU (2012) “Sustainable ICT in corporate organizations,” Tech. Rep. 2012. [Online]. Available: <https://www.itu.int/dms/pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-ICT-2012-10-PDF-E.pdf>
- ITU-T (2020), “Summary of SMART 2020 Report,” Tech. Rep., Aug. 2008. [Online]. Available: <https://www.itu.int/md/T05-FG.ICT-C-0004/en>
- Kolleck, A. (2021) Does Car-Sharing Reduce Car Ownership? Empirical Evidence from Germany. *Sustainability* 13, 7384. <https://doi.org/10.3390/su13137384>
- Litman, T. (2021), Socially Optimal Transport Prices and Markets Principles, Strategies and Impacts, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, British Columbia, <https://www.vtpi.org/sotpm.pdf>.
- Liu, L. e Danilovic. M. (2021), Exploring battery swapping for heavy trucks in China 1.0, <https://www.hh.se/download/18.7b11fe917c2ac07303bf9d3/1632994342544/Sweden-China>
- López, I., J. Ortega e M. Pardo (2020), “Mobility infrastructures in cities and climate change: An analysis through the superblocks in Barcelona”, *Atmosphere*, Vol. 11/4, p. 410, <http://dx.doi.org/10.3390/ATMOS11040410>.
- Martin E. e Shaheen S. (2011). The Impact of Carsharing on Public Transit and Non-Motorized Travel: An Exploration of North American Carsharing Survey Data *Energies*, pp. 2094-2114, 10.3390/en4112094
- McKinnon (2015), “Postscript 1 - Distribution by drone”. In M. Piecyk, et al. (eds.), *Green Logistics* (3rd ed.). Safari Books Online. www.safaribooksonline.com/library/view/greenlogistics-3rd/9780749471859/C19.xhtml
- Ministère de l’économie, des finances et de la relance (2021), Comment fonctionne la taxe malus sur les véhicules polluants?, <https://www.economie.gouv.fr/cedef/malus-vehicules-polluants>
- MIT (2017). *Linee Guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Roma (Italy).
- Moody J. e Zhao J. (2020). Travel behavior as a driver of attitude: Car use and car pride in U.S. cities. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 74, 225-236
- Jara-Díaz S.R. (2007) *Transport Economic Theory*. Elsevier Science, Amsterdam

- Mounce, R. e Nelson, J. D. (2019). On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems. *Transportation Research. Part A, Policy and Practice*, 120, 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.003>
- Narayanan S., Chaniotakis E., Antoniou C. (2020) Shared autonomous vehicle services: A comprehensive review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 255-293.
- Noll, B.; del Val, S.; Schmidt, T.; Steffen, B. (2022), Analyzing the competitiveness of low-carbon drive-technologies in road-freight: A total cost of ownership analysis in Europe, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118079>
- Noussan, M. e S. Tagliapietra, (2020), "The effect of digitalization in the energy consumption of passenger transport: An analysis of future scenarios for Europe", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 258, pp. 120926, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120926>.
- OECD (2013), *Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters*, OECD Studies on Water, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264200449-en>.
- OCED (2015) Climate Change Mitigation. Policies and progress
- OECD (2018), 'OECD review of national R&D tax incentives and estimates of R&D tax subsidy rates, 2017', <https://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-design-subsidy.pdf>.
- OECD (2019), *Taxing Energy Use 2019: Using Taxes for Climate Action*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/efde7a25-en>
- OECD (2019), *Taxing Energy Use 2019: Using Taxes for Climate Action*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/058ca239-en>
- OECD (2020) OECD policy perspective: Nature-based solutions for adapting to water-related climate risks (2020).
- Ortúzar J. de D., Bascuñán R., Rizzi L.I. e Salata A. (2021) Assessing the potential acceptability of road pricing in Santiago. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 144, 153-169.
- Pavlenko, N. et al. (2020), "The climate implications of using LNG as a marine fuel", ICCT Working Paper 2020-02, (January), <https://theicct.org/publications/climate-impacts-LNG-marine-fuel-2020>
- Politico (2021), Clean Hydrogen a partnership to advance Europe's energy transition , <https://www.politico.eu/sponsored-content/clean-hydrogen-a-partnership-to-advance-europes-energy-transition/>
- Runkel, M. e Mahler, A. (2018), A comparison of CO₂-based car taxation in EU-28, Norway and Switzerland, Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) / Green Budget Germany (GBG), Berlin, www.transportenvironment.org/sites/te/files/2018_03_Vehicle_taxation_GBE_report.pdf.
- S. Ballard; J. Porro; C. Trommsdorff (2019) The roadmap to a Low-Carbon Urban Water Utility. International Water Association.
- Sadler, L. (2020), "Urban access regulations", <https://urbanaccessregulations.eu>
- Shaheen S. e Cohen A. (2020). Innovative Mobility: Carsharing Outlook; Carsharing Market Overview, Analysis, and Trends. eScholarship, University of California. doi:10.7922/G2125QWJ
- Sipotra (2021), *Proposte per un aggiornamento dei Piani Urbani della Mobilità Sostenibile in Italia*, disponibile al seguente link: <https://www.sipotra.it/wp-content/uploads/2021/09/Position-paper-linee-guida-PUMS-def.pdf>
- SMARTer2030 (2015), "ICT Solutions for 21st Century Challenges," Tech. Rep., 2015. [Online]. Available: http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Smith T., Baresic D., Fahnestock J, Galbraith C., Velandia Perico C., Rojon I., Shaw A., (2021). A Strategy for the Transition to Zero-Emission Shipping: An analysis of transition pathways, scenarios, and levers for change. Global Maritime Forum.
- Sperling, D. (2018), *Three revolutions*, Island Press, <https://islandpress.org/books/three-revolutions>.
- TCFD (2017) "Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures" FINAL-2017-TCFD-Report.pdf (bbhub.io)
- TCFD (2020) "Guidance on Scenario Analysis for Non-Financial Companies" 2020-TCFD_Guidance-Scenario-Analysis-Guidance.pdf (bbhub.io)
- Thaler R.H. e Sustain, C.R. (2008). *Nudge*. Penguin. *Transp. Policy*, 14,. 111-123

Tyndall, J. (2019). Free-floating carsharing and extemporaneous public transport substitution Res. Transp. Economics, 74, pp. 21-27

UNCTAD (2021), Review of Maritime Transport 2021, https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf

Wappelhorst, S. e Cui, H. (2020), "Growing momentum: Global overview of government targets for phasing out sales of new internal combustion engine vehicles", <https://theicct.org/blog/staff/global-icephaseout-nov2020>

WBCSD (2021), Comprehensive guide for corporate electric vehicle fleet adoption released to help companies transition to sustainable mobility, World Business Council for Sustainable Development, www.wbcsd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Transforming-Urban-Mobility/MobilityDecarbonization/Emobility/News/Comprehensive-guide-for-corporate-electric-vehicle-fleet-adoptionreleased-to-help-companies-transition-to-sustainable-mobility

WEF (2021), CleanSkiesforTomorrowCoalition, <https://www.weforum.org/gsdhjgfhjhjkeyfuerr847o4jrmk4lo398694858654i-6jkmnbjkhjkhkh>

World Economic Forum (2018) How to Set Up Effective Climate Governance on Corporate Boards

World Economic Forum (2021), "Electric fleets can fuel decarbonisation efforts, Here's how", www.weforum.org/agenda/2021/02/how-electric-fleets-can-fuel-decarbonisation-efforts-zeuf/

Finito di stampare nel mese di gennaio 2022

Progetto grafico e impaginazione

KNOWLEDGE *for* **B**USINESS

Il Rapporto *Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità* illustra come la crisi climatica impatta e impatterà sulle infrastrutture e i sistemi di trasporto nazionali e locali, e propone un insieme di iniziative per anticipare e mitigare i rischi climatici, per aumentare la resilienza e la capacità di adattamento del nostro Paese a tali fenomeni.

Il Rapporto è stato realizzato dalla Commissione di studio, coordinata dal Prof. Carlo Carraro, Ordinario di Economia Ambientale all'Università Ca' Foscari di Venezia, istituita ad aprile 2021 dal Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, Enrico Giovannini, per individuare soluzioni concrete volte a dotare l'Italia di infrastrutture moderne e sostenibili.



Mims

Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili