PNR 2021-2027

Programma nazionale per la ricerca

Ministero dell'Università e della Ricerca

Responsabile della redazione del PNR: Filippo de Rossi

Direttore generale responsabile per il supporto alla redazione del PNR: Vincenzo Di Felice, Direzione generale per il coordinamento, la promozione e la valorizzazione della ricerca del MUR

Cura editoriale: Vania Virgili

Esperti tecnico-scientifici per la redazione del PNR: Luciano Catani, Fulvio Esposito, Vania Virgili

Esperti componenti del gruppo tecnico di lavoro afferente alla Direzione generale per il coordinamento, la promozione e la valorizzazione della ricerca del MUR a supporto dell'elaborazione del PNR 2021-2027: Gianluigi Consoli, Antonio Di Donato, Melissa Valentino, Alessio Cavicchi, Francesco Ciardiello, Maria Lucia Pittalis, Sabrina Saccomandi

Segreteria redazionale: Vincenzo Alfano, Giulietta Iorio, Elena Lo Fiego

Si ringraziano:

Elena Cattaneo, Lamberto Maffei e Luigi Nicolais per la disponibilità a concedere interviste per i contenuti della sezione "Verso i nuovi orizzonti della ricerca"

Roberto Antonelli e Giorgio Parisi per la disponibilità a concedere interviste per i contenuti della sezione "Consolidare la ricerca fondamentale"

Luca De Biase per l'elaborazione dei contenuti delle interviste

Nicola Mazzocca per il contributo alle tematiche relative a "Digitale, industria, aerospazio"

Alessandra Scagliarini per il contributo all'elaborazione della sezione "Promuovere la dimensione internazionale dell'alta formazione e della ricerca"

Lisandro Benedetti-Cecchi per il contributo all'elaborazione della sezione "Il Green Deal nel PNR 2021-27"

Vincenzo Naso per l'attenta lettura critica del testo e per i preziosi suggerimenti

Giuliano Salberini per la consulenza legislativa

COMMISSIONE DI ESPERTI

Coordinatore: Filippo de Rossi

1. SALUTE

Temi generali: Italo Francesco Angelillo (coordinatore), Paolo Angeli, Diego Bettoni, Mauro Biffoni, Massimo Castagnaro, Francesco Castelli, Francesco Giorgino, Marcello Mancini, Alberto Mantovani, Giuseppe Matarese, Rosa Moresco, Angela Santoni, Aldo Scarpa, Carmine Vecchione

Tecnologie farmaceutiche e farmacologiche: Mariapia Abbracchio (coordinatore), Lucio Annunziato, Daniela Corda, Emanuela Esposito, Tullio Florio, Micaela Morelli, Paola Patrignani, Marina Pizzi

Biotecnologie: Gian Maria Rossolini (coordinatore), Federico Bussolino, Giovanni Cuda, Claudia Martini, Barbara Nicolaus, Pietro Pietrini, Claudio Russo

Tecnologie per la salute: Cristina Masella (coordinatore), Gianpaolo Carrafiello, Amelia Compagni, Giacomo Cuttone, Eugenio Guglielmelli, Paolo Netti, Luigi Preziosi, Andrea Remuzzi, Marco Salvatore

2. CULTURA UMANISTICA, CREATIVITÀ, TRASFORMAZIONI SOCIALI, SOCIETÀ DELL'INCLUSIONE

Patrimonio culturale: Stefano Della Torre (coordinatore), Livio De Santoli, Roberto Di Giulio, Giovanni Fiorentino, Pier Andrea Mandò, Marco Martini, Costanza Miliani, Michele Pipan

Discipline storico, letterarie e artistiche: Andrea Mazzucchi (coordinatore), Silvana Colella, Luca Crescenzi, Tiziana Franco, Elena Fumagalli, Lino Leonardi, Maria Caterina Paino, Silvio Pons, Alessandro Rovetta, Francesca Zanella

Antichistica: Andrea Manzo (coordinatore), Stefano Campana, Luca Cerchiai, Stefano De Martino, Carla Sfameni

Creatività, design e Made in Italy: Patrizia Ranzo (coordinatore), Daniela Baglieri, Niccolò Casiddu, Sabato D'Auria, Livan Fratini, Claudio Giardini, Nicola Lattanzi, Elisabetta Moro

Trasformazioni sociali e società dell'inclusione: Luciano Gamberini (coordinatore), Anna Maria Ajello, Enrico Al Mureden, Marco Bellandi, Giovanni Boccia Artieri, Mario Paolucci, Vito Rocco Peragine, Laura Ricci

3. SICUREZZA PER I SISTEMI SOCIALI

Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti: Angelo Masi (coordinatore), Iunio Iervolino, Massimo La Scala, Antonio Occhiuzzi, Antonio Pietrosanto, Roberto Ranzi, Enrico Zio

Sicurezza sistemi naturali: Alberto Guadagnini (coordinatore), Paola Francesca Antonietti, Francesco Castelli, Giovanni Crosta, Giancarlo Dalla Fontana, Rosanna De Rosa, Carlo Doglioni, Salvatore Grimaldi, Sandro Moretti, Tommaso Moramarco, Stefano Parolai, Roberto Zoboli

Cybersecurity: Rocco De Nicola (coordinatore), Giampaolo Bella, Francesco Buccafurri, Alfredo De Santis, Laura Emilia Maria Ricci

4. DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO

Transizione digitale - i4.0: Giuseppe Pirlo (coordinatore), Alberto Aloisio, Annalisa Bonfiglio, Romano Fantacci, Luca Fanucci, Claudio Grandi, Federico Rajola, Paolo Giuseppe Ravazzani, Umberto Spagnolini, Andrea Zanella, Luigi Zeni

High performance computing e big data: Aniello Cimitile (coordinatore), Davide Anguita, Sebastiano Battiato, Luca Benini, Fosca Giannotti, Alessandro Mei, Stefano Paraboschi, Laura Perini, Geppino Pucci, Riccardo Smareglia, Domenico Talia

Intelligenza artificiale: Rita Cucchiara (coordinatore), Cesare Alippi, Tommaso Boccali, Guido Boella, Arturo Chiti, Marco Conti, Ernesto De Vito, Tommaso Di Noia, Salvatore Gaglio, Marco Gori, Michela Milano

Robotica: Bruno Siciliano (coordinatore), Antonio Bicchi, Paolo Fiorini, Angelika Peer, Paolo Rocco

Tecnologie quantistiche: Salvatore De Pasquale (coordinatore), Stefano Carretta, Francesco Saverio Cataliotti, Paolo De Natale, Marco Fanciulli, Gaetano Scamarcio, Fabio Sciarrino, Francesco Tafuri, Alessandro Tredicucci, Raffaele Tripiccione

Innovazione per l'industria manifatturiera: Sergio Cavalieri (coordinatore), Filippo Attivissimo, Luigi Carrino, Roberto Corradi, Luca Formaggia, Giuseppe Maschio, Lorenzo Molinari Tosatti, Gianluca Morini, Corrado Perna, Mario Pianta, Davide Salomoni, Teodoro Valente

Aerospazio: Antonio Moccia (coordinatore), Mario Cosmo, Roberto Della Ceca, Pietro Ferraro, Paolo Gaudenzi, Riccardo Lanari, Giuseppe Sala, Paolo Tortora

5. CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE

Mobilità sostenibile: Matteo Colleoni (coordinatore), Gennaro Nicola Bifulco, Francesco Braghin, Antonella Ferrara, Fabio Massimo Frattale Mascioli, Elio Jannelli, Francesco Leali, Enrico Musso, Marco Pierini, Gianfranco Rizzo, Bianca Maria Vaglieco

Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento: Bruno Carli (coordinatore), Roberto Buizza, Piermarco Cannarsa, Piero Di Carlo, Maria Cristina Facchini, Francesca Giordano, Mario Rosario Losasso, Laura Mancini, Roberto Morabito, Dario Padovan, Vittorio Rossi

Energetica industriale: Romano Borchiellini (coordinatore), Alberto Bertucco, Giorgio Graditi, Fabio Inzoli, Salvatore Antonino Lombardo, Giampaolo Manfrida, Marco Raugi, Giorgio Sulligoi, Antonio Testa, Domenico Villacci, Lucio Zavanella

Energetica ambientale: Paolo Baggio (coordinatore), Annarita Ferrante, Gianfranco Rizzo, Giuseppe Peter Vanoli

6. PRODOTTI ALIMENTARI, BIOECONOMIA, RISORSE NATURALI, AGRICOLTURA, AMBIENTE

Green technologies: Maurizio Masi (coordinatore), Luca Beverina, Alessandra Carucci, Fabrizio Cavani, Marco Malinconico, Paolo Menesatti, Piero Salatino, Maurizio Sasso

Scienze e tecnologie alimentari: Gianni Galaverna (coordinatore), Umberto Agrimi, Andrea Antonelli, Luca Simone Cocolin, Lorenzo Maria Donini, Carlo Gaudio, Antonio Francesco Logrieco

Bioindustria per la bioeconomia: Angelo Riccaboni (coordinatore), Paola Branduardi, Fabio Fava, Lucia Gardossi, Massimo Iannetta, Giorgio Matteucci, Michele Munafò, Angeloantonio Russo

Conoscenza e gestione sostenibile dei sistemi agricoli e forestali: Maurizio Borin (coordinatore), Leonardo Casini, Felice Cervone, Franco Cotana, Anna Giorgi, Francesco Loreto, Massimo Monteleone, Nicola Pecchioni, Mario Pezzotti

Conoscenza, innovazione tecnologica e gestione sostenibile degli ecosistemi marini: Marco Ferretti (coordinatore), Lisandro Benedetti-Cecchi, Ferdinando Boero, Emilio Fortunato Campana, Michele Mossa, Cosimo Solidoro, Angelo Tursi

PIANO NAZIONALE PER LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA: Maria Cristina Messa (coordinatore), Cecilia Di Carlo, Gelsomina Pappalardo, Antonio Zoccoli

PIANO NAZIONALE PER LA SCIENZA APERTA: Giorgio Rossi (coordinatore), Roberto Caso, Donatella Castelli, Elena Giglia

Testo approvato dal Comitato interministeriale per la programmazione economica con Delibera 15 dicembre 2020, n. 74, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n. 18 del 23-1-2021: Approvazione del «Programma nazionale per la ricerca 2021-2027». (Delibera n. 74/2020)

Programma nazionale per la ricerca 2021-2027
Decreto legislativo 5 giugno 1998, n. 204, in materia di "Disposizioni per il coordinamento, la programmazione e la valutazione della politica nazionale relativa alla ricerca scientifica e tecnologica, a norma dell'articolo 11, comma 1, lettera d), della legge 15 marzo 1997, n. 59", pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 151 del 1° luglio 1998

Ministero dell'Università e della Ricerca
mur.segretriatpr@miur.it

Roma, 23 novembre 2020

LISTA DELLE ABBREVIAZIONI

AISBL	Association internationale sans but lucratif
ANVUR	Agenzia nazionale di valutazione del sistema universitario e della ricerca
BES	Benessere equo e sostenibile
CE	Commissione Europea
CIPE	Comitato interministeriale per la programmazione economica
CONPER	Consulta dei presidenti degli enti pubblici di ricerca
CRUI	Conferenza dei rettori delle università italiane
CSA	Coordination and Support Action
DG RTD	Directorate-General for Research and Innovation
EIC	European Innovation Council
EIT	European Institute of Innovation and Technology
EJP	European Joint Programme
ERA	European Research Area
ERA-NET	European Research Area NETwork
ERAC	European Research Area and Innovation Committee
ERC	European Research Council
FAIR	Findable, Accessible, Interoperable and Reusable
FFO	Fondo funzionamento ordinario
FFUE	Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea
FIRST	Fondo per gli investimenti nella ricerca scientifica e tecnologica
FISR	Fondo integrativo speciale per la ricerca
FOE	Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca
FSC	Fondo per lo sviluppo e la coesione
IA	Intelligenza artificiale
ICT	Information and Communication Technologies
IoI	Internet of Things
IoP	Internet of People
IPR	Intelectual Property Rights
IR	Infrastrutture di ricerca
IRCCS	Istituto di ricovero e cura a carattere scientifico
IT	Information Technology
JPI	Joint Programming Initiative
JTI	Joint Technology Initiative
KIC	Knowledge and Innovation Community
KPI	Key Performance Indicator
MOIP	Mission-Oriented Research and Innovation Policy
MUR	Ministero dell'Università e della Ricerca
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NEET	(Young people) Neither in Employment or in Education or Training
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ONU	Organizzazione delle Nazioni Unite
PA	Pubblica amministrazione
PIL	Prodotto interno lordo
PMI	Piccole e medie imprese
PNR	Programma nazionale per la ricerca
POC	Programma operativo complementare al PON
PON	Programma operativo nazionale
POR	Programma operativo regionale
R&I	Ricerca e innovazione
R&S	Ricerca e sviluppo
RI	Research Infrastructures
S3	Smart Specialisation Strategy
SIE	Fondi strutturali e di investimento europei
SNSI	Strategia nazionale di specializzazione intelligente
SRL	Societal Readiness Level
SSH	Social Sciences and Humanities
SSN	Servizio sanitario nazionale
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
SWOT	Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats
TRL	Technology Readiness Level
UE	Unione Europea
UIBM	Ufficio italiano brevetti e marchi
UN	United Nations
VQR	Valutazione della qualità della ricerca
WEF	World Economic Forum

PREFAZIONE ..... **IV**

1. LA METODOLOGIA DEL PNR 2021-27 ..... **1**

2. LA RICERCA E L'INNOVAZIONE IN ITALIA **2**

2.1 LE POLITICHE PER LA RICERCA E L'INNOVAZIONE A LIVELLO INTERNAZIONALE ED EUROPEO 2
2.2 IL POSIZIONAMENTO DEL SISTEMA DI RICERCA ITALIANO 4
2.2.1 Punti di forza: la qualità della ricerca 4
2.2.2 Punti di forza: l'innovazione nelle imprese, in particolare nelle PMI 5
2.2.3 Sfide: educazione, formazione e capitale umano 5
2.2.4 Sfide: competitività e attrattività del sistema della ricerca 6
2.2.5 Sfide: innovazione 7
2.2.6 Sfide: internazionalizzazione 8
2.3 IL RACCORDO CON LA POLITICA ECONOMICA NAZIONALE 9
2.4 IL PNR 2015-20 9

3. LE NOVITÀ DEL PNR 2021-27 ..... **11**

3.1 IL COINVOLGIMENTO DELLE AMMINISTRAZIONI 11
3.2 SEMPLIFICAZIONE DELLE PROCEDURE DI FINANZIAMENTO 12
3.3 IL PROCESSO DI CONSULTAZIONE 13
3.4 IL RACCORDO CON LO SPAZIO EUROPEO DELLA RICERCA E DELL'ALTA FORMAZIONE 15
3.4.1 Horizon Europe e il PNR 2021-27 15
3.4.2 Il Green Deal nel PNR 2021-27 15
3.5 I NUOVI APPROCCI DELLA RICERCA 17
3.5.1 Scienza aperta, innovazione aperta e società 18
3.5.2 Le politiche di ricerca e innovazione orientate alle Missioni 19

4. LE PRIORITÀ DI SISTEMA **20**

4.1 SOSTENERE LA CRESCITA DIFFUSA E INCLUSIVA DEL SISTEMA DELLA RICERCA 20
4.2 CONSOLIDARE LA RICERCA FONDAMENTALE 22
4.3 RAFFORZARE LA RICERCA INTERDISCIPLINARE 23
4.4 GARANTIRE LA CENTRALITÀ DELLA PERSONA NELL'INNOVAZIONE 24
4.5 VALORIZZARE LA CIRCOLAZIONE DI CONOSCENZA E COMPETENZE TRA IL MONDO DELLA RICERCA E IL SISTEMA PRODUTTIVO 26
4.6 ACCOMPAGNARE LO SVILUPPO DI UNA NUOVA GENERAZIONE DI RICERCATORI, TECNOLOGI E PROFESSIONISTI DEL TRASFERIMENTO DI CONOSCENZA 29
4.7 PROMUOVERE LA DIMENSIONE INTERNAZIONALE DELL'ALTA FORMAZIONE E DELLA RICERCA 31
4.8 ASSICURARE IL COORDINAMENTO DELLA RICERCA NAZIONALE, EUROPEA, INTERNAZIONALE 32
4.9 VERSO I NUOVI ORIZZONTI DELLA RICERCA 33

5. I GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE E LE RELATIVE AREE D'INTERVENTO 35

5.1 SALUTE 35
5.1.1 Temi generali 35
5.1.2 Tecnologie farmaceutiche e farmacologiche 41
5.1.3 Biotecnologie 45
5.1.4 Tecnologie per la salute 51

5.2. CULTURA UMANISTICA, CREATIVITÀ, TRASFORMAZIONI SOCIALI, SOCIETÀ DELL'INCLUSIONE 56
5.2.1 Patrimonio culturale 56
5.2.2 Discipline storico, letterarie e artistiche 59
5.2.3 Antichistica 63
5.2.4 Creatività, design e Made in Italy 66
5.2.5 Trasformazioni sociali e società dell'inclusione 72
5.3. SICUREZZA PER I SISTEMI SOCIALI 76
5.3.1 Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti 76
5.3.2 Sicurezza sistemi naturali 80
5.3.3 Cybersecurity 82
5.4. DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO 86
5.4.1 Transizione digitale – i4.0 86
5.4.2 High performance computing e big data 91
5.4.3 Intelligenza artificiale 94
5.4.4 Robotica 98
5.4.5 Tecnologie quantistiche 105
5.4.6 Innovazione per l'industria manifatturiera 109
5.4.7 Aerospazio 113
5.5. CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE 116
5.5.1 Mobilità sostenibile 116
5.5.2 Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento 122
5.5.3 Energetica industriale 125
5.5.4 Energetica ambientale 128
5.6. PRODOTTI ALIMENTARI, BIOECONOMIA, RISORSE NATURALI, AGRICOLTURA, AMBIENTE 133
5.6.1 Green technologies 133
5.6.2 Scienze e tecnologie alimentari 136
5.6.3 Bioindustria per la bioeconomia 140
5.6.4 Conoscenza e gestione sostenibile dei sistemi agricoli e forestali 144
5.6.5 Conoscenza, innovazione tecnologica e gestione sostenibile degli ecosistemi marini 147

6. I PIANI NAZIONALI 152

6.1 IL PIANO NAZIONALE PER LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA 152
6.1.1 Analisi dello stato dell'arte 152
6.1.2 Proposte 153
6.1.3 Priorità 155
6.2 IL PIANO NAZIONALE PER LA SCIENZA APERTA 156
6.2.1 Introduzione 156
6.2.2 Contesto 157
6.2.3 Struttura e obiettivi 158

7. LE MISSIONI 159

8. IL QUADRO DELLE RISORSE DISPONIBILI 160

8.1 FONDI DI DIRETTA COMPETENZA DEL MUR 160
8.2 FONDI STRUTTURALI E DI INVESTIMENTO EUROPEI 160
8.3 FONDI NAZIONALI DESTINATI ALLA POLITICA DI COESIONE 161
8.4 PROGRAMMI EUROPEI A GESTIONE DIRETTA 162
8.5 FONDI PER IL FINANZIAMENTO DEGLI INVESTIMENTI E PER LO SVILUPPO INFRASTRUTTURALE DEL PAESE – SETTORE RICERCA 162

9. L'ATTUAZIONE: GOVERNANCE, MONITORAGGIO E AGGIORNAMENTO 163

APPENDICI 165

APPENDICE I. ELENCO DEGLI IMPATTI ATTESI IN HORIZON EUROPE 165
APPENDICE II. ELENCO DEI 17 OBIETTIVI DI SVILUPPO SOSTENIBILE DELLE NAZIONI UNITE 168
APPENDICE III. MATRICE DI CONVERSIONE DEI GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE DEL PNR 2021-27 CON LE POLITICHE MULTILIVELLO 169

PREFAZIONE

Il Programma nazionale per la ricerca (PNR) è il documento che orienta le politiche della ricerca in Italia, individua priorità, obiettivi e azioni volte a sostenere la coerenza, l'efficienza e l'efficacia del sistema nazionale della ricerca. Con il PNR 2021-27, il Ministero dell'Università e della Ricerca punta a migliorare ulteriormente i già più che soddisfacenti standard raggiunti negli ultimi anni.

L'obiettivo è mettere in moto una programmazione strategica, partecipata e dinamica, in grado di contribuire allo sviluppo sostenibile della società e recepirne le istanze emergenziali. Quanto il mondo intero sta vivendo a causa della pandemia da COVID-19 mostra come un forte sistema di ricerca, realizzato attraverso strumenti condivisi, sia determinante per aiutare il Paese a reagire potendo contare sui risultati della ricerca scientifica.

La portata delle sfide che la società contemporanea si trova ad affrontare, accompagnata dalla velocità della rivoluzione tecnologica in atto, rischia di creare sconvolgimenti nel sistema sociale, con ripercussioni, in termini di coesione sociale, di cui già si sono avvertiti alcuni segnali. Il sistema della ricerca ha, al suo interno, le risorse di conoscenza e competenza per assicurare una transizione equa (*just transition*) e governata, che doti cittadini, lavoratori e imprese di abilità che consentano loro di rimanere al centro dei processi di sviluppo. Condizione necessaria perché questa transizione equa si verifichi è che il Paese adotti un'agenda politica basata su evidenze scientifiche con un'assunzione di responsabilità da parte della comunità scientifica. Questa circostanza può contribuire in maniera significativa allo sviluppo di una comunità di cittadini attivi e consapevoli.

A fronte dell'importanza di questa missione, appare in tutta la sua evidenza l'inadeguatezza delle risorse investite nel sistema ricerca, un limite che il Governo intende superare (affrontare) con determinazione.

In questa direzione, il PNR 2021-27 non costituisce un mero adempimento ma un'occasione per disegnare le strategie con le quali l'Italia intende contribuire ad affrontare con successo le grandi sfide globali, assieme alle sfide pressanti per i nostri territori. L'avanzamento delle conoscenze è indispensabile per la sostenibilità ambientale, economica, culturale e sociale. Il potenziale trasformativo dell'innovazione tecnologica, sociale e culturale deve raggiungere la maggior parte possibile della popolazione, riducendo le disuguaglianze e favorendo l'inclusione sociale.

Per questa ragione, il PNR 2021-27 intende promuovere cambiamenti positivi facendo leva sulla ricerca di base e applicata e su politiche che si avvalgono della direzionalità dell'innovazione, del coinvolgimento dei cittadini e di azioni dedicate di trasferimento di conoscenze e tecnologie a favore dei territori, delle imprese e della pubblica amministrazione.

La collaborazione di tutte le amministrazioni, centrali e regionali, e il contributo del sistema della ricerca pubblico e privato hanno consentito, anche in una prospettiva di medio e di lungo termine, di identificare le priorità del Paese, quali l'investimento sui giovani, il consolidamento della ricerca fondamentale e l'incentivazione della ricerca interdisciplinare, la promozione della dimensione internazionale dell'alta formazione e della ricerca, la circolazione di conoscenza tra ricerca e sistema produttivo. Dall'incrocio fra queste priorità e i grandi ambiti di ricerca e d'innovazione, ispirati al programma quadro europeo Horizon Europe, ma declinati in base alle specificità del sistema nazionale e alle sue articolazioni territoriali, nascono proposte di azioni condivise.

Si tratta dunque di uno sforzo nuovo, condotto in maniera coordinata, volto a ridurre la frammentazione ed eliminare le duplicazioni. Un programma ambizioso ma realistico, di un Paese deciso a dedicare al proprio futuro l'attenzione che merita.

Il Ministro Gaetano Manfredi

1. LA METODOLOGIA DEL PNR 2021-27

Il Programma nazionale per la ricerca (PNR), previsto dal D.Lgs. 204/1998, "definisce gli obiettivi generali e le modalità di attuazione degli interventi alla cui realizzazione concorrono, con risorse disponibili sui loro stati di previsione o bilanci, le pubbliche amministrazioni, ivi comprese, con le specificità dei loro ordinamenti e nel rispetto delle loro autonomie e attività istituzionali, le università e gli enti di ricerca.". È pertanto ovvio che, nella definizione del PNR, debbono essere coinvolte tutte le amministrazioni (Ministeri, Regioni). Ritenendo che questo coinvolgimento rappresenti, oltre ad un adempimento della norma, uno straordinario e ineludibile valore aggiunto, per quanto riguarda la programmazione 2021-27, il MUR si è rivolto alle diverse amministrazioni che concorrono, ciascuno con le proprie competenze, al sistema nazionale della ricerca e dell'innovazione.

L'approccio seguito per il Programma nazionale per la ricerca 2021-2027 propone un cambio di paradigma, nella direzione di una messa a sistema dei programmi per ricerca, sviluppo, innovazione, sostegno alle relazioni internazionali e alle politiche industriali portati avanti da ciascuna amministrazione. Il risultato è uno strumento di programmazione quadro pluriennale, all'interno del quale s'inscrivono linee d'azione pertinenti a iniziative di ricerca e innovazione dei diversi dicasteri, singolarmente o congiuntamente.

Adottando questo sforzo di sistema per i prossimi sette anni, il PNR 2021-27 è pensato per contribuire al raggiungimento dei Sustainable Development Goals (SDGs) delle Nazioni Unite, delle priorità della Commissione Europea e degli Obiettivi della politica di coesione 2021-2027. Il filo conduttore che ha orientato la progettazione del PNR è stato rispondere alla domanda di cosa possa fare la ricerca per il Paese, mettendo a disposizione le eccellenti competenze diffusamente presenti nel sistema italiano per favorire la crescita culturale, sociale ed economica e migliorare la qualità di vita dei cittadini. Iniziative specifiche sono previste per promuovere la *citizen science,* avvicinare cioè la ricerca ai cittadini, richiamandola alle sue responsabilità e guidando la società verso un futuro sostenibile. L'obiettivo al quale si vuole contribuire è rendere l'Italia un Paese attrattivo per ricercatori e innovatori, anche contrastando le disuguaglianze territoriali e creando opportunità per i giovani. In questa prospettiva, attenzione particolare viene dedicata ad attrarre, formare e trattenere i talenti migliori per la ricerca e per l'innovazione e ad aumentare l'efficacia e l'efficienza del sistema, riducendo la frammentazione e le duplicazioni.

Il PNR 2021-27 è articolato in priorità di sistema, grandi ambiti di ricerca e innovazione e relative aree d'intervento, piani nazionali e Missioni.

Le priorità di sistema sono il risultato di una consultazione della comunità scientifica nazionale e dell'analisi delle raccomandazioni formulate da autorevoli organismi terzi nazionali, europei e internazionali. Allo scopo di consolidare i punti di forza e superare i punti di debolezza del nostro sistema della ricerca, esse sono:

- sostenere la crescita diffusa e inclusiva del sistema della ricerca;
- consolidare la ricerca fondamentale;
- rafforzare la ricerca interdisciplinare;
- garantire la centralità della persona nell'innovazione;
- valorizzare la circolazione di conoscenza e competenze tra ricerca e sistema produttivo;
- accompagnare lo sviluppo di una nuova generazione di ricercatori e professionisti del trasferimento di conoscenza;
- promuovere la dimensione internazionale dell'alta formazione e della ricerca;
- assicurare il coordinamento della ricerca nazionale, europea, internazionale;
- verso i nuovi orizzonti della ricerca.

I grandi ambiti di ricerca e innovazione e le relative aree d'intervento rispecchiano le sei aggregazioni (*clusters*) di Horizon Europe, il programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione 2021-27, e considerano gli ambiti della Strategia di specializzazione intelligente. La consultazione della comunità scientifica nazionale, condotta dal MIUR nel 2018-19, ha prodotto un quadro dettagliato dello stato e delle prospettive del sistema nazionale della ricerca e

dell'innovazione. Gli obiettivi e relative azioni di supporto messi in evidenza state ricondotti ai grandi ambiti di ricerca e innovazione del PNR 2021-27. In analogia al programma Horizon Europe, i grandi ambiti di ricerca e innovazione sono articolati ad un livello di granularità più fine (aree d'intervento) e declinati in coerenza con gli indirizzi del Ministero dell'Università e della Ricerca e con le specificità del contesto nazionale messe in evidenza dalla suddetta consultazione e dai contributi delle amministrazioni coinvolte.

I piani nazionali del PNR 2021-27 sono dedicati il primo (*Piano nazionale per le infrastrutture di ricerca*) al potenziamento e al consolidamento del complesso delle infrastrutture di ricerca di livello nazionale ed europeo, il secondo (*Piano nazionale per la scienza aperta*) ad approfondire le tematiche di diffusione di processi compatibili con il più ampio accesso possibile ai dati e ai risultati della ricerca (*open science*) e dell'innovazione (*open innovation*).

Le Missioni sono il frutto di un approccio volto a orientare gli interventi pubblici, al fine di raggiungere obiettivi ambiziosi e concreti in un periodo di tempo definito. Le relative misure devono abbracciare tutte le fasi del processo, dalla ricerca fino alla dimostrazione, attraverso vari settori e ambiti scientifici.

La fase attuativa del PNR 2021-27 metterà in campo strumenti e risorse utili a perseguire le priorità di sistema. Gli strumenti saranno messi a punto con riferimento ai grandi ambiti di ricerca e innovazione, ai piani nazionali e alle Missioni. Un impegno particolare sarà profuso per la semplificazione delle procedure amministrative.

Infine, nel PNR è proposto un sistema di governance e analisi dell'impatto. Il modello di governance ipotizzato è pensato per accompagnare l'intero percorso del PNR nel corso dei prossimi sette anni, e riguarda le fasi di definizione dei programmi attuativi e di misurazione dell'impatto dei risultati (concreto cambiamento della situazione a seguito dell'intervento). Il sistema di governance si concretizza in un coordinamento leggero, condiviso, basato su un sistema snello di monitoraggio. Avere una struttura di governance idonea è fondamentale per poter mettere in discussione, quando necessario, le ipotesi di partenza, comprenderne la correttezza e completezza, identificare gli ambiti di miglioramento.

2. LA RICERCA E L'INNOVAZIONE IN ITALIA

2.1 LE POLITICHE PER LA RICERCA E L'INNOVAZIONE A LIVELLO INTERNAZIONALE ED EUROPEO

Le politiche per la ricerca e l'innovazione a livello globale e il posizionamento dei diversi sistemi nazionali e sovranazionali di ricerca sono periodicamente oggetto di riflessione e analisi a cura di organismi internazionali (Nazioni Unite, Commissione Europea, OCSE), think tank e istituti di ricerca.

Il report dell'OCSE dedicato alle prospettive di scienza, tecnologia e innovazione[1] fornisce un quadro complesso, che annovera grandi sfide per la società espresse nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite[2], rischi e opportunità della globalizzazione e ruolo crescente delle economie emergenti. Da tale quadro, nuove domande di ricerca si pongono alla comunità scientifica internazionale, che appaiono sempre più rilevanti nella formulazione delle agende politiche per la scienza, la tecnologia e l'innovazione e coinvolgono tutto lo spettro dei saperi: che si tratti di editing genetico o di intelligenza artificiale, il contributo delle scienze umane e sociali è imprescindibile per promuovere l'adozione delle innovazioni (*transformative innovation*) in maniera inclusiva, sostenibile ed equa. Le tecnologie rappresentano grandi opportunità di sviluppo economico ma, se non correttamente gestite, possono esporre la società al rischio di diseguaglianze, in termini di occupazione, coesione sociale, accesso all'innovazione e alle risorse in generale. Ecco perché acquista crescente importanza il coinvolgimento della società civile per condividere gli obiettivi del processo di programmazione della ricerca e dell'innovazione. In questa prospettiva, viene adottato, in forma sperimentale, nel PNR

[1] OCSE (2018), *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018. Adapting to Technological and Societal Disruption*, OECD Publishing, Paris.
[2] ONU (2015), *The 2030 Agenda for Sustainable Development*, UN Department of Economic and Social Affairs, New York.

2021-27 l'approccio *mission-oriented*[3], mutuato da Horizon Europe. Un altro elemento che emerge con evidenza dall'attività di raccolta e analisi dei dati sulla ricerca da parte dell'OCSE è la radicale modificazione delle pratiche della scienza a seguito della rivoluzione digitale, che riduce i costi e accelera i cicli di innovazione tramite le pratiche dell'*open science* e dell'*open innovation* che, combinandosi con un'accentuata collaborazione transnazionale, facilitano significativamente le sinergie tra ricercatori, istituzioni e Paesi diversi.

A fronte, dunque, di un contesto che chiede maggiori sforzi di ricerca e sembra avere tutte le potenzialità per conseguire un maggior impatto sociale ed economico, l'OCSE evidenzia che i trend della spesa pubblica in ricerca e innovazione, a livello globale, non mostrano aumenti significativi, sia in valore assoluto, sia in rapporto al PIL mondiale, sia come percentuale della spesa pubblica[4].

La stabilità, o piuttosto la stagnazione degli investimenti pubblici in ricerca, disattende le raccomandazioni per raggiungere i 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, un documento che è diventato un riferimento per tutta la comunità internazionale. Nel documento si esprime un giudizio perentorio sull'insostenibilità dell'attuale modello di sviluppo, da un punto di vista ambientale, sociale ed economico, e si chiede a tutti i Paesi di definire proprie strategie di sviluppo sostenibile[5] attraverso il coinvolgimento di tutte le componenti della società, dalle imprese al settore pubblico, dalla società civile alle istituzioni filantropiche, dalle università e centri di ricerca agli operatori dell'informazione e della cultura. Per quanto riguarda lo specifico ruolo della ricerca, lo *Scientific Advisory Board* dell'ONU ha raccomandato alla comunità internazionale una serie di principi che si traducono in tre azioni: *a*) integrare gli Obiettivi di sviluppo sostenibile nelle politiche sulla ricerca a tutti i livelli; *b*) considerare la comunità scientifica come partner affidabile per la realizzazione, la revisione e la verifica dei 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile; *c*) individuare meccanismi di monitoraggio scientifico indipendente e promuovere processi decisionali di *evidence-based policy*. Tali principi e le azioni conseguenti sono stati centrali nel dibattito sulla nuova programmazione comunitaria 2021-27 e sono inclusi nella programmazione nazionale del PNR 2021-27. In particolare, i decisori politici possono più facilmente aderire a essi grazie all'accesso a piattaforme e, comunque alla grande disponibilità di dati che permettono loro di operare le scelte strategiche necessarie per anticipare e rispondere ai bisogni della società, avvalendosi di evidenze scientifiche. L'OCSE, ad esempio, con l'iniziativa *Science, Technology and Innovation Policy (STIP) Compass,* coordinata insieme alla Commissione Europea, promuove la catalogazione, in un'unica piattaforma, di dati quantitativi e qualitativi per Paese sulle politiche in materia di scienza, tecnologia e innovazione e sui relativi impatti.

La Commissione Europea, a sua volta, ha introdotto un articolato processo di monitoraggio del programma Horizon 2020 che fornisce risultati in tempo reale, utili per informare le iniziative di policy. Tra i database di monitoraggio, si segnala la piattaforma interattiva *Horizon Dashboard* che permette di analizzare, attraverso ricerche personalizzate, oltre ai risultati di Horizon 2020, i dati dello *European Innovation Council* (EIC) e i profili specifici dei Paesi partecipanti ai programmi di ricerca finanziati dall'Unione Europea.

Infine, il *Joint Research Center* (JRC) e la Direzione generale per la ricerca e l'innovazione della Commissione Europea, attraverso il *Research and Innovation Observatory* (RIO), forniscono dati complessivi e per Paese, utili anch'essi per la definizione delle politiche della ricerca e dell'innovazione.

---

[3] MAZZUCATO M. (2018), *Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

[4] OCSE (2018), *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2018. Adapting to Technological and Societal Disruption,* OECD Publishing, Paris.

[5] Per l'Italia, cfr. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2017), *La Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS)*. La strategia è stata elaborata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in stretta collaborazione con la Presidenza del Consiglio dei Ministri, con il Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale e con il Ministero dell'Economia e delle Finanze.

2.2 IL POSIZIONAMENTO DEL SISTEMA DI RICERCA ITALIANO

Il percorso di preparazione del PNR 2021-27 ha tenuto conto dell'analisi dello stato del sistema nazionale della ricerca e del suo posizionamento nel contesto globale. Ruolo del PNR è sostenere gli sforzi sugli obiettivi a lungo termine ma anche affrontare temi contingenti, intervenendo nello specifico ambito di R&I e allo stesso tempo evidenziando la funzione che questo ha in un contesto più ampio che contempla le priorità dell'economia e le sfide sociali, sia quelle nazionali che quelle condivise a livello continentale o globale.

2.2.1 Punti di forza: la qualità della ricerca

Il nostro Paese può vantare una forte base scientifica pubblica, nonostante un investimento complessivo in ricerca e innovazione che rimane largamente sotto la media europea (il finanziamento alle attività R&S del settore pubblico e di quello privato nel 2019 è stato pari, rispettivamente, al 60,8% e al 58,3% della media Europea per lo stesso anno[6].

Nel 2016, l'Italia ha prodotto quasi il 4% delle pubblicazioni scientifiche comprese nel 10% di quelle più citate al mondo, dietro Stati Uniti, Cina, Regno Unito e Germania. Prendendo in esame, come esempio, un'area d'intervento particolarmente attuale come l'intelligenza artificiale, si nota che l'Italia è il quinto produttore mondiale di documenti scientifici più citati[7].

La VQR 2011-14 (l'ultima per la quale sono disponibili i risultati) mostra che, durante i quattro anni considerati dall'esercizio di valutazione, il tasso di crescita medio annuo delle pubblicazioni scientifiche italiane (+4,6%) è nettamente superiore alla media mondiale (+2,9%), europea (+2,7%) e dei Paesi OCSE (+2,1%), con prestazioni migliori di quelle di Francia e Germania. Il numero medio di citazioni per articolo in Italia è stato di 9,7, al di sopra del valore di Francia e Spagna e ai valori medi europeo (8,1) e mondiale (6,3) anche se inferiore, ad esempio, a quello di Germania e Regno Unito. L'analisi ha rilevato livelli di produttività scientifica che in Italia sono molto più elevati rispetto alla maggior parte dei Paesi. Inoltre, la produzione scientifica del Paese sta convergendo rapidamente verso gli standard di Paesi europei di dimensioni simili.

Se poi consideriamo le risorse messe a disposizione per la ricerca, le prestazioni dell'Italia sono straordinarie. Il numero di pubblicazioni per unità di spesa in R&S è passato da 3,5 nel 2011 a 4,0 nel 2015. I valori del 2015 erano 4,5 per il Regno Unito, 2,1 per la Francia, 1,6 per la Germania e, in media 2,5 per l'UE-28.

Quando le pubblicazioni sono correlate alle spese di R&S nel settore pubblico e nelle università, i valori del 2015 sono pari a 13,8 per il Regno Unito, 9,5 per l'Italia, 6,3 per la Francia, 5,1 per la Germania e in media 6,9 per l'UE-28[8].

Risultati analoghi si ottengono normalizzando i valori di produttività scientifica rispetto al numero di ricercatori.

Confrontando i Paesi UE nel rapporto tra numero di citazioni e numero di pubblicazioni (valore corretto FWCI) il dato italiano è pari a 1,5, più alto della media Europea e OCSE e migliore di quello della Francia (1,3), della Spagna (1,3) e della Germania (1,4) e inferiore invece, in Europa, a Regno Unito (1,6), Svezia (1,7) e Paesi Bassi e Svizzera (1,8).

Anche disaggregati per ciascuna delle aree scientifiche, emerge in primo luogo come in tutti i settori l'Italia mostri un impatto scientifico migliore di quello medio mondiale (ossia, l'indicatore di impatto[9] è sempre maggiore di 1). Nella maggior parte dei casi, inoltre, l'indicatore è maggiore rispetto alla media della UE a 15 Paesi e a quella OCSE[10].

---

[6] EC DG GROW/DG RTD (2020), *European Innovation Scoreboard 2020*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

[7] OECD (2017), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*, OECD Publishing, Paris.

[8] ANVUR (2017), *Valutazione della Qualità della Ricerca 2011-2014. Parte Quarta: Il posizionamento internazionale della ricerca italiana*, p. 30.

[9] Indicatore del numero di citazioni per pubblicazione.

[10] ANVUR (2017), *Valutazione della Qualità della Ricerca 2011-2014. Parte Quarta: Il posizionamento internazionale della ricerca italiana.*

Questi dati mostrano l'alta qualità della ricerca italiana, principalmente nelle università e negli enti pubblici di ricerca, in un contesto di risorse finanziarie e di personale insufficiente[11], come evidenziato in precedenza. Si lavorerà nella prospettiva di aumentare gli investimenti avvicinandoli alle medie dell'UE.

2.2.2 Punti di forza: l'innovazione nelle imprese, in particolare nelle PMI

La propensione all'innovazione delle PMI italiane può rappresentare un altro valore aggiunto per l'economia nazionale se viene pienamente sfruttata e sostenuta[12].

Il recente *European Innovation Scoreboard 2020* (EIS2020)[13] attribuisce all'Italia una "moderata" propensione all'innovazione (*moderate innovator*); pur tuttavia, lo stesso documento mette in evidenza una capacità di proporre innovazione delle PMI italiane, molto elevata, nell'ordine del 130,7% della media EU[14].

Le analisi di sistema evidenziano come a questi risultati abbiano contribuito anche le politiche di sostegno allo sviluppo della conoscenza e della cooperazione tra le piccole imprese che, viene riconosciuto, "vanno nella giusta direzione"[15].

Lo EIS2020 assegna un ruolo di rilievo (*strong innovator*) anche alla capacità del nostro sistema R&I di produrre patrimonio intellettuale (titoli di proprietà intellettuale), in particolare rispetto alle richieste di registrazione di marchi, disegni o modelli, indicatore sul quale l'Italia si posiziona al 141,1% della media EU (*innovation leader*).

2.2.3 Sfide: educazione, formazione e capitale umano

La scarsità di risorse umane altamente qualificate costituisce una barriera significativa agli investimenti in ricerca e sviluppo. Più in generale si nota che le persone di 30-34 anni che hanno completato un'istruzione terziaria in Italia sono il 27,8% (che pone l'Italia al penultimo posto essendo la media UE 40,7%), anche se si osserva una riduzione della quota di giovani tra 15 e 29 anni che non lavorano e non studiano (NEET), che nell'ultima rilevazione scende al 23,4% ma rimane peggiore rispetto al 2010. Lo svantaggio rispetto alla media dell'UE per la formazione continua è invece meno accentuato[16].

Come ulteriore conseguenza di questo declino, si sta consolidando un ulteriore grave problema per le risorse umane altamente qualificate in Italia dovuto alla crescente emigrazione di laureati e dottori di ricerca. L'indagine ISTAT sull'inserimento professionale dei dottori di ricerca del 2018 ha rilevato che la percentuale di dottorandi residenti all'estero è aumentata di oltre 10 punti dal 2009, raggiungendo il 17,2%[17].

Pertanto, gli investimenti nel capitale umano sono necessari anche per dare impulso e continuità alla evidentemente troppo lenta transizione dell'Italia verso un'economia basata sulla conoscenza: "il sistema di istruzione superiore è sottofinanziato e insufficiente. Le misure di finanziamento sono limitate e discontinue"[18]a fronte della necessità di "maggiori risorse umane e miglioramento delle competenze complessive"[19].

---

[11] NASCIA L., PIANTA M., LA PLACA G. (2018), *RIO Country Report 2017: Italy*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[12] *Ibid.*
[13] EC DG GROW/DG RTD (2020), *European Innovation Scoreboard 2020*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[14] Gli indicatori dello *European Innovation Scoreboard* presentano la performance, espressa in percentuale, rispetto al valore medio UE per quell'indicatore.
[15] SWD(2019) 1011 final, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Country Report Italy 2019 Including an In-Depth Review on the prevention and correction of macroeconomic imbalances, Brussels.
[16] ISTAT (2019), *BES 2019. Il benessere equo e sostenibile in Italia*, Istituto nazionale di statistica, Roma.
[17] NASCIA, L., PIANTA, M., LA PLACA, G. (2018), *RIO Country Report 2017: Italy*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[18] SWD(2019) 1011 final, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Country Report Italy 2019 Including an In-Depth Review on the prevention and correction of macroeconomic imbalances, Brussels.
[19] OCSE (2016), *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016,* OECD Publishing, Paris.

L'analisi EIS2020 degli indicatori relativi alle Risorse Umane per la ricerca ci qualifica complessivamente come *innovatori moderati* essendo la nostra *performance* pari al 53,4% di quella della media EU.

La dimensione risorse umane comprende tre indicatori e misura la disponibilità di una forza lavoro altamente qualificata e istruita. Analizzando in dettaglio risultano sensibilmente inferiori alla media UE gli indicatori quali il numero di nuovi dottorandi per 1.000 abitanti di età compresa tra 25 e 34 anni (66,2%), la popolazione di età compresa tra 25 e 64 anni coinvolta nell'istruzione e nella formazione (74,2%) e la popolazione di età compresa tra 25 e 34 anni con istruzione terziaria completa (25,3%)[20].

A questo fenomeno si sovrappone quello della diseguaglianza tra Nord e Sud. Ad esempio, si osservano ampie differenze tra territori nei valori del tasso di mobilità dei laureati e la fuga dei giovani laureati continua ad aumentare delle regioni del Mezzogiorno (pari -23,2 per mille nel 2018 rispetto al -2,4 per mille nel Centro Italia) rispetto alle altre aree del Paese. Si nota che l'Emilia-Romagna è la prima regione per accoglienza di giovani laureati provenienti da altri Paesi o Regioni (+16,2 per mille), mentre la Calabria detiene il primato per la fuoriuscita netta di laureati tra i 25 e i 39 anni (-31,1 per mille)"[21].

Questi dati non devono essere valutati unicamente nella situazione contingente ma anche considerati in prospettiva. Un recente studio dell'Istituto Toniolo evidenza che "l'Italia sta entrando in una nuova fase della sua storia che corrisponde a un inedito impoverimento della forza lavoro nelle età più attive e produttive. Ma sta anche facendo molto meno del resto d'Europa per rafforzare la presenza qualificata delle generazioni che si apprestano a entrare nel pieno della vita adulta attiva del Paese. In particolare, gli attuali 30-34enni italiani (i Millennials) sono oltre un milione in meno rispetto ai 40-44enni. Per la combinazione tra riduzione demografica e deboli percorsi professionali, nei prossimi dieci anni l'Italia rischia di perdere un lavoratore su cinque all'interno del motore trainante della crescita. Si tratta di una riduzione senza precedenti, maggiore che nel resto d'Europa e con potenziali conseguenze di lunga durata."

2.2.4 Sfide: competitività e attrattività del sistema della ricerca

L'edizione 2017 per l'Italia dello *Science, Technology and Industry Scoreboard* di OCSE[22] sottolinea che l'uso limitato del finanziamento delle attività di R&I per mezzo di strumenti competitivi è considerato un elemento di debolezza del nostro Paese che invece potrebbe essere migliorato riducendo i finanziamenti istituzionali a favore di misure di finanziamento di progetti attraverso bandi competitivi. Infatti, diversi organismi internazionali (OCSE, Commissione Europea) individuano il rapporto tra finanziamento della ricerca su base competitiva (*project funding*) e quello istituzionale (o *block-funding*) come uno degli indicatori di efficienza del sistema della ricerca riconoscendo alla prima modalità una evidentemente maggiore capacità d'indirizzo strategico da parte dei finanziatori. Ciononostante, alcuni studi indicano che non esiste un'evidente correlazione tra il livello della qualità della ricerca (ad esempio, il numero di pubblicazioni presenti nel 10% di quelle più citate) e il ricorso a finanziamenti competitivi, oltre a sottolineare che una maggiore competitività tende a penalizzare l'autonomia degli operatori della ricerca e l'attitudine alla ricerca *curiosity-driven*. Tenendo presente quanto rilevato, le azioni del PNR faranno ricorso a entrambi i meccanismi di finanziamento nella misura che apparirà di volta in volta più opportune.

A questo si aggiunge il caso dei vincitori italiani di progetti finanziati dallo *European Research Council* (ERC), più volte preso ad esempio per mettere in evidenza il problema di attrattività del sistema nazionale della ricerca. Infatti, nonostante i rilevanti successi dei ricercatori italiani nei bandi ERC degli ultimi anni, analizzando l'assegnazione dei progetti alle istituzioni ospitanti si nota che il rapporto fra il numero di vincitori italiani che operano in istituzioni italiane e quelli che operano all'estero è appena di 1,2, nettamente il più basso fra i grandi Paesi europei (il rapporto vale 7,4 per il Regno Unito e 5,4 per la Francia). Al valore italiano si avvicina la Germania (1,9), Paese però in cui l'uscita dal

[20] EC DG GROW/DG RTD (2020), *European Innovation Scoreboard*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[21] ISTAT (2019), *Innovazione, ricerca e creatività*, in *BES 2019. Il benessere equo e sostenibile in Italia*, Istituto nazionale di statistica, Roma, pp. 169-82.
[22] OECD (2017), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*, OECD Publishing, Paris.

sistema Germania di ricercatori tedeschi è compensata da un afflusso di ricercatori stranieri che non si verifica affatto in Italia.

2.2.5 Sfide: innovazione

Un ambiente imprenditoriale sfavorevole e una cooperazione tra università e imprese al di sotto della media europea evidentemente non possono favorire le condizioni per il pieno sfruttamento del potenziale innovativo delle PMI[23]. Allo stesso tempo, è necessario migliorare il coordinamento, la governance partecipativa e le condizioni quadro per l'innovazione e, più in generale, supportare l'innovazione in R&S nelle imprese.

I collegamenti tra industria e ricerca sono ancora poco sviluppati in Italia. Tutti gli indicatori che qualificano le collaborazioni e il trasferimento di competenze a favore dell'innovazione collocano il nostro Paese nella metà inferiore dei Paesi dell'OCSE. Tra questi, i valori che si discostano maggiormente dalla media OCSE (in negativo) sono l'investimento in ICT e la frazione di attività di ricerca pubblica finanziate dall'industria, entrambe in rapporto al PIL, le pubblicazioni e le innovazioni realizzate in collaborazioni internazionali e la frazione di popolazione con un livello di educazione superiore[24].

Si assiste, in alcuni casi, a una perdita di posizioni rispetto al passato. Nel 1995, l'Italia era all'ottavo posto per la produzione di tecnologie IT e al terzo per i servizi ICT. Nel 2011 era scesa, rispettivamente, al decimo e sesto posto[25].

La serie di indicatori dello EIS2020 collegati all'innovazione consente di entrare meglio nel dettaglio del fenomeno. La dimensione "finanza e supporto", che riassume il valore attribuito a indicatori come la disponibilità di capitale di rischio per progetti di innovazione e il sostegno dei governi alle attività di ricerca e innovazione nelle università e negli enti pubblici di ricerca come percentuale del PIL, evidenzia una prestazione del nostro Paese pari al 56,5% della media EU[26].

La valutazione degli investimenti del settore privato (73,1% della media UE) ci colloca tra gli innovatori moderati (il terzo dei 4 livelli di valutazione). Questo indicatore complessivo comprende tre indicatori che intercettano le modalità con le quali le imprese effettuano investimenti per generare innovazione: gli indicatori in ricerca e sviluppo (58,3%) e non (83,3%) e la frazione delle imprese che investe in formazione per migliorare le competenze ICT del proprio personale (77,8%).

La misura della capacità di favorire connessioni all'interno del sistema della ricerca, pubblico e privato, ci colloca nelle retrovie della graduatoria dei Paesi UE, essendo pari al 67,1% del valore medio degli altri Paesi. In questo caso, i tre indicatori misurano le capacità di innovazione riconducendole al numero di collaborazioni tra imprese innovatrici (56,0%), a quello delle pubblicazioni prodotte in collaborazione tra il settore pubblico e privato (80,5%) e alla misura in cui il settore privato sostiene (cofinanzia) attività pubbliche di ricerca e sviluppo (67,0%).

L'impatto che le attività legate all'innovazione hanno sull'occupazione è considerato moderato (80,6%). Mentre l'occupazione in attività ad alta intensità di conoscenza è in media con i livelli europei (103,8%) e l'occupazione creata da imprese in rapida crescita in settori innovativi è piuttosto contenuta (62%)[27].

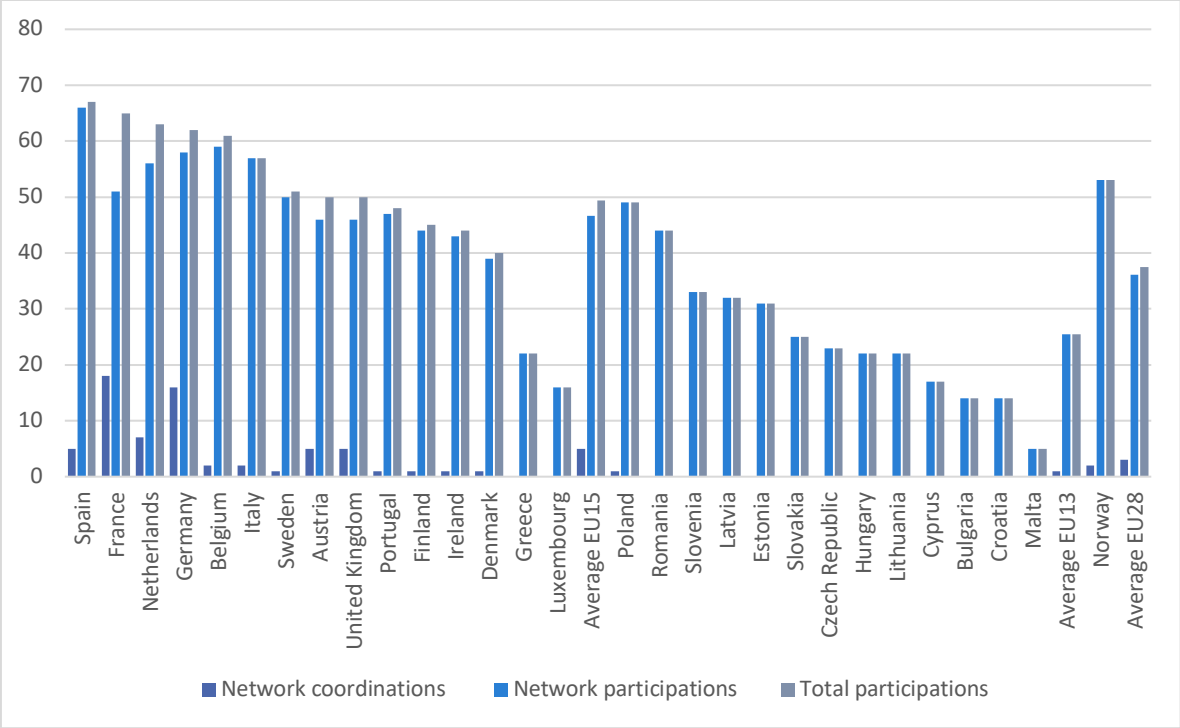
---

[23] NASCIA L., PIANTA M., LA PLACA G. (2018), *RIO Country Report 2017: Italy*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[24] OCSE (2016), *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016,* OECD Publishing, Paris.
[25] OECD (2017), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation*, OECD Publishing, Paris.
[26] EC DG GROW/DG RTD (2020), *European Innovation Scoreboard 2020*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[27] *Ibid.*

2.2.6 Sfide: internazionalizzazione

Volendo rivolgere l'attenzione alle sfide e alle opportunità legate all'internazionalizzazione del nostro sistema R&I, sul lato innovazione si evidenziano valori inferiori alla media OCSE sia delle pubblicazioni che dei brevetti registrati congiuntamente a livello internazionale, valore quest'ultimo inferiore al 50% della media OCSE, che l'analisi dell'organizzazione di Parigi traduce in una debole integrazione del nostro Paese nelle reti internazionali della conoscenza[28].

Un indicatore trasversale a ricerca e innovazione è quello che prende in considerazione la nostra partecipazione ai partenariati R&I. Il grafico che segue mostra che la nostra presenza nei partenariati pubblici R&I europei, ad esempio le *Joint Programming Initiatives* o quelli finanziati attraverso gli strumenti di cofinanziamento del Programma quadro UE per la ricerca e l'innovazione come le azioni *European Research Area Networks* (ERA-NET) e *Coordination and Support Actions*, può essere considerata di buon livello ma, allo stesso tempo, mette in evidenza la difficoltà nel raggiungere ruoli di coordinamento[29].



Source: ERA-LEARN database (dati aggiornati a settembre 2019)[30].
(*) Network coordinations: numero di reti coordinate da un Paese specifico. Network participations: numero di reti a cui un Paese specifico partecipa come partecipante. Total network participations: numero di reti a cui un Paese specifico partecipa con qualsiasi ruolo (ad esempio, coordinatore, partecipante, osservatore, altro).

Se da un lato la capacità di guidare una collaborazione di livello internazionale è un riconoscimento dell'autorevolezza del Paese e della sua comunità scientifica, è anche vero che la gestione del segretariato di un grande partenariato o di una infrastruttura di ricerca paneuropea è un'attività onerosa in termini di risorse non solo scientifiche ma anche amministrative e tecniche, che solo organizzazioni della ricerca solide e ben strutturate possono aggiungere alle proprie attività istituzionali senza difficoltà. Ciononostante, essendo finanziata dal partenariato, la gestione del segretariato si presenta come un'opportunità, non solo per acquisire finanziamenti esterni, ma per migliorare e consolidare le

[28] OCSE (2016), *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016,* OECD Publishing, Paris.
[29] *ERA-LEARN, Horizontal support to joint programming,* progetto finanziato in Horizon 2020 (G.A. No 811171), 2018-2022, https://www.era-learn.eu, consultato il 15/11/2020.
[30] *Ibid.*

competenze tecnico-amministrative, rafforzare la nostra presenza nelle reti internazionali e svolgere un ruolo di primo piano nella definizione delle strategie internazionali della ricerca.

2.3 Il raccordo con la politica economica nazionale

L'obiettivo generale del Programma nazionale per la ricerca (PNR) è stato, fin dalla sua istituzione prevista nell'ambito del decreto legislativo 5 giugno 1998, n. 204, quello di contribuire a pieno titolo alle azioni di Governo tese da un lato a far sì che la ricerca pubblica e privata innalzi la qualità della vita, della conoscenza e del sistema economico e produttivo del Paese, dall'altro a migliorare il posizionamento dell'Italia nel contesto internazionale.

In quest'ottica, il PNR integra armonicamente, nella specificità dei propri obiettivi, le misure previste annualmente dai Documenti di economia e finanza (DEF).

Il PNR ha le sue radici in un'analisi di contesto, basata sui principali documenti economici e finanziari nazionali, nonché sui documenti strategici e di analisi dell'Unione Europea, oltre che sui dati tratti dalle fonti maggiormente accreditate. Tuttavia, la programmazione nazionale della ricerca e dell'innovazione va inserita in uno scenario più ampio di quello rappresentato dai confini dell'UE, che tenga conto delle tendenze globali e della congiuntura.

In una prospettiva globale, è naturale avere come riferimento documenti strategici ad ampio respiro, qual è l'Agenda 2030 per lo Sviluppo sostenibile; in particolare, tra i 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile delineati dall'Agenda, la connessione di maggiore rilievo è con la prospettiva di sostenere la ricerca scientifica, migliorare le capacità tecnologiche del settore industriale in tutti i Paesi – in particolare in quelli in via di sviluppo – nonché incoraggiare le innovazioni e incrementare considerevolmente, entro il 2030, sia il numero degli addetti per ogni milione di persone, nel settore della R&I, sia la spesa ad esso dedicata, tanto nel comparto pubblico quanto in quello privato.

Sul piano della programmazione strettamente nazionale, all'atto della definizione del PNR, una parte dei riferimenti documentali che sarebbero stati posti alla base di un'evoluzione regolare e non traumatica della precedente programmazione risente dell'evoluzione determinata da una contingenza che determina incertezza, soprattutto con riguardo all'affidabilità delle stime dei tassi di crescita del PIL. Benché definiti in un quadro aleatorio, tuttavia, i documenti di finanza pubblica rispondono pur sempre alle indicazioni ricevute dalle competenti istituzioni europee.

Venendo incontro alle raccomandazioni specifiche del 9 luglio 2019, rivolte dal Consiglio dell'Unione Europea all'Italia sul Programma nazionale di riforma 2019 (2019/C 301/12), e tenendo conto della Relazione Paese 2020 relativa all'Italia (COM (2020) 150 final del 26 febbraio 2020), il Documento di economia e finanza (DEF) 2020 conferma e accentua una linea strategica, già in precedenza intrapresa dal Governo, che ribadisce il ruolo degli investimenti pubblici come fattore fondamentale per la crescita, l'innovazione e l'aumento della competitività del sistema produttivo, enfatizzando, contestualmente, anche il sostegno alle imprese a più alto tasso di innovazione tecnologica. Il Programma nazionale di riforma, nell'evidenziare l'impegno a una maggiore spesa da destinare alla ricerca e all'innovazione, sottolinea come essa debba essere anche destinata al finanziamento di progetti di ricerca che perseguano obiettivi di sostenibilità ambientale e digitalizzazione e che contestualmente abbiano un rilevante effetto sull'incremento della produttività.

Anche alla luce dell'esperienza di riadattamento determinata dalla pandemia in corso, emerge la necessità di razionalizzare ulteriormente le misure a sostegno della ricerca e dell'innovazione, rendendo stabili e strutturali gli incentivi che abbiano mostrato maggiore efficacia, nonché di conservare una sufficiente flessibilità nell'uso degli strumenti, per venire incontro a esigenze non prevedibili, né indifferibili.

2.4 Il PNR 2015-20

Per la definizione degli strumenti di attuazione (cfr. cap. 9), il PNR 2021-27 terrà conto dell'analisi dei risultati della programmazione 2015-20, ancora in corso. Per quanto riguarda gli elementi sostanziali, l'elaborazione del quadro strategico del PNR 2021-27 ha avuto come punto di partenza la valutazione, sia pur non ancora definitiva, dei risultati ottenuti nell'ambito del Programma nazionale per la ricerca 2015-2020, del quale di seguito si riassumono le linee d'intervento.

Il PNR 2015-20 è stato sviluppato come uno strumento agile, capace di guidare la competitività industriale e lo sviluppo del Paese attraverso gli strumenti della conoscenza. Per accrescere il suo impatto nei settori della ricerca e dell'innovazione a livello nazionale, il PNR 2015-20 ha identificato sei macro-obiettivi, ciascuno dei quali è stato strutturato in linee di azione. Questa articolazione ha consentito di ottenere una maggiore coerenza e selettività degli interventi, i quali sono stati concentrati nelle aree di sviluppo più promettenti, evitando la dispersione delle risorse e garantendo allo stesso tempo il necessario sostegno alla ricerca fondamentale e libera.

Numerose sono state le misure attuate dal PNR 2015-20 a sostegno del capitale umano. A cominciare dalla realizzazione di dottorati innovativi finalizzati a migliorare la qualità della formazione alla ricerca. In questo ambito si inserisce l'azione *dottorati innovativi con caratterizzazione industriale* promossa dal PON Ricerca e Innovazione 2014-2020, per l'erogazione di borse di ricerca di durata triennale coerenti con i bisogni del sistema produttivo nazionale e con la Strategia nazionale di specializzazione intelligente. L'iniziativa ha beneficiato gli atenei delle regioni in ritardo di sviluppo, con cinque edizioni dell'avviso lanciate nel periodo 2014-20. Soltanto nelle prime tre, sono state finanziate oltre 700 borse di dottorato. L'ultimo bando ha previsto, inoltre, l'assegnazione di borse su temi riguardanti le aree interne e marginalizzate del Paese, finanziate dal Fondo di sviluppo e coesione.

L'obiettivo del PNR 2015-20 di favorire la competitività delle Regioni in ritardo di sviluppo (Campania, Calabria, Puglia, Sicilia) e in transizione (Basilicata, Molise, Sardegna, Abruzzo), accrescendo la loro capacità di produrre e utilizzare ricerca e innovazione, è stato sostenuto con diverse azioni da parte del PON Ricerca e Innovazione 2014-2020, come il Programma AIM per la mobilità dei ricercatori e il supporto a progetti di ricerca che privilegiano le tecnologie abilitanti (KETs). Il Programma AIM, in particolare, ha previsto la contrattualizzazione di giovani dottori di ricerca da indirizzare alla mobilità internazionale e giovani ricercatori operanti fuori dalle regioni obiettivo del PON Ricerca e Innovazione, da indirizzare verso i territori in ritardo di sviluppo. Al 2019 sono state ammesse al finanziamento più di 400 proposte di attività di ricerca, per un potenziale coinvolgimento di quasi 600 giovani dottori di ricerca. Allo scopo di incrementare gli investimenti in ricerca e sviluppo nelle 12 aree di SNS del PNR, è stato creato invece il Fondo di fondi: uno strumento che ha consentito di fornire alle imprese prestiti, finanziamenti in equity e quasi-equity, attraverso tre operatori finanziari selezionati dalla Banca Europea degli Investimenti. Lo strumento ha sostenuto progetti che privilegiano le tecnologie abilitanti. Attorno alle KETs ruota anche l'Iniziativa congiunta ECSEL, pilastro della strategia industriale dell'UE nel campo dell'elettronica, a cui il PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 ha contribuito cofinanziando, con fondi FESR, bandi nel 2016, 2017 e 2018.

Insieme agli investimenti sul capitale umano, il sostegno alle infrastrutture di ricerca è considerato un fattore abilitante chiave per conseguire il rafforzamento del sistema nazionale della ricerca. Il PNR 2015-2020 ha pertanto posto l'accento sulla necessità di sostenere e promuovere un gruppo selezionato di infrastrutture di ricerca nazionali per dare sostegno allo sviluppo economico e sociale dei territori. L'identificazione delle infrastrutture di interesse per il Paese è stata definita a partire dal Programma nazionale per le infrastrutture di ricerca (PNIR), il quale ha articolato le infrastrutture di interesse europeo e nazionale sulla base delle 12 Aree di Specializzazione identificate dal PNR 2015-20 e in coerenza con i criteri dell'ESFRI (*European Strategy Forum for Research Infrastructures*). Le infrastrutture di ricerca giudicate prioritarie per lo sviluppo del Paese sono state oggetto di un avviso finalizzato al loro potenziamento. Ulteriori finanziamenti sono stati destinati alle infrastrutture di ricerca attraverso il FOE, il FFO e attraverso il Piano Stralcio "Ricerca e Innovazione" 2015-2020.

Un ulteriore macro-obiettivo individuato dalla precedente programmazione è costituito dalla collaborazione pubblico-privato, intesa come importante leva strutturale per stimolare la ricerca e l'innovazione. In questo ambito, il PNR 2015-20 ha individuato i Cluster tecnologici nazionali (CTN) quali strumenti essenziali per avviare le politiche di sostegno alla ricerca industriale e rafforzare i legami tra ricerca, industria e nuova imprenditorialità. Questa visione ha portato alla creazione, in aggiunta agli 8 CTN già esistenti, di ulteriori 4 CTN – *Blue Growth, Design Creatività Made in Italy, Energia, Cultural Heritage* – con l'intento di completare il quadro rappresentativo delle priorità industriali del Paese nelle 12 aree di specializzazione individuate dal PNR 2015-20. In coordinamento con i 12 CTN, inoltre, il PNR 2015-20 ha sostenuto i progetti di ricerca industriale e sviluppo sperimentale nelle 12 aree di specializzazione a valere sulle risorse del PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 e a valere sul Fondo per lo sviluppo e la coesione.

Il coordinamento e l'allineamento delle iniziative nazionali con quelle europee e globali è stato perseguito dal PNR 2015-20 attraverso il programma internazionalizzazione, mediante il quale si è voluto favorire l'integrazione organica tra le risorse nazionali ed europee, allineando in particolar modo gli interventi nazionali con gli interventi delle Politiche

di coesione e del Programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione, Horizon 2020. Gli interventi a favore dell'internazionalizzazione si sono posti in linea con gli obiettivi di costruzione di uno Spazio europeo della ricerca (SER) e di attuazione dell'Unione dell'innovazione, l'iniziativa faro di Europa 2020 finalizzata a promuovere la competitività globale europea. In questa direzione, il precedente Programma nazionale per la ricerca ha garantito un'importante presenza del nostro Paese in progetti e iniziative europee, come JPI, Eranet, CSA e JTI. Un esempio di partenariato europeo di grande rilevanza è rappresentato da PRIMA (*Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area*), il partenariato a guida italiana creato per promuovere attività di ricerca congiunte nei Paesi euro-mediterranei, in particolare nel settore alimentare e nella gestione delle risorse idriche. Oltre a promuovere la ricerca, il dialogo e lo sviluppo economico e la solidarietà sociale nell'area mediterranea, il partenariato ha portato il nostro Paese ad assumere un ruolo strategico nell'accompagnare il dialogo tra i popoli e dare una risposta ai problemi sociali e ambientali attraverso gli strumenti della ricerca e dell'innovazione. Ulteriori iniziative di rilievo internazionale sono state sostenute dal PNR 2015-2020 attraverso il PNRA (Programma nazionale di ricerche in Antartide) e il PRA (Programma di ricerche in Artico), con cui l'Italia prende parte a collaborazioni scientifiche di rilevanza internazionale per la comprensione delle dinamiche legate al clima e all'ambiente nelle aree polari, nonché attraverso il PRORA (Programma nazionale di ricerche aerospaziali), che persegue l'obiettivo di dotare il Paese di infrastrutture di ricerca e competenze altamente qualificate in un settore strategico come quello aerospaziale.

A supporto del sistema nazionale della ricerca è dedicata l'azione dei bandi a supporto di Progetti di rilevante interesse nazionale (PRIN), volti a finanziare progetti triennali in qualsiasi campo disciplinare, che richiedono la collaborazione di diverse unità di ricerca appartenenti a università ed enti pubblici di ricerca. Dei tre bandi pubblicati (2015, 2017, 2020) l'ultimo ha previsto, in un'unica procedura di finanziamento, l'apertura di finestre annuali per la presentazione di progetti di ricerca anche nel 2021 e 2022. La ricerca di eccellenza è stata inoltre supportata con l'iniziativa FARE ricerca in Italia (Framework per l'attrazione e il rafforzamento delle eccellenze), volta a incentivare la permanenza o l'ingresso nel nostro Paese di vincitori di bandi dello *European Research Council* (ERC) che abbiano scelto come sede principale del loro progetto di ricerca un'istituzione italiana, garantendo loro un finanziamento aggiuntivo. Per la seconda edizione del bando (2018) sono state stanziate risorse dal fondo FIRST. Avvicinare accademia e mondo del lavoro è stato invece l'obiettivo di PhD ITalents, progetto pilota triennale gestito da Fondazione CRUI in partenariato con Confindustria, volto a inserire 136 dottori di ricerca nelle imprese per lo sviluppo di progetti ad alto impatto innovativo. I contratti di lavoro sono stati cofinanziati per tre anni su fondi FISR. Lo strumento *Proof of Concept*, infine, ha offerto la possibilità ai ricercatori attivi in Italia, di esplorare il potenziale innovativo dei loro progetti di ricerca fondamentale. Il bando, pubblicato nel 2018, è stato finanziato attraverso il fondo FSC.

3. LE NOVITÀ DEL PNR 2021-27

3.1 IL COINVOLGIMENTO DELLE AMMINISTRAZIONI

Il coinvolgimento da parte del MUR dei Ministeri e delle Regioni è la grande novità del PNR 2021-27, concepito come documento programmatico per la ricerca e l'innovazione del sistema Paese e non solo del MUR.

Il coinvolgimento multilivello delle amministrazioni vuole porre rimedio alla perdurante frammentazione di interventi pubblici per la ricerca e l'innovazione che affrontano obiettivi correlati ma disgiunti, focalizzati su determinate discipline, settori o fasi del processo di innovazione, trascurando di creare le condizioni che consentano alle capacità dei sistemi nazionali e regionali di affrontare le sfide poste da un mondo in veloce cambiamento nel modo più efficace.

Il coordinamento multilivello delle politiche di ricerca e innovazione può incidere direttamente sulla portata e sugli obiettivi dell'intervento pubblico in quanto può contare su una più adeguata disponibilità di finanziamenti, ottenuta grazie alla concentrazione di risorse su questioni condivise, ritenute prioritarie per il nostro Paese. È ragionevole attendersi che tale approccio permetta di ottenere una maggiore coerenza delle politiche di ricerca e innovazione tra i diversi settori d'intervento e tra i vari livelli di governo, connettendo diverse misure o creandone di nuove con competenze più estese per affrontare problemi più ambiziosi o accelerare il progresso.

Il dialogo strutturato e la messa a sistema delle linee d'intervento dei diversi dicasteri e assessorati regionali in materia di ricerca e innovazione garantisce così una più efficace copertura dell'ampio spettro della ricerca, *curiosity-driven*, applicata, industriale e *mission-oriented*. Da un punto di vista finanziario, una maggiore collaborazione si può tradurre in un più efficiente utilizzo degli strumenti di finanziamento pubblico.

In quanto dicastero a cui è demandato il compito del coordinamento del PNR, il MUR ha coinvolto i Ministeri che dispongono di capacità e strumenti per la ricerca e l'innovazione nei settori di loro competenza: **Affari Esteri e Cooperazione Internazionale**, **Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare**, **Beni e Attività Culturali e Turismo**, **Difesa**, **Infrastrutture e Trasporti**, **Innovazione Tecnologica e Digitalizzazione**, **Interno**, **Lavoro e Politiche Sociali**, **Politiche Agricole Alimentari e Forestali**, **Salute**, **Sud e Coesione Territoriale**, **Sviluppo economico**. I Ministeri sono stati invitati a inviare i propri contributi nella fase iniziale dell'elaborazione del programma e in occasione della consultazione pubblica (cfr. par. 2.3). La ricognizione iniziale ha perseguito un duplice obiettivo. In primo luogo, tracciare un quadro preciso del contesto di riferimento, delle finalità e degli elementi caratterizzanti le linee d'intervento a favore di attività di ricerca e innovazione promosse dai diversi dicasteri. In secondo luogo, la messa a punto delle priorità di sistema individuate dal MUR per il PNR 2021-27. In occasione della consultazione pubblica, le proposte di temi di ricerca d'interesse prioritario espresse dai Ministeri sono state messe a disposizione degli esperti che hanno lavorato all'elaborazione dei grandi ambiti di ricerca e innovazione affinché ne tenessero conto nella definizione delle articolazioni di ricerca delle diverse aree d'intervento (cfr. cap. 5). Il dialogo interministeriale avviato e il materiale raccolto con riferimento agli strumenti indicati dai Ministeri sono le premesse per realizzare, in prospettiva, ulteriori sinergie, anche attraverso la definizione di nuove linee d'intervento congiunte (cfr. cap. 9).

Le **Regioni** sono state coinvolte direttamente e tramite la Commissione IX Istruzione, Lavoro, Innovazione e Ricerca della Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome. L'interlocuzione si è basata sui dati relativi alle politiche regionali e provinciali di ricerca e innovazione, forniti dalle Regioni con riferimento alla precedente programmazione 2014-2020 a livello territoriale. La sintesi della documentazione ricevuta evidenzia che nel corso degli anni le Regioni e le Province Autonome si sono dotate di un ampio e importante sistema normativo per la promozione della ricerca e dell'innovazione, soprattutto indirizzato verso il sostegno del settore produttivo e del capitale umano. Tale assetto regionale, articolato ed eterogeneo a seconda delle vocazioni territoriali, è stato accompagnato da risorse provenienti dai Programmi operativi finanziati sui Fondi strutturali e d'investimento europei (SIE). I programmi sono stati funzionali all'attuazione a livello locale della Strategia di specializzazione intelligente, che sfrutta il trasferimento delle conoscenze e delle tecnologie risultanti dalle attività di ricerca e sviluppo. Il PNR 2021-27 intende tener conto delle specifiche realtà di ricerca regionali, come previsto dalla norma, attraverso un continuo dialogo multilivello per una maggiore coerenza tra obiettivi nazionali e regionali, all'interno della strategia europea.

3.2 SEMPLIFICAZIONE DELLE PROCEDURE DI FINANZIAMENTO

L'esperienza maturata nel corso della precedente programmazione ha consentito una riflessione accurata circa le modalità più idonee per un agile finanziamento dei progetti di ricerca, che sappia contemperare l'aspetto della legittimità delle procedure con la rapidità di azione, elemento, quest'ultimo, di peculiare rilievo nella materia che ci occupa.

La disciplina invalsa in molteplici organizzazioni pubbliche dedicate al finanziamento delle progettualità scientifiche colloca nella fase ex ante (prima dell'emissione del decreto di ammissione al finanziamento) la maggior parte dei controlli sulla proposta progettuale e sui proponenti. Invece, si è rilevato che poca attenzione è stata dedicata alle verifiche ex post (dopo la conclusione del progetto) soprattutto allo scopo di verificare gli impatti della ricerca finanziata con fondi pubblici.

La principale conseguenza della disciplina richiamata è stata l'eccessiva complessità e durata della fase ex ante, che conduce alla firma del contratto, mediamente, due anni e mezzo dopo la chiusura del bando (ciò soprattutto nell'esperienza condotta dal MUR), con il rischio di vanificare o quantomeno ridurre gli effetti e la qualità degli interventi finanziati.

A titolo di paragone, si può prendere in considerazione il Programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione, che richiede tassativamente un *time to grant* massimo di 8 mesi. Inoltre, dopo la firma del contratto, le procedure

europee prevedono l'immediata erogazione di un prefinanziamento pari al 50% del contributo ammesso, senza la richiesta di alcuna garanzia, essendo essa assicurata tramite una trattenuta pari al 5% su tutti i contratti, che è versata alla fine del progetto. Nella fase in itinere (durante lo svolgimento del progetto), sono previste rendicontazioni intermedie delle spese sostenute, senza la presentazione dei documenti di spesa, a cui fanno seguito altre anticipazioni, sino ad un massimo del 90% del totale. Soltanto al termine del progetto è prevista la rendicontazione finale, con la presentazione dei documenti di spesa, e il pagamento del saldo e del 5% trattenuto all'inizio.

L'eccessiva durata della fase istruttoria ex ante nel nostro Paese ha costretto i beneficiari a scegliere fra due possibili opzioni, entrambe non ottimali. Ovvero iniziare le attività progettuali prima di avere la certezza del finanziamento, con fondi propri quando possibile, oppure ritardare l'inizio del progetto con il rischio di andare a investigare su tematiche ormai obsolete. La prima opzione, in passato largamente utilizzata, non è più consentita ai soggetti pubblici dalla normativa attuale. L'avvento dei progetti di cooperazione internazionale, oramai più diffusi dei progetti nazionali, ha, invece, reso impraticabile la seconda opzione perché non consente ai partner italiani una collaborazione sincrona con i propri partner stranieri.

Inoltre, la mancata sistematicità della valutazione ex post non ha consentito, sovente, al decisore politico di valutare l'efficacia dei finanziamenti pubblici e, di conseguenza, di introdurre eventuali azioni correttive o migliorative.

Appare, quindi, evidente come semplici modifiche o rivisitazioni delle procedure esistenti non siano utili; occorre, invece, che a monte vi sia l'adozione di una nuova visione del processo di valutazione moderno, meno burocratico e più manageriale, più attento ai contenuti e ai risultati piuttosto che alle forme, in linea con le migliori pratiche europee (come sopra tratteggiate), con tempistiche molto rapide e condiviso da tutte le amministrazioni pubbliche che finanziano progetti di ricerca e sviluppo. Si ritiene, inoltre, opportuno prevedere anche forme di assistenza ai proponenti per facilitare la presentazione delle domande di finanziamento e le procedure di rendicontazione.

Alle suddette considerazioni dovranno ispirarsi le normative di ogni grado al fine di imporre una decisa accelerazione alle procedure di finanziamento della ricerca, sì da garantire una adeguata tempistica al *time to grant,* una responsabilizzazione in capo a chi fa ricerca, un adeguato contesto per il raggiungimento dei risultati attesi, nonché un utilizzo proficuo del denaro pubblico ma soprattutto la disponibilità del decisore politico di elementi di conoscenza per perfezionare e rendere sempre più efficace l'intervento pubblico.

L'auspicata armonizzazione delle procedure di finanziamento nazionali con quelle europee porterebbe a una notevole semplificazione di tutte le attività amministrative legate alla predisposizione delle domande di finanziamento e alla successiva gestione dei progetti, sia per le amministrazioni pubbliche finanziatrici sia, soprattutto, per i soggetti che fanno ricerca, che non sarebbero più tenuti ad utilizzare metodologie di lavoro diverse a seconda dell'ente finanziatore. Ciò, di conseguenza, potrebbe contribuire al miglioramento qualitativo delle domande di finanziamento e, in ultima analisi, a un maggiore successo della partecipazione ai programmi europei e nazionali.

3.3 IL PROCESSO DI CONSULTAZIONE

Il Programma nazionale per la ricerca 2021-2027 è frutto di un ampio e complesso processo di consultazione con la comunità scientifica, le amministrazioni centrali, le Regioni, i portatori di competenze e di interesse pubblici e privati, la società civile.

Durante il 2018-19, il Programma è stata oggetto di una prima riflessione da parte del *Gruppo di consulenza e coordinamento per il nuovo piano nazionale della ricerca per le proposte e strategie nazionali e per Horizon Europe 2021-2027* del Dipartimento per la formazione superiore e la ricerca dell'allora Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.

In seguito, l'approfondimento del percorso di definizione del PNR 2021-27 ha portato all'identificazione di punti di forza e debolezza della ricerca e dell'innovazione nel nostro Paese e, con il coinvolgimento dei Ministeri (cfr. par. 3.1), alla conseguente individuazione delle priorità di sistema, al cui raggiungimento il PNR 2021-27 intende contribuire.

Le priorità di sistema hanno tracciato il quadro di riferimento di metodo, nell'ambito del quale si è sviluppato il documento del PNR 2021-27 attraverso la definizione di merito di sei ampi e articolati temi di ricerca e innovazione,

ovvero i grandi ambiti di ricerca e innovazione, che sono stati mutuati dai *cluster* di Horizon Europe e riproposti secondo le specificità del sistema nazionale dal Ministero dell'Università e della Ricerca, istituito nel gennaio 2020.

L'elaborazione delle priorità di sistema è stata ulteriormente arricchita dalle riflessioni di personalità di grande prestigio scientifico e culturale, che sono state intervistate per dare il loro punto di vista sulla ricerca di base e una visione dei nuovi orizzonti della ricerca.

In aggiunta, dall'aprile 2020, hanno lavorato alla declinazione dei contenuti dei sei grandi ambiti di ricerca e innovazione circa 250 autorevoli esperti della comunità scientifica nazionale, espressi dalla Conferenza dei rettori delle università italiane (CRUI) e dalla Consulta dei presidenti degli enti pubblici di ricerca (CONPER). Organizzati in 28 gruppi di lavoro, corrispondenti alle aree d'intervento individuate secondo le specificità del sistema nazionale, gli esperti hanno lavorato in maniera corale con un approccio aperto e inclusivo, consultandosi con colleghi, ascoltando le istanze portate dalle parti interessate pubbliche e private (associazioni di categoria, imprese piccole, medie e grandi) e tenendo presente i contributi dei Ministeri. Oltre ai Ministeri, le Regioni, attraverso la Conferenza Stato Regioni, hanno contribuito fornendo ulteriori elementi per la definizione del documento.

Tra agosto e settembre 2020, i documenti di preparazione del Programma nazionale per la ricerca 2021-2027 sono stati aperti a una consultazione pubblica. Il Ministero dell'Università e della Ricerca ha voluto in tal modo, per la prima volta, promuovere un approccio finalizzato a raccogliere osservazioni, proposte e suggerimenti da parte delle varie categorie di portatori di interesse per arrivare alla definizione di una programmazione strategica, partecipata e dinamica.

Hanno risposto alla consultazione 2.535 partecipanti, la maggioranza dei quali provenienti da università (1751) ed enti di ricerca (501), cui si sono aggiunti rappresentanti delle imprese (81) e delle pubbliche amministrazioni (66) nonché diverse unità da associazioni di categoria (27), fondazioni (18), organizzazioni della società civile (14), società di consulenze professionale (12), organizzazioni non governative (5) e sindacali (5), assieme a semplici cittadini (48).

Fra le novità proposte dal PNR 2021-27, i partecipanti hanno individuato la semplificazione amministrativa (75%) come la più rilevante per l'efficace funzionamento del sistema nazionale della ricerca e innovazione. Seguono, il raccordo con lo Spazio europeo della ricerca (50%), l'approccio multisettoriale, multidisciplinare e multistakeholder (47%), la co-progettazione tra ricercatori e stakeholder (46%), il raccordo con lo Spazio europeo dell'alta formazione (38%), la scienza aperta (35%), il coordinamento Stato-Regioni (32%), l'innovazione aperta (31%), la ricerca e l'innovazione responsabili (27%), la ricerca *mission-oriented* (22%) e la *citizen science* (15%).

Le priorità che i partecipanti indicano come percentualmente le più rilevanti sono, rispettivamente, il consolidamento della ricerca fondamentale (61%), la promozione dell'internazionalizzazione della ricerca (53%), la crescita diffusa e inclusiva del sistema della ricerca (49%), l'interazione tra il mondo della ricerca e il sistema produttivo (48%), lo sviluppo di una nuova generazione di ricercatori e manager della ricerca (47%), l'esplorazione del futuro (47%), lo sviluppo del potenziale trasformativo dell'innovazione nel rispetto della centralità della persona (34%). L'approccio *mission-oriented* è risultato in buona misura condivisibile (68%).

Per quanto riguarda gli strumenti di finanziamento nazionali si terrà in debito conto il risultato della consultazione che, con riferimento alla scorsa programmazione, ha espresso un significativo gradimento delle azioni di attrazione e la mobilità internazionale dei ricercatori, dell'attivazione dei PRIN e del PNIR.

Infine, più dell'80% dei partecipanti ritiene condivisibile che il sistema di governance leggero, proposto dal PNR 2021-27, debba avere come obiettivi prioritari della sua azione (i) il conseguimento di un'effettiva sintonia tra i livelli di programmazione della ricerca europeo, nazionale e regionale e (ii) il monitoraggio della realizzazione del programma.

Per quanto riguarda le domande a risposta aperta, i contributi sono stati trasmessi ai gruppi di esperti al lavoro impegnati nella definizione del Programma nazionale per la ricerca, sia per quanto riguarda la parte di metodo (novità e priorità di sistema) sia di merito (Missioni, piani, grandi ambiti di ricerca e innovazione). La conclusione del processo di consultazione è il presente documento nella sua forma definitiva.

3.4 Il raccordo con lo Spazio europeo della ricerca e dell'alta formazione

3.4.1 Horizon Europe e il PNR 2021-27

Pur dedicando la massima attenzione alle priorità nazionali e al proprio assetto di riferimento istituzionale, il PNR 2021-27 non può prescindere dall'architettura e dai contenuti del programma Horizon Europe.

Un primo elemento di coerenza fra il PNR 2021-27 e Horizon Europe è dato dal quadro temporale coincidente per dare continuità alla visione strategica della programmazione nazionale e, nell'allinearsi alla programmazione europea, inserire elementi di complementarietà rivolti a promuovere interventi non considerati in Horizon Europe o funzionali a rendere il nostro sistema della ricerca più competitivo a livello europeo. Il PNR, infatti, non deve essere inteso soltanto come un piano di allocazione di risorse nazionali, cui fanno da eventuale complemento quelle europee. Il PNR è l'architettura strategica che raccoglie e si propone di razionalizzare in un quadro coerente gli interventi del Paese sulla ricerca, rispettando l'autonomia degli attori che vi concorrono. In esso interagiranno, in modo sinergico, i fondi europei assegnati su base competitiva attraverso Horizon Europe, i fondi strutturali e d'investimento nazionali e regionali (PON e POR) per la parte destinata alla ricerca, i fondi di competenza del MUR (ad esempio, FFO, FOE, FIRST, FISR ecc.) e le iniziative in ricerca degli altri Ministeri ed enti nazionali.

Questa sinergia dovrebbe spingersi più in profondità fino a creare le condizioni per una maggiore integrazione tra programmi e fondi nazionali e programmi e fondi europei, affinché le iniziative e i progetti di ricerca prioritari per l'Italia, che siano riconoscibili come tali anche in ambito europeo, possano ricevere supporto da entrambe le fonti e visibilità a entrambi i livelli. Il contesto internazionale e, specialmente, quello europeo, rappresentato da Horizon Europe, devono essere riconosciuti come il terreno di gioco naturale per il nostro sistema R&I e, a questo scopo, il PNR conterrà misure per incentivare la realizzazione in ambito europeo delle attività che saranno finanziate. I vantaggi che ne possono risultare non si limitano alla possibilità di ottenere una compartecipazione al finanziamento delle attività R&I. Altrettanto importanti sono i benefici intrinseci della ricerca collaborativa, in particolare quelli derivanti dalla condivisione dei risultati e dal confronto con i sistemi nazionali R&I degli altri Paesi.

Nel complesso, le azioni del PNR 2021-27, sostenute dalle risorse nazionali ed europee, dovranno permettere alla ricerca di compiere la propria missione, cioè consolidare i punti di forza del sistema nazionale, mitigarne i punti di debolezza, promuoverne il ruolo all'interno dello Spazio europeo della ricerca (SER) per assicurare al Paese il ruolo che gli compete. La deframmentazione delle risorse accrescerà l'efficienza e l'efficacia della spesa e consentire l'incentivazione delle buone pratiche, così da innescare un feedback positivo tra risultati e risorse e aumentare la competitività del sistema italiano della ricerca e la sua l'attrattività per i talenti migliori.

Il sistema italiano dell'alta formazione, che già esprime produce ottimi talenti per la ricerca, integrato nelle reti internazionali e nello Spazio europeo dell'alta formazione, potrà accogliere più facilmente ulteriori talenti che contribuiscano a mantenere i risultati nel tempo. In questo modo, il PNR 2021-27 fornirà un contributo decisivo a bilanciare la circolazione di risorse umane qualificate intervenendo sull'attuale situazione che vede unidirezionalità dall'Italia verso l'estero.

3.4.2 Il Green Deal nel PNR 2021-27

Il PNR 2021-27 contribuisce agli obiettivi del Green Deal europeo (GD), condividendone principi e finalità.

Il Green Deal europeo è la nuova strategia di crescita mirata a trasformare l'Unione Europea (UE) in una società giusta e prospera, dotata di un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva che nel 2050 non genererà emissioni nette di gas a effetto serra e in cui la crescita economica sarà dissociata dall'uso delle risorse. Tale strategia mira a proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale dell'UE e a preservare la salute e il benessere dei cittadini dai rischi di natura ambientale. Questa transizione sarà equa e inclusiva, coinvolgendo attivamente i cittadini, le autorità nazionali, regionali, locali, la società civile e l'industria in stretta collaborazione con le istituzioni e gli organi consultivi dell'UE in modo che le politiche possano funzionare e siano accettate.

Il Green Deal europeo è stato presentato l'11 dicembre 2019[31] come primo atto della nuova Commissione e quale parte integrante di una strategia europea per attuare l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, dichiarando le sfide ambientali e climatiche come il compito che definisce la nostra generazione. Nell'ambito del Green Deal la Commissione Europea riorienta il processo di coordinamento macroeconomico del semestre europeo per integrarvi gli Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (SDG), al fine di porre la sostenibilità e il benessere dei cittadini al centro della politica economica.

Il Green Deal europeo prevede un piano d'azione volto a ripristinare la biodiversità, a ridurre l'inquinamento e a promuovere l'uso efficiente delle risorse passando a un'economia pulita e circolare. Esso si articola in otto Obiettivi Tematici (OT):

OT1. Rendere più ambiziosi gli obiettivi dell'UE in materia di clima per il 2030 e il 2050;

OT2. Garantire l'approvvigionamento di energia pulita, economica e sicura;

OT3. Mobilitare l'industria per un'economia pulita e circolare;

OT4. Costruire e ristrutturare in modo efficiente sotto il profilo energetico e delle risorse;

OT5. Accelerare la transizione verso una mobilità sostenibile e intelligente;

OT6. "Dal produttore al consumatore": un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente;

OT7. Preservare e ripristinare gli ecosistemi e la biodiversità;

OT8. Obiettivo "inquinamento zero2 per un ambiente privo di sostanze tossiche.

Tutti i sei grandi ambiti di ricerca e innovazione trattati nel PNR stabiliscono connessioni con i suddetti obiettivi del Green Deal europeo. Alcuni lo fanno in maniera meno esplicita, altri in maniera più esplicita evidenziando il contributo ai target qualitativi o, laddove presenti, quantitativi. A titolo di esempio si riporta di seguito una sintesi delle connessioni più rappresentative tra i grandi ambiti di ricerca e innovazione del PNR 2021-27 e il Green Deal europeo.

1. Salute. Gli obiettivi del PNR sono focalizzati a migliorare la capacità diagnostica, lo sviluppo di tecnologie sanitarie efficaci e innovative, incluse le tecnologie digitali, assieme allo sviluppo di nuovi approcci diagnostici e terapeutici e l'identificazione dei fattori di rischio per infertilità. Tali finalità richiamano alcuni degli obiettivi del GD, di cui OT8 e OT3 sono i più evidenti.

2. Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione. L'obiettivo prioritario è l'investimento nello sviluppo e nella valorizzazione del patrimonio culturale, storico e creativo del Paese, e la riduzione delle disuguaglianze sociali ed economiche. Esso si focalizza principalmente sui processi di "transizione giusta", andando a toccare alcuni degli obiettivi più spiccatamente ambientali del GD (OT1, OT4) in alcune delle articolazioni.

3. Sicurezza per i sistemi sociali. La pressione crescente delle attività antropiche e l'intensificarsi dei cambiamenti climatici si traducono in una maggiore frequenza di disastri ambientali e in un maggiore rischio di impatto su strutture, infrastrutture e sistemi naturali. Il PNR sviluppa queste connessioni promuovendo linee di ricerca a sostegno della resilienza di strutture e per lo sviluppo di metodi e tecnologie per il monitoraggio e la prevenzione dei rischi. Inoltre, la transizione energetica da combustibili tradizionali alle fonti rinnovabili richiede la realizzazione di impianti sostitutivi e infrastrutture innovative che pongono nuove sfide di ricerca per garantire sicurezza ed efficienza. Su questi aspetti, questo grande ambito di ricerca e innovazione fornisce un contributo e una connessione chiara con l'OT4 del GD.

4. Digitale, industria, aerospazio. Questo grande ambito di ricerca e innovazione sviluppa connessioni articolate con il GD in quanto contribuisce agli obiettivi di società più inclusive, resilienti e sostenibili, promuovendo la transizione verde e la trasformazione digitale attraverso lo sviluppo tecnologico e industriale (OT3, OT5). Il PNR fa riferimento ai testi programmatici emanati dal governo italiano per recepire quanto previsto dal GD e dall'Agenda 2030 (Programmazione della politica di coesione 2021-2027 e Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile), nei quali la

[31] COM(2019) 640 final, Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni "Il Green Deal europeo".

transizione digitale e lo sviluppo tecnologico sono considerati obiettivi strategici per garantire un progresso economico, sociale e tecnologico in armonia con la natura.

5. Clima, energia e mobilità sostenibile. Tutti gli argomenti trattati hanno una forte connessione con i temi del GD. In particolare, assumono grande rilevanza gli obiettivi OT1, OT3, OT4, OT5.

6. Prodotti alimentari, bioeconomia, risorse naturali, agricoltura, ambiente. Gran parte degli obiettivi GD sono coperti dalle priorità da questo grande ambito di ricerca e innovazione, in particolare sono maggiormente rappresentati gli obiettivi OT1, OT7, OT3, OT6.

Complessivamente, il PNR può fornire un contributo rilevante alla transizione ecologica in cui la conservazione del capitale naturale, della biodiversità e dei processi che da essa dipendono e da cui dipende la vita sul pianeta, diventa una condizione necessaria e trasversale al perseguimento degli obiettivi di prosperità e benessere identificati dal Green Deal europeo. Questo cambio di paradigma vede l'ambiente come bene primario, la cui conservazione è funzionale alla sfida di una crescita sostenibile. Perseguire questa visione richiede linee di ricerca trasversali volte a valutare l'impatto che gli interventi di innovazione necessari per raggiungere gli obiettivi del Green Deal europeo potrebbero avere sul funzionamento degli ecosistemi. Associare studi di impatto ecologico alle azioni proposte nelle varie aree d'intervento del PNR, laddove pertinente, è dirimente per assicurare la coerenza tra il PNR 2021-27 stesso e gli obiettivi del Green Deal europeo.

3.5 I NUOVI APPROCCI DELLA RICERCA

I governi di tutto il mondo, sia dei Paesi sviluppati sia di quelli in via di sviluppo, si trovano ad affrontare crescenti sfide che determineranno in larga misura la vita e il benessere delle persone negli anni a venire. Le attività di ricerca e innovazione sono chiamate a contribuire in modo significativo agli sforzi per fronteggiarle, ad esempio trovando nuove soluzioni per ridurre le emissioni di CO_2, migliorare la salute e l'assistenza sanitaria o mitigando gli effetti negativi dell'urbanizzazione.

I 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite sono diventati in molti Paesi il quadro politico di riferimento per affrontare le sfide globali. Forniscono chiare indicazioni per guidare il cambiamento e stanno progressivamente plasmando l'agenda della politica di ricerca e innovazione. La traduzione di questi cambiamenti di orientamento strategico in azioni politiche efficaci è però un processo lento poiché comporta una riallocazione significativa delle risorse e la necessità di profonde riforme politiche. Per questo motivo nell'ultimo decennio un certo numero di organi di governo ha sviluppato, o riorientato, le proprie politiche della scienza, tecnologia e innovazione per rispondere più efficacemente a specifiche esigenze della società. I progressi nelle energie rinnovabili, ad esempio tecnologie per l'energia eolica e solare, in cui gli sforzi sono iniziati molto prima, dimostrano che gli investimenti sostenuti sono stati ripagati.

Le odierne sfide sollevano questioni scientifiche, tecnologiche e socioeconomiche multiformi e complesse la cui soluzione richiede il contributo di discipline e settori diversi. Interessano, in alcuni casi, aree in cui non esiste ancora un'economia di mercato e richiedono un intervento che si sviluppi lungo l'intera catena del valore dell'innovazione, con ripetuti cicli di feedback tra queste fasi man mano che le soluzioni vengono realizzate, provate e migliorate. Inoltre, quando si affrontano questioni come l'emergenza pandemica o l'invecchiamento della popolazione, le innovazioni devono essere integrate e coordinate in una serie più ampia di trasformazioni sociali, economiche e politiche sostenibili nel lungo periodo.

Ciò richiede che l'innovazione non segua più un modello lineare di azioni isolate e predefinite, ma sia il risultato di un complesso processo di co-creazione che coinvolga lo scambio di conoscenza e tecnologia nell'intero spettro degli attori coinvolti (alta formazione e ricerca, industria, governo e cittadini). Due sono gli elementi di novità introdotti dal PNR 2021-27. In primo luogo, la creazione di ecosistemi dell'innovazione, luoghi di contaminazione dove sia evidente ed esplicita la funzione propositiva e dinamica della ricerca in connessione alle esigenze della società. In secondo luogo, l'introduzione di politiche di ricerca e innovazione orientate alle Missioni per affrontare sfide cogenti tramite azioni che

siano coordinate tra organi governativi multilivello, condivise con i portatori d'interesse e i cittadini e dirette al raggiungimento di obiettivi "concreti, misurabili e fattibili"[32].

3.5.1 Scienza aperta, innovazione aperta e società

Scienza aperta, innovazione aperta e società sono interconnesse. La condivisione dei risultati della ricerca, la libera circolazione delle conoscenze e la trasparenza nella metodologia (scienza aperta) fanno da volano per l'innovazione. Nello stesso tempo, l'innovazione contribuisce a migliorare la qualità e la produzione della ricerca. Mettendo insieme risorse, capacità e competenze complementari, la scienza aperta e l'innovazione aperta aumentano l'efficacia delle risposte ai bisogni della società, anche in termini di sostenibilità. I cittadini, infatti, sono parte integrante degli ecosistemi d'innovazione. A seconda della fase di sviluppo, i cittadini possono partecipare attivamente con l'espressione dei bisogni, come portatori di idee, co-creatori, sperimentatori, utenti finali e acquirenti. Il loro coinvolgimento aumenta il successo dell'innovazione e riduce il *time-to-market* di prodotti e servizi[33]. Allo stesso tempo, l'apertura alla partecipazione della società[34] garantisce la migliore corrispondenza possibile tra i risultati potenziali che la scienza ha da offrire e le esigenze, i valori e le aspirazioni dei cittadini, aumentando contestualmente la fiducia nella scienza[35].

L'accesso aperto ai risultati della ricerca in modalità FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*), una parte essenziale della scienza aperta, è il trampolino di lancio per maggiori opportunità di innovazione. Un migliore accesso ai dati della ricerca presenta numerosi vantaggi, quali ad esempio meno duplicazioni e migliore riproducibilità dei risultati della ricerca, ma introduce anche criticità significative, come l'alta intensità di dati e big data e i relativi costi, inclusa la necessità di proteggere la privacy e la sicurezza e prevenire usi fraudolenti, non ottemperanti ai principi dell'integrità della ricerca. Il Piano nazionale per la scienza aperta, previsto dal PNR 2021-27 (cfr. cap. 6.2), approfondisce la complessità di queste tematiche, proponendo linee strategiche per il sistema Paese in allineamento con l'iniziativa EOSC (*European Open Science Cloud*)[36].

La scienza aperta da sola, però, non garantisce automaticamente che i risultati della ricerca e le conoscenze siano commercializzati o trasformati in valore socioeconomico. Affinché ciò avvenga, l'innovazione aperta deve aiutare a connettere e sfruttare i risultati della scienza aperta e facilitare la traduzione tempestiva delle scoperte in uso sociale e valore economico[37]. È da sottolineare che l'innovazione aperta e la protezione della proprietà intellettuale non sono concetti che si escludono a vicenda. L'applicazione delle strategie di innovazione aperta richiede che gli attori adottino un approccio consapevole nella gestione della proprietà intellettuale e della conoscenza, che tenga conto delle diverse opzioni nell'intero spettro di protezione e sfruttamento dei diritti di proprietà intellettuale. L'enfasi posta dall'innovazione aperta su partecipazione, condivisione, collaborazione, coinvolgimento, è finalizzata a soddisfare bisogni attuali, anticipare esigenze future e generare una dinamica di innovazione che non può essere raggiunta con i metodi tradizionali[38].

Gli ecosistemi dell'innovazione contribuiscono a questo obiettivo in quanto luoghi fisici o virtuali, anche collegati in rete, dove si concretizza l'innovazione aperta tramite didattica innovativa (ad esempio le *academies*), laboratori multidisciplinari in collaborazione con il settore pubblico e privato, spazi innovativi misti per ospitare imprese

---

[32] MAZZUCATO M. (2018), *Mission-Oriented Research and Innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[33] ERAC Standing Working Group on Open Science and Innovation (2018), Draft-Opinion on Open Innovation.
[34] General Secretariat of the Council (2016), Council conclusions on the transition towards an Open Science system, adopted on 27 May 2016.
[35] EC DG RTD (2016), *Open Innovation, Open Science, Open to the World – a vision for Europe*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[36] https://www.eosc-portal.eu, consultato il 15 /11/2020.
[37] CHESBROUGH H. (2015), *From Open Science to Open Innovation*. Science Business Publishing, Brussels.
[38] ERAC Standing Working Group on Open Science and Innovation (2018), Draft-Opinion on Open Innovation.

innovative e startup, luoghi per la contaminazione con il territorio, inclusi gli operatori del terzo settore. Gli ecosistemi dell'innovazione sono, infatti, funzionali all'interazione fra diversi portatori di interesse (imprese, enti di ricerca, atenei, terzo settore e PA) in uno scambio che supera i confini tra organizzazioni, settori, discipline e comunità e che rafforza e integra le diverse competenze[39]. L'accesso ai laboratori e alle infrastrutture di atenei ed enti di ricerca, dotati di strumentazioni all'avanguardia, da parte di utenti esterni all'accademia permette una collaborazione diretta che facilita le attività di innovazione. Università ed enti di ricerca fungono da fonte di conoscenza e potenziali partner di sviluppo. Ricerca di base (basso TRL) e ricerca applicata (alto TRL) contribuiscono entrambe all'innovazione aperta, seppure l'enfasi è posta sullo sviluppo tecnologico e sulla ricerca applicata, che ha tempi più brevi di trasferimento. L'accesso aperto pone, dunque, la ricerca al centro del sistema economico, dando vantaggio a quelle imprese che ne sono consapevoli e la utilizzano per innovare. In aggiunta, nel contesto degli ecosistemi dell'innovazione, l'eliminazione delle barriere e dei ritardi presenti nelle modalità di trasferimento e appropriazione delle conoscenze aiuta a concretizzare il vantaggio competitivo del sistema produttivo dei territori in cui insistono.

Alla dimensione dell'innovazione tecnologica e industriale orientata al mercato va aggiunta la dimensione sociale e culturale che, nel sistema nazionale, viene perseguita tramite iniziative di *terza missione* volte a consolidare la sinergia tra scienza, tecnologia, cultura, arte e territori. L'innovazione, infatti, non è solo un imperativo per il mercato, ma rappresenta anche un valore aggiunto per il progresso attraverso la creazione di nuove conoscenze, la sensibilizzazione e la mobilitazione delle comunità, la formazione e lo sviluppo di competenze qualificate. L'innovazione aperta considera, dunque, anche l'impatto sulla società e affianca alla valutazione dei livelli di maturità tecnologica (TRL-*Technology Readiness Levels*) quella dei livelli di maturità sociale (SRL-*Societal Readiness Levels*).

Ruolo importante nel sistema aperto degli ecosistemi dell'innovazione è ricoperto dall'alta formazione, che produce competenze, idee e sviluppo in rapporto sinergico e sistemico con le realtà di impresa di grandi e piccole dimensioni. Lo sviluppo di nuove competenze per gestire i processi di innovazione e dottorati che siano in linea con le esigenze dell'industria agevolano la valorizzazione e diffusione dei risultati all'esterno delle accademie e degli enti di ricerca e creano prospettive di lavoro per le professionalità formate.

Il PNR 2021-27, oltre a intervenire per arricchire e integrare il sistema italiano della ricerca con la creazione di nuovi ecosistemi dell'innovazione e il potenziamento dei poli esistenti, considera il modello delle KIC (*Knowledge and Innovation Communities*) dello EIT (*European Institute of Innovation and Technology*), che si basa sul triangolo della conoscenza, un'opportunità per favorire la collaborazione a livello europeo dei sistemi regionali di innovazione aperti.

3.5.2 Le politiche di ricerca e innovazione orientate alle Missioni

L'espressione *Mission-Oriented Research and Innovation Policy* (MOIP), politiche di ricerca e innovazione orientate alle Missioni, indica, sfruttando un concetto esistente, l'approccio politico che mira a orientare e coordinare gli interventi pubblici al fine di raggiungere obiettivi sociali ambiziosi. Nello studio dell'OCSE dedicato alle "nuove politiche di ricerca e innovazione orientate alle Missioni", le MOIP sono state definite come "un pacchetto coordinato di misure di politica di ricerca e innovazione che mirano ad affrontare le sfide della società. Auspicabilmente, queste misure devono abbracciare le diverse fasi del ciclo di innovazione, dalla ricerca alla dimostrazione attraverso vari settori e ambiti scientifici, e sono attuate al fine di raggiungere obiettivi ambiziosi e concreti in un periodo di tempo definito"[40].

L'aggettivo "nuove" sta a dimostrare il rinnovato interesse per le MOIP che prende ad esempio la missione tecnologica che ha portato alla fine degli anni 60 del secolo scorso il primo uomo sulla Luna e che ora guarda con interesse alla *Energiewende* (rivoluzione energetica), l'iniziativa che in Germania affronta l'importante sfida sociale della riduzione delle emissioni di carbonio (una causa chiave del cambiamento climatico), compatibilmente con l'obiettivo prefissato dell'uscita della Germania dalla produzione di energia nucleare entro il 2022. La *Energiewende* prevede la sinergia di iniziative politiche, investimenti e legislazione riassunte in una semplice idea che rende chiaro ai cittadini tedeschi come il loro governo, scienziati e imprese stiano lavorando per rendere la loro società libera dalla dipendenza dai combustibili

[39] *Ibid.*
[40] OECD, *Design and implementation of mission-oriented innovation policies*, https://community.oecd.org/community/cstp/mission-oriented-policies, consultato il 15/11/2020.

fossili e dal nucleare. È quest'ultimo l'aspetto che caratterizza maggiormente le "nuove" politiche orientate alla Missione.

Le Missioni possono proporre una nuova narrazione delle iniziative della politica e del ruolo della ricerca. Si tratta di ambire a scoperte che sono necessarie per risolvere alcune delle questioni più urgenti per la nostra società e garantire che i cittadini possano vedere chiaramente i benefici che la ricerca e l'innovazione apportano alle loro vite e comunità. Allo stesso tempo, le MOIP introducono un approccio allo sviluppo delle politiche della ricerca e dell'innovazione che sposta l'attenzione dalla quantità, o dal tasso di innovazione (ad esempio, numero di brevetti e posti di lavoro) verso la qualità e la direzione delle innovazioni.

Vale la pena di chiarire ulteriormente che nella logica delle politiche orientate alle Missioni la ricerca è uno degli elementi funzionali che insieme ad altri, in alcuni casi altrettanto determinanti, consente all'azione innovatrice di dispiegarsi e raggiungere l'obiettivo. Non si tratta, quindi, di politiche *per* ma *con* il sistema della ricerca che chiamano la ricerca pubblica e privata a mettere in campo le sue competenze e capacità per innescare un'azione innovatrice, che deve poi diventare più ampia e profonda. Ciononostante, le MOIP sollecitano il mondo della R&I ad attivarsi, esplorando idee innovative, anche orientate alla messa a punto di materiali, tecnologie e soluzioni oggi non disponibili e che potrebbero essere fondamentali per gli obiettivi della Missione, ma anche per altre applicazioni che in quel momento potrebbero non essere immaginabili.

È evidente che in Europa, e di riflesso nel nostro Paese, la discussione sulle MOIP ha ricevuto un forte impulso dopo che le Missioni sono state introdotte nella discussione su Horizon Europe come elemento di novità contenuto nella proposta della Commissione Europea. Alle Missioni sarà attribuito il compito di trovare soluzione ad alcune urgenti criticità nell'ambito più ampio delle attuali sfide della società.

4. LE PRIORITÀ DI SISTEMA

4.1 SOSTENERE LA CRESCITA DIFFUSA E INCLUSIVA DEL SISTEMA DELLA RICERCA

Ridurre le disuguaglianze, contrastare l'esclusione sociale e abbattere le barriere della disparità sono considerati obiettivi chiave per una ricerca sostenibile e inclusiva, orientata a generare modelli virtuosi di crescita e sviluppo nel nostro Paese. Il sistema della ricerca, in altri termini, deve contaminarsi sempre di più con la società e influenzarne a propria volta gli orizzonti di sviluppo. In quest'ottica, la promozione di un sistema della ricerca che contrasti qualsiasi forma di discriminazione e di disuguaglianza, e che abbia allo stesso tempo una visione coerente sulle direzioni strategiche da intraprendere, costituisce un elemento portante delle politiche a favore della ricerca e dell'innovazione.

La ricerca e l'innovazione costituiscono oggi più che mai una sfida complessa, tale da richiedere una forte integrazione delle conoscenze tra i vari settori. Un approccio integrato, caratterizzato da studi e osservazioni condotte da molteplici prospettive, costituisce, quindi, un valore aggiunto per lo sviluppo di una società sostenibile, inclusiva e tecnologica guidata dalla conoscenza. A fianco della valorizzazione delle competenze in ambiti strategici della ricerca nazionale, appare chiara la necessità di stimolare e favorire percorsi trasversali ai vari settori della ricerca, attraverso il sostegno a progetti interdisciplinari, tali da favorire il vantaggio competitivo attraverso il bilanciamento tra *exploration* ed *exploitation*, ossia tra l'esplorazione di modelli innovativi e lo sfruttamento al meglio delle risorse e delle competenze, in termini di tecnologie e capitale umano.

Dal punto di vista territoriale, l'Italia sconta innanzitutto l'annosa disparità tra Nord e Sud che determina una velocità diversificata. Secondo i dati diffusi dalla Commissione Europea nella Relazione per Paese relativa all'Italia 2020[41], la spesa in ricerca e sviluppo rimane bassa e fortemente disomogenea tra le varie regioni italiane, con forti disparità in

[41] SWD(2020) 511 final, Relazione per Paese relativa all'Italia 2020.

termini di investimenti pubblici e privati tra Regioni del Centro-Nord e Regioni del Sud. Questa carenza di investimenti ha, inoltre, un immediato riflesso sulla qualità delle infrastrutture e sull'occupazione nel settore della ricerca e dell'innovazione nelle varie Regioni, con conseguenze sulle loro potenzialità di crescita e sviluppo.

Ad acuire queste disparità regionali concorre l'intensificarsi di un ulteriore divario centro-periferia, anche all'interno di un medesimo contesto regionale, tra le aree metropolitane e le aree interne: le prime in grado di attrarre sempre più cittadini e caratterizzate da un'importante offerta di servizi essenziali quali istruzione, salute e mobilità; le seconde contraddistinte da una intrinseca carenza di servizi e protagoniste di un lungo e progressivo abbandono[42]. Interventi mirati a favore del capitale umano, della ricerca e dell'innovazione in queste aree possono rappresentare un potenziale volano di crescita, capace di creare innovativi percorsi di sviluppo e favorire la creazione di nuove competenze. In quest'ottica, la ricerca può rappresentare, quindi, una leva capace di innescare processi virtuosi di inclusione, in bilanciamento al modello territoriale policentrico che attualmente caratterizza lo sviluppo economico del nostro Paese. Il sostegno a infrastrutture, attrezzature e laboratori sperimentali può, ad esempio, costituire un motore di sviluppo capace di migliorare la competizione e il posizionamento delle strutture più svantaggiate.

La riduzione delle disuguaglianze e delle disparità, tuttavia, non passa soltanto attraverso il rafforzamento della qualità dei sistemi di ricerca e innovazione in queste aree territoriali. Al suo fianco, infatti, è necessario stimolare l'apertura e la connettività dei sistemi di ricerca, incoraggiando collaborazioni nazionali e internazionali, in linea con gli obiettivi di costruzione di uno Spazio europeo della ricerca, di cui queste aree devono diventare parte integrante e attiva[43].

In questo senso, si farà leva sulle peculiarità dei sistemi di ricerca dei diversi territori per promuovere forme di collaborazione più ampie e orientate allo sviluppo sinergico, anche in chiave interdisciplinare e trasversale, in modo da massimizzare il loro impatto sociale. Gli interventi a favore della ricerca, ponendosi in continuità con le traiettorie di sviluppo considerate strategiche, non si limiteranno a settori specifici e daranno luogo a potenziali opportunità di crescita anche in ambiti complementari, ottimizzando l'impatto dei finanziamenti[44].

Allo stesso tempo, in linea con gli obiettivi di costruzione di uno Spazio europeo per la ricerca[45], gli interventi devono essere totalmente inclusivi e collaborativi, capaci di abbattere le disuguaglianze e le frammentazioni, contribuendo alla realizzazione di un circolo dinamico della conoscenza. In particolare, gli interventi devono favorire le collaborazioni tra settore pubblico e privato, stimolare le interazioni tra ricercatori, istituzioni e cittadini, promuovere la qualità della ricerca e la libera circolazione della conoscenza. Inoltre, i ricercatori devono saper rispondere ai bisogni della società, ispirare innovazioni e favorire cambiamenti che possano guidare la competitività, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi strategici più ampi delineati a livello europeo, nonché degli obiettivi dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile approvata dall'ONU[46]. La definizione delle politiche deve, infine, porsi in piena sinergia con le diverse iniziative nazionali, europee e internazionali sui temi relativi a istruzione, ricerca e innovazione, il cui impatto sulla società deve essere evidenziato attraverso attività di comunicazione e di valorizzazione dei risultati della ricerca. Essenziali, a questo proposito, appaiono le attività di apertura della ricerca al contesto socioeconomico, mediante attività di divulgazione, valorizzazione e trasferimento delle conoscenze, in modo da accrescere la consapevolezza dei cittadini e promuovere l'importanza del metodo scientifico a livello sociale, anche tramite lo sviluppo di innovativi modelli di comunicazione e disseminazione dei risultati.

L'apertura e la diffusione della ricerca sono favorite anche dalla condivisione dei dati attraverso la scienza aperta, capace di migliorare la risposta della scienza ai bisogni sociali. Ciò è oggi reso possibile dall'infrastruttura cloud per la scienza

---

42 Agenzia per la coesione territoriale (2015), Strategia nazionale per le aree interne (SNAI).
43 Sull'esigenza di sviluppare un quadro di riferimento europeo in grado di omogeneizzare le progressioni di carriera dei ricercatori, incoraggiare ovunque la mobilità, riflettere sulle politiche a valenza trasversale che incidono anche sul mondo scientifico e promuovere un dialogo fattivo scienza-industria, si veda la ERAC Opinion on the future of the ERA, adottata dall'assemblea plenaria dello ERAC il 17 dicembre 2019.
44 FORAY D. (2018), *Smart specialization strategies as a case of mission-oriented policy—a case study on the emergence of new policy practices,* in "Industrial and Corporate Change", vol. 27, issue 5, pp. 817-832.
45 European Research Area and Innovation Committee/ERAC Secretariat 1201/20 (2020), ERAC Opinion on the future of the ERA, adottata dall'assemblea plenaria dello ERAC il 17 dicembre 2019.
46 ONU (2015), Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, General Assembly of the United Nations, ottobre 2015 (A/RES/70/1).

aperta EOSC (*European Open Science Cloud*), che si pone come innovativo anello di collegamento tra i centri di ricerca europei e contribuirà alla diffusione delle conoscenze e alla disseminazione dei dati prodotti della ricerca in tutta Europa, stimolando la competitività e l'innovazione senza barriere in tutto il continente.

Particolare attenzione deve essere dedicata all'uguaglianza di genere. Secondo l'ultimo rapporto *She Figures* della Commissione Europea[47], malgrado alcuni progressi raggiunti negli ultimi anni, importanti disuguaglianze di genere persistono a livello europeo e italiano nel mondo della ricerca scientifica, soprattutto nelle posizioni apicali delle istituzioni di ricerca. L'uguaglianza di genere nella ricerca è fortemente sostenuta dalla Commissione Europea la quale, nella Strategia per la parità di genere 2020-2025[48], definisce un piano normativo sulla parità di genere, con direttive vincolanti che si applicano a tutto il mercato del lavoro, incluso il settore della ricerca scientifica. La continuità e la sinergia delle politiche nazionali con le azioni intraprese a livello europeo devono costituire la base di una maggiore apertura e uguaglianza nel settore della ricerca e dell'innovazione, il quale deve saper favorire il superamento degli stereotipi e il bilanciamento di genere in tutti i campi disciplinari, soprattutto quelli in cui la presenza femminile è ancora sottorappresentata, come le scienze, la tecnologia, l'ingegneria e la matematica (STEM).

4.2 CONSOLIDARE LA RICERCA FONDAMENTALE

Il rapporto tra la ricerca e le sue conseguenze non è lineare: la ricerca è strutturalmente indipendente dalle sue conclusioni e il percorso è altrettanto importante della meta. Nonostante ciò, le ricercatrici e i ricercatori sono consapevoli del loro ruolo attivo nella società, mirano a sviluppare appieno la teoria tramite i propri studi e hanno tutte le potenzialità per applicare in modo efficiente la ricerca di base in contesti diversi, traendo spunto dagli input provenienti dal tessuto socioeconomico e perseguendo il fine della conoscenza.

La curiosità, il metodo scientifico, la dinamica dell'immaginazione che teorizza e del senso critico che sperimenta, il sistema di controlli incrociati che la comunità scientifica deve attivare di fronte alle nuove scoperte operate dai suoi membri, sono elementi di un'epistemologia vivente che non si spiega con le ricadute che l'insieme di tutto questo produce nella tecnologia, nella vita sociale, nell'economia. In realtà, la ricerca coltiva in ogni suo passaggio una sua dimensione dedicata alla pura generazione di nuova conoscenza: altrimenti non è ricerca. La distinzione tra ricerca fondamentale e applicata si pone soprattutto per generare un consapevole equilibrio tra le due dimensioni: semplicemente descrive le due facce simbiotiche della ricerca che non possono vivere l'una senza l'altra. Qualunque pregiudizio efficientista come qualunque snobismo purista che divida artificiosamente la scienza fondamentale da quella applicata è una forzatura e un impoverimento culturale che desertifica la dinamica della conoscenza e separa la scienza dalla società.

Per stabilire e mantenere questi equilibri, un'azione fondamentale è la cura della formazione: perseguire la relazione tra la ricerca e l'educazione è necessario per generare nella popolazione la capacità di produrre ricercatrici e ricercatori e di identificarne il valore. Il riconoscimento generale del valore culturale della scienza discende oltre che dagli evidenti effetti sulla società, dalla capacità di comprendere la sua sfida alle convenzioni e alle verità date per assodate.

Per sottolineare l'importanza della ricerca fondamentale per un Paese, ricordiamo il grande fisico Robert Wilson, che nel 1969 di fronte ad un senatore americano che insistentemente chiedeva quali fossero le applicazioni della costruzione dell'acceleratore al Fermilab, vicino Chicago, in particolare se fosse utile militarmente per difendere il Paese, gli risponde "il suo valore sta nell'amore per la cultura: è come la pittura, la scultura, la poesia, come tutte quelle attività di cui gli americani sono patriotticamente fieri; non serve per difendere il nostro Paese ma fa che valga la pena difendere il nostro Paese". Così come la geniale scoperta della Fast Fourier Transform (Cooley e Tukey 1965) che fu presentata all'IBM come il primo strumento che permetteva di silenziare il violino in una canzone di Caruso ma permise poi agli Stati Uniti di velocizzare al massimo la potenza di calcolo e andare sulla Luna ed è, ad oggi, uno strumento puramente matematico così efficiente che trova applicazioni non solo nella protezione dei dati bancari ma anche nella costruzione di file mp3 o pdf. Dal punto di vista culturale, la distanza tra scienze umanistiche e scienze matematiche, fisiche e

[47] EC DG RTD (2019), *She Figures 2018*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[48] COM(2020) 152 final. Un'Unione dell'uguaglianza: la strategia per la parità di genere 2020-2025.

naturali scompare. Ne è testimonianza il fatto che la Commissione ricerca dei Lincei si è pronunciata in più occasioni a favore della ricerca di base anche per il settore umanistico.

L'argomento utilizzato in più occasioni è quello della *serendipity*, cioè dell'imprevedibilità del campo di potenziale utilizzo dei risultati della ricerca di base: lo sviluppo del world wide web da parte del Cern, che arriva oggi a permettere la casa domotica.

La ricerca di base si caratterizza per lasciare libertà di scelta di argomenti e motivazioni. Ciò estende lo spettro dei campi di potenziale utilizzo e produce maggior rendimento nel lungo periodo.

Di fronte all'imprevedibilità, *serendipity* e lunga durata servono a strutturare una cognizione strategica del ruolo della ricerca di base nel perseguimento delle priorità che la società decide di darsi.

Il cambiamento imprevedibile si affronta con la flessibilità garantita dalla moltiplicazione delle capacità di risposta, dalle competenze diversificate, dall'ampliamento e dalla solidità della conoscenza di base.

Al livello di formazione universitaria è quindi fondamentale consolidare il metodo scientifico, che di nuovo accomuna le varie discipline (*hard science* e *soft science*, senza dimenticare le *humanities*), ed è indispensabile per sviluppare la capacità di passare dalla ricerca di base alle applicazioni.

Insomma, benché le questioni urgenti attraggano spesso l'attenzione di chi decide, le questioni importanti dovrebbero essere considerate prioritarie: la soluzione si trova pensando e agendo in un'ottica di lungo termine. A quel punto l'esperienza prende il sopravvento sull'apparenza. E si comprende come la ricerca non possa essere eccessivamente finalizzata e l'enfasi ossessiva sulle ricadute immediate sia una follia. È famosa la risposta del fisico Michael Faraday al ministro inglese che gli chiedeva a cosa servissero i suoi esperimenti sull'elettromagnetismo: "Al momento non saprei, disse, ma è assai probabile che in futuro ci metterete una tassa sopra". È chiaro che molti dei bandi attuali sono costruiti per conoscere le applicazioni. Ma nella ricerca autentica non sappiamo prima da dove verranno le applicazioni. La scienza è un enorme puzzle e ogni pezzo che viene messo nel posto giusto apre la possibilità di collocarne altri. In questo gigantesco mosaico, ogni scienziato aggiunge delle tessere, con la consapevolezza di aver dato il suo contributo, e che, quando il suo nome sarà dimenticato, coloro che verranno dopo si arrampicheranno anche sulle sue spalle per vedere più lontano.

L'investimento in ricerca fondamentale della Francia è il 3% del PIL; in Italia 1,35 per la ricerca. Siamo nelle posizioni di coda fra i grandi Paesi. Esiste poi il problema degli scarsi investimenti dell'industria privata in ricerca, anche per il tipo di composizione dell'industria italiana, caratterizzata da una molteplicità di piccole e medie imprese. La scarsa utilizzazione dei dottori di ricerca in campo pubblico e privato è emblematica della poca consapevolezza della società italiana della formazione di alto livello. Il PNR 2021-27 definisce l'impegno del Paese a destinare risorse congrue e non occasionali a favore della ricerca di base per consentire una programmazione pluriennale, al fine di raggiungere solidi e duraturi obiettivi.

4.3 Rafforzare la ricerca interdisciplinare

Sfruttare e far leva sull'interdisciplinarità collaborativa è una priorità fondamentale per le politiche di ricerca e innovazione. Nel contesto della globalizzazione, i governi e le istituzioni internazionali hanno sottolineato l'importanza degli sviluppi scientifici e tecnologici per migliorare la competitività e la domanda di conoscenza delle sfide poste dalle due *twin transitions*, verde e digitale, che trascendono i confini disciplinari e avvicinano la scienza alla tecnologia.

L'innovazione ha luogo in costellazioni collaborative. Il più delle volte, le scoperte scientifiche avvengono al confine delle tradizionali discipline accademiche, determinando una contaminazione positiva di competenze interdisciplinari e nuovi modi di produzione, diffusione e uso della conoscenza. Sebbene alcuni di questi fenomeni derivino dalle dinamiche interne della ricerca e delle comunità epistemiche, la contaminazione fra discipline risponde all'esigenza di trovare soluzioni ai diversi bisogni della società. Oltre alla ricerca *blue-sky*, la ricerca pubblica è sempre più attenta ai problemi del mondo reale. Sulla scia di ciò, il PNR 2021-27 promuove l'apertura delle comunità accademiche di esperti in uno spazio dinamico che coinvolga diversi pubblici e comunità di pratica formate da ricercatori, professionisti, utenti, cittadini e parti interessate: scienza aperta, innovazione aperta e coinvolgimento dei cittadini sono le parole chiave che caratterizzano questa forte tendenza verso una domanda di ricerca orientata dalla partecipazione della società.

La transdisciplinarietà, la multidisciplinarietà e l'interdisciplinarietà aprono la strada verso un'organizzazione di ricerca e una governance più efficaci per sostenere e stimolare l'innovazione. Tuttavia, benché ci siano molti dati e approfondimenti su programmi di ricerca collaborativi, mancano prove empiriche su come attuare al meglio l'interdisciplinarità, sul valore aggiunto che produce e su come superare confini disciplinari ristretti e mettere a fattor comune prospettive e interessi. Il gruppo di esperti europei per le politiche della ricerca e innovazione (RISE) ha osservato che "abbiamo bisogno sia di più interdisciplinarietà sia di più esperimenti organizzativi per portarla avanti e per saperne di più su ciò che la favorisce, su cosa funziona e cosa no"[49].

L'interdisciplinarità serve a riunire diversi approcci scientifici, competenze, metodi e abilità per perseguire e risolvere problemi complessi della vita reale, per padroneggiare una sfida tecnica o per costruire ricerche complesse a più livelli. Inoltre, l'interdisciplinarità serve come strumento, come incubatore per ispirare scoperte scientifiche attraverso lo scambio di idee e la germinazione di sinergie inedite (*serendipity*) per cambiare prospettive di ricerca consolidate, routine e paradigmi.

Le ricerche interdisciplinari comportano anche rischi molto più elevati per le carriere accademiche rispetto alla ricerca che è saldamente basata su discipline tradizionali. Il PNR 2021-27 intende affrontare questa problematica individuando criteri di premialità per progetti di ricerca e di riconoscimento di nuove professionalità e competenze. Allo stesso tempo va notato che l'interdisciplinarità solleva problemi di leadership fra le diverse discipline coinvolte. In questo caso, la soluzione è privilegiare la valutazione dell'impatto sulla società dei prodotti della ricerca collaborativa.

4.4 Garantire la centralità della persona nell'innovazione

La centralità della persona (*human-centric innovation*) è ciò che caratterizza lo sviluppo del potenziale trasformativo dell'innovazione per introdurre nella società elementi nuovi, capaci di innescare cambiamenti positivi e duraturi. Le innovazioni di prodotto o di processo (inteso in senso ampio, compresi cioè i servizi) devono essere finalizzate in primo luogo a trovare soluzioni a esigenze reali dei cittadini e, senza trascurare la sostenibilità nel tempo, devono essere accessibili, inclusive, ed evitare di creare o ampliare disuguaglianze.

La rilevanza del carattere aperto, egualitario e democratico della libertà della ricerca scientifica per il progresso della nostra società è riconosciuta come "diritto universale e bene pubblico"[50]. Tecnologie dirompenti, nuova conoscenza, modelli innovativi di governance e sviluppo devono tradurre in fatti concreti l'esortazione a "non lasciare indietro nessuno"[51]. Fare in modo che le due transizioni gemelle, verde e digitale, avvengano in modo equo (*just transition*) è un obiettivo ambizioso: non esiste una soluzione unica per realizzare l'innovazione trasformativa e assicurarsi che l'intera popolazione ne tragga vantaggio.

L'innovazione dirompente (*disruptive innovation*) non è necessariamente trasformativa. Per essere tale, essa deve risolvere un problema avvertito da ampi strati della popolazione (direzionalità), dev'essere accettata dall'intera società (fiducia e democratizzazione) ed essere sostenibile per l'economia e l'ambiente (sostenibilità) al fine di stimolare cambiamenti per il benessere economico-sociale dei cittadini e per l'ambiente, secondo il paradigma *people-planet-prosperity*[52].

Lo sviluppo del potenziale trasformativo dell'innovazione richiede un'effettiva convergenza tra conoscenza, innovazione tecnologica e innovazione sociale, attraverso processi iterativi nei quali tecnologia e società si influenzino positivamente a vicenda. In questo contesto, sono decisivi il ruolo delle scienze sociali e umane e l'introduzione,

---

[49] ALLMENDINGDER J. (2015), *Quests for interdisciplinarity: A challenge for the ERA and HORIZON 2020: Policy Brief by the Research, Innovation, and Science Policy Experts (RISE)*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

[50] Bonn Declaration on Freedom of Scientific Research. Adopted at the Ministerial Conference on the European Research Area on 20 October 2020 in Bonn.

[51] ONU (2018), Leaving no one behind. Rapporto del Committee for Development Policy delle Nazioni Unite, Rapporti Ufficiali dell'Economic and Social Council, suppl. n. 13 (E/2018/33).

[52] ONU (2015), Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, General Assembly of the United Nations, ottobre 2015 (A/RES/70/1).

accanto al concetto di *Technology Readiness Level* (TRL), di quello di *Societal Readiness Level* (SRL) per verificare l'incidenza dell'innovazione sulla crescita economica, sulla soluzione di problemi e sull'avanzamento culturale della società. Al centro dei processi va posta la persona, il che richiede un'assunzione di responsabilità nelle attività di ricerca e innovazione (RRI-*Responsible Research and Innovation*).

Per concretizzarsi, il potenziale trasformativo dell'innovazione non può essere lasciato al caso. Per questa ragione, le linee d'intervento del PNR 2021-27 mettono l'accento sulla direzionalità dell'innovazione (*mission-oriented R&I*), sul coinvolgimento dei cittadini (*citizen science* e *citizen engagement*) e sul trasferimento di conoscenza e di competenze a favore della competitività del sistema produttivo e dell'interesse pubblico (ad esempio, servizi della pubblica amministrazione, trasporti, istruzione). L'approccio *mission-oriented* adottato dal PNR 2021-27, sulla base della riflessione in corso a livello europeo e globale[53], troverà attuazione in corso d'opera attraverso la formulazione di Missioni specifiche per rispondere alle sfide più urgenti per il nostro Paese con il coinvolgimento dei Ministeri competenti e dei portatori di interesse. La partecipazione di portatori d'interesse esterni alla comunità scientifica (cittadini, organizzazioni della società civile, enti pubblici e privati) arricchisce la ricerca di nuove idee, anticipa il cambiamento e genera innovazione, che a sua volta crea nuove catene di valore, con ricadute positive per le economie regionali e le aree locali. Nelle iniziative di *citizen science*, i cittadini vengono coinvolti fin dall'inizio in processi partecipativi di co-creazione. La percezione delle persone è, infatti, un fattore chiave del cambiamento e, quando positiva, consolida nei cittadini la fiducia nei confronti di ciò che la ricerca e l'innovazione possono fare per loro, prerequisito per l'adozione di prodotti, processi e servizi dell'innovazione. Per quanto riguarda il trasferimento di conoscenza e competenze tra il sistema della ricerca (università, EPR) e il sistema produttivo (pubblico e privato), il PNR 2021-27 si muove nella direzione di stimolare la domanda e l'adozione d'innovazione, anche in sinergia con altri Ministeri (ad esempio, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero della Salute).

Nel panorama delle innovazioni trasformative, per esempio, l'Intelligenza artificiale (IA) merita un'attenzione particolare per il ritmo e la portata del cambiamento che produce. L'IA offre potenzialità trasformative senza precedenti per il progresso umano e il miglioramento della nostra quotidianità: si pensi all'utilizzo di algoritmi di *machine learning* in grado di elaborare enormi quantità di dati (big data) per la prevenzione e/o la diagnosi precoce di malattie, per la previsione di eventi meteorologici estremi, per l'agricoltura di precisione, per la sicurezza della navigazione marittima o aerea ecc. Si tratta di cambiamenti che, al tempo stesso, sollevano importanti questioni giuridiche ed etiche (il rispetto della privacy, dei diritti di proprietà intellettuale, delle specificità culturali e identitarie) e che propongono sfide urgenti per la società, quali il futuro del lavoro, l'interazione uomo-macchina e il divario digitale. Nel PNR 2021-27, l'area d'intervento "Intelligenza artificiale" è dedicata all'approfondimento della complessità di queste sfide, trattate prendendo in considerazione sia la Strategia nazionale per l'intelligenza artificiale[54], coordinata dal Ministero dello Sviluppo Economico, sia gli orientamenti europei sul tema[55].

A sua volta, l'IA è parte di un ecosistema tecnologico più ampio, che combina dati, algoritmi e potenza di calcolo e include l'*internet-of-things*, la connettività 5G, le *distributed ledger technologies* (ad esempio la blockchain) e il *cloud computing*. In questo contesto, il PNR 2021-27 rivolge una particolare attenzione sia al *cloud computing*, con il consolidamento del nodo italiano di EOSC (*European Open Science Cloud*)[56], sia alla potenza di supercalcolo con la creazione di un ecosistema nazionale di Hub Territoriali Tematici (HTT) collegati al centro di supercalcolo europeo pre-exascale di Bologna, uno dei 3 centri dell'iniziativa congiunta EuroHPC[57]. La disponibilità di dati e il supercalcolo aumentano la capacità di simulare scenari futuri e interpretare la realtà per affrontare le sfide globali sottese agli Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite. A partire dallo HTT sulla riduzione dei rischi dei disastri naturali, la rete dell'ecosistema nazionale di supercalcolo sarà costituita da un numero limitato di HTT, che saranno catalizzatori

---

[53] MAZZUCATO M. (2018), *Mission-Oriented Research and Innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[54] GRUPPO DI ESPERTI MISE SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE (2020), *Proposte per una Strategia italiana per l'intelligenza artificiale*, Ministero per lo Sviluppo Economico, Roma.
[55] COM(2019) 168 final, Creare fiducia nell'intelligenza artificiale antropocentrica.
[56] https://ec.europa.eu/research/openscience/index.cfm?pg=open-science-cloud, consultato il 15/11/2020.
[57] Joint Undertaking EuroHPC-High Performing Computing, https://eurohpc-ju.europa.eu, consultato il 15/11/2020.

di competenze ed erogatori di servizi dedicati, a beneficio delle aree in cui sono collocati e del sistema nazionale nel suo insieme.

4.5 VALORIZZARE LA CIRCOLAZIONE DI CONOSCENZA E COMPETENZE TRA IL MONDO DELLA RICERCA E IL SISTEMA PRODUTTIVO

Promuovere la circolazione di conoscenza e competenze tra ricerca e sistema produttivo e valorizzare i risultati della ricerca attraverso un processo virtuoso di contaminazione è essenziale per garantire la competitività del Paese, ancor più nell'attuale scenario delle transizioni, verde e digitale. L'intervento pubblico è necessario per favorire l'innesco di questa contaminazione. Indicando le sfide da affrontare, condividendo gli obiettivi da raggiungere e predisponendo linee d'azione coerenti, l'intervento pubblico crea le condizioni di contesto indispensabili per cooperare e mettere a fattor comune conoscenze, competenze, abilità per immaginare e realizzare progetti sempre più inclusivi, ambiziosi e *capital intensive*.

Per progettare il futuro è necessario tenere in considerazione le condizioni di partenza e in particolare il divario che l'Italia sconta rispetto ad altri Paesi europei nella propensione delle imprese a cooperare in tema di innovazione[58]. Questo divario è evidenziato anche nel rapporto *European Innovation Scoreboard*[59], che da anni colloca il nostro Paese tra gli "innovatori moderati", con performance inferiori alla media europea in termini di collaborazione tra imprese e fra queste e il sistema della ricerca pubblica. La promozione dell'innovazione non può, quindi, prescindere da un potenziamento dei rapporti tra ricerca e sistema produttivo, favoriti da programmi di mobilità tra mondo accademico e industria e strategie mirate di trasferimento tecnologico che agevolino la transizione dalla ricerca fondamentale e applicata alle idee che arrivano al mercato con maggior successo.

A titolo esemplificativo, il Comitato nazionale per la biosicurezza, le biotecnologie e le scienze della vita (CNBBSV) ha sottolineato la fragilità del sistema pubblico della ricerca italiana nei processi di trasferimento tecnologico: dal 2009 al 2016 (ultimi dati disponibili) presso l'Ufficio italiano brevetti e marchi (UIBM) sono state depositate, in media, 118 domande di brevetto all'anno nel settore biotecnologico, primariamente da università ed enti pubblici di ricerca, prevalentemente nei settori sanitario e farmaceutico. Le università italiane nel 2016 avevano in portafoglio circa 3.900 brevetti e, a fronte di questo portafoglio, sono state siglate licenze o contratti in media di 1,1 per ateneo, con una media di entrate di 16.400 € per ateneo.

Da questi dati, che dall'area biomedica possono essere estrapolati senza grosse differenze ad altri settori scientifico-tecnologici, si evince la presenza di criticità nella valorizzazione *sensu stricto* dei prodotti della conoscenza. Ai limiti strutturali di un sistema che stenta ad aggiungere valore ai suoi prodotti (il valore della produzione in Italia è sostanzialmente fermo a quello registrato nel 2000, mentre in Corea è raddoppiato, nei Paesi OCSE è aumentato in media del 24% e nei Paesi UE del 17%), si aggiunge una difficoltà particolare delle università e degli enti pubblici di ricerca nell'ottenere un *juste retour* dei propri investimenti in ricerca.

Lo sviluppo e il potenziamento di una piattaforma nazionale di valorizzazione della proprietà intellettuale e imprese spin-off della ricerca pubblica è utile per realizzare attività di *matchmaking*, anche utilizzando tecniche di intelligenza artificiale. Della piattaforma potrebbero beneficiare, da un lato, le imprese, grazie a un abbattimento dei costi di *scouting* di nuove soluzioni tecnologiche protette, dall'altro, le istituzioni pubbliche di ricerca (atenei ed enti) che vedrebbero enormemente potenziate efficacia ed efficienza dell'attività di promozione del portafoglio di proprietà intellettuale di cui dispongono. La piattaforma potrebbe promuovere misure, sul modello di alcune che peraltro già esistono (si veda ad esempio la misura *Brevetti+*[60]), volte a favorire brevetti in co-titolarità tra aziende (anche spin-off)

[58] CNR (2018, 2019), *Relazione sulla ricerca e l'innovazione in Italia. Analisi e dati di politica della scienza e della tecnologia*, CNR edizioni, Roma.
[59] EC DG GROW/DG RTD (2020, 2019, 2018, 2017), *European Innovation Scoreboard*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[60] https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/impresa/brevetti, consultato il 15/11/2020.

e istituzioni pubbliche di ricerca, aventi per oggetto prodotti/processi derivanti da forme di collaborazione strutturate di ricerca.

La conversione dei prodotti della ricerca in innovazione e la loro valorizzazione necessita altresì di un profondo cambio di prospettiva: è necessario spostare l'attenzione dai soli brevetti e spin-off ai meccanismi di valorizzazione delle scoperte che nascono nelle università e negli enti pubblici di ricerca e necessitano di risorse *ad hoc* per realizzare *proof of concept* e prototipi prima di affrontare il mercato. Allo stesso tempo, le idee innovative frutto della ricerca pubblica devono essere accompagnate sul mercato attraverso processi di trasferimento tecnologico dedicati, condotti anche in sinergia con enti privati, in modo da accrescere il loro potenziale di innovazione e la loro attrattività.

L'aumento della competizione a livello internazionale deve essere affrontato con politiche adeguate, rafforzando la platea delle organizzazioni che hanno già buone o ottime performance, prevalentemente localizzate nel Nord del Paese, ma incoraggiando al tempo stesso, attraverso interventi di supporto mirati, la crescita di università ed enti di ricerca attualmente più periferici rispetto alle traiettorie di sviluppo codificate.

Le modalità di interconnessione tra sistema produttivo e ricerca pubblica possono essere favorite da nuovi modelli di collaborazione pubblico-privato, costruiti in un'ottica di competitività. Questo processo virtuoso può essere facilitato dal potenziamento di risorse umane dedicate alla gestione delle collaborazioni (cfr. cap. 4.2) e dalla creazione di nuovi canali digitali di connessione tra ricerca pubblica e privata[61]. Una più efficace sinergia tra mondo della ricerca e sistema produttivo può inoltre essere favorita da misure volte alla semplificazione amministrativa e dalla adozione di approcci sistemici che integrino le attività di ricerca con le innovazioni di prodotto.

In sinergia con gli interventi europei, un obiettivo prioritario della ricerca italiana è sostenere la competitività delle imprese e favorire la creazione di reti di collaborazione tra sistema pubblico e privato, per meglio affrontare le sfide tecnologiche, economiche e sociali e migliorare la competitività del sistema Paese. Il supporto alle reti fra ricerca e sistema produttivo, già presente nell'ambito delle politiche europee di coesione 2014-2020, giocherà un ruolo ancora maggiore nel ciclo 2021-27 e non solo all'interno del perimetro delle politiche di coesione. Le politiche nazionali dovranno, infatti, confrontarsi con le leve d'intervento già promosse nei cicli programmatici precedenti, quali le *Knowledge and Innovation Communities* (KIC) dello *European Institute of Innovation and Technology* (EIT), ma anche con le nuove misure a favore dell'innovazione caratterizzanti la nuova programmazione europea, come la creazione dell'*European Innovation Council* (EIC) e il supporto agli *Innovation Ecosystems*.

In aggiunta, sempre volgendo lo sguardo alle azioni 2021-27 a gestione diretta della Commissione Europea, all'interno del nuovo programma quadro *Digital Europe*, la stessa Unione Europea ha assegnato un ruolo centrale agli *European Digital Innovation Hubs* (EDIH) che, al fine di agevolare la competitività dei tessuti produttivi e delle pubbliche amministrazioni, dovrebbero fungere da sportelli unici per fornire servizi ad alto valore aggiunto, atti a stimolare la diffusione delle tecnologie digitali avanzate, dal calcolo ad alte prestazioni (HPC-*High Performance Computing*), all'Intelligenza artificiale, alla *cybersecurity*.

Considerata la prevalenza di piccole e piccolissime imprese nel sistema nazionale della produzione e dei servizi, l'esigenza di favorire il trasferimento di conoscenza e competenze e, in particolare, l'accesso all'infrastruttura nazionale HPC, può essere favorito attraverso l'attuazione diffusa di pratiche di *open innovation*. Un programma *open innovation* per le PMI, cofinanziato con un'azione pubblico-privato, può consentire un importante incremento delle aziende coinvolte e, anche attraverso strumenti quali il credito di imposta, la formazione qualificata del personale aziendale su HPC e big data, per non restare ai margini del mercato. Ulteriore impulso in questa direzione potrebbe giungere dall'attivazione di programmi di dottorato di ricerca industriale su questi temi, per attivare startup alla fine del dottorato e per incentivare le imprese, anche piccole, a investire direttamente in programmi di ricerca sulle tematiche HPC e big data.

Tenuto conto del contesto che si va delineando a livello europeo, il sistema nazionale non potrà che cercare di consolidare e mettere a sistema le esperienze positive di cooperazione e scambio di conoscenze maturate negli ultimi

[61] Si vedano i risultati dei gruppi di lavoro dell'Associazione italiana per la ricerca industriale (Airi). www.airi.it, consultato il 15/11/2020.

anni (EDIH[62], Centri di competenza ad alta specializzazione[63], KIC[64] e Cluster tecnologici nazionali[65]), valorizzandole al fine di favorire il massimo livello di disseminazione dei risultati della ricerca, a partire dall'Anagrafe nazionale dei ricercatori e dei prodotti della ricerca (ANRIP).

Nel settennio 2021-27, un ruolo sempre più rilevante dovrà inoltre essere rivestito dalle attività della cosiddetta *terza missione* delle università e degli enti pubblici di ricerca, intesa come valorizzazione della conoscenza sul piano culturale, sociale ed economico. Come sottolineato dall'ANVUR nel *Rapporto biennale sul sistema universitario e della ricerca 2018*[66], le università restano sede primaria di formazione e apprendimento, ma divengono anche il luogo deputato alla formazione di tipo professionale ad alto livello di specializzazione, sono al centro dei processi di generazione e circolazione della conoscenza e sono chiamate a trasferire e valorizzare questa conoscenza e a integrare all'interno delle politiche pubbliche i risultati che si raggiungono.

Come evidenziato nel rapporto dello *HEInnovate* relativo al nostro Paese[67], le forti potenzialità del sistema universitario italiano di generare scambi di conoscenza e collaborazioni con il sistema produttivo non sono completamente sfruttate. La promozione dell'imprenditorialità e dell'innovazione nelle università italiane, secondo il rapporto, necessita di una strategia nazionale condivisa e di un approccio strutturato, che veda il rafforzamento delle attività di collaborazione tra il mondo dell'istruzione superiore, le imprese e la società nel suo complesso. Si sviluppano percorsi diversi di imprenditorialità accademica e di sostegno alla creazione di startup ad alto valore tecnologico in ambito universitario. Vengono inoltre proposti modelli incentrati su un impegno più a largo spettro, come la *civic university*, in grado di collegare l'università non solo con il sistema produttivo, ma anche con i cittadini e il contesto sociale più ampio, ugualmente importante dal punto di vista dello sviluppo socioeconomico del territorio. In questo nuovo quadro concettuale, basato sul confronto di più istituzioni, gli oggetti di valutazione divengono sempre più l'impegno degli atenei nel contribuire allo sviluppo economico e sociale e l'impatto delle attività che svolgono sul contesto locale, nazionale e internazionale. Si tratta di un cambio di paradigma, che non può non avere impatto su criteri e metodi di valutazione: dalla misura delle risorse che l'università riesce ad attrarre dal territorio (e conseguenti premialità), alla misura delle risorse che l'università immette nel territorio (nell'accezione più ampia possibile). Queste considerazioni si possono estendere agli enti pubblici di ricerca, anch'essi attori importanti di trasferimento di conoscenza e competenze, anche se non mediato, come avviene per l'università, da studenti, laureati e dottori di ricerca.

Questa nuova attenzione delle università all'impatto sul mondo circostante è stata già in parte sperimentata nel corso del ciclo di programmazione 2014-2020, con l'esperienza dei *Contamination Lab* (CLab), luoghi di contaminazione tra ricercatori e studenti universitari di discipline diverse. I CLab promuovono la cultura dell'imprenditorialità, della sostenibilità e dell'innovazione, così come l'interdisciplinarietà e nuovi modelli di apprendimento, volti a ridurre la distanza fra ricerca accademica e innovazione.

Per migliorare in maniera diffusa la circolazione di conoscenza e competenze fra sistema della ricerca e sistema produttivo e valorizzare in maniera adeguata i prodotti della ricerca si cercherà di fare ricorso a un portafoglio variegato d'interventi: incentivi concreti ai ricercatori che generano innovazione (ad esempio, riconoscimenti spendibili nella progressione di carriera, finanziamenti *ad hoc*, politiche fiscali di vantaggio per gli inventori pubblici), sviluppo e

---

[62] *European Digital Innovation Hubs* (Poli europei di innovazione digitale) promossi dal MISE a valere sul Fondo per la crescita sostenibile con l'eventuale concorso di altri amministrazioni pubbliche e sulla base di un protocollo d'intesa tra il Ministro dello Sviluppo Economico, il Ministro dell'Università e della Ricerca e il Ministro per l'Innovazione Tecnologica e la Digitalizzazione, https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/impresa/poli-digitali, consultato il 20/11/2020.

[63] Legge 11 dicembre 2016, n. 232 (legge di bilancio 2017), art. 1, comma 115; decreto del Ministero dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministero dell'Economia e delle Finanze 12 settenbre 2017, n. 214; vedi anche, https://www.mise.gov.it/index.php/it/incentivi/impresa/centri-di-competenza, consultato il 20/11/2020.

[64] *Knowledge and Innovation Communities – European Institute of Innovation and Technology*, https://eit.europa.eu/our-communities/eit-innovation-communities, consultato il 20/11/2020.

[65] Decreti direttoriali del Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca 3 agosto 2016, n. 1610, https://www.miur.gov.it/web/guest/cluster, consultato il 20/11/2020.

[66] ANVUR (2018), *Rapporto Biennale sullo Stato del Sistema Universitario e della Ricerca 2018*.

[67] OECD/EU (2019), *Supporting Entrepreneurship and Innovation in Higher Education in Italy*, OECD Publishing, Paris.

sostegno, anche con finanziamenti centrali, dei *Technology Transfer Office* (TTO) locali affinché le innovazioni generate dal sistema pubblico della ricerca siano valorizzate attraverso la protezione della proprietà intellettuale e il finanziamento degli step necessari al raggiungimento di *proof of concept* capaci di generare attività di spin-off o di essere trasferiti come licenze a privati. Altri interventi in questa direzione potranno essere individuati durate l'attuazione del PNR (cfr. cap. 9) in collaborazione con il Ministero per lo Sviluppo Economico[68]. È certamente urgente semplificare sistemi contrattuali e procedure (oggi spesso differenti da ente a ente) per il deposito, la gestione e la negoziazione di titoli. Occorre creare occasioni d'incontro tra giovani ricercatori e imprese (un esempio sono i già citati CLab), investitori e startupper. A tal proposito, sarà attentamente presa in considerazione l'ipotesi di costituire un fondo di investimento pubblico per fornire sostegno a progetti innovativi attraverso il finanziamento delle attività di ricerca e innovazione e di sviluppo commerciale/industriale o investimenti in equity.

4.6 ACCOMPAGNARE LO SVILUPPO DI UNA NUOVA GENERAZIONE DI RICERCATORI, TECNOLOGI E PROFESSIONISTI DEL TRASFERIMENTO DI CONOSCENZA

Il ciclo di programmazione europea 2021-27 per la ricerca e l'innovazione ha come motto "investire in R&I per plasmare il nostro futuro" attraverso la formazione di una nuova generazione di ricercatori, tecnologi e altre figure professionali a supporto della ricerca, protagonista delle nuove sfide del cambiamento, capace di consolidare i punti di forza dei sistemi nazionali della ricerca e di quello europeo.

Il PNR 2021-27 si impegna a favorire la formazione di competenze all'avanguardia, anche attraverso lo sviluppo di professionalità a supporto della ricerca (ad esempio, professionisti formati *ad hoc* per le attività di trasferimento di conoscenza), per ridurre i punti di debolezza del nostro sistema, consolidarne i punti di forza e promuovere il ruolo dell'Italia nello Spazio europeo della ricerca (SER).

Da questa nuova generazione non ci si attendono soltanto qualità della ricerca e risposte innovative alle grandi sfide, ma anche la capacità – utilizzando al meglio i talenti di tutti e di ciascuno – di esprimere e interpretare abilità specifiche per l'integrazione di reti scientifiche e tecnologiche nazionali e locali con le reti comunitarie e internazionali attraverso nuove e significative sinergie.

La nuova generazione di ricercatori, tecnologi e altre figure professionali a supporto della ricerca che, per brevità, potremmo qui designare come "manager della ricerca", dovrà essere il collante tra i sistemi della formazione a tutti i livelli, della ricerca, delle imprese e delle istituzioni, per promuovere e accompagnare le due transizioni gemelle, digitale e verde, anche attraverso attività di animazione e diffusione delle tecnologie digitali avanzate, dal calcolo ad alte prestazioni, all'intelligenza artificiale, alla *cybersecurity*, al fine di costruire una società aperta, sicura, inclusiva e sostenibile.

Le suddette professionalità sono chiamate a contribuire in misura decisiva alla formazione di rinnovate relazioni fra territori, ricerca, innovazione, imprese e pubblica amministrazione, favorendone tutte le forme possibili di dialogo e mutua collaborazione.

In un momento di grandi trasformazioni complesse, la comunità scientifica, avvalendosi strategicamente delle suddette professionalità e perseguendo una logica di *evidence-based policymaking,* costituirà un decisivo supporto per la definizione di politiche ispirate agli Obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite: dal legame tra incentivi per Industria 4.0 ed economia circolare al varo di un *Green New Deal* italiano. Le sfide da affrontare poste dalla velocità dell'innovazione tecnologica, saranno affrontate, dunque, accompagnando le trasformazioni sociali, dalla lotta alle disuguaglianze sociali e di genere all'attenzione ai problemi abitativi e delle periferie, dalla tutela della biodiversità all'assegnazione di risorse adeguate a istruzione e salute, dalla cooperazione all'occupazione giovanile, alla sostenibilità dei sistemi di protezione sociale.

---

[68] Cfr. contributi forniti dal Ministero dello Sviluppo Economico in merito a Fondo per la crescita sostenibile, Contratti di sviluppo, Programma Smarter Italy.

In questo contesto, assume un ruolo strategico la pubblica amministrazione, che potrà beneficiare di un processo di rafforzamento amministrativo attraverso azioni di *capacity building*. Nel sistema amministrativo che affianca la ricerca italiana, sarà fondamentale attivare una governance multilivello che coinvolga le articolazioni della pubblica amministrazione all'interno del Ministero dell'Università e della Ricerca, delle università e degli enti pubblici di ricerca per realizzare una filiera della ricerca e dell'innovazione, nella quale ricercatori e manager della ricerca agiscano da portatori del cambiamento, in grado di azionare leve esterne di sviluppo e attivare una rete ampia di legami sociali positivi (*positive externalities*), moltiplicandone gli effetti. Si tratta di affiancare agli strumenti tradizionali della formazione un nuovo paradigma della mobilità, finalizzato a promuovere collaborazioni internazionali e intersettoriali, per condividere scambi di conoscenze e buone prassi; a questo scopo, si potrà approfondire l'adozione di specifiche pratiche, anche guardando ad altri strumenti già operativi a livello europeo (per esempio, *Research and Innovation Staff Exchange* nell'ambito delle *Marie Skłodowska Curie Actions*). Integrazione locale e sinergie internazionali potranno corredare tale paradigma di ulteriore valore, incentivando una mobilità circolare e non più unidirezionale (dall'Italia all'estero, dal Sud al Nord), garantita dalla necessaria sintesi tra dimensione locale, nazionale e interazionale e, pertanto, funzionale a consolidare l'impatto dell'internazionalizzazione sul territorio di appartenenza, contemperando il parametro della mobilità con lo sviluppo dei territori.

La sfida probabilmente più importante è quella di dare continuità a indispensabili iniziative di reclutamento di giovani nella ricerca, intraprese già in questo anno 2020, al fine di incrementare il rapporto tra ricercatori e popolazione attiva (attualmente ben al di sotto della media europea), garantendo un impegno finanziario sufficiente e stabile nel tempo.

La nuova generazione di manager della ricerca dovrà anche accompagnare il passaggio a un approccio di *open science* e *open innovation*. Si tratta di un passaggio decisivo per la crescita e lo sviluppo del Paese, in particolare delle piccole e medie imprese che costituiscono la grande maggioranza del sistema produttivo e che rischiano altrimenti di rimanere ai margini delle transizioni, verde e digitale, di cui si è detto.

L'interazione reciproca e circolare tra domanda e offerta di ricerca e innovazione, tra sistema della ricerca e sistema produttivo, tradizionalmente nota come "trasferimento tecnologico" (denominazione ormai superata, in quanto implica una linearità e una uni-direzionalità che non corrispondono più alla realtà) facilita il successo della trasformazione dei risultati della ricerca in processi, prodotti e servizi innovativi, tanto nelle imprese che nella pubblica amministrazione. A sua volta, la domanda stimola approcci di ricerca più avanzati per rispondere a nuove sfide, innescando un processo di aggiornamento continuo da perseguire nella cornice della sostenibilità. Perché tutto ciò sia possibile, si lavorerà nell'ottica di migliorare le condizioni di contesto, incluso il quadro normativo, facendo ricorso a incentivi, sgravi fiscali ecc.

Quello che oggi si preferisce denominare "scambio di conoscenza" (*knowledge exchange*), anziché "trasferimento tecnologico", ha acquisito crescente importanza nella recente evoluzione del sistema delle università e degli enti pubblici di ricerca. Occorre però essere consapevoli del fatto che si tratta di un processo complesso, con aspetti ancora compiutamente da esplorare, che richiede:

- un solido portafoglio di conoscenza e competenze;
- un ecosistema imprenditoriale in grado di assorbire proficuamente i prodotti della ricerca e dell'innovazione;
- professionalità specifiche, un team cioè di manager della ricerca altamente qualificati, che comprendano i linguaggi di entrambi i mondi, quello della scienza e quello dell'impresa.

A queste attività si sono prestati finora personale proveniente ora dal comparto tecnico-amministrativo, ora da quello docente-ricercatore, senza la collocazione formale in un ruolo *ad hoc* e senza un percorso formativo specifico. La definizione di una strutturazione potrà migliorare significativamente i già comunque buoni risultati fino ad oggi raggiunti.

Sul piano della definizione del ruolo del manager della ricerca molto resta da fare, anche se, recentemente, si sono affacciate iniziative interessanti sostenute da diverse amministrazioni centrali o istituzioni pubbliche di rilievo[69].

[69] Cfr. bandi finanziati dall'Ufficio italiano brevetti e marchi (UIBM) del Ministero dello Sviluppo Economico per sostenere lo sviluppo degli uffici per il trasferimento tecnologico nelle università e, più recentemente, negli EPR e negli IRCCS; iniziativa *PhD ITalents* finanziata dal MUR attraverso il Fondo integrativo speciale per la

Un intervento normativo per l'istituzione delle suddette figure, che prenda le mosse dall' art. 24 bis della legge 240/2010, accompagnato da una opportuna definizione dei requisiti di accesso, sarebbe decisivo per dare impulso ad attività centrali per lo sviluppo e la competitività del sistema nazionale della ricerca e dell'innovazione e, dunque, per il raggiungimento degli obiettivi di questo Programma nazionale per la ricerca.

4.7 PROMUOVERE LA DIMENSIONE INTERNAZIONALE DELL'ALTA FORMAZIONE E DELLA RICERCA

La promozione della dimensione internazionale della ricerca coincide con la necessità di condividere le migliori pratiche esistenti a livello europeo e globale attraverso la loro analisi e il reciproco apprendimento, con modalità più o meno formalizzate. Tale promozione permette all'intera filiera della conoscenza di cogliere appieno le opportunità fornite dai programmi di ricerca internazionali ed europei, tenendo prioritariamente conto del Programma quadro di Ricerca e Innovazione dell'UE, ma anche di altri programmi europei con finalità collegate alla ricerca come ad esempio, Erasmus+. Questo al fine di contribuire al meglio a un confronto continuo e a uno scambio quanto più esteso e inclusivo possibile tra ricercatori che operano in Paesi diversi. In questo contesto, risultano prioritari anche lo stretto coordinamento e l'integrazione con le risorse nazionali, per rafforzare e potenziare il ruolo della ricerca italiana e il suo posizionamento nel panorama internazionale.

L'azione di promozione, da considerare quale strumento flessibile e adattivo, potrà riguardare in parallelo: *a*) l'agevolazione e l'incentivazione della partecipazione delle ricercatrici e dei ricercatori italiani a bandi competitivi internazionali e ad azioni di mobilità all'estero per attività di ricerca e/o di insegnamento, *b*) l'evoluzione verso procedure di reclutamento conformi alle migliori pratiche internazionali[70], attrattive per i ricercatori e le ricercatrici stranieri, nonché per il rientro in Italia di ricercatori italiani già affermati all'estero; *c*) l'incentivazione degli scambi interdisciplinari e intersettoriali, con la massima attenzione alla valorizzazione delle competenze trasversali acquisite, funzionali sia all'attività di ricerca, sia ad un miglior inserimento nel mondo del lavoro; *d*) il potenziamento di programmi di formazione rivolti alla costruzione della professionalità di ricercatori esperti in ambito internazionale, affinché essi possano giungere a proporsi come *principal investigator* per progetti di ricerca di eccellenza sovranazionali (ad esempio: ERC, MSCA, *Human Frontier Science Programme*); *e*) il supporto ad iniziative innovative di ricerca realizzate nell'ambito di partnariati strategici e della cooperazione internazionale.

Si ritiene che l'incentivazione della chiamata diretta di ricercatori particolarmente meritevoli debba continuare ad essere promossa, contemperando l'esigenza di assorbire nel sistema nazionale ricercatori che abbiano dimostrato di esprimere qualità fuori dal comune con l'esigenza di non generare disequilibri nel sistema ordinario di reclutamento.

Le azioni correlate ai progetti finanziati dallo *European Research Council* (ERC), già sperimentate nella programmazione 2015-2020, possono essere declinate, oltre che nelle classiche azioni per l'attrazione dei vincitori di grants ERC, anche in azioni di accompagnamento alla presentazione dei progetti e di perfezionamento delle progettualità già presentate. Le azioni di accompagnamento alla presentazione di progetti in risposta ai bandi ERC - progetti che saranno sottoposti ad una valutazione di eccellenza – si rendono necessarie in base al tasso di successo non soddisfacente dei progetti italiani, in modo particolare per quanto attiene ai bandi *starting grants*; si ritiene che un accompagnamento mirato e professionale nella fase di scrittura dei progetti possa determinare una maggiore probabilità, per i ricercatori, di ottenere valutazioni positive nei bandi ERC; allo stesso tempo, questa tipologia di accompagnamento potrebbe essere un valido supporto per consentire il perfezionamento e l'aggiornamento di quei progetti già valutati positivamente, ma che hanno ottenuto un punteggio non utile al loro finanziamento.

Non si può ignorare come il recepimento di strumenti già esistenti nel panorama europeo debba essere pienamente attuato; in particolare, è necessario giungere ad un'attivazione in forma strutturata delle modalità con le quali il *seal of*

---

ricerca e da private e gestita da un partenariato composto da MUR, Fondazione CRUI e Confindustria; avviso Go for IT finanziato dal MUR attraverso il Fondo integrativo speciale per la ricerca e gestito da Fondazione CRUI.

[70] EC DG RTD (2011), *Towards a European Framework for Research Careers*, Brussels, 21 luglio 2011.

excellence, in tutte le forme disponibili, debba essere considerato ai fini del finanziamento nazionale. Tali modalità, se formalizzate, potrebbero essere recepite e adattate anche dalle Regioni, in relazione ai propri canali di finanziamento.

Contestualmente, collocando la ricerca in una dimensione più ampia, si ritiene strategico fornire il necessario supporto alle attività di ricerca svolte dalle *European University Alliances*, nonché alle azioni sinergiche rispetto alle misure di cooperazione nel settore della ricerca e dell'innovazione con Paesi ritenuti strategici per l'Italia. Su questo tema, fondamentale sarà la collaborazione con il Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale con il quale saranno messe a punto iniziative coordinate e congiunte durante l'attuazione del PNR 2021-27 (cfr. cap. 9). Il MAECI promuove la sua azione di supporto alle attività di ricerca e innovazione guardando alla complementarietà e alla reciprocità degli interessi bilaterali e multilaterali con i diversi Paesi e con un forte interesse sia sull'impatto economico e sociale dei progetti finanziati sia sui possibili ritorni economici e di opportunità per il sistema Paese che le relazioni bilaterali attivate possono generare.

4.8 Assicurare il coordinamento della ricerca nazionale, europea, internazionale

L'insieme delle nuove politiche della ricerca e dell'innovazione, che include quelle sulle sfide dell'economia e della società e le politiche orientate alle Missioni, sottende un elemento comune, un fattore abilitante, che essendo in molti casi fondamentale per garantire una loro completa realizzazione è divenuto esso stesso una sfida per i sistemi della ricerca. Questo fattore abilitante è identificato con la capacità di sostenere tali politiche con una efficace azione di coordinamento di tutti gli attori che, a vario livello, contribuiscono al loro dispiegamento e al raggiungimento dei loro obiettivi. La sfida sta nella capacità di intervenire durante le varie fasi di sviluppo dell'iniziative interessate con azioni di coordinamento evidentemente efficaci e riconosciute come tali da tutti gli attori coinvolti, ma che non portino ad appesantire le procedure, a rallentare il percorso decisionale e che siano compatibili con il quadro normativo e regolatorio e con i tempi di programmazione.

Le evidenze della necessità di introdurre in maniera strutturale tali azioni di coordinamento sono molte. Ad esempio, la partecipazione ai grandi partenariati di R&I, incluse le infrastrutture di ricerca paneuropee, sollecitano un forte coordinamento tra il MUR, le altre amministrazioni centrali e regionali e il settore privato, sia durante la fase di identificazione delle priorità, la cui responsabilità è condivisa, sia nella fase operativa, quando si rende necessaria una gestione congiunta dei bandi e della partecipazione ai processi di governance del partenariato. Rimanendo nello stesso ambito, una specifica azione di coordinamento è spesso necessaria, a iniziare dalla fase preparatoria, per favorire la presenza organizzata dei gruppi di ricerca, delle università, delle istituzioni pubbliche in generale e delle imprese che intendono partecipare al partenariato, per collegare l'azione in ambito europeo a quella nazionale e regionale e per facilitare, nella fase conclusiva, la disseminazione e la fruizione dei risultati e massimizzarne l'impatto su economia e società.

Anche la volontà di progettare e realizzare opportune sinergie tra strategie e programmi che intervengono in ambiti diversi, ad esempio quello della ricerca e quelli di sostegno alle capacità produttive, deve essere supportata da una efficace azione di coordinamento delle amministrazioni nel momento in cui questi programmi prendono forma e le autorità responsabili sono impegnate a definirne le priorità. È il caso delle politiche di coesione, a partire dal momento in cui si definisce l'Accordo di partenariato e, successivamente, i Programmi operativi, i cui obiettivi e regole di partecipazione devono essere in grado di incorporare le priorità operative con quelle della R&I, garantire la necessaria compatibilità tra le rispettive regole di partecipazione e sostenere azioni sinergiche tra i titolari dei programmi e i loro beneficiari.

Si rende perciò necessario introdurre nel PNR 2021-27 approcci di governance condivisa tra il MUR e le altre amministrazioni coinvolte e uno strumento di coordinamento che possa sostenere, quando necessario, le azioni idonee a favorire una partecipazione, appunto, coordinata alle numerose iniziative di partenariato europee (ad esempio, le *European Partnerships*), soprattutto nella fase preparatoria. Si intende, in questo modo, promuovere e sostenere azioni organizzate del sistema nazionale della ricerca su temi prioritari di carattere interdisciplinare o intersettoriale, come la realizzazione delle politiche sulla scienza aperta, l'innovazione aperta o sull'Intelligenza artificiale.

4.9 VERSO I NUOVI ORIZZONTI DELLA RICERCA

Le filiere della conoscenza destinate a trascinare tutta l'economia, la tecnologia, la cultura e la società nei prossimi decenni offrono prospettive affascinanti per i nuovi orizzonti della ricerca. Dalla scienza dei materiali alla neuroscienza, dalla genetica all'intelligenza artificiale, dalla fisica delle particelle alla cura degli umani e del pianeta, fino alla grande convergenza delle discipline indispensabile per affrontare le grandi sfide della scienza e dell'umanità come fu e tutt'ora è la comprensione dello spazio. Il progresso della ricerca sembra accelerare grazie alla relazione simbiotica tra l'esplosione delle capacità della tecnologia digitale e la crescita delle ambizioni della ricerca scientifica, che mentre comprende l'universo, trasforma il nostro modo di vivere in esso alla luce dei principi dello sviluppo sostenibile. Ma l'esplorazione del futuro non è tanto nella somma delle singole possibilità offerte da questi approcci disciplinari. Chi immagina il futuro non può accontentarsi di prevedere che gli esseri umani sapranno comprendere ciò che sanno di non sapere. Chi immagina il futuro cerca di aprire la mente anche su ciò che gli esseri umani non sanno di non sapere.

Di fronte a questo problema si ha la tentazione di fermarsi. In fondo la ricerca scientifica non è abitualmente portata avanti da chi non sa che cosa cerca. Ma fermarsi di fronte a ciò che non si sa di non sapere sarebbe un errore strategico. Perché impedirebbe di considerare scientificamente ciò che rende la scienza possibile, in ultima istanza: il ruolo della scienza nella società umana. Si tratta di un problema intricato, dal quale però dipendono le capacità della scienza di immaginare il proprio futuro, oltre i temi che oggi essa si pone, in relazione a ciò che servirà a convincere la società a sostenere la scienza dell'avvenire. Perché i limiti del possibile si possono spostare. Ma questo richiede una preparazione pragmatica e teorica alla profondità dell'ignoto.

Non per nulla la ricerca fondamentale, la ricerca applicata e lo sviluppo sono soprattutto una forma di resilienza. Come lo sono gli investimenti nell'ecosistema dell'innovazione, cosiddetta *science-based*, quella per la quale i risultati non sono noti, i rischi sono elevati, ma i vantaggi possibili sono enormi. Si tratta di una pratica di libertà intellettuale, orientata a esplorare il possibile in tutte le direzioni per superarlo. L'efficientismo, in questo settore, è inefficiente. Ovviamente tutto questo non va necessariamente progettato in modo privo di direzione: i problemi di fondo di questo tipo di scienza possono essere appunto quelli che la società conosce come difficoltà indecifrabili e che la scienza può trasformare in opportunità concrete. La risposta al cambiamento climatico, nella sua labirintica complessità, è un tema scientifico di primaria importanza, socialmente legittimante, anche se densamente caratterizzato dalla mancanza di conoscenza su ciò che non si sa: se infatti i dati sono forse drammaticamente noti, le regolarità emergenti nel sistema complesso del pianeta e i feedback che questo può generare di fronte all'azione umana sono tutt'altro che decifrati.

Ma a ben vedere, gli argomenti dell'ignoto profondo sono anche quelli, spesso, che attirano la massima attenzione sociale. Oltre alla cura dell'ambiente, la stessa cura degli esseri umani, in prospettiva e alla luce dell'esperienza della pandemia, sembra essere tra gli argomenti più interdisciplinari e sfidanti. L'intelligenza artificiale nella diagnostica, l'editing e il silenziamento genetico nella cura, non possono essere accettati senza una consapevole analisi delle complessità sociali e organizzative nelle quali si vanno a inserire, ma proprio per questo non possono essere affrontati senza che la scienza si apra a ciò che non è tecnicamente disciplinare, senza che la scienza decida di indagare intorno a ciò che gli scienziati non sanno di non sapere perché non pensano di doversene occupare. Il modo in cui la conoscenza modifica la società che l'ha generata è un argomento di enorme complessità, vasto fascino, spesso considerato esterno alla scienza ma di tale importanza da diventare motivo di espansione della scienza oltre le sue stesse frontiere.

Tutto questo può apparire astratto, ma ovviamente non lo è, nella misura in cui da questi studi discendono le decisioni fondamentali di investimento da destinare alla ricerca, così come le norme e, persino, le modalità con le quali i media danno conto degli sviluppi della conoscenza scientifica e dunque la loro accettabilità socioculturale. Che il futuro della scienza dipenda da queste cose può apparire a prima vista poco scientifico ma è probabilmente molto realistico. Come, alla fine, è realistico che il futuro della scienza emerga dalle trasformazioni della struttura antropologica della comunità scientifica. L'inclusione di componenti tradizionalmente escluse della società nella comunità scientifica è una dinamica creativa di grande potenziale. L'accesso delle donne al sistema della ricerca può essere considerato come una grande battaglia di civiltà, ma si tradurrà ineluttabilmente anche in una precondizione di cambiamento della scienza stessa: per i problemi che la scienza si pone, per le attenzioni che genera, per l'intensità delle relazioni sociali che coltiva. E ovviamente il tema non si ferma alle questioni di genere. In una società trasformata a tal punto da includere più diversità nell'antropologia della comunità scientifica, la scienza diventa un motore di trasformazione ulteriore, secondo modalità delle quali non si conosce per ora il senso ma si può immaginare la portata. Le società che non producono legislazioni

limitanti per lo sviluppo della scienza, i sistemi mediatici che sfavoriscono la circolazione di notizie false sulla scienza, le culture che sanno ridurre la portata della superstizione e dell'inganno, sono società nelle quali la scienza non è un centro di potere ma è parte integrante della civilizzazione. Questo avviene se la comunità scientifica è inclusiva, connessa a tutti gli ambiti della società, capace di ascoltare le istanze che provengono da tutte le forme della convivenza umana e nel contempo intelligentemente fedele alla propria identità, tradizionalmente fondata sul suo metodo, costantemente in movimento ma inesauribile fonte di ispirazione. Il che è in fondo possibile solo se tra gli investimenti strategici della scienza entrerà a pieno titolo anche tutto ciò che alimenta l'educazione alla scienza, rivolta a tutte le età e a tutti i ceti sociali. Il ruolo della scienza nel futuro si legge nella qualità della cultura scientifica. E questa non può essere considerata solo come un problema ideologico, politico o economico: è anche un problema scientifico.

5. I GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE E LE RELATIVE AREE D'INTERVENTO

I grandi ambiti di ricerca e innovazione utilizzano come schema di riferimento le sei aggregazioni (*clusters*) di Horizon Europe, il Programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione 2021-2027. I sei grandi ambiti di ricerca e innovazione sono declinati, a loro volta, nelle aree d'intervento (sottoambiti) che il Ministero dell'Università e della Ricerca ha individuato in coerenza con le specificità del contesto nazionale, con quanto messo in evidenza durante le interlocuzioni con gli altri Ministeri e con la Strategia nazionale di specializzazione intelligente[71].

Per la declinazione dei contenuti dei sei grandi ambiti di ricerca e innovazione sono stati chiamati circa 250 esperti provenienti dal mondo dell'università e degli enti pubblici di ricerca, organizzati in 28 gruppi di lavoro, uno per ogni area d'intervento.

A ciascun gruppo di lavoro, guidato da un coordinatore, è stato chiesto di fare un'analisi critica del contesto di riferimento della corrispettiva area d'intervento per tutta la filiera, dalla ricerca fondamentale all'applicazione. Il risultato è riportato nelle introduzioni alle singole aree d'intervento ed è seguito dalla declinazione in articolazioni di ricerca.

L'individuazione delle articolazioni è stata affidata alla valutazione degli esperti, i quali sono stati invitati a integrare la descrizione delle priorità con la previsione degli impatti attesi, a partire dalla considerazione degli impatti indicati nei documenti di lavoro condivisi dalla Commissione Europea per la definizione degli *Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe*. Per la definizione delle articolazione, gli esperti hanno anche tenuto conto del contributo dei Ministeri competenti per le specifiche tematiche.

Di seguito è riportato lo schema dei grandi ambiti di ricerca e innovazione e delle relative aree d'intervento.

SALUTE	CULTURA UMANISTICA, CREATIVITÀ, TRASFORMAZIONI SOCIALI, SOCIETÀ DELL'INCLUSIONE	SICUREZZA PER I SISTEMI SOCIALI	DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO	CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE	PRODOTTI ALIMENTARI, BIOECONOMIA, RISORSE NATURALI, AGRICOLTURA, AMBIENTE
Temi Generali	Patrimonio culturale	Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti	Transizione digitale - I4.0	Mobilità sostenibile	Green technologies
Tecnologie farmaceutiche e farmacologiche	Discipline storico, letterarie e artistiche	Sicurezza sistemi naturali	High performance computing e big data	Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento	Tecnologie alimentari
Biotecnologie	Antichistica	Cybersecurity	Intelligenza Artificiale	Energetica industriale	Bioindustria per la Bioeconomia
Tecnologie per la salute	Creatività, design e made in Italy		Robotica	Energetica ambientale	Conoscenza e gestione sostenibile dei sistemi agricoli e forestali
	Trasformazioni sociali e società dell'inclusione		Tecnologie quantistiche		Conoscenza, innovazione tecnologica e gestione sostenibile degli ecosistemi marini
			Innovazione per l'industria manifatturiera		
			Aerospazio		

5.1 SALUTE

5.1.1 Temi generali

"Salute e benessere" è, come noto, uno dei 17 obiettivi dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per le popolazioni delle diverse fasce di età. Negli ultimi anni si è osservato uno straordinario progresso globale con l'aumento della sopravvivenza media e dell'aspettativa di vita, la riduzione della mortalità infantile e materna, l'avanzamento nelle attività

[71] Cfr. Appendice III per la matrice di conversione fra i grandi ambiti di ricerca e innovazione e le politiche multilivello.

di prevenzione, diagnosi e cura; infine, la ricerca scientifica e tecnologica ha conseguito importanti risultati per malattie che fino a qualche anno fa non lasciavano speranza. Lo stato di salute nel Paese è, tuttavia, minacciato dal progressivo invecchiamento della popolazione, dall'aumento dei fattori di rischio comportamentali (fumo, abuso di alcol, alimentazione non corretta, sedentarietà, esitazione vaccinale) e non comportamentali (inquinamento, ambiente, clima, urbanizzazione, antibiotico-resistenza, ritardo nella digitalizzazione del sistema sanitario) e delle patologie cronico-degenerative frequentemente su base infiammatoria e spesso tra loro concomitanti, a carico degli apparati cardio-vascolare, renale, respiratorio e digerente, del sistema nervoso centrale e del metabolismo. Recentemente il quadro è diventato ancora più articolato per la pandemia del SARS-CoV-2 in quanto è ipotizzabile un aumento della complessità: non è sufficiente studiare i meccanismi patogenetici del virus, ma è necessario studiare le interconnessioni con le patologie esistenti, i danni dovuti al ritardo di diagnosi e gli esiti della malattia. Sarebbe opportuno valutare con metodo scientifico non solo le domande cliniche ma anche quelle di organizzazione sanitaria e, non ultime, le conseguenze economiche, sociali e ambientali che si ripercuotono sulla salute.

Questo scenario richiederà al Servizio sanitario nazionale modelli di assistenza multidisciplinari e agli enti di ricerca una strategia condivisa e coordinata nonché multisettoriale. I maggiori temi di ricerca, quali quelli di promozione della salute, di prevenzione primaria e secondaria delle patologie, di identificazione di nuovi meccanismi molecolari, di gestione dell'*ageing society*, di garanzia per l'accesso alle migliori cure disponibili, amplificano il potenziale dell'innovazione. È questa, quindi, una sfida che la sanità dovrà affrontare per raggiungere gli obiettivi delle Nazioni Unite: ridurre, ad esempio, la mortalità prematura, soprattutto per le principali malattie non-trasmissibili (malattie cardiovascolari e renali, cancro, malattie dell'apparato digerente, diabete e obesità, malattie endocrine, malattie neurodegenerative e malattie respiratorie croniche), ridurre le malattie mentali e ridurre le diseguaglianze, entro il 2030. Il contesto nel quale la ricerca biomedica si dovrà confrontare è, tuttavia, in evoluzione: l'obiettivo è quello di personalizzare il più possibile prevenzione, predizione, diagnosi e cura in base al singolo paziente. Il paziente che il clinico sempre di più si troverà di fronte è affetto da più patologie concomitanti e sempre più sarà necessario individuare e sperimentare nuovi modelli di gestione della cronicità e comorbosità (fisiche e mentali), favorendo sia l'adozione di un approccio multidisciplinare, sia la medicina di genere, indispensabile a garantire a ogni persona, maschio o femmina, la cura migliore, rispettando le differenze e rafforzando ulteriormente il concetto di centralità del paziente e di medicina personalizzata. Va considerata l'idea che si debba passare dal semplice concetto di malattia a *disease trajectories*/traiettorie di malattie (modello di Søren Brunak, Danimarca), in cui si tende a integrare i modelli di progressione di malattia, la comorbosità e la loro relazione con gli eventi di trattamento. È, quindi, una priorità assoluta costruire un Programma nazionale per la ricerca in grado di produrre conoscenza fruibile per mantenere la buona salute il più a lungo possibile prevenire, curare e migliorare la gestione delle patologie sia a elevato impatto epidemiologico e clinico sia rare. Principalmente l'attività di ricerca in ambito biomedico/sanitario è un fondamentale fattore di crescita culturale e scientifica per l'ambiente in cui si sviluppa, con un effetto pervasivo che coinvolge anche gli ambienti non direttamente coinvolti. La ricerca biomedica si troverà di fronte a nuove sfide per consolidare, raffinare e rendere sostenibili obiettivi e traguardi, prima impensabili, basati sui più recenti avanzamenti tecnologici, quali, ad esempio, la terapia genica mirata alla sostituzione di geni malfunzionanti o mancanti; la diagnostica per immagini e molecolare per predire l'insorgenza di patologie; la medicina di precisione basata sulle nanotecnologie e su farmaci biologici ad alta specificità per bersagli cellulari e molecolari; la terapia rigenerativa personalizzata di cellule, tessuti e organi danneggiati irreversibilmente; nuovi dispositivi medici ad uso diagnostico, terapeutico, chirurgico o misto; senza dimenticare la necessità di accelerare lo sviluppo e la produzione in larga scala e ridurre i costi della messa in commercio di nuovi farmaci. Sarà importante utilizzare al meglio le potenzialità dei sistemi informativi, degli strumenti digitali e della telemedicina per potenziare la gestione dei pazienti a distanza o in regime di assistenza domiciliare, per applicare le tecniche di intelligenza artificiale nello sviluppo di sistemi di supporto alla diagnostica per immagini, alla chirurgia assistita con la robotica intelligente, all'assistenza infermieristica virtuale a soggetti con disabilità per rispondere ai bisogni derivanti dall'invecchiamento della popolazione, anche tramite un capillare e omogeneo utilizzo del fascicolo sanitario elettronico sul territorio nazionale. Deve essere intensificata la condivisione delle risorse valorizzando l'accesso alle infrastrutture di ricerca, il cui sostegno e potenziamento sono indispensabili per la piena realizzazione del Programma. È necessario, quindi, un approccio *One Health*, cioè affrontare i bisogni delle popolazioni più vulnerabili sulla base della relazione tra la loro salute, degli animali e l'ecosistema, considerando l'ampio spettro di determinanti che da questa relazione emerge. Il Programma nazionale per la ricerca è stato pensato per essere condiviso, trasversale e interdisciplinare tra ricerca fondamentale (di base), traslazionale e clinica, trasferimento tecnologico, con tutti i

portatori di interesse pubblici e privati e con l'integrazione dei saperi delle scienze biomediche, veterinarie, ingegneristiche, ambientali, economiche e sociali.

Articolazione 1. Prima infanzia, malattie rare e medicina della riproduzione

Priorità di ricerca: identificazione di marcatori e target molecolari per la cura delle malattie di origine sconosciuta della prima infanzia, delle malattie rare, delle neoplasie anche attraverso lo sviluppo di modelli non clinici rappresentativi e di potenziale applicazione su larga scala. Introduzione di tecnologie genomiche per screening su larga scala per geni malattia nei neonati. Formazione di reti, registri, biobanche coordinati e omogenei a livello nazionale e implementazione di una strategia nazionale per le scienze omiche. Migliore comprensione dei fattori di rischio e strategie di prevenzione e sviluppo di metodologie diagnostiche e nuovi approcci terapeutici per ridurre l'infertilità e l'onco-infertilità. Identificazione e applicazione di approcci sanitari ed educazionali innovativi per favorire accesso alle cure e per l'educazione sulle nuove tecnologie degli operatori medici. Studi sull'impatto delle nuove tecnologie digitali sullo sviluppo neurocognitivo nell'infanzia e nell'adolescenza per identificare i fattori di rischio e sviluppare possibili strategie di intervento/prevenzione.

Impatto atteso[72]. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: diagnostica prenatale e diagnosi precoce di patologie dell'infanzia e di malattie rare a etiologia sconosciuta (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 3); nuove tecniche di riproduzione assistita e diagnosi genetica pre-impianto (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 5, 6); gestione della salute riproduttiva e riduzione delle disparità dovute a fattori economico-sociali o culturali (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 2, 3); nuove tecniche di riproduzione assistita (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); nuove tecnologie a supporto dell'onco-fertilità e la preservazione della fertilità (congelamento di gameti e di tessuto ovarico) (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 5, 6); fattori di rischio di ridotta fertilità per attenuarne l'impatto su fertilità e salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n.2); meccanismi fisiopatologici e neurocognitivi alla base delle nuove dipendenze legate all'uso della rete in particolare di bambini e adolescenti e relative strategie di intervento (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1).

Articolazione 2. Patogenesi, diagnosi, sorveglianza e terapia delle infezioni, comprese le infezioni emergenti

Priorità di ricerca. L'identificazione di fattori di suscettibilità alle infezioni e di modelli innovativi di strategie preventive, diagnostiche e terapeutiche per il contrasto delle malattie da infezione, con particolare riferimento ai microorganismi multiresistenti, è oggi prioritaria in una società sempre più anziana, fragile e mobile. Essenziale è l'attenzione alla interfaccia uomo-animale e alla diffusione vettoriale, favorita dai cambiamenti climatici che, a loro volta, richiedono lo sviluppo di sistemi di sorveglianza sofisticati e sensibili con orizzonte sovranazionale.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: patogenesi, meccanismi molecolari e determinanti biologici e sociali alla base della suscettibilità alle infezioni, inclusi modelli preclinici di studio (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 3); terapie anti-infettive e innovative e nuovi vaccini, comprese le infezioni neglette (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); epidemiologia delle infezioni da organismi multiresistenti alla terapia antibiotica (MDRO) e nuovi approcci preventivi e terapeutici (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 3, 5); sistemi di sorveglianza rapida, anche condivisi con Paesi a basse risorse, per la identificazione precoce di patologie infettive emergenti con approccio *One Health* integrato medico-veterinario, anche utilizzando tecniche di intelligenza artificiale per la realizzazione di modelli predittivi della emergenza di agenti a potenziale pandemico (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 5, 6); meccanismi patogenetici e differenze di genere nella risposta immunitaria naturale e nella risposta ai farmaci e vaccini nell'infezione da SARS-CoV-2 e da altre infezioni potenzialmente epidemiche e/o pandemiche (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); trial clinici per la verifica della efficacia e tollerabilità di vaccini per la prevenzione e di molecole per la cura della infezione da SARS-CoV-2 e da altri patogeni (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); uso del plasma e suoi derivati (immunoglobuline iperimmuni) nella terapia dell'infezione da SARS-CoV-2 e da altri patogeni (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 5, 6); possibile spettro delle sequele a lungo termine

[72] In Appendice I è riportata la lista degli impatti attesi in Horizon Europe ai quali si fa riferimento nel testo.

dell'infezione da SARS-CoV-2 e del suo impatto sanitario sui bisogni di cura (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3).

Articolazione 3. Implementazione dei sistemi di diagnosi, terapia e follow-up per le malattie non-trasmissibili e/o legate all'invecchiamento

Priorità di ricerca. Le malattie non-trasmissibili (NCDs) rappresentano un carico epidemiologico nelle società ricche, opulente e più industrializzate del mondo occidentale. Il loro comune denominatore è l'infiammazione cronica soprattutto spinta dagli stili di vita sedentari, da un sovraccarico nutrizionale e alimentare che comporta un iperlavoro metabolico dei vari organi e tessuti (ad esempio, cardiovascolare, respiratorio, sistema nervoso, fegato, tessuto adiposo ecc.). A ciò va unita anche l'esposizione a fattori di rischio, quali inquinamento ambientale e il cambio degli stili di vita, caratteristici degli ultimi 50 anni. L'infiammazione cronica che caratterizza queste condizioni rappresenta non solo un elemento patogenetico comune, ma anche uno spunto per l'attività di ricerca di marker precoci di patogenesi, di diagnosi e di follow-up. Fattori genetici e ambientali interagiscono anche nel determinare l'insorgenza delle malattie neoplastiche che nel loro complesso costituiscono un elevato carico di malattia e mortalità.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: fisiopatologia delle NCDs su base infiammatoria e cronico-degenerativa (malattie cardiovascolari, oncologiche, respiratorie, neuroinfiammatorie, autoimmunitarie, endocrino-metaboliche, diabete, obesità, gastro-intestinali, renali ecc.) (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); promozione della medicina di precisione (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); nuovi marcatori per la diagnosi e come target di terapia per le malattie legate all'invecchiamento (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); modelli predittivi per lo studio dei sistemi complessi (analisi computazionali delle NCDs) (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); sistemi analitici per omics e big data (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); nuovi biomarcatori per la diagnosi precoce delle NCDs e del danno d'organo o per la loro classificazione includendo una prospettiva di genere (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 5); cluster di patologia e di danno d'organo, loro distribuzione, fattori di rischio e meccanismi eziopatogenetici (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 3); pannelli multiomics per la diagnosi molecolare, per indirizzare scelte terapeutiche, per il follow-up e per il monitoraggio della terapia in una prospettiva di medicina personalizzata (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 4, 5); sistemi di monitoraggio remoto per la gestione e la riabilitazione adattata e per l'aderenza diagnostico-terapeutica (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); sviluppo di banche di tessuti e fluidi biologici corredate di dati clinici di pazienti affetti da NCDs (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); sviluppo di banche di tessuti animali e di modelli preclinici di malattia (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); metodiche in vivo aderenti alle 3R (*Replacement, Reduction and Refinement*) per la valutazione simultanea di danno multiorgano e facilitazione dell'accesso alle infrastrutture di ricerca esistenti (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); differenze biologiche di genere nella costruzione di modelli pre-clinici o nelle ricerche *in silico* (cellule, organoidi, animali) (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); modelli *ex vivo* di sistemi complessi quali organoidi e modelli 3D (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); progetti di ricerca clinica basati sulla *real world evidence* e *patient centric* per la verifica dell'efficacia e della costo-efficacia degli interventi (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 4); modelli per la caratterizzazione del ruolo del microbioma intestinale e ruolo nella fisiopatologia delle NCDs (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); modelli animali basati sul *cross-talk interaction* con comorbidità (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); nuovi bersagli molecolari, identificati attraverso la definizione degli effetti di alimentazione ed esercizio fisico, per lo sviluppo di farmaci mirati nelle NCDs (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); alimentazione funzionale come strategia preventiva per le NCDs (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); nuove sonde molecolari per tecniche diagnostiche (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5).

Articolazione 4. Neuroscienze e salute mentale

Priorità di ricerca. Ricerche su fattori molecolari, interazioni cellulari e disfunzioni strutturali e/o funzionali dei circuiti cerebrali alla base dei disturbi del sistema nervoso centrale nonché dell'impatto di fattori genetici, epigenetici e ambientali sul funzionamento dell'encefalo, tenendo conto della complessa interazione tra mondo esterno e sistema nervoso centrale con approccio metodologico che includa diverse figure professionali e portatori di interesse, inclusi i pazienti e le loro associazioni. Applicazione della intelligenza artificiale per la diagnostica, classificazione e stratificazione delle malattie del sistema nervoso centrale con particolare riferimento alle malattie neurodegenerative e

mentali. Costruzione di un database nazionale di dati clinici e genomici e una biobanca di campioni biologici atti a identificare sottogruppi omogenei di pazienti e favorire la ricerca di base e applicata per la diagnosi e cura. Sviluppo di metodologie diagnostiche e target o strategie terapeutiche per le malattie neurologiche e psichiatriche.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: meccanismi neurocognitivi e fisiopatologici centrali e relative influenze dei fattori di rischio biologici e ambientali e dello stile di vita su patologie neurologiche e sui disturbi mentali (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2, 3); nuove metodologie e marker predittivi per diagnosi, follow-up e terapia (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 5, 6); caratterizzazione dei disturbi mentali e delle malattie neurodegenerative e neuroinfiammatorie (ad esempio, la SLA) al fine di ottimizzare la selezione e la stratificazione dei pazienti negli studi clinici, al di là della definizione sindromica (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); tecniche di IA, ovvero di *machine learning*, per l'analisi di big data nelle malattie neurologiche e nei disturbi psichiatrici (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 5, 6).

Articolazione 5. Valutazione dell'impatto dell'ambiente sugli *outcomes* di patologie acute e cronico-degenerative

Priorità di ricerca: valutazione dell'impatto delle condizioni socioeconomiche, delle fonti di inquinamento chimico e fisico, inclusi i campi elettromagnetici non ionizzanti, e degli interferenti endocrini sullo sviluppo e/o sulla progressione delle patologie cronico-degenerative, infiammatorie, neoplastiche endocrino-metaboliche e andrologiche e infettive; mappatura nazionale dello stato nutrizionale con particolare interesse nell'età infantile e adolescenziale. La salute delle persone, degli animali e degli ecosistemi è interconnessa e l'approccio *One Health* promuove una visione sistemica della salute e l'applicazione di una metodologia multi e transdisciplinare per affrontare i rischi potenziali o esistenti che hanno origine all'interfaccia tra la salute umana, quella degli ecosistemi e degli ambienti antropizzati; valutazione del ruolo tossico/farmacologico sullo sviluppo delle infezioni, in particolare di quelle sostenute da nuovi virus e da MDRO, alla luce dell'esperienza drammatica della recente pandemia da SARS-CoV-2 e le previsioni sulla mortalità legate a infezioni da MDRO; valutazione del ruolo delle alterazioni dello stato nutrizionale, obesità, sarcopenia e del livello di attività fisica sullo sviluppo/progressione delle patologie cronico-degenerative, infiammatorie e neoplastiche in una società caratterizzata dal forte contrasto tra Paesi poveri o in via di sviluppo con alte prevalenze di povertà e Paesi sviluppati caratterizzati dalla grande diffusione del sovrappeso e dell'obesità.

Impatto atteso. L'attività di ricerca avrà impatto sui seguenti aspetti: sostenibilità ambientale, salute, benessere (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2, 3, 4); capacità di adattamento e resistenza delle popolazioni e dei sistemi sanitari ai rischi per la salute legati al cambiamento climatico e ambientale (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2); rifiuti e salute, in particolare la gestione delle emergenze (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2); presenza di determinanti ambientali (rifiuti, inquinamento atmosferico e indoor) coinvolti nello sviluppo/progressione di malattie cronico-degenerative, infettive e neoplastiche legate alle scelte in termini di generazione di energia, pratiche agricole e produzione industriale limitando l'impatto degli interferenti endocrini e dell'inquinamento sulle patologie croniche degenerative compresa la riduzione della fertilità (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2); responsabili politici e autorità di regolamentazione informati e consapevoli sui fattori di rischio ambientale, socioeconomico e professionale nonché sui fattori di promozione della salute, compresa la combinazione di fattori, per la salute e il benessere in tutta la società (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2); nuove metodologie per l'identificazione rapida dell'eziologia batterica delle infezioni, in particolare di quelle sostenute da MDRO, in modo da limitare la terapia antibiotica empirica (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 5); prevalenza e mortalità legata alle infezioni da MDRO (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 3, 5); prevalenza dell'obesità, in particolare nell'età infantile, *nutritional scores* e/o *frailty indexes* specifici al contesto come criteri diagnostici per gli stati di malnutrizione e fragilità muscolare e come predittori prognostici nelle patologie croniche (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1); interventi nutrizionali efficaci nel trattamento della sarcopenia associata a patologie croniche (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 3).

Articolazione 6. Sviluppo di strategie per la sostituzione della funzione di organi e tessuti danneggiati

Priorità di ricerca. In tema di medicina dei trapianti: *a*) il trapianto di cellule ematopoietiche in pazienti oncologici dopo chemioterapia ad alte dosi e/o radioterapia; *b*) l'allotrapianto di cellule ematopoietiche nel trattamento di leucemie, linfomi refrattari e mielomi; *c*) il trapianto di organi solidi con possibile donazione vivente nel trattamento di tumori

solidi, ad esempio trapianto di fegato per il trattamento di lesioni epatiche secondarie da carcinoma del colon-retto; *d*) la prevenzione del rigetto e lo sviluppo della tolleranza al fine di ridurre i rigetti cronici degli organi trapiantati allungando la sopravvivenza degli innesti ed evitando i danni correlati all'immunosoppressione; *e*) la prevenzione di altre complicanze post-trapianto, in particolare infettive, oncologiche, cardiovascolari e renali, principalmente correlate all'immunosoppressione al fine di allungare la sopravvivenza dei pazienti trapiantati, accanto alla definizione di *endpoints* di efficacia. Screening nazionale genomico per identificare soggetti a rischio di trapianto. In tema di medicina rigenerativa, lo sviluppo delle terapie cellulari, basate soprattutto sulle cellule staminali e, partendo dalle potenzialità di cura offerte dall'uso di cellule staminali, lo sviluppo di un processo automatizzato che produca il più elevato numero di cellule per implementare sistemi di cura avanzati. Tale obiettivo dovrà essere sostenuto da tre pilastri: *i*) lo studio di tecnologie robotiche per l'isolamento e la manipolazione cellulare; *ii*) la messa a punto di tecnologie robotizzate per l'espansione cellulare; *iii*) la validazione delle nuove soluzioni attraverso l'esame di ambiti clinici che potranno beneficiare del nuovo processo di produzione e dei nuovi sistemi automatizzati per favorire la ricerca di nuove cure e per rendere fruibili le nuove cure in ospedale. Le linee di ricerca includono, inoltre, l'utilizzo di cellule staminali adipose e neurali fetali umane isolate, o in combinazione con bioprotesi peptidiche, nonché di cellule staminali pluripotenti indotte per la rigenerazione di tessuti che hanno perso la propria integrità istologica, citoarchitettonica e funzionale a causa di patologie vascolari, neurodegenerative, metaboliche, traumi o come conseguenza dell'invecchiamento.

Impatto atteso. L'attività di ricerca avrà impatto sui seguenti aspetti: numero delle donazioni e delle donazioni utilizzate (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1); mortalità e tempi di attesa in lista (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 3); utilizzo di parametri biologico molecolari per la selezione dei donatori e di nuove e più efficaci tecniche di gestione clinica pre- e post-trapianto (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 4); nuove strategie per migliorare la conservazione dei *grafts* (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 5); monitoraggio dell'efficacia clinica in trapiantologia su *endpoints* quali: mortalità/rimozione nei pazienti in lista trapianto, *transplant benefit*, mortalità post-trapianto, QALY (*Quality Adjusted Life Years*) e *futility* (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1); sviluppo di protocolli di ricerca per definire l'efficacia del trapianto di organi solidi in pazienti con nuove indicazioni o con indicazioni ancora controverse (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 4); rigetto acuto e cronico, della ripresa della malattia primitiva e della *graft versus host disease* nei trapianti d'organo e di cellule staminali emopoietiche allogeniche (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 4, 5); definizione di nuovi programmi di immunosoppressione (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); complicanze infettive, cardiovascolari, renali e neoplastiche dopo trapianto (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); performance nella medicina dei trapianti attraverso l'utilizzo di *machine learning* e/o IA per la gestione di big data; (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); sviluppo di sistemi di telemedicina per migliorare la selezione dei potenziali donatori di organo e per la gestione clinica dei pazienti candidati al trapianto e trapiantati (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); sviluppo di modelli cellulari alternativi e più efficaci per la medicina rigenerativa (cellule mesenchimali, staminali adulte, metodiche di isolamento automatizzate, protocolli di differenziamento cellulare) e per la produzione di fattori di crescita (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); ottimizzazione delle cellule staminali pluripotenti indotte (iPSCs) per la rigenerazione di cardiomiociti, cellule del sistema nervoso centrale, beta-cellule pancreatiche, osteociti, condrociti e per riparare il danno d'organo tipico delle NCDs (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 5); creazione di banche di iPSCs da patologie cronico-degenerative ed eredo-familiari per il *drug screening* e *disease modelling* (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 5).

Articolazione 7. Promozione della salute, prevenzione delle malattie e accesso al Servizio Sanitario Nazionale

Priorità di ricerca: individuazione e selezione delle attività di promozione della salute e di prevenzione con evidenze di efficacia e con rapporti costi-efficacia favorevoli per rispondere in maniera adeguata ai bisogni di salute, caratterizzati da una crescente complessità derivante dall'aumento delle cronicità, dall'invecchiamento della popolazione e dall'emergere di nuovi bisogni sociali, conciliando le esigenze di equità, di accesso ai servizi e di solidarietà con le risorse disponibili.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: organizzazione e accesso alle prestazioni di prevenzione, diagnosi e cura anche nell'ottica di una sempre maggiore attenzione ai determinanti sociali di salute per accrescere il livello di consapevolezza relativamente alle disuguaglianze e alla equità (cfr. impatti attesi di

Horizon Europe n. 1, 2, 3, 4); stili di vita dei bambini, degli adolescenti, degli adulti, degli over65 e di popolazioni fragili al fine di prevenire le malattie, favorire un invecchiamento sano e diminuire il loro carico economico sul Servizio sanitario nazionale (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2, 4); sviluppo di sistemi di telemedicina e riabilitazione con l'obiettivo di ridurre la spesa sanitaria (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 4, 5); sviluppo di sistemi di digitalizzazione e standardizzazione del fascicolo sanitario elettronico per l'utilizzo di metadati a scopo diagnostico e terapeutico, anche attraverso l'utilizzo della intelligenza artificiale (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 4 5); sviluppo di sistemi di monitoraggio epidemiologico da remoto per la gestione di pazienti a rischio di malattie non-trasmissibili e per l'aderenza a interventi diagnostici e terapeutici (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 4, 5); salute mentale e interventi finalizzati a limitare i comportamenti a rischio per ridurre morbosità-mortalità e suicidi e per aumentare l'aderenza alle cure (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1); promuovere la salute attraverso ambienti di vita e di lavoro, anche non industriali, più salutari, sicuri, inclusivi e sostenibili con piani di prevenzione e monitoraggio anche per affrontare situazioni ad alto impatto emotivo (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2); capacità nei cittadini di comprendere e seguire interventi di promozione della salute e di prevenzione delle malattie, riducendo anche i fattori di rischio legati a carenze socioculturali ed economiche (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2); interventi di promozione della salute per il contrasto delle malattie della povertà, anche attraverso progetti clinici e studio di modelli sperimentali per la gestione di servizi sanitari dedicati (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2, 3, 4); programmi di screening, organizzati dal Servizio sanitario nazionale e regionale, con l'offerta di test di diagnosi precoce efficaci nel ridurre il rischio di ammalarsi (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 3, 4); medicina delle migrazioni: aspetti sanitari a tutela della salute del migrante e della comunità ospite, aspetti socioantropologici e accesso alle cure (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 2, 3, 4); sistemi di *Health Technology Assessment* per la definizione del valore in termini di costo efficacia delle prestazioni sanitarie aggiunte. (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5).

*Il **Ministero dell'Ambiente della Tutela e del territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 5 e 6 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero della Salute** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 1-7 di questa area d'intervento.*

5.1.2 Tecnologie farmaceutiche e farmacologiche

In Italia, la filiera della salute costituisce l'11% del PIL e il 10% dell'occupazione, la terza industria del Paese. Oltre a un ottimo posizionamento per quanto riguarda qualità e quantità della produzione scientifica, l'Italia vanta, nell'ambito biomedico, farmaceutico e farmacologico, una vasta offerta di formazione culturale, anche a livello di dottorati di ricerca e poli di eccellenza ospedalieri e universitari. Nonostante questo, come si è visto nei capp. 2 e 4, ancora nel 2020, l'*European Innovation Scoreboard* attribuisce all'Italia una capacità complessiva d'innovazione ben al di sotto di quella di Paesi come Francia, Germania, UK e Olanda[73]. Nonostante un buon numero di spin-off attivi nell'area *life sciences*, l'attrazione di investimenti per la loro crescita rimane modesta, e la loro sopravvivenza è limitata dalla mancanza di un ecosistema favorevole e di un metodo di gestione che tenga conto dell'alto rischio e incertezza del settore. Una profonda revisione finalizzata non solo alla valorizzazione delle scoperte pre-competitive, ma anche e soprattutto allo scambio bidirezionale della conoscenza fra atenei, enti pubblici di ricerca e tutti i portatori d'interesse del territorio favorisce, nell'ambito di questa area d'intervento, ma non solo, progetti in co-sviluppo, di *proof of concept* e apertura al mercato. Questo obiettivo potrà essere ottenuto attraverso:

1. l'introduzione di incentivi e riconoscimenti di carriera per gli scienziati che generano innovazione, promuovendo una maggiore cultura imprenditoriale negli atenei ed enti pubblici di ricerca, favorendo un flusso

[73] EC DG GROW/DG RTD (2020), *European Innovation Scoreboard 2020*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

continuo e bidirezionale di informazioni e competenze fra i vari attori della ricerca (partenariati pubblico-privati e *Innovation Hubs* per condivisione, raccolta e gestione dei dati scientifici);

2. il miglioramento della gestione dei dati sanitari, la cui condivisione può generare un'enorme ricchezza grazie all'applicazione dell'intelligenza artificiale alla ricerca farmacologica e farmaceutica. La sfida della *Real Word Evidence* (RWE, l'evidenza clinica relativa a uso, rischi e benefici di un prodotto medico derivata dall'analisi dei "dati del mondo reale") è in Italia ostacolata dalla fonte eterogenea del dato, spesso di difficile accesso e non organizzato in database completi e immediatamente fruibili. È necessaria una politica nazionale robusta per l'accesso e l'interoperabilità dei dati sanitari attraverso l'informatizzazione e standardizzazione delle cartelle cliniche e dei database amministrativi, il censimento e l'integrazione dei registri di malattia;

3. la formazione e il reclutamento di nuove figure professionali a supporto della ricerca, ad esempio, *staff scientist, data manager, data analyst, facility manager* e *knowledge exchange manager* (cfr. par. 4.6) presenti negli altri Paesi europei, che permettano la traslazione della conoscenza da/per il territorio e il funzionamento ottimale (e l'aggiornamento continuo) di laboratori, piattaforme tecnologiche e grandi infrastrutture nazionali di ricerca;

4. l'aumento del supporto e della visibilità della ricerca fondamentale e preclinica nella società civile, affinché ne vengano percepiti valore e importanza e funzionino da volano per la ricerca industriale e clinica;

5. l'investimento nell'aggregazione di soggetti di elevata qualificazione nazionale e internazionale (università, EPR, IRCCS, associazioni dei pazienti, industrie) che, attraverso nuovi modelli di cooperazione circolare, possano generare la massa critica necessaria a sfidare la competitività internazionale nell'ottenere finanziamenti da parte di enti sovranazionali;

6. riduzione del tasso di mortalità delle nuove imprese del settore mediante azioni di coordinamento e supporto (*business coaching* e *business acceleration*) ispirate a finalità e strumenti già individuati dallo *European Innovation Council* (EIC)[74] e finalizzate alla trasformazione dei risultati delle ricerche in prodotti, servizi e modelli di sviluppo di valore commerciale licenziabili a terzi.

Su queste basi, ci si propone di attivare nel periodo 2021-27 un piano per l'incentivazione al trasferimento delle conoscenze, *Quick Transfer of Knowledge (QTK) for citizens*. Il piano *QTK for citizens* e le nuove figure professionali a supporto della ricerca permetteranno di intervenire su azioni di utilità trasversale ai grandi ambiti di ricerca e innovazione del PNR, in sinergia con le linee di finanziamento di Horizon Europe e con le strategie e politiche adottate da EIC.

Affinché il PNR 2021-27 sia davvero motore di sviluppo e innovazione e fonte di relazioni internazionali e industriali per l'intera area biomedica, si lavorerà per cercare di snellire le procedure autorizzative in tema di sperimentazione animale e rendere la normativa nazionale su questo tema coerente con quella europea. L'azione sarà promossa, in particolare, al fine di rimuovere lo svantaggio competitivo per il sistema nazionale della ricerca relativo agli studi su xenotrapianti (incluse procedure di larga applicazione, quali la generazione di valvole cardiache ibride in cardiochirurgia) e su sostanze d'abuso (inclusi gli studi sulla capacità di nuovi farmaci di indurre dipendenza o astinenza come richiesto dagli enti regolatori).

Articolazione 1. Studio delle interazioni fra ospite, agente patogeno e fattori ambientali e comportamentali come concause delle malattie infettive

La pandemia da SARS-CoV-2 ha dimostrato che, per poter aggiornare continuamente l'evolversi dell'infezione, individuare elementi prognostici per una perfezionata sorveglianza sanitaria e permettere il disegno razionale di nuove terapie, è necessario acquisire in tempi brevissimi dati sulla genetica virale, sulla circolazione del virus nella popolazione e sulle determinanti comportamentali e ambientali che ne condizionano la patogenicità. Pertanto, è necessario implementare database di genetica e genomica microbica, aperti all'intera comunità scientifica, contenenti le sequenze virali o batteriche circolanti nei diversi focolai epidemici. Per ogni patogeno, è necessario caratterizzare ciclo replicativo, proteine non strutturali a funzione enzimatica, capacità di interazione con (e di elusione del) sistema

[74] Cfr. ad esempio, *EIC Pathfinder Pilot* e *EIC Accellerator Pilot*, https://ec.europa.eu/research/eic/index.cfm, consultato il 15/11/2020.

immunitario sia innato che adattativo, e i fattori comportamentali, ambientali e genetici associati a diverso esito dell'infezione. Questi dati saranno utili allo sviluppo preclinico e clinico di immunoterapie e di vaccini di nuova generazione.

Impatto atteso[75]. L'accesso aperto a database contenenti le sequenze dei patogeni circolanti favorirà l'individuazione delle determinanti dell'esito ed evoluzione delle infezioni, e di prevedere se la copertura immunitaria acquisita potrà essere efficace verso successive ondate epidemiche del medesimo o di altri agenti infettivi, e saranno di particolare utilità nello sviluppo di strumenti diagnostici, terapie e vaccini specifici, con impatto significativo sulla capacità di comprendere meglio i meccanismi di patogenicità di queste malattie, fronteggiare future pandemie (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3) e promuovere comportamenti più salutari per la prevenzione delle malattie umane (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1).

Articolazione 2. Messa a punto di modalità rapide e innovative per monitorare la presenza di agenti infettivi nei campioni biologici, al fine di avviare terapie precoci, campagne di screening e studi di dinamica epidemiologica

Nella prospettiva di successive onde pandemiche e nella necessità di non interrompere le connessioni nazionali e internazionali è necessario mettere a punto test diagnostici molecolari, rapidi e innovativi ad alta sensibilità e specificità per il monitoraggio istantaneo della presenza del patogeno in campioni di saliva e/o tamponi nasali e/o faringei, e/o in campioni biologici da distretti corporei facilmente accessibili. Queste nuove metodologie, associate a tecnologie di Intelligenza artificiale per il monitoraggio delle cure, permetteranno di comprendere estensione e durata dell'immunità acquisita verso l'agente infettivo nei pazienti e nei soggetti asintomatici e paucisintomatici, consentendo di tracciare la diffusione del patogeno e di intraprendere precocemente strategie terapeutiche o profilattiche; contribuiranno a contenere e prevenire future pandemie, anche a supporto della medicina dei viaggi e delle migrazioni rilevanti per l'Africa subsahariana.

Impatto atteso. Queste ricerche permetteranno di fronteggiare meglio le ondate epidemiche attraverso il potenziamento della sorveglianza sanitaria e di aumentare la consapevolezza dei cittadini sul rischio di infezioni. Avranno, inoltre, impatto sullo sviluppo del potenziale dei nuovi strumenti di *Digital Health* per il miglioramento delle cure e la riduzione dell'impatto delle malattie su cittadini e sul SSN (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5) e per la salute dell'intera popolazione, grazie all'accesso a soluzioni sicure e a basso costo di tipo preventivo ((cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4).

Articolazione 3. Ricerca di nuove molecole attive su agenti infettivi e sviluppo di anticorpi monoclonali e vaccini

Un'efficace terapia anti-infettiva deve prevedere l'uso contemporaneo di più farmaci mirati a bersagli diversi. Benché, in linea di principio, sia difficile mettere a punto una terapia farmacologica unica per agenti patogeni futuri, è importante rivitalizzare la ricerca antivirale con particolare attenzione al riposizionamento di farmaci già in uso, in base alla loro efficacia su patogeni noti (si veda anche *infra*, articolazione 6). In parallelo, vanno incentivati gli studi di *antigen profiling* ed *epitope mapping* delle proteine microbiche, seguiti da clonaggio, sovra-espressione e purificazione di antigeni sui quali testare i sieri dei pazienti, per sviluppare rapidamente anticorpi monoclonali e vaccini (oltre che kit diagnostici, cfr. *supra*, articolazione 2). Verso i vaccini 2.0: nei programmi di prevenzione, i vaccini devono restare una priorità alla luce del fatto che la copertura vaccinale dura spesso per tutta la vita, rendendo il ritorno economico a loro legato molto maggiore dell'investimento iniziale. Tuttavia, essendo lo sviluppo di un vaccino lungo e complesso, dovranno essere previsti importanti investimenti pubblici e/o partenariati pubblico-privato *ad hoc*. Inoltre, è indispensabile potenziare la ricerca sull'antibiotico-resistenza, in ottemperanza alle politiche di *One Health*, attraverso il controllo dell'uso di antibiotici nella popolazione e della loro permanenza nell'ambiente.

Impatto atteso. Queste ricerche avranno impatto sullo sviluppo di cure innovative, sostenibili e di elevata qualità (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4), con particolare attinenza alle malattie infettive, legate alla povertà e neglette (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3) e al controllo della resistenza microbica.

[75] In Appendice I è riportata la lista degli impatti attesi in Horizon Europe ai quali si fa riferimento nel testo.

Articolazione 4. Potenziamento di modelli sperimentali affidabili e predittivi di malattie umane

Per una corretta valutazione delle modalità con cui i farmaci influenzano il corpo umano come singolo sistema biologico complesso, è necessaria la messa a punto di modelli nuovi che permettano di applicare i principi della biologia dei sistemi (*systems biology*) alla farmacologia. La *systems pharmacology* integra tutte le informazioni disponibili sui sistemi coinvolti nelle normali funzioni dell'organismo e loro alterazioni in stato di malattia (*pathway* fisiologici e patologici), i dati omici e i risultati sperimentali e clinici attraverso l'uso di software matematici specifici, al fine di prevedere efficacia e eventi avversi dei farmaci. Essa è utilizzata per generare ipotesi biologiche e farmacologiche e facilitare il design di esperimenti che forniscano dati con maggior predittività di efficacia clinica. Per l'identificazione dei geni coinvolti in patologie e sindromi umane, vanno implementati gli studi su organoidi derivati da cellule staminali umane di tessuti normali o tumorali (*organ/tumor-in-a-dish*) e su modelli integrati idonei a transgenesi *in vivo* ed editing genomico (CRISPr/Cas9), quali *zebrafish* e topi *knock-in* e *knock-down* condizionali, in cui potenziamento o rimozione dei geni avvengono solo in determinati tessuti nell'adulto, estendendo i modelli a entrambi i sessi. Infine è necessario ottimizzare i modelli animali di malattia sui quali testare i farmaci, considerando età, gender, comorbidità, per renderli più predittivi delle patologie umane.

Impatto atteso. Queste ricerche porteranno a una migliore comprensione della genesi delle malattie (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3), migliorando la predittività degli studi preclinici e riducendo il numero degli animali per la sperimentazione; sono, inoltre, strumentali alla messa a punto di terapie basate su approcci non convenzionali altamente innovativi (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5) con applicazioni alla medicina di genere, alle malattie rare e alla terapia personalizzata (si vedano anche articolazioni 6 e 7).

Articolazione 5. Identificazione dei determinanti responsabili delle patogenesi delle malattie attualmente incurabili e della variabilità nella risposta individuale ai farmaci

È necessario sviluppare metodi e algoritmi per analisi integrate di dati eterogenei derivanti da ricerca multidisciplinare estesa anche alle scienze sociali, umane e ambientali e ingegneria (*pan-omics, dynamic systems modelling*) per la valutazione della variabilità fenotipica dei singoli individui, allo scopo di: *a*) identificare bersagli farmacologici personalizzati su cui effettuare screening di molecole in grado di interferirli; *b*) svelare i fattori che influenzano le risposte farmacologiche individuali; *c*) individuare biomarcatori non invasivi prognostici/diagnostici di malattia (inclusi RNA, cfDNA, proteine e altre entità molecolari misurabili anche attraverso biopsia liquida e analisi del contenuto di microvescicole extracellulari). Al tempo stesso, e non in contrasto con la terapia di precisione, vanno identificati i meccanismi molecolari comuni a malattie anche molto diverse dal punto di vista clinico, individuando fra queste le più semplici da modellare, dalle quali ricavare informazioni utili a risolvere la complessità delle altre (ad esempio, malattie neurodegenerative, cardiovascolari e oncologiche causate da alterazioni degli stessi target o *pathways*).

Impatto atteso. Queste ricerche avranno impatto sullo sviluppo di marcatori per la diagnosi precoce e la prevenzione delle malattie umane (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5) e per l'ottimizzazione di soluzioni terapeutiche personalizzate (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4). Favoriranno, inoltre, la messa a punto di nuove terapie con molecole classiche e con nuovi farmaci biotecnologici (ad esempio, miRNA-mimic e anti-miRNA) diretti contro modulatori molecolari specifici della patologia.

Articolazione 6. Implementazione del processo di drug discovery

Vanno potenziati gli studi di *drug repositioning/repurposing* di molecole già in commercio o per le quali siano disponibili studi di sicurezza nell'uomo, privilegiando la collaborazione fra accademia e industria (spesso proprietaria delle librerie virtuali necessarie), e applicando approcci computazionali multilivello, al fine di predire il comportamento delle molecole *in vivo*. Il processo di *drug discovery* andrà reso più efficiente minimizzando i fallimenti attraverso l'applicazione dell'intelligenza artificiale (*machine learning*) e implementando gli studi di *selective drug delivery* per la consegna locale, al sito d'azione, di tossine, chemioterapici o radionuclidi, anche attraverso dispositivi innovativi basati su cellule endogene o loro derivati (ad esempio, globuli rossi, piastrine o microvescicole extracellulari). Le nuove preparazioni dovranno prevedere metodologie verdi di produzione dei farmaci, includere eccipienti e farmaci biodegradabili con sottoprodotti non tossici per l'ambiente e che non diano tossicità in accumulo

Impatto atteso. Queste ricerche accelereranno lo sviluppo di nuove ed efficaci terapie per tutte le malattie, incluse quelle rare (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3), garantiranno lo sfruttamento del potenziale terapeutico di approcci altamente innovativi (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5) e sicuri per l'ambiente (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 2), rafforzeranno la filiera della salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 6), anche attraverso l'integrazione di competenze fra accademia e industria.

Articolazione 7. Estensione delle esistenti terapie cellulari e messa a punto di nuove terapie basate sulla manipolazione di cellule somatiche

Va incentivata la ricerca di base per il futuro adattamento dell'immunoterapia (ad esempio, uso autologo e allogenico di cellule CAR-T) e delle tecniche di editing genomico (cfr. *supra*, articolazione 4) alla pratica clinica, estendendone l'applicazione anche ad altri tipi di cellule somatiche (ad esempio, CAR-NK), ai tumori solidi e malattie non oncologiche e rare.

Impatto atteso. Queste ricerche accelereranno lo sviluppo di nuove ed efficaci terapie sia per malattie ampiamente diffuse nella popolazione sia per le malattie rare (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3), permetteranno l'ottimizzazione di soluzioni terapeutiche personalizzate (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4) e garantiranno lo sfruttamento del potenziale terapeutico di approcci altamente innovativi (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5) non convenzionali.

Articolazione 8. Utilizzo della telemedicina per i trial farmacologici e l'ottimizzazione delle terapie

Dovranno essere ottimizzati elaborazione, interoperabilità con i sistemi aziendali sanitari e gestione delle informazioni provenienti dai biosensori e elettromedicali deputati al tele-monitoraggio sia del paziente in trial farmacologico sia del cittadino nel suo contesto comportamentale e ambientale quotidiano, tanto a scopi preventivi (per suggerire comportamenti idonei allo stato di salute) quanto di gestione di malattie e terapie in corso. Va anche implementata la condivisione delle informazioni tra operatori, specie per pazienti affetti da comorbidità, sottoposti a politerapia e bisognosi dell'assistenza di più medici. Questo potrà avvenire solo attraverso la formazione di nuove figure professionali (*data analyst* e *data manager* esperti di *data munging* e *process mining*) in grado di integrare conoscenze di farmacologia e medicina con competenze statistiche, informatiche e ingegneristiche.

Impatto atteso. Queste ricerche sono essenziali per la creazione di una rete ospedaliera virtuale (tele-medicina, tele-consulto) e di sistemi informativo-informatici strettamente integrati con la rete ospedaliera fisica, con ricadute maggiori sul potenziamento delle soluzioni digitali a favore di un miglior monitoraggio dei trial clinici e più generalmente di una società della salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5), e della promozione di stili di vita e comportamenti virtuosi per la prevenzione delle malattie (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1).

*Il **Ministero della Salute** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 1-8 di questa area d'intervento.*

5.1.3 Biotecnologie

La moderna biotecnologia molecolare e cellulare e l'applicazione della nostra conoscenza del genoma per studiare e ingegnerizzare cellule e organismi a beneficio della salute promettono miglioramenti del benessere simili a quelli ottenuti con altre rivoluzioni tecnologiche.

Le potenzialità delle nuove biotecnologie potranno generare innovazione e un reale miglioramento della salute dei cittadini solo in un contesto di innovazione, anche nel campo delle teorie e delle ipotesi che negli ultimi decenni hanno guidato la ricerca scientifica. L'innovazione tecnologica, infatti, per portare benessere e salute ai cittadini, deve necessariamente accompagnarsi a innovazione delle idee e a nuovi paradigmi della conoscenza scientifica per superarne i limiti concettuali. Questo è particolarmente evidente in alcuni campi quali l'oncologia in cui, a fronte di moltissime e

recenti terapie innovative, il controllo dei processi di diffusione e metastatizzazione di alcuni tumori è ancora impossibile; oppure nelle patologie neurodegenerative e neuropsichiatriche in cui siamo purtroppo ancora molto lontani da qualunque ipotesi di diagnosi precoce o di cura nonostante il notevole sforzo economico e tecnologico profuso negli ultimi decenni; o infine nelle malattie infettive che continuano a porre sfide formidabili (come nel caso della recente pandemia di COVID-19) nonostante i progressi epocali rappresentati da vaccinazioni e chemioterapici. È evidente che, in questi campi, i progressi in termini di salute, saranno raggiungibili solo se un forte investimento sulle biotecnologie sarà accompagnato da un investimento altrettanto forte in teorie e approcci scientifici non ortodossi, multidisciplinari e integrati.

Affinché la ricerca sul cancro abbia un impatto clinico significativo è necessario un maggior coordinamento tra ricerca oncologica di base, traslazionale e clinica. Occorre mirare allo sviluppo di modelli preclinici più sofisticati per meglio comprendere i meccanismi di base di trasformazione e progressione neoplastica e più vicini alla clinica, all'ulteriore utilizzo delle scienze omiche e della biologia dei sistemi in combinazione con altre tecnologie, in modo da dare risposte concrete alle necessità mediche quali la diagnosi precoce, il superamento delle resistenze alle terapie, la messa a punto di nuove strategie di cura. L'interdisciplinarità per raggiungere tali obiettivi deve essere intesa non solo nei confronti di altri settori della ricerca ma anche con l'industria, per accelerare l'uso nella pratica corrente dei nuovi strumenti biotecnologici messi a punto in laboratorio.

La medicina rigenerativa è un'area di ricerca che richiede plurime competenze. Essa possiede in sé criticità e svantaggi e, al contempo, potenzialità e vantaggi. Per quanto attiene ai primi, essi sono fondamentalmente di quattro ordini: *a*) costi elevati degli studi di *tissue engineering* e *organ transplantation*; *b*) complessità strutturale di organi e tessuti umani; *c*) problematiche di natura etica; *d*) limitata *shelf-life* di prodotti derivanti da questi studi sperimentali. Per quanto riguarda, invece, gli elementi positivi, ne esistono almeno tre che dovrebbero spingere verso un potenziamento della filiera scientifica: *a*) impatto positivo sulla salute pubblica, fornendo soluzioni terapeutiche innovative per malattie a elevato impatto sociale ed economico; *b*) possibilità di rimpiazzare/complementare la tradizionale medicina dei trapianti, penalizzata da scarsità cronica di organi da donatori e dalle note problematicità di rigetto; *c*) ripercussioni positive sul piano economico, legate al miglioramento della qualità di vita e alla riduzione di patologie legate all'invecchiamento. Sebbene permangano perplessità sulla convenienza economica, sulle ricadute sociali e sull'efficienza sperimentale, i benefici che derivano dall'implementazione delle tecnologie di *tissue engineering* e *organ transplantation* sono destinati a cambiare profondamente gli scenari della ricerca biomedica.

Gli approcci biotecnologici offrono un contributo essenziale anche per: *a*) la comprensione delle interazioni tra microrganismi e ospite (umano e animale), che hanno un rilevante impatto sul mantenimento dello stato di salute e nella patogenesi delle malattie infettive e anche di molte malattie non-trasmissibili, consentendo lo sviluppo di diagnostici, farmaci e vaccini di nuova generazione; *b*) salvaguardia dell'ambiente, produzione ecocompatibile di biomolecole e riconversione intelligente delle biomasse vegetali basate sull'impiego di microrganismi. Gli aspetti da sviluppare prioritariamente in questi ambiti devono tenere conto non solo della persistente minaccia causata dalle malattie infettive legate alla povertà ma anche delle emergenze epidemiologiche recenti (per esempio SARS-CoV-2, e l'ingravescente presenza di batteri multi-antibiotico-resistenti) e future, delle più importanti problematiche relative alla tutela dell'ambiente (rischi dell'agricoltura intensiva, inquinamento da plastiche e microplastiche), nonché dei campi di ricerca più innovativi come quello che riguarda la composizione e le funzioni dei microbiomi naturali.

Dal punto di vista metodologico, al di là degli approcci canonici e di frontiera propri delle biotecnologie e menzionati nelle specifiche articolazioni, è necessario anche nelle biotecnologie giovarsi della modellizzazione matematica e più in generale della visione di sistema e olistica dei processi biologici, dei progressi della metrologia applicata alla biologia e sulle nuove tecnologie e strumentazioni ideati per lo studio della struttura delle biomolecole in relazione alla loro struttura e al loro potenziale come bersaglio terapeutico.

Articolazione 1. Oncologia

Impatto atteso: offrire strumenti biotecnologici per anticipare la diagnosi della malattia neoplastica e della sua evoluzione metastatica e per individuare nuove terapie mirate a bersagliare meccanismi cellulari e molecolari alterati.

Obiettivi. L'aspettativa di vita qualitativamente accettabile per il paziente oncologico richiede la soluzione di problemi diagnostici e terapeutici interconnessi. Le biotecnologie devono integrarsi con le scienze di analisi dei big data e con

le biobanche. La capacità reale di condivisione dei dati e la possibilità del loro potenziale predittivo mediante approcci di intelligenza artificiale indispensabili per descrivere scenari di medicina preventiva. I maggiori problemi irrisolti che possono giovarsi di approcci biotecnologi sono:

1. la diagnosi precoce della patologia tumorale, che rappresenta il sistema di cura più efficiente in quanto facilita la resezione chirurgica e impedisce la progressione metastatica. Il raggiungimento di tale obiettivo richiede l'integrazione delle scienze omiche disponibili capaci di descrivere il profilo molecolare del tumore e la sua evoluzione clonale con tecniche di imaging avanzato e con l'analisi degli aspetti clinici, delle comorbidità e di stili di vita e socioambientali;

2. la diagnosi precoce della malattia metastatica, che richiede la comprensione delle caratteristiche biologiche di una cellula tumorale con capacità metastatizzanti e le modalità della loro intersezione con l'eterogeneità clonale intratumorale, così come il ruolo del microambiente nel determinare i meccanismi di colonizzazione a distanza. L'obiettivo è l'individuazione di chi svilupperà la malattia metastatica in relazione alle caratteristiche biologiche al momento della stadiazione della patologia attraverso la scoperta di biomarcatori. Avanzamenti conoscitivi molecolari e cellulari in questi ambiti permetteranno, inoltre, di identificare nuovi bersagli terapeutici;

3. il superamento della resistenza primaria e acquisita ai farmaci biologici e a bersaglio molecolare definito, che è la nuova sfida della medicina di precisione oncologica. Occorre conoscere le caratteristiche del tessuto tumorale (cellula tumorale e cellule stromali) per capire le basi molecolari e cellulari della resistenza primaria e acquisita. La definizione dei circuiti biologici che sostengono questi fenomeni è la base per definire nuovi approcci terapeutici, così come la pronta scoperta di ripresa della malattia è lo strumento più efficace per la gestione della malattia;

4. la messa a punto di nuovi farmaci biotecnologici e strategie terapeutiche o la capacità di identificare nuovi impieghi per farmaci già utilizzati, che sono necessari per rendere più curabile la malattia oncologica. Occorre individuare farmaci e/o terapie cellulari che modulino la risposta delle varie componenti dello stroma, la loro interazione con il tumore, con i farmaci a bersaglio molecolare, la chemioterapia e la radioterapia. Sono propedeutiche all'avanzamento in tale area la conoscenza delle basi molecolari della patologia tumorale, la conoscenza del ruolo dello stroma e del sistema immune nella progressione e nei fenomeni di resistenza, la definizione dei circuiti stroma-tumore e tra le singole componenti stromali, nonché la capacità di mettere a punto nuovi modelli animali e cellulari e la capacità di screening di librerie chimiche su sistemi modello.

Gli approcci biotecnologici utili per raggiungere gli obiettivi individuati sono: *a*) tecnologie omiche e omiche su singola cellula (genomica, trascrittomica, radiomica, metabolomica, epigenomica, proteomica); *b*) sistemi *in vitro* di multiorgano (*multiorgan-on-chip*); *c*) modelli animali a basso impatto/costo (*zebrafish*, *Drosophila*, *C.elegans*) per *high-throughput screening*; *d*) nuovi modelli animali geneticamente modificati per studiare le caratteristiche del microambiente; *e*) sviluppo di tecniche di imaging multimodale; *f*) optogenetica; *g*) *genome editing*, *h*) biopsia liquida (ctDNA; miRNA circolante; vescicole extracellulari di derivazione tumorale); *i*) modificazione genetica di cellule del sistema immunitario; *l*) nuovi modelli cellulari 3D che permettano di studiare le interazioni stroma-tumore e le caratteristiche delle cellule tumorali; *m*) diagnostica avanzata basata su approcci nanotecnologici.

Articolazione 2. Medicina rigenerativa, trapianti d'organo e ingegneria dei tessuti

Impatto atteso. Le attività di ricerca biotecnologica in medicina rigenerativa, trapianti d'organo e ingegneria tissutale sono focalizzate al perseguimento dell'ambizioso obiettivo di ridurre significativamente la richiesta di trapianti d'organo e/o tessuto nei prossimi 10-15 anni. Questo ambito di ricerca sfrutta una serie di strategie biotecnologiche (molecolari, cellulari, bioinformatiche) che rientrano nelle competenze di altri settori di interesse del PNR. Si realizza così una piattaforma comune il cui utilizzo condiviso agirà da volano non solo per il contesto salute, ma anche per altri settori a esso affini.

Obiettivi. Si riportano, di seguito, gli obiettivi analitici e le tecnologie che potranno essere utilizzate per la loro finalizzazione.

1. Riduzione dei tempi di attesa e abbassamento del numero di decessi dovuti all'impossibilità di reperire l'organo da trapiantare. Tecnologie applicabili: *a*) *reprogramming* cellulare e caratterizzazione morfologica e molecolare delle cellule iPS; *b*) tecnologie omiche (NGS, trascrittomica, epigenomica metabolomica, proteomica, interattomica); *c*)

modelli matematici e computazionali per la comprensione degli aspetti meccanobiologici e per le applicazioni complesse *tissue engineering*; *d*) comprensione e modellazione degli aspetti meccano-biologici, modelli computazionali basati su *neural networks* per applicazioni complesse di *tissue engineering*; *e*) tecnologie automatizzate con interfaccia nanomateriali e cellule/tessuti per la standardizzazione dei processi di differenziamento.

2. Creazione di una banca nazionale di cellule staminali pluripotenti indotte (iPSCs) da patologie cronico-degenerative ed eredo-familiari, con dati clinici e genomici associati, per il *drug screening* e *disease modelling*. Tecnologie applicabili: i) tecnologie "sicure" di editing genomico ed epigenomico, tecnologia CRISPR-Cas9 per il ripristino di tessuti danneggiati o per il rilascio di molecole capaci di innescare effetti terapeutici sul tessuto danneggiato; ii) robotica guidata da intelligenza artificiale per la prototipazione rapida di sistemi per la fabbricazione di *scaffold*.

3. Riduzione del *testing* su animali da laboratorio. Principi delle 3R (*Replacement, Reduction and Refinement*). Tecnologie applicabili: *a*) utilizzo di cellule ingegnerizzate tramite editing genetico (ad esempio, CRISPR-Cas9); *b*) riprogrammazione epigenetica di cellule malate a causa di fattori ambientali come malnutrizione, effetti indesiderati farmaci, tossine esogene o malattie materne durante la gestazione; *c*) generazione e caratterizzazione di colture 3D e organoidi; *d*) coltivazione di cellule mesenchimali per produzione di fattori rigenerativi/di crescita; *e*) tecnologie di imaging microscopico per lo studio e la caratterizzazione di organoidi e tessuti ingegnerizzati (*4D-live imaging, high-resolution microscopy, intravital microscopy and lineage tracing, multiphoton microscopy*); *f*) tecnologie bioinformatiche, biostatistiche e di intelligenza artificiale per l'analisi di big data.

Articolazione 3. Neuroscienze

Impatto atteso: utilizzare approcci teorici innovativi e nuove biotecnologie per la diagnosi precoce delle principali patologie neurodegenerative e neuropsichiatriche e per individuare nuove terapie per la cura delle medesime.

Obiettivi. A oggi le aspettative di prevenzione, diagnosi precoce e cura delle principali patologie neurologiche, in particolare delle malattie neurodegenerative (ad esempio, Alzheimer e Sclerosi Laterale Amiotrofica) sono pressoché completamente disattese. Stesse considerazioni valgono a maggior ragione per i disturbi psichiatrici. Nuovi approcci biotecnologici, quali le scienze omiche, le nanotecnologie, le nuove tecnologie di imaging e di IA, devono integrarsi con nuovi paradigmi per esplorare ipotesi innovative nel campo delle neuroscienze di base e cliniche. I maggior problemi irrisolti che possono giovarsi di approcci biotecnologici sono:

1. creare modelli cellulari innovativi di patologia attraverso tutte le tecnologie a disposizione (dalle colture classiche alle iPSC, dagli organoidi ai modelli 3D e *gene-edited*, utilizzando le tecnologie di misura più avanzate quali le tecnologie omiche, le tecnologie in *single cell*, i *nanotools*, i biosensori molecolari integrati in chip fluidici ecc.);

2. creare modelli complessi (ad esempio, multiorgano) e in piccoli animali *(C.elegans*, *zebrafish*, *Drosophila* ecc.) a basso costo e innovativi (basandosi anche sulle informazioni ottenute al precedente punto 1), che si prestino a *high throughput screening* (HTS) per screening terapeutici per poi passare a innovativi modelli animali superiori (ad esempio, topi transgenici). I risultati ottenuti *in vitro* andrebbero controllati/validati *ex vivo* in tessuti cerebrali umani;

3. identificare marcatori e biomarcatori innovativi nelle patologie neurologiche, psichiatriche e neurodegenerative utilizzando tutte le tecnologie a disposizione (vedi sopra), per consentire una diagnosi anticipata e identificare nuovi target terapeutici, associando metodologie innovative (*lab-on-a-chip*) e di imaging avanzato (IA e radiomica, *antigen-targeted* MRI mediante *superparamagnetic* Sc-Fv, sistemi nanostrutturati per il miglioramento e l'amplificazione dell'effetto di contrasto anche nei sistemi multimodali, imaging molecolare, optogenetica ecc.), e proporre modelli di screening a basso costo;

4. identificare e caratterizzare i meccanismi di comunicazione intercellulare nel sistema nervoso centrale dipendenti da vescicole extracellulari (ECVs), esosomi e *nanotubes* in fisiologia e in corso di patologie neurodegenerative/neuropsichiatriche. Caratterizzare le informazioni (materiale genetico/proteico) veicolate con questi sistemi mediante le tecnologie omiche in modelli cellulari/animali e nell'uomo;

5. identificare nuovi metodi e tecnologie di neuroimmagine relativi alle malattie neurodegenerative, neuroinfiammatorie, psichiatriche e nell'ambito della neuroriabilitazione mediante l'integrazione con approcci

computazionali innovativi, con l'uso di imaging multimodale e della radiomica, associate a tecniche di stimolazione cerebrale – come la stimolazione cerebrale profonda (DBS), la neuromodulazione, la stimolazione magnetica transcranica (TMS), la stimolazione transcranica a corrente diretta continua (tDCS) o la stimolazione transcranica a ultrasuoni focalizzati;

6. identificare e caratterizzare le varianti genetiche di rischio di sviluppo di patologie neurologiche e psichiatriche e i fattori ambientali (quali alimentazione, esposizione a virus o sostanze tossiche, educazione, stato socioeconomico, interazioni sociali) che attraverso meccanismi epigenetici (ad esempio, metilazione del DNA, metilazione e acetilazione degli istoni, microRNA) possano modulare l'espressione dei geni aumentando il rischio o contribuendo direttamente allo sviluppo di malattie neurologiche, psichiatriche e neurodegenerative. L'utilizzo di metodiche omiche per lo studio di varianti genetiche ed epigenetiche, combinato a valutazioni psicometriche e misurazioni strutturali e funzionali *in vivo* potrà contribuire alla comprensione dei meccanismi biomolecolari di risposta agli stimoli ambientali che concorrono allo sviluppo psicofisico dell'individuo, agli aspetti di vulnerabilità/resilienza e che portano alla comparsa di malattie neurologiche, psichiatriche e neurodegenerative;

7. proporre metodologie terapeutiche e riabilitative innovative per le maggiori patologie neurodegenerative, neurologiche e psichiatriche, basandosi sia su metodologie classiche (nuovo farmaco, nuovo anticorpo monoclonale umanizzato ad es.) sia su metodologie non convenzionali e innovative (elettroceutica, *gene-editing*, staminali e neurogenesi nell'adulto, sistemi nanovettoriali ecc.);

8. costruzione di una banca nazionale di tessuti cerebrali *post mortem* di malattie neurodegenerative e mentali attraverso donazione. A ogni campione è necessario associare una descrizione digitale delle caratteristiche cliniche dell'individuo.

Articolazione 4. Interazioni microrganismi-ospite nella salute e nelle malattie umane e animali

Impatto atteso: sviluppare approcci teorici e strumenti biotecnologici innovativi per migliorare sia la comprensione dei rapporti tra microrganismi e ospite nel mantenimento dello stato di salute e nella patogenesi delle malattie umane e animali sia la prevenzione, il controllo e il trattamento delle malattie da infezione e delle malattie non-trasmissibili.

Obiettivi. I microrganismi svolgono un ruolo essenziale sia nel mantenimento dello stato di salute umana e animale, sia come agenti di malattie da infezione, e possono svolgere anche un ruolo nella patogenesi di molte malattie non-trasmissibili. Le biotecnologie devono integrarsi con le tecnologie per l'analisi dei big data, le scienze cliniche e veterinarie e le scienze della prevenzione per sviluppare approcci teorici e strumenti biotecnologici innovativi utili a risolvere aspetti irrisolti e prioritari in questo ambito, quali:

1. migliore comprensione del ruolo del microbiota e delle interazioni *transkingdom*: i) nei processi fisiologici e nel mantenimento dello stato di salute (compresa la salute materno-fetale); ii) nella patogenesi delle malattie (ruolo delle coinfezioni, sovrainfezioni, patobionti, ed evoluzione delle patologie cronico-degenerative), e sviluppo di applicazioni diagnostiche e terapeutiche innovative basate su analisi e manipolazione del microbiota;

2. miglioramento della diagnosi delle infezioni umane e animali in termini di rapidità, sensibilità e accuratezza, compresa una predizione più rapida e accurata della sensibilità ai farmaci antimicrobici e una valutazione più accurata del rischio di infezione in caso di colonizzazione mucosale da potenziali patogeni, basate su tecnologie innovative (ad esempio, scienze omiche, *single-cell imaging*, microcalorimetria) e implementabili anche su sistemi per *point-of-care testing*, nell'ottica di una medicina personalizzata nel campo delle malattie infettive;

3. potenziamento dei sistemi per il tracciamento su larga scala della diffusione di patogeni infettivi a con potenziale epidemico/pandemico, e per la rilevazione precoce di fenomeni di spillover a rischio epidemico per patogeni a carattere zoonotico, in una prospettiva *One Health*, compresi sistemi altamente processivi e a basso costo per l'utilizzo sostenibile in contesti a risorse limitate;

4. sviluppo di strategie antimicrobiche innovative non-convenzionali per combattere il fenomeno della farmaco-resistenza, basate, ad esempio, su batteriofagi o loro componenti, anticorpi monoclonali ricombinanti, terapie fotodinamiche, inibitori della colonizzazione, inibitori della virulenza;

5. sviluppo di vaccini innovativi per malattie umane e animali, che migliorino in termini di efficacia le caratteristiche di quelli attualmente disponibili, o estendano la protezione vaccinale nei confronti di patogeni per i quali non sono ancora disponibili, con priorità nei confronti di agenti emergenti ad alto potenziale di diffusione epidemica/pandemica.

Gli approcci biotecnologici per raggiungere gli obiettivi di questo ambito di ricerca comprendono tecnologie quali: i) tecnologie omiche anche a livello di singola cellula e rispettive approcci biostatistici e pipeline bioinformatiche; ii) tecnologie per amplificazione e analisi genetica ultrarapida ad elevata automazione ed elevato *multiplexing*; iii) tecnologie per analisi genomica *high-throughput* a basso costo; iv) tecnologie di *single-cell imaging* e microcalorimetriche per valutare rapidamente le risposte cellulari ad agenti antimicrobici; v) modelli animali a basso impatto/costo e nuovi modelli animali o tissutali rappresentativi di specifiche patologie per analisi di meccanismi di patogenicità, interazioni *trans-kingdom* ed efficacia di terapie antimicrobiche alternative; vi) diagnostica avanzata basata su approcci nanotecnologici; vii) tecnologie innovative di espressione genica eterologa; viii) biotecnologie microbiche per la costruzione di microrganismi ingegnerizzati; ix) tecnologie innovative in vaccinologia.

Articolazione 5. Biotecnologie microbiche

Impatto atteso: identificare e sviluppare un set di biotecnologie basate sull'uso di microrganismi che siano di supporto per la salvaguardia della salute e dell'ambiente.

Obiettivi. La salvaguardia della salute è un problema dalle molteplici sfaccettature che richiede di considerare come oggetto di attenzione sia l'essere umano sia l'ambiente. In tale contesto possono giocare un ruolo fondamentale le biotecnologie microbiche, che rappresentano uno strumento valido per la produzione di molecole di interesse farmacologico, per lo sviluppo di nuove strategie ecocompatibili nell'agricoltura, per la riduzione degli impatti negativi della plastica e delle microplastiche e, infine, per lo sviluppo di una bioraffineria che consenta la conversione di biomasse residuali per fornire un portfolio di prodotti *bio-based*. I maggior problemi irrisolti in questo ambito, che possono giovarsi di approcci biotecnologi, sono:

1. produzione di biomolecole per applicazioni in campo farmacologico. Il miglioramento dei processi di fermentazione batterica e l'uso di strategie quali *system biology*, *synthetic biology* e ingegneria genetica, sono il mezzo per ottimizzare la produzione per via microbica di composti bioattivi (antiossidanti, antibiotici), di biopolimeri compatibili (per il *tissue engineering*, per il *drug delivery* ecc.) e di nanoparticelle da usare in ambito diagnostico;

2. utilizzo di microrganismi in agricoltura come strategia ecosostenibile. Lo sviluppo di nuove strategie ecocompatibili nell'agricoltura intensiva mediante l'uso di microorganismi risulta indispensabile per contrastare i rischi ambientali, ecologici e per la salute umana. Tale strategia può essere perseguita applicando nei suoli di coltivazione consorzi microbici noti come *Plant Growth Promoting Bacteria* (PGPB) che agiscono sia come fertilizzanti sia come difesa da patogeni, limitando l'uso di pesticidi e favorendo la tutela dell'ambiente e della salute dell'uomo. La grande ricchezza e qualità alimentare italiana richiedono strumenti per conoscere meglio la composizione delle materie prime, del prodotto finito, degli effetti della conservazione, per definire parametri misurabili e utili a correlare nutraceutica e prevenzione. Quindi studi di caratterizzazione chimico-fisica e funzionale degli alimenti, correlazione con microbiota e infiammazione, e nuovo focus sui *baby foods*;

3. studio della biodiversità microbica della "plastisfera" di habitat antropizzati e di ecosistemi polari per la salvaguardia del nostro pianeta. Sviluppo di soluzioni ecocompatibili e sostenibili per la biodegradazione delle miscele di rifiuti di plastica basate sull'uso di cocktail di microrganismi e/o dei loro enzimi degradativi per biotrattamenti efficienti atti a valorizzare le materie plastiche (comprese le microplastiche). La conversione *ad hoc* della plastica in prodotti utili e riutilizzabili attraverso la biocatalisi ambientale potrà contribuire, prevenire e mitigare gli impatti ambientali, soprattutto degli ecosistemi marini antropizzati e degli ecosistemi di pregio incontaminati come quelli polari. Le microplastiche possono anche rilasciare sostanze chimiche aggiunte durante la loro produzione, come plastificanti, coloranti o ritardanti di fiamma e possono essere un veicolo di inquinanti nell'acqua che beviamo, quali i bifenili policlorurati (PCB), il diclorodifeniltricloroetano (DDT), oli lubrificanti e metalli pesanti. Infine, i biofilm formati sui detriti di plastica potrebbero essere più inclini alla colonizzazione da parte di agenti patogeni o batteri resistenti agli antibiotici. A causa del rapporto superficie/volume più elevato, le microplastiche possono accumularsi

più rapidamente e rilasciare sostanze chimiche e microbi da / verso l'ambiente in misura maggiore rispetto alle "lettiere" di plastica più grandi;

4. gestione intelligente delle biomasse vegetali e loro conversione in prodotti a base biologica e biocarburanti mediante bioconversioni microbiche. Programmazione e sviluppo di una bioraffineria integrata nel territorio per valorizzare gli scarti di produzioni industriali e agricole, attraverso la biotrasformazione in materiali e prodotti ad alto valore aggiunto e basso impatto ambientale potenzialmente applicabili in altri settori industriali (energetico, farmaceutico, alimentare, cosmetico). Individuazione delle risorse inesplorate (biomasse non in competizione con la catena alimentare e scarti in generale) utilizzabili come materie prime per la produzione sostenibile di composti chimici, carburanti, energia e materiali attraverso la bioconversione con l'uso di enzimi d'interesse opportunamente immobilizzati per dar luogo a "microreattori" per processi in continuo.

Articolazione 6. Terapia genica e medicina personalizzata

Impatto atteso. Offrire nuove piattaforme tecnologiche al fine di individuare nuovi approcci di terapia genica e a base di acidi nucleici (DNA e RNA modificati) mirati a modificare/compensare la presenza di mutazioni patogeniche o di limitare/eliminare agenti infettivi. Considerando che l'insieme dei farmaci disponibili interferisce con l'attività meno dell'1% del genoma, la capacità corrente di modificare/restaurare l'attività cellulare o di un organo rimane estremamente limitata e ignora le potenzialità terapeutiche di azione sul restante 99% del genoma umano. I recenti successi di nuovi farmaci basati su trattamenti personalizzati di terapia genica e a base di acidi nucleici (siRNA, oligonucleotidi antisenso ecc.) suggeriscono che questa nuova classe di molecole rappresenterà una porzione rilevante dei nuovi farmaci in commercio nei prossimi anni. Questa consapevolezza ha aumentato enormemente l'investimento privato e delle big pharma negli ultimi 5 anni in questo settore. È quindi necessario implementare la messa a punto di nuove piattaforme tecnologiche scalabili (applicabili a un gran numero di malattie), la conoscenza dei meccanismi di azione degli RNA e del loro uso potenziale come trattamenti farmacologici innovativi. Questo ambito di ricerca si applica trasversalmente alle altre articolazioni del PNR ed è particolarmente importante per la sostenibilità del Servizio sanitario nazionale visti gli altri costi di questa classe di farmaci biotecnologici (ad esempio, farmaci antivirali per l'epatite o di terapia genica).

Obiettivi:

1. ottimizzare la messa a punto di vettori virali per l'espressione di RNA/proteine di potenziale uso terapeutico per malattie genetiche rare o per la cura di malattie complesse;
2. identificare nuove tecnologie scalabili a base di acidi nucleici che possano modificare o ripristinare l'espressione genica fisiologica o inibire la replicazione di agenti infettivi;
3. identificare nuove molecole a RNA (ad esempio, siRNA o miRNAs) che possano essere utilizzate come farmaci;
4. sviluppare nuovi algoritmi di predizione della struttura degli acidi nucleici e della loro interazione con proteine;
5. identificare le modifiche chimiche necessarie alla stabilizzazione *in vivo* degli acidi nucleici;
6. sviluppare approcci innovativi per il rilascio di queste molecole *in vivo* (ad esempio, nanoparticelle, esosomi, nuovi vettori virali);
7. messa a punto di una filiera di produzione di acidi nucleici/vettori virali in condizioni GMP al fine di implementare lo sviluppo di una industria biotecnologica nazionale nel campo della terapia genica e a base di acidi nucleici.

*Il **Ministero della Salute** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 1-6 di questa area d'intervento.*

5.1.4 Tecnologie per la salute

L'analisi critica del contesto italiano rivela che la ricerca sulle tecnologie per la salute, di natura sia fondamentale, traslazione, clinica o sociale/sanitaria, presenta numerosi punti di forza ma anche aspetti che richiedono un intervento sistemico e un investimento rilevante in termini di visione, progettazione e risorse. Il Paese ha in questo ambito un alto

potenziale in termini di sviluppo di competenze specialistiche, ad esempio, bioingegneristiche, una capacità consolidata di tradurre idee e scoperte in produzione scientifica di eccellenza e un progressivo aumento di aziende spin-off generate dai laboratori di ricerca. I settori industriali pharma e biomedicale sono in forte crescita: l'Italia è il terzo Paese europeo per valore della produzione e secondo per numero di addetti nelle industrie farmaceutiche. Tuttavia, è ancora sottostimata la necessità di creare una categoria di ricercatori stabili, professionalizzati e competitivi nel contesto internazionale, che garantisca non solo continuità, ma anche la capacità di esplorare ambiti di ricerca particolarmente innovativi e ancora acerbi.

Partendo dagli stimoli emersi dall'analisi critica del contesto, si propone di attivare due azioni di sistema a valenza nazionale dedicate l'una al potenziamento della rete di centri di sperimentazione clinica e l'altra al potenziamento della rete di biobanche italiane e due piani strategici nel periodo 2021-27, *HealthTech for Society 5.0* e *One Health Impact Evaluation*.

Nell'ambito dell'area d'intervento "Tecnologie per la salute", sono stati individuati 12 filoni di ricerca caratterizzati da livelli di TRL diversi che si ritengono rilevanti nel futuro: accanto a sviluppi tecnologici, di cui si vede già ora una applicazione clinica (le articolazioni da 1 a 8), sono proposti 3 filoni di ricerca il cui stadio di evoluzione è ancora quello della ricerca fondamentale (le articolazioni da 9 a 11). Conclude la proposta un'articolazione trasversale (la 12) dedicata allo sviluppo della ricerca sanitaria. Le articolazioni proposte sono volte a sviluppare ricerca fondamentale, traslazionale, clinica e sociale, sinergiche con i programmi e gli obiettivi espressi da alcuni Ministeri in questo ambito.

In particolare, la centralità dell'approccio *One Health* promossa dal Ministero della Salute è pienamente coerente con il piano *One Health Impact Evaluation*, così come analoga è l'enfasi sull'importanza strategica del miglioramento della qualità della ricerca traslazionale e clinica e del potenziamento del trasferimento tecnologico, che sottende le diverse articolazioni della ricerca e le azioni a valenza nazionale.

Articolazione 1. *Digital Health*: telemedicina, tecnologie digitali e sensoristica per la medicina preventiva, partecipativa e personalizzata e per l'innovazione dei servizi sanitari e dell'ingegneria clinica (TRL>4)

Priorità di ricerca. **Articolazione 1a**: applicazione della telemedicina per il potenziamento della sanità territoriale, per la gestione del malato cronico, per la salute mentale, per le attività di consulto tra specialisti e per i percorsi di riabilitazione; applicazione della telemedicina nei trial clinici farmacologici; sviluppo di app per raccogliere, trasmettere e conservare dati, segnali e informazioni sui pazienti, sui loro stili di vita, sulla loro compliance ai trattamenti e ai piani assistenziali integrati; utilizzo delle tecnologie digitali per lo sviluppo di programmi di formazione rivolti agli operatori (sanitari/socio sanitari/tecnici), allo scopo di accompagnare l'introduzione e utilizzo di nuove tecnologie e/o nuove procedure cliniche e creare community a supporto dell'innovazione incrementale; utilizzo delle tecnologie digitali per lo sviluppo di nuovi modelli di informazione, educazione sanitaria e coinvolgimento di cittadini e pazienti in partenariato con le associazioni che li rappresentano.

Priorità di ricerca. **Articolazione 1b**: sistemi indossabili, anche microdispositivi basati su *smart materials* (ad esempio, piezoelettrici, piezoresistivi), per il monitoraggio di parametri vitali di base e di ulteriori parametri fisiologici, di fattori di rischio comportamentali e ambientali; dispositivi medici dotati di sensori avanzati e tecnologie di comunicazione per il monitoraggio dello stato del paziente, dell'uso, delle prestazioni e dell'efficacia dei dispositivi medici stessi, anche attraverso metodologie matematiche e statistiche *real time embedded* nel sistema sensoristico; sviluppo di metodologie matematiche e statistiche *real time* per problemi inversi complessi connessi alla raccolta e combinazione di dati spesso eterogenei.

Impatto atteso[76]. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: mantenimento di stili di vita salutari e maggiore adesione agli screening di prevenzione, grazie ad una accresciuta capacità di raggiungere i cittadini con modelli di comunicazione più efficaci e capillari (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1); miglioramento della qualità della salute pubblica e rafforzamento di un settore industriale innovativo grazie a una migliorata capacità di introduzione dell'innovazione tra gli operatori e un modello di accompagnamento, formazione, innovazione più capillare ed efficace (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 4, 6); sviluppo del potenziale dei nuovi strumenti di *Digital*

[76] In Appendice I è riportata la lista degli impatti attesi in Horizon Europe ai quali si fa riferimento nel testo.

Health al fine del miglioramento della cure e della riduzione dell'impatto delle malattie su cittadini e sul SSN (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5).

Articolazione 2. Intelligenza artificiale per la diagnostica di precisione, le terapie personalizzate e per l'innovazione organizzativa e gestionale dei processi sanitari (TRL> 3)

Priorità di ricerca: sviluppo di cartelle cliniche integrate per la gestione dei dati omici; IA a supporto dei processi clinici (diagnosi, cura e trattamento); IA applicata all'imaging, e alla radiomica per l'estrazione e predizione di informazioni cliniche predittive; strumenti matematico statistici di *big data analytics and machine learning*, e di *High Performance Computing* per l'analisi e la gestione di dati clinici e dati omici; strumenti digitali per il supporto alle decisioni cliniche (DSS) e alla predizione degli *outcome*; algoritmi di IA a supporto dell'organizzazione e gestione dei servizi sanitari (*score* di priorità, dimensionamento flessibile delle strutture, monitoraggio eventi sentinella, supporto a operatori distribuiti sul territorio per la decentralizzazione delle cure); sviluppo e certificazione di terapie digitali.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: affrontare le malattie e contenere il loro effetto sulla società grazie a una più approfondita conoscenza delle patologie utilizzando strumenti tecnologici innovativi (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4); rendere completamente disponibili le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5).

Articolazione 3. Sistemi di realtà virtuale e aumentata per la simulazione e l'interfacciamento con tecnologie biomedicali (TRL>3)

Priorità di ricerca: interfacce avanzate basate su tecnologie di realtà virtuale e aumentata per dispositivi medici e per la gestione di strumentazione biomedica; sistemi innovativi di simulazione avanzata di procedure cliniche per la formazione del personale sanitario, sia nella formazione di base che di quella continua, mirata all'utilizzo appropriato e sicuro di nuove tecnologie per la salute; strumenti di realtà virtuale e aumentata per simulazioni dell'esperienza del paziente, per studi pre-procedurali, per il *counselling* pre- e intraprocedurale.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: personalizzazione delle procedure chirurgiche e riabilitative, incremento di efficacia e riduzione del numero di eventi avversi in procedure ad alto rischio e miglioramento del livello di soddisfazione e dell'esperienza complessiva dei pazienti (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4); accelerazione dell'adozione di dispositivi medici avanzati per procedure cliniche esistenti o innovative (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); sviluppo di centri di simulazione di alta qualità utili per la valutazione di dispositivi medici innovativi, per la formazione continua del personale medico-sanitario, degli studenti, specializzandi e dottorandi di medicina, di professioni sanitarie, di ingegneria biomedica e di altri percorsi correlati al settore delle tecnologie per la salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 6).

Articolazione 4. Robotica per la Salute e Sicurezza 4.0 (TRL>3)

Priorità di ricerca: sistemi robotici a supporto delle procedure cliniche (diagnostiche, chirurgiche, riabilitative); sistemi robotici a supporto dell'erogazione dei servizi sanitari, anche in contesti ad alto rischio per gli operatori; sistemi robotici a supporto della vita autonoma in contesti sociali e lavorativi e per la longevità in salute; sistemi robotici per la salute, la sicurezza e il benessere lavorativo.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: riduzione del rischio di malattie professionali e infortuni sul lavoro (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 2); miglioramento degli esiti di cura e del recupero di funzionalità tramite lo sviluppo e ottimizzazione di procedure cliniche per terapie innovative chirurgiche, interventistiche e riabilitative (a domicilio, in strutture ambulatoriali e/o residenziali) (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); miglioramento dell'efficacia e dell'efficienza dei servizi sanitari erogati, anche in situazioni di alto rischio, mediante garanzia di continuità assistenziale, monitoraggio e sorveglianza attiva e flussi comunicativi continui tra operatore e paziente (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4).

Articolazione 5. *Organ-on-chip* per la modellistica sperimentale di sistemi biologici mediante la realizzazione di omologhi tissutali nativi per la ricerca pre-clinica e la personalizzazione della terapia (TRL>3)

Priorità di ricerca: sviluppo di sistemi basati sulla co-coltura in 3D e microfluidica per simulare le funzioni di singoli organi; piattaforme basate su *organ-on-chip* per lo screening in larga scala di potenziali principi attivi; sviluppo di sistemi multiorgano per la simulazione delle interazioni biologiche a livello sistemico; sistemi avanzati di interazione cellulare, a livello di singolo e multiorgano, in grado, di simulare la risposta di cellule iPS paziente specifiche, la reazione immunitaria e la risposta infiammatoria in vitro; validazione di *organ-on-chip* a livello pre-clinico per la riduzione del ricorso alla sperimentazione su animale; comprensione delle dinamiche di origine meccanobiologica per l'ottimizzazione dei processi utilizzati nell'ingegneria tissutale.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: utilizzo a livello clinico di indagini innovative per scoprire nuovi meccanismi fisiopatologici e sviluppare nuovi farmaci per una medicina personalizzata (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4); sviluppo di tecnologie e conoscenze che possano integrarsi nei sistemi convenzionali di cura (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); miglioramento del potenziale innovativo di industrie del settore biomedicale e del ruolo delle stesse a livello europeo e mondiale (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 6).

Articolazione 6. *Lab-on-chip* e biosensoristica per IVDs (TRL>3)

Priorità di ricerca: tecnologie di diagnosi *in vitro* e *in vivo* e biosensoristica per screening rapidi di target molecolari e cellulari direttamente in fluidi biologici; sistemi robusti, sensibili e affidabili per la determinazione quantitativa di marcatori molecolari e per la separazione e identificazione di fenotipi cellulari a costo e tempo ridotto; sonde otticamente attive minimamente invasive e/o impiantabili per indagini di imaging molecolare e cellulare *in vivo* anche in combinazione con tecniche di optogenetica.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4); rendere pienamente disponibili le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); consentire alla ricerca industriale sanitaria di essere innovativa, sostenibile e globalmente competitiva grazie all'acquisizione di tecnologie d'avanguardia (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 6).

Articolazione 7. Dispositivi medicali, organi artificiali e tecnologie neuromorfiche per la medicina bionica e rigenerativa

Priorità di ricerca: sviluppo di nuove tecnologie per la progettazione di soluzioni biomedicali specifiche per il paziente e la produzione di dispositivi impiantabili e non, in particolare di quelli endovascolari e intravascolari; sistemi innovativi per la sostituzione della funzione d'organo (nuovi sistemi dialitici per l'adozione dell'emodialisi domiciliare e ridurre i costi dei trattamenti dialitici, strategie per ridurre le complicanze dei dispositivi VAD, strategie per aumentare efficienza e automazione dei sistemi ECMO, sistemi di preservazione della funzione degli organi in vista del trapianto, endoprotesi); tecnologie neuromorfiche per applicazioni in medicina e tecnologie a bassa invasività per il sistema nervoso centrale e/o quello periferico; tecnologie per la rigenerazione di tessuti complessi *in vitro* e *in vivo* anche attraverso l'utilizzo di tecnologie di stampa 3D ottenute da informazioni anatomiche derivanti da immagini cliniche; integrazione in clinica di sistemi per produzione di modelli fisici 3D anche per la pianificazione chirurgica e il training chirurgico; sviluppo di modelli fisici e computazionali.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: applicazioni cliniche innovative e *patient-specific*; aumento della qualità delle cure mediante tecnologie più efficaci, con riduzione delle complicanze e maggiormente sostenibili (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4); tecnologie innovative e nuovi strumenti per un utilizzo più clinicamente efficace e economicamente sostenibile da parte dei sistemi sanitari e assistenziali (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); sviluppo e validazione di dispositivi medicali in grado di fornire opportunità di crescita industriale per rendere l'Italia indipendente dalle importazioni di prodotti tecnologici strategici (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 6).

Articolazione 8. Fisica medica avanzata

Priorità di ricerca: tecnologie per ottimizzare l'impiego di radiazioni ionizzanti/non ionizzanti in diagnostica e radioterapia e automazione delle relative procedure; nuove metodiche di fisica quantistica, statistica e computazionale applicate a sistemi biologici complessi e ad immagini mediche.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: affrontare le malattie e ridurre l'onere della malattia (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4); rendere pienamente disponibili le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); consentire alla ricerca industriale sanitaria di essere innovativa, sostenibile e globalmente competitiva grazie all'acquisizione di tecnologie d'avanguardia (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1).

Articolazione 9. Nanotecnologie per la nanomedicina (TRL<4)

Priorità di ricerca: nanotecnologie per la veicolazione efficiente di agenti terapeutici; nanomateriali biocompatibili per la diagnostica per immagini, anche attraverso l'utilizzo di particelle o substrati plasmonici e nanoparticelle magnetiche; nanomateriali utili per la medicina rigenerativa.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4); rendere pienamente disponibili le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); consentire alla ricerca industriale sanitaria di essere innovativa, sostenibile e globalmente competitiva grazie all'acquisizione di tecnologie d'avanguardia (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 6)

Articolazione 10. Bioinformatica e biologia sintetica (TRL<4)

Priorità di ricerca: nuovi algoritmi, metodologie e tecnologie per l'analisi di dati biologici e la modellazione dei sistemi biologici (*high-throughput screening*, *High Performance Computing*, *data bioscience*); analisi e modellazione dei sistemi biologici con riferimento alla fisiopatologia umana mediante metodi e strumenti bioinformatici e matematici innovativi; sintesi di componenti biologici, con particolare focalizzazione sulla ideazione, sviluppo e validazione pre-clinica di nuovi farmaci e terapie di precisione e altamente personalizzate.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: aumento della qualità della ricerca biologica e biotecnologica in Italia, grazie al potenziamento delle tecnologie a tale scopo ormai indispensabili, anche per l'identificazione delle caratteristiche genetiche e funzionali di nuovi fattori patogeni ad alto rischio virale e infettivo (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); potenziamento dell'innovazione di prodotto in campo farmaceutico e dei processi clinici per la medicina di precisione (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5).

Articolazione 11. Sistemi bio-ibridi per le nuove frontiere della ricerca biotecnologica e della medicina di precisione e personalizzata: dai modelli biologici bio-ibridi, agli organoidi e ai *bio-hybrid human twins* (TRL<4)

Priorità di ricerca: materiali e biomateriali che integrino funzionalità sensitive, attuative, computazionali e comunicative e relative tecniche di fabbricazione innovative; metodi e tecniche per lo sviluppo di organoidi; biosensoristica, bioelettronica e biorobotica avanzata; tecnologie di bionica estrema per la reingegnerizzazione del corpo umano; *bio-hybrid human twins* per la simulazione integrata delle strutture e della fisiologia umana; principi bioetici innovativi.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: sviluppo e integrazione di approcci diagnostici e terapeutici radicalmente innovativi per la medicina di precisione e personalizzata basati su sistemi bio-ibridi (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3); incremento di efficacia e efficienza di procedure cliniche complesse, anche di medicina di emergenza, e che richiedano la riorganizzazione delle strutture e funzioni corporee (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 4).

Articolazione 12. Valutazioni di impatto delle tecnologie e modelli di business

Priorità di ricerca: valutazione delle tecnologie per la salute nella loro vaste e diversificate manifestazioni, anticipando l'attività di ricerca alle fasi di design e sviluppo; ricerca, oltre allo *Health Technology Assessment*, sui risvolti professionali, organizzativi, sociali ed etici delle tecnologie per la salute; inclusione nella valutazione della prospettiva dei pazienti e/o dei cittadini, oltre che a quella dei professionisti; ampliamento del concetto di impatto a inclusione della valutazione di aspetti quali benessere psicosociale, qualità della vita, inclusione ed equità di accesso, rischio occupazionale e sostenibilità economica, sociale e ambientale; sviluppo di metriche e modelli per misurare l'impatto sulla salute del cambiamento climatico; analisi dei modelli di generazione dell'innovazione tecnologica per la salute, di trasferimento tecnologico e di *rescue* di tecnologie orfane; sviluppo e validazione di modelli di prezzo *value-based* e nuove modalità di rimborso; analisi delle innovazione nella *supply chain*.

Impatto atteso. L'attività di ricerca sviluppata avrà impatto sui seguenti aspetti: miglioramento della salute dei cittadini e della qualità delle cure e dei servizi sanitari grazie a una migliore pianificazione dei servizi stessi e degli investimenti in tecnologia e sua infrastruttura (politiche sanitarie) e all'acquisizione, scelta e introduzione nel contesto sanitario di tecnologie più innovative ed efficaci (scelte manageriali) (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 3, 4); sviluppo e impiego da parte dei professionisti della salute di tecnologie efficaci, sostenibili e inclusive grazie a scelte informate ed *evidence-based* (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 5); rafforzamento della innovatività e della competitività delle università italiane e del settore industriale per la salute tramite modelli di innovazione tecnologica adeguati al tessuto economico-produttivo e culturale italiano, e l'identificazione di leve istituzionali, manageriali ed economiche per potenziarne il valore (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 6).

*Il **Ministero della Difesa** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 3, 4 e 7 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero dell'Interno** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 1, 3 e 4 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero della Salute** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 1-12 di questa area d'intervento.*

5.2. CULTURA UMANISTICA, CREATIVITÀ, TRASFORMAZIONI SOCIALI, SOCIETÀ DELL'INCLUSIONE

5.2.1 Patrimonio culturale

Il patrimonio culturale è inteso come sistema aperto comprendente molteplici forme – materiale e immateriale, immobile e mobile, paesaggistico, digitale e digitalizzato – e una irriducibile diversità. Il patrimonio italiano ha la caratteristica di essere riconosciuto in forma non selettiva ma estensiva e in forte relazione con i territori e i distretti culturali e tecnologici.

L'Italia ha una riconosciuta influenza culturale nel mondo, legata sia all'attrazione esercitata dal suo patrimonio sia alla capacità di sviluppare tecnologie e metodi innovativi per conservare e trasmettere contenuti culturali, e produrne di nuovi. L'Italia attrae e allo stesso tempo esporta competenze, nuove tecnologie e materiali innovativi, prodotti e processi all'avanguardia per la conoscenza, conservazione, restauro, gestione e valorizzazione del patrimonio.

Il patrimonio italiano, nella sua continuità spazio-temporale, costituisce un laboratorio unico al mondo che ha portato a fondare una tradizione di ricerca propriamente multidisciplinare, nella quale discipline STEM e SSH interagiscono in modo estremamente produttivo. Il patrimonio è partecipe di logiche economiche che vanno oltre i valori d'uso: a partire dall'interrelazione dei quattro pilastri della sostenibilità, la sua gestione rientra tra i grandi obiettivi pubblici di sicurezza ed efficienza energetica di fronte alle sfide dei grandi rischi e del cambiamento climatico. L'investimento sul

patrimonio, oltre a rientrare nelle logiche di sostenibilità, anche con riferimento alla transizione energetica in atto, alimenta catene di produzione del valore sia dirette sia indirette e, soprattutto, effetti crossover, che rispondono ai modelli economici delle industrie culturali creative e delle piattaforme digitali. Per la sua complessità, il patrimonio richiede strategie di intervento mirate, spesso stimolanti per la ricerca. La ricerca e l'innovazione, con la promozione della conoscenza e una più profonda comprensione del patrimonio, offrono opportunità irrinunciabili per l'elaborazione di strategie innovative di lungo periodo per l'individuazione, l'interpretazione, la salvaguardia, la conservazione e la trasmissione al futuro del patrimonio, la valorizzazione, l'educazione e la creazione di nuovi contenuti culturali. La ricerca multidisciplinare è condizione necessaria perché i complessi meccanismi attraverso i quali il patrimonio produce valore economico e sociale siano attivati in una eterogenea ed estesa rete dei luoghi. La natura partecipativa dei processi di tutela e la complessa rete dei portatori di interesse rendono la ricerca sul patrimonio naturalmente applicativa, offrendo molte occasioni di supporto sinergico, che si aprono a percorsi di collaborazione pubblico-privato in contesti di integrazione territoriale. A questi fini sono avviati vari distretti e cluster regionali e il Cluster tecnologico nazionale TICHE.

L'area d'intervento "Cultural Heritage" di Horizon Europe è uno dei risultati delle politiche di ricerca proposte e riconosciute a livello europeo dall'Italia; l'area d'intervento, pertanto, rappresenta un'opportunità per l'intera comunità multidisciplinare e multisettoriale di riferimento, superando la precedente frammentazione e recuperando la progettualità dell'innovazione culturale nella sua circolarità con le trasformazioni ambientali e tecnologiche. L'Italia mantiene un ruolo guida a livello europeo per l'eccellenza delle ricerche in *heritage science* (nanomateriali e nuove tecnologie per ricognizione, diagnosi, studio, restauro e per la gestione dei big data come condivisione aperta di tutti i risultati delle indagini effettuate), *digital heritage* (ricostruzioni 3D, realtà immersive, digitalizzazione per restauro e fruizione) e scienze umane (storia, archeologia, arte, filosofia). Questo ruolo le è stato riconosciuto attraverso l'ampia partecipazione a progetti di ricerca finanziati su Horizon 2020 e il coordinamento affidato all'Italia di importanti iniziative europee di lungo periodo, tra le quali le infrastrutture di ricerca sono di particolare rilevanza.

La ricerca sul patrimonio richiede specifica formazione, e forme di valutazione che riconoscano e premino il carattere multidisciplinare di linee di sviluppo, che dovrebbero sempre considerare la specificità e complessità del patrimonio culturale, anche nelle sue componenti di sostenibilità sociale, economica, ambientale.

Articolazione 1. Digitalizzazione dei processi di tutela, conservazione e valorizzazione

L'applicazione intensiva ed estensiva delle tecnologie digitali al patrimonio e l'interoperabilità dei dati prodotti rispondono al duplice obiettivo di ridurne tempi e costi di conservazione e di renderlo accessibile ad un vasto pubblico, garantendo al contempo elevati standard di protezione e qualità degli interventi. Si rende così attuabile il passaggio alla conservazione programmata, previsto dal Codice 42/2004 e dalla legislazione successiva. Le tecnologie digitali consentono la gestione della conoscenza nelle diverse fasi e per tutte le finalità del processo di conservazione e valorizzazione, permettendo l'integrazione di dati anche da fonti sensoristiche e da indagini diagnostiche. Questa ricerca ha grande potenziale anche rispetto ad altri obiettivi del PNR (prevenzione, sicurezza, efficienza energetica ecc.) e massima compatibilità con le ricerche delle altre aree d'intervento afferenti al grande ambito di ricerca e innovazione "2. Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione". Inoltre, essa sintetizza ricerche già sviluppate in termini settoriali, in particolare per rappresentazione e documentazione. La priorità andrebbe data alla realizzazione di efficaci tecnologie di modellazione semantica, anche mediante la costruzione di ontologie laddove necessario, che consentano una effettiva aggregazione di diversi livelli informativi e tipologie di dati a modelli geometrici, nell'ottica di evitare ridondanze o carenze. La ricerca dovrebbe anche prevedere il passaggio da tradizionali banche dati al *semantic web*, al fine di realizzare una generalizzata interoperabilità e predisporsi alla transizione verso i big data, stimolando le necessarie forme di cooperazione grazie all'interscalarità delle informazioni e dei livelli di accesso.

Impatto atteso: passaggio alla conservazione programmata; maggiore efficienza dei processi di tutela e valorizzazione; sostegno alla transizione digitale.

Articolazione 2. Sbloccare il pieno potenziale delle scienze del patrimonio

Le discipline scientifiche sono decisive per lo sviluppo delle conoscenze e una miglior tutela e valorizzazione del patrimonio. L'applicazione riguarda sia la scala dei materiali e delle superfici sia quella delle strutture e dell'ambiente.

Si comprendono in particolare: le tecniche diagnostiche avanzate per la caratterizzazione dei beni culturali e dei materiali costituenti, che forniscono informazioni utili per la conoscenza del bene (in linea con le altre aree d'intervento del grande ambito di ricerca e innovazione "2. Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione", in particolare con l'articolazione 2 dell'area d'intervento "Discipline storiche letterarie e artistiche" e l'articolazione 1 dell'area d'intervento "Antichistica") e per la pianificazione e la più efficace riuscita di interventi conservativi; tecniche avanzate (geofisica, *remote sensing*, imaging iperspettrale ecc.) per indagini non-invasive su manufatti e per l'individuazione dei beni culturali sepolti e la ricostruzione virtuale del paesaggio antico; le tecniche di intervento per sicurezza (protezione antisismica) e efficientamento energetico, che devono risultare efficaci e rispettose dell'autenticità. L'Italia può contare sulla *European Research Infrastructure on Heritage Science* (E-RIHS), infrastruttura già ammessa nella *Roadmap ESFRI 2018*, aperta all'intero sistema nazionale della ricerca e della tutela, per innalzare la qualità dei processi di conoscenza, conservazione e valorizzazione.

Tra i temi con più ampi margini di sviluppo si segnalano la previsione dei processi di degrado e lo sviluppo di materiali innovativi, rispettosi dell'ambiente e di facile e veloce utilizzo.

Impatto atteso: sbloccare il pieno potenziale delle scienze del patrimonio per interventi più efficaci e rispettosi; sperimentazione di nuovi metodi; disponibilità aperta delle conoscenze più avanzate; riconoscimento di una ricerca pienamente multidisciplinare e transdisciplinare.

Articolazione 3. Sviluppo di tecnologie a sostegno del patrimonio diffuso e meno conosciuto

Molto sentita è l'esigenza di delocalizzare, nella direzione di un turismo sostenibile basato sul rispetto e la valorizzazione dei luoghi, dei paesaggi, del patrimonio immateriale radicato nelle comunità locali. A tal fine è necessario promuovere una specifica cooperazione all'interno del sistema della ricerca tra scienze naturali, tecnologia, scienze sociali e scienze umane che coinvolga attori diversi sul medesimo obiettivo. Un tale cambiamento paradigmatico richiede l'uso innovativo della tecnologia per il coinvolgimento proattivo dei cittadini in pratiche conoscitive ed esperienziali (*citizen science, public history* ecc.). Un luogo è significativo quanto la comunità dei suoi visitatori e abitanti; per questo è fondante attivare strumenti e processi che nella circolarità tra ricerca e modelli imprenditoriali orizzontali potenzino la comunicazione del patrimonio. Resilienza e sostenibilità del patrimonio culturale devono essere considerate valori sociali, in cui si riconosce la centralità dell'uomo senza separarla dal contesto ecologico e dalla partecipazione attiva al processo di decarbonizzazione (comunità dell'energia). Tali obiettivi includono il patrimonio mobile e rimosso, conservato nei depositi museali, in condizioni da migliorare sotto vari aspetti, tra cui sicurezza e conservazione preventiva. La ricerca deve riguardare il miglioramento dei processi sia di gestione sia di fruizione, anche con riferimento ai paesaggi culturali, oggetto di una specifica articolazione dell'area d'intervento "Antichistica", che opportunamente ne sottolinea l'interpretazione diacronica, e funzionali alle strategie di sviluppo locale (si veda l'area d'intervento "Creatività, design, Made in Italy").

Impatto atteso: stimolo all'economia in un processo sostenibile in grado di ripristinare equilibrio economico e sociale, liberando risorse e attivando energie imprenditoriali territoriali.

Articolazione 4. Applicazione di nuovi modelli economici per la sostenibilità e la resilienza

Le implicazioni dell'economia circolare, incluse le valutazioni di ciclo di vita dei materiali e dei servizi per la gestione del patrimonio, dovranno essere indagate sul piano macroeconomico e aziendale, per favorire l'applicazione di nuovi modelli di business, considerando l'impatto sociale degli investimenti *for profit*, anche con riferimento ai modelli di sviluppo locale (si veda area d'intervento "Creatività, design, Made in Italy"). La ricerca dovrà farsi carico di un (ri)orientamento del rapporto conservazione/sviluppo, vista la necessità di azioni di contrasto al cambiamento climatico, tenendo conto che il patrimonio culturale contiene conoscenze tradizionali per una gestione corretta dei sistemi energetici intesi come parte del tessuto urbano e del paesaggio (si pensi agli impatti delle fonti rinnovabili di energia) e degli ecosistemi con attenzione alla *biocultural diversity*. Gli interventi di efficienza energetica, inclusi nei SDGs, devono garantire la peculiarità dell'identità e della testimonianza del bene e possono essere quindi considerati uno strumento di tutela. La ricerca deve focalizzarsi sulla misurabilità delle performance e degli impatti degli interventi sul patrimonio culturale, a supporto del *policymaking*.

Impatto atteso: supporto culturale a politiche di sostenibilità e resilienza; ottimizzazione della gestione; diffusione di modelli economici complessivamente sostenibili.

Articolazione 5. Approccio partecipativo al patrimonio culturale

Il patrimonio, con riferimento alla Convenzione di Faro, deve farsi trama identitaria di una partecipazione sociale che attraversa le pratiche educative, i processi creativi ed espressivi, la vita di comunità e la cittadinanza democratica. In uno scenario in continua trasformazione, dove la connessione digitale può farsi vettore virtuoso delle ricchezze del sistema Italia, la ricerca può e deve immaginare architetture e ambienti culturali accessibili e aperti all' eterogeneità sociale, in una tensione produttiva della relazione tra patrimonio e comunità territoriale, anche come premessa della tutela. Ciò implica che l'individuo e la comunità vengano posti al centro di un processo di apprendimento e riapprendimento inclusivo e partecipativo mirato a colmare i divari culturali, sociali, territoriali, con rimando all'area d'intervento "Trasformazioni sociali e società dell'inclusione".

Le piattaforme digitali ad alto livello di accessibilità, attraverso format innovativi e ambienti transmediali per i contenuti culturali, permettono lo sviluppo di una maggiore partecipazione, generando una nuova interpretazione e una diversa vitalità del patrimonio, in quanto bene relazionale, sociale, comunicativo e condiviso. La cura e la verifica della qualità delle diverse forme di approccio partecipativo delle *heritage communities* e dei processi di digitalizzazione diviene quindi passaggio cruciale al fine di realizzare efficaci strumenti narrativi.

Impatto atteso: valorizzare strumenti tecnologici per l'approccio partecipativo al patrimonio; qualificare il ruolo delle piattaforme digitali a sostegno delle *heritage communities*; realizzare strumenti di analisi, individuazione di nuovi modelli e valutazione dei relativi impatti.

*Il **Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 1-5 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizioni delle articolazioni 1, 2, 4 e 5 di questa area d'intervento.*

5.2.2 Discipline storico, letterarie e artistiche

L'area delle discipline storiche, filosofiche, linguistiche, filologico-letterarie e storico-artistiche, di lunga e solida tradizione in Italia, riguarda lo studio delle espressioni della cultura nella loro complessità ed è quella in cui, più di altre, il mondo della ricerca e dell'università può fornire un contributo fondamentale, non solo per lo sviluppo dei singoli ambiti di questo vasto orizzonte, ma anche per sostanziare e caratterizzare l'immagine e le identità europee e globali.

La definizione di patrimonio culturale è diventata nel tempo sempre più complessa e articolata, rimettendo in discussione significati e gerarchie tradizionali in un insieme in cui sono indissolubilmente correlati territorio, dimensione orale, scritta, visiva e digitale. Tale complessità non si esaurisce nei soli aspetti del materiale e del concettuale e considera un novero molto ampio di testimonianze, discorsi e pratiche (linguistiche, testuali, figurative, manoscritte e a stampa, transmediali), il paesaggio e il patrimonio costruito, ma anche la memoria, le dimensioni emotive e tutto quanto caratterizzi le identità individuali, regionali, nazionali e sovranazionali (si vedano anche le riflessioni delle aree d'intervento "Patrimonio culturale" e "Antichistica").

La cultura, nei molteplici aspetti sopraindicati, e la ricerca che vi è connessa, sono una componente distintiva del nostro Paese, con tante declinazioni possibili. La tradizione di studi umanistici è la base necessaria: da un lato per formare una cittadinanza attiva e inclusiva, per ampliare le conoscenze nelle diverse realtà culturali e per salvaguardare e valorizzare le testimonianze del passato, dall'altro per offrire opportunità e possibilità di applicazioni diverse nella realtà contemporanea. Le potenziali ricadute sono notevoli in ambito economico e sociale, in particolare, con riferimento alla salute e all'ambiente, alla sostenibilità e alla cura del territorio, alla tutela del paesaggio e delle sue componenti, al settore delle industrie culturali e creative, ma anche alla crescita della qualità della democrazia. Le tre *intervention areas*

previste nel *Cluster 2 Culture, creativity and inclusive society* di Horizon Europe (*Democracy and Governance*; *Cultural Heritage*; *Social and Economic Transformations*) sono dunque potenziate e valorizzate dalle ricerche di ambito umanistico.

Le discipline storiche, filosofiche, linguistiche, filologico-letterarie e storico-artistiche hanno delle loro specificità, ma sono strettamente unite da alcuni aspetti comuni:

1. importanza della ricerca di base, che è necessario sostenere e valorizzare, anche grazie a congrui finanziamenti, perché è l'imprescindibile punto di partenza per sviluppare la qualità del loro contributo, nonché, più in generale, il loro ruolo nello studio e nella valorizzazione della parte del patrimonio culturale che loro compete. In questo quadro va incoraggiata la condivisione e la collaborazione di gruppo;

2. importanza dell'interlocuzione con la ricerca a livello internazionale e, nello specifico, con le linee guida della ricerca e dell'innovazione europea, con riferimento a Horizon Europe 2021-2027. Le expertise umanistiche, quando contemplate nei testi dei bandi competitivi, nelle descrizioni delle aree di intervento e nei processi di valutazione in Horizon Europe, sono portatrici di un sensibile valore aggiunto che è in grado di rendere autenticamente vitale (con sensibili ricadute sul piano economico, dell'industria creativa e del Made in Italy) la funzione del nostro ricco patrimonio culturale;

3. importanza di un approccio interdisciplinare o delle diverse esperienze culturali, necessario proprio per il carattere complesso delle diverse esperienze culturali, la cui comprensione non ha mai carattere univoco, ma si deve aprire all'interazione di diverse discipline umanistiche e al confronto, mai subordinato, con le scienze dure e con le nuove tecnologie informatiche e diagnostiche;

4. importanza di una rete di infrastrutture di supporto alla ricerca, con particolare riferimento alle biblioteche, agli archivi e alla disponibilità di banche dati digitali;

5. importanza di definiti percorsi di formazione alla ricerca a livello universitario (lauree magistrali) e postuniversitario (scuole di specializzazione, dottorati), attenti alle specificità di tali discipline;

6. importanza di un sistema di ricerca che sappia contemperare, con le dovute distinzioni, ma senza pregiudizi, indagine scientifica, divulgazione ed eventuali applicazioni in settori dell'impresa culturale.

Articolazione 1. Discipline umanistiche, democrazia e governance

- La salute di una democrazia si mostra tanto più salda quanto più autocosciente e consapevolmente fondata è la comunicazione fra le realtà, i gruppi sociali e le componenti politiche che ne rappresentano i fattori costitutivi. Le discipline umanistiche, in quanto incentrano la loro azione sull'analisi del linguaggio testuale e figurativo inteso nel suo senso più ampio e della memoria storica e culturale, possono offrire un contributo decisivo all'accrescimento della qualità della realtà della democrazia e, più specificamente, alla produzione di narrazioni e ricostruzioni attendibili e fondate di un discorso pubblico libero da contenuti tendenziosi, discriminanti o semplicemente falsi, di considerazioni basate su dati e elementi comprovabili, fondati cioè sui risultati della ricerca e sulla loro diffusione e ricezione.

- Le discipline umanistiche, in quanto portatrici di conoscenza critica intorno alle strutture testuali, retoriche e compositive dei diversi linguaggi, al formarsi delle narrazioni anche nel discorso e nell'immaginario pubblico e alla loro efficacia performativa, all'indagine della storia e della tradizione finalizzata alla comprensione dei nessi nazionali, internazionali e globali del nostro passato, all'analisi della memoria storica condivisa o rimossa, allo studio dei canoni culturali e degli immaginari predominanti nei diversi contesti, possono offrire un contributo propositivo inestimabile al prodursi di una circolazione di informazione libera da fattori inquinanti e distorsivi. In tal senso rappresentano un indispensabile strumento per il miglioramento della qualità del discorso e dell'immaginario pubblico, della comunicazione sociale e internazionale, dell'informazione in tutte le sue forme, nonché per la crescita della democrazia.

- Le discipline umanistiche possono sostenere e sviluppare il dialogo tra culture diverse attraverso ricerche di base volte alla conoscenza dei flussi e degli scambi che hanno interessato il patrimonio culturale nei suoi vari attori, individuando contesti geografici e storici significativi per il ruolo rivestito dall'Italia su scala europea e extra-continentale (Mediterraneo, Mitteleuropa, Americhe ecc.), consentendo la comprensione e lo sviluppo di strumenti di dialogo rispetto alle dinamiche della migrazione contemporanea.

Impatto atteso: contributo alla produzione di ricostruzioni e narrazioni attendibili e fondate per un discorso pubblico basato su dati ed elementi comprovabili; contributo allo sviluppo del dialogo interculturale in una società globalizzata.

Articolazione 2. Interpretazione del patrimonio culturale materiale e immateriale

Accanto alla tutela e valorizzazione del patrimonio culturale, la ricerca umanistica non può non mettere in primo piano una delle proprie missioni fondamentali, coincidente con l'impegno in una costante attività di interpretazione (e reinterpretazione) del patrimonio materiale e immateriale. Per tutelare e promuovere il patrimonio è innanzitutto necessario conoscerlo e comprenderlo, affinché lo stesso non diventi un qualcosa di inerte e prezioso da osservare, anziché un interlocutore da interrogare, ricco di risposte per la società presente e futura. La ricerca umanistica italiana, nella piena consapevolezza delle nuove sfide e necessarie trasformazioni nelle quali è stimolata dalla sempre crescente attenzione riservata nella progettazione europea al patrimonio culturale, non deve trascurare, ma deve anzi riaffermare, l'importanza di una tradizione di studi che ha segnato e caratterizzato la reputazione scientifica e culturale del nostro Paese. La *better protection* opera in sinergia con la *better knowledge* e le scienze letterarie, linguistiche, storiche, filosofiche e storico-artistiche hanno molto da dire attraverso le proprie specificità, senza doversi necessariamente subordinare a saperi altri. Il contributo dell'area d'intervento delle discipline storico letterarie e artistiche si può legare al contesto europeo di Horizon Europe (e, in particolare, alla *intervention area Cultural Heritage* del *Cluster 2 Culture, creativity and inclusive society*) proponendo, anzi, proprio una aperta focalizzazione sul concetto di interpretazione del patrimonio culturale, concetto che può innestarsi fruttuosamente nell'ambito della valorizzazione del patrimonio culturale, intesa come strumento imprescindibile per la coscienza civile del sistema Paese in quanto inserito in un contesto europeo. L'interpretazione del patrimonio culturale risulta dunque un asset fondamentale della ricerca, in stretta correlazione con le aree d'intervento specificamente dedicate al patrimonio culturale, alle discipline antichistiche, ma anche alla transizione digitale. Per le discipline filologico-letterarie, l'interpretazione si declina in particolare con riferimento al patrimonio librario, manoscritto e a stampa, oltre che al patrimonio testuale e al patrimonio linguistico. Alla necessità strategica di un radicale passo avanti nella digitalizzazione, deve accompagnarsi la riflessione sui contenuti veicolati dal patrimonio, su ciò che costituisce la ragione ultima della sua conservazione, protezione e accesso per le generazioni presenti e future. Il patrimonio artistico del nostro Paese, sia conservato presso istituzioni sia diffuso sul territorio, è riconosciuto a livello internazionale per la sua ricchezza e la sua importanza, come pure la tradizione italiana di studi storico-artistici, fondata sulla lettura e l'interpretazione delle singole opere e sulla ricostruzione dei contesti. Rafforzare il rilievo della ricerca di base appare un punto di partenza indispensabile per costruire una seria politica di conoscenza, interpretazione, tutela e valorizzazione, dalla quale discende il ruolo del patrimonio come portatore di valori civici da tramandare e strumento di inclusione in una società sempre più variegata (senza dimenticare le ricadute sul piano economico: settore turistico, industrie culturali ecc.). L'efficacia dei risultati si manifesterà maggiormente se tale ricerca sarà collaborativa, condivisa e trasversale, traendo il massimo vantaggio dall'interdisciplinarità. Una ricerca basata su una lettura in senso storico delle opere e dei contesti, finalizzata alla conoscenza e alla documentazione del patrimonio artistico, va concepita in stretto dialogo con le iniziative condotte dal MiBACT e tenendo conto delle politiche europee. In particolare, appare indispensabile la creazione di modelli condivisi a cui uniformarsi nell'uso delle nuove tecnologie. Si impone una maggiore partecipazione degli indirizzi per quanto riguarda la scelta e le modalità d'uso di tali tecnologie (si pensi ai Cluster tecnologici nazionali; alle azioni messe in campo dalle S3 regionali, al Piano nazionale per la digitalizzazione del patrimonio culturale), nonché la costruzione di *repositories* dove i risultati della ricerca trovino accessibilità e visibilità da parte di un'utenza differenziata.

Impatto atteso: contributo alla migliore conservazione, gestione e interpretazione del patrimonio culturale, materiale e immateriale; riconoscimento di una ricerca interdisciplinare che sappia valorizzare il decisivo contributo offerto dai saperi umanistici alla definizione dell'identità culturale del nostro Paese in rapporto al contesto europeo; contributo alla costruzione di *repositories* accessibili e interoperabili dei risultati della ricerca umanistica.

Articolazione 3. Discipline umanistiche, ambiente e sostenibilità

- Affinché la transizione verso la sostenibilità diventi un obiettivo condiviso e partecipato è necessario un approccio olistico che promuova l'interazione tra diverse ottiche disciplinari. La ricerca umanistica è indispensabile per mettere al centro della riflessione gli effetti ramificati dell'agire umano nell'epoca dell'antropocene; le narrazioni del disastro, naturale o antropogenico; la sensibilità nei confronti delle diversità (biologiche, culturali) e delle

interdipendenze tra le specie; la co-evoluzione del *continuum* natura-cultura; la storia dei rapporti tra il mondo umano e il non-umano.

- La cultura è uno dei 4 pilastri dello sviluppo sostenibile. È anche l'ambito nel quale si ridefiniscono valori e aspettative riguardanti il benessere, la qualità della vita e l'uso delle risorse. Maggiori sinergie transdisciplinari tra la ricerca umanistica, la ricerca scientifica e il settore delle imprese culturali e creative saranno cruciali per sviluppare efficaci modelli di comunicazione, stimolare la partecipazione dei cittadini, e costruire una consapevolezza ambientale più inclusiva e lungimirante.

- I cambiamenti climatici sono destinati ad aumentare i flussi migratori, rendendo ancora più urgente la riflessione sulle dinamiche interculturali e transculturali, centrali per la costruzione di società coese; sull'eredità del colonialismo e dell'imperialismo; sulle esperienze migratorie di sradicamento e radicamento in prospettiva comparata; sugli incroci e gli ibridismi derivanti dai contatti tra culture e saperi differenti, in contesti di potere asimmetrici. Sarà, pertanto, importante, in stretto dialogo con il dibattito internazionale, supportare la tutela delle testimonianze culturali e dei loro contesti su scala territoriale attraverso ricerche di base volte a promuoverne la conoscenza e la valorizzazione favorendo azioni di inclusione sociale e culturale, di rispetto ambientale, di approfondimento identitario e di apertura sulle diversità.

Impatto atteso: supporto culturale a politiche di sostenibilità e resilienza, capaci di comprendere e valorizzare le dinamiche inter e transculturali; contributo alla ricerca interdisciplinare per la costruzione di una società consapevole, inclusiva e sostenibile e per lo sviluppo di efficaci modelli comunicativi.

Articolazione 4. Interpretazione del patrimonio culturale e transizione digitale

La transizione digitale investe in forme nuove anche la ricerca nelle discipline storiche, letterarie e storico-artistiche e richiede un impegno specifico. È ormai urgente e imprescindibile una iniziativa di livello nazionale che sviluppi un sistema integrato di digitalizzazione del patrimonio culturale e di sviluppo digitale della ricerca e dei suoi prodotti. Di tale iniziativa si indicano le principali priorità:

- indirizzare la digitalizzazione del patrimonio documentale di biblioteche, archivi, musei (libri manoscritti e stampati, documenti, opere d'arte) secondo criteri funzionali alla conservazione e alla ricerca capace di restituire significato e vitalità al patrimonio culturale attraverso rinnovate interpretazioni;

- investire sul patrimonio culturale immateriale (testi, lingua, musica) in termini di riproduzione, catalogazione, edizione, analisi, accesso, promuovendo edizioni critiche, commenti, *corpora* testuali, vocabolari, analisi linguistiche elaborati in ambito digitale e interoperabili con le digitalizzazioni dei documenti;

- integrare i processi di digitalizzazione del patrimonio culturale materiale con una parallela elaborazione di strumenti digitali di lettura e valorizzazione dei suoi contenuti, favorendo l'interoperabilità dei dati;

- promuovere esperienze di ricontestualizzazione per via digitale, ma su basi rigorosamente filologiche, di opere, monumenti, ambienti urbani al fine di documentare e spiegare contesti diacronicamente stratificati o disgregati, per salvaguardare e valorizzare quanto resta in condizioni frammentarie, per sensibilizzare a una lettura in senso storico della realtà in cui si vive, per offrire opportunità a una divulgazione scientificamente fondata e utile tanto in ambito museale quanto turistico;

- sviluppare un processo di gestione pubblica della preservazione dei dati digitali prodotti dalla ricerca (digitalizzazioni, banche dati, portali);

- promuovere l'accesso libero al patrimonio culturale digitalizzato e alla produzione scientifica (riviste scientifiche, collane di fonti) anche sostenendo l'aggiornamento dell'editoria specialistica (cfr. Piano nazionale per la scienza aperta);

- consolidare, in linea con le suddette priorità, il contributo italiano ai consorzi per le infrastrutture europee della ricerca in campo umanistico, quali ad esempio DARIAH e altre di interesse nell'ambito del settore *Social and Cultural Innovation*.

Impatto atteso: contributo all'interpretazione e conoscenza del patrimonio culturale; contributo alla messa a punto di edizioni critiche, analisi filologiche, commenti, *corpora* linguistici e testuali elaborate in ambito digitale e resi

interoperabili con le digitalizzazioni dei documenti; contribuire attraverso la transizione e l'innovazione digitale ad un approccio partecipativo alla fruizione del patrimonio culturale.

*Il **Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 2 e 4 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizioni delle articolazione 3 di questa area d'intervento.*

5.2.3 Antichistica

Le discipline antichistiche ricostruiscono attraverso le fonti materiali e testuali lo sviluppo socioculturale del mondo antico al fine di acquisirne una conoscenza sempre più approfondita, contribuendo a una migliore comprensione di aspetti fondamentali della vita culturale, sociopolitica ed economica del mondo attuale. Gli studi relativi all'antichità concorrono, inoltre, allo sviluppo culturale e sociale del Paese, favorendo attraverso la formazione consapevole delle giovani generazioni la costituzione di una cittadinanza attiva e inclusiva (si veda anche l'area d'intervento "Discipline storiche, letterarie e artistiche"). Dal punto di vista economico, in un Paese caratterizzato da un patrimonio culturale quantitativamente e qualitativamente tra i più rilevanti al mondo, la scoperta di monumenti antichi contribuisce direttamente al bilancio dello Stato. A ciò si aggiunge l'apporto indiretto all'economia, rappresentando questo ambito di studi un imprescindibile presupposto alla valorizzazione del patrimonio in chiave turistica, allo sviluppo dell'imprenditoria creativa e, in generale, alla definizione dello stesso brand Italia (si vedano anche l'area d'intervento "Creatività, design e Made in Italy" e l'area d'intervento "Patrimonio culturale"). Nel panorama internazionale, gli studi relativi al mondo antico rappresentano tradizionalmente un'eccellenza italiana e contribuiscono alla promozione del sistema Paese nel contesto delle politiche del MAECI. Inoltre, con la loro impostazione improntata al *capacity building*, alla *public* e *community archaeology*, le attività di ricerca antichistica all'estero contribuiscono in molti contesti al processo di *peacekeeping* e alle politiche di cooperazione allo sviluppo.

La ricerca antichistica si declina in ricerche sul terreno, topografiche, archeologiche ed epigrafiche, sempre più su scala territoriale ampia e non limitata al singolo monumento, in ricerche che si svolgono nell'ambito delle istituzioni museali, in ricerche che si svolgono nel contesto di biblioteche, che restano fondamentali in generale e in particolare per le ricerche storiche, filologiche e linguistiche, e in archivi, questi ultimi cruciali non solo per lo studio della storia delle discipline antichistiche, ma sempre più spesso anche per la ricontestualizzazione di manufatti e monumenti. Pertanto, infrastrutture imprescindibili per la ricerca antichistica continuano a essere le biblioteche e le banche dati digitali. Infine, alla luce della intensa interazione con le discipline chimico-fisiche e biologiche, oltre che della diffusione delle nuove tecnologie, la ricerca si svolge sempre più anche nel contesto di laboratori con dotazioni strumentali avanzate e competenze multi e interdisciplinari.

Un elemento caratterizzante della ricerca antichistica è ormai l'approccio interdisciplinare, sia all'interno dello specifico ambito di ricerca con l'interazione tra competenze storiche, linguistico-letterarie, epigrafiche, archeologiche, filosofiche e storico-religiose, sia con il crescente ricorso a metodologie analitiche proprie delle scienze chimiche, fisiche (archeometria) e naturali (bioarcheologia, geoarcheologia) e alle nuove tecnologie (si veda anche l'area d'intervento "Discipline storiche, letterarie e artistiche" e l'area d'intervento "Patrimonio culturale").

L'utilizzazione delle nuove tecnologie si sta diffondendo: sono state utilmente sperimentate nelle varie fasi della ricerca, dall'individuazione alla documentazione, dalla gestione all'elaborazione del dato. In particolare, lo sviluppo delle tecnologie abilitanti e dell'intelligenza artificiale conferisce al settore un significativo valore aggiunto che contribuisce alla nascita di nuovi spazi di indagine e al potenziamento di tradizionali ambiti di ricerca. Si assiste, infatti, all'incremento dei sistemi web o cloud nell'ottica della *open science*, all'evoluzione della sensoristica, che promuove una forte innovazione nel campo del telerilevamento e della identificazione automatica di informazioni, e all'apertura di nuove prospettive nell'ambito dell'elaborazione e dell'interpretazione dei dati. Anche la fruizione e la disseminazione dei risultati della ricerca si avvalgono in maniera crescente di strumenti digitali.

Le ricerche relative all'area d'intervento vedono come principali attori gli enti vigilati dal MUR (atenei e Consiglio nazionale delle ricerche), gli istituti ed enti vigilati dal MiBACT, gli enti locali e, in misura minore, attori privati. I fondi utilizzati nella ricerca derivano principalmente dalle istituzioni pubbliche, essendo nel Paese l'investimento privato ancora limitato rispetto a quanto accade in molti contesti esteri. Negli ultimi anni va registrato un incremento nel numero di progetti presentati nel quadro dei programmi di finanziamento europei, cui non è però corrisposto un aumento proporzionale dei progetti finanziati. Non mancano criticità legate alle ancora insufficienti risorse che le amministrazioni dello Stato, sia a livello centrale sia a livello periferico, investono in questo ambito, se si considerano anche solo le esigenze derivanti dalla salvaguardia e gestione del patrimonio culturale nazionale.

In generale, va lamentato lo scarso coordinamento tra i tanti attori coinvolti. A livello nazionale, la tortuosità delle procedure amministrative e della normativa rende spesso complesso il rapporto tra istituti ed enti vigilati dal MUR, dediti eminentemente alla ricerca, e uffici ed enti vigilati del MiBACT, con limitazioni *de facto* della libertà di ricerca anche nel caso di indagini non-distruttive. Gli enti vigilati dal MiBACT ambiscono a loro volta ad affrancarsi dal ruolo di attori meramente dediti alla salvaguardia, gestione e valorizzazione del patrimonio per promuovere "attività di ricerca sui beni culturali e paesaggistici", come previsto dalla legislazione. Da tutto ciò emerge come la semplificazione delle procedure e il dialogo scientifico tra i diversi attori coinvolti, nel rispetto delle reciproche funzioni e competenze siano condizioni imprescindibili per l'efficacia delle future iniziative di ricerca sul territorio nazionale.

La ricerca antichistica, prevalentemente archeologica, condotta all'estero è anch'essa afflitta dalla stessa limitatezza delle risorse e dallo scarso coordinamento tra gli attori coinvolti, che riduce l'efficacia complessiva dell'investimento in questo ambito, cui si aggiungono le criticità geopolitiche che spesso ne limitano gravemente le possibilità operative.

Riguardo alle infrastrutture di ricerca, a fronte dell'utilizzazione delle nuove tecnologie, all'approccio multi e interdisciplinare, alle crescenti necessità di conservazione e condivisione dei dati, gli investimenti sono scarsi, così come ancora limitato appare lo sforzo per la costituzione di reti e di poli di aggregazione di competenze. A livello di formazione e di competenze, si lamenta l'ancora limitato riconoscimento dei profili a forte caratterizzazione multi e interdisciplinare che, alla luce degli sviluppi precedentemente evidenziati, sono sempre più cruciali in tutte le fasi della ricerca.

Articolazione 1. Ricerca di base sul mondo antico

Nonostante le intense ricerche a carattere topografico, archeologico e storico-epigrafico finora svolte in Italia e all'estero, è acclarato che solo una percentuale limitatissima del patrimonio storico-archeologico è attualmente nota. Parallelamente, anche gli studi relativi alla produzione artistica, letteraria, filosofica, all'immaginario collettivo e alle lingue e credenze religiose del mondo antico sono da considerarsi tutt'altro che esauriti. La prosecuzione delle attività volte all'individuazione e documentazione del patrimonio storico-archeologico e delle ricerche negli altri ambiti dell'antichistica non è solo funzionale all'armonico sviluppo delle conoscenze sul mondo antico, rappresentando il presupposto imprescindibile per quanto proposto anche nelle articolazioni 2, 3, 4. Essa è anche propedeutica a tutte le attività di gestione, tutela, valutazione del rischio e valorizzazione del patrimonio stesso, con i loro riflessi in ambiti economici strategici come il turismo e l'imprenditoria creativa, e sulle attività di pianificazione e gestione dei territori, sia in Italia sia all'estero. La valorizzazione e disseminazione dei risultati delle ricerche sul mondo antico contribuisce inoltre alla costituzione di una società inclusiva e consapevole (si vedano ancora le articolazioni 2, 3, 4, e inoltre l'area d'intervento "Discipline storiche letterarie e artistiche", articolazioni 1 e 2).

Queste ricerche dovranno caratterizzarsi per l'impostazione interdisciplinare e l'utilizzazione di nuove tecnologie digitali (si veda l'area d'intervento "Patrimonio culturale", articolazione 2), con particolare attenzione all'adozione di sistemi di indagine non distruttivi (telerilevamento mediante sensori aviotrasportati e indagini geofisiche), e per lo sviluppo di sistemi speditivi di documentazione 3D e monitoraggio, utili anche a fronteggiare il degrado e i rischi cui il patrimonio è sempre più soggetto, sia in Italia sia all'estero, a causa di cambiamenti climatici, eventi catastrofici, antropizzazione e inquinamento. Nella fase di elaborazione e interpretazione dei dati particolare attenzione andrà dedicata alla sperimentazione di algoritmi e software di simulazione e, in generale, dell'intelligenza artificiale.

Impatto atteso: contributo alla conservazione e gestione del patrimonio culturale; contributo alla transizione digitale nell'ambito degli enti di ricerca e delle pubbliche amministrazioni; contributo alla transizione economica e

all'imprenditoria creativa; costruzione di una società consapevole, inclusiva e sostenibile grazie alla valorizzazione dei risultati della ricerca.

Articolazione 2. Sistema integrato di conservazione e gestione dell'informazione sul mondo antico

Benché da diversi anni la costituzione di banche dati e sistemi informativi territoriali (SIT) abbia rappresentato il naturale esito di ogni ricerca relativa allo studio del mondo antico, il Paese non ha ancora sviluppato un catasto dei beni culturali né un sistema integrato per la conservazione e gestione della considerevole mole di dati digitali finora raccolti nell'ambito delle ricerche storico-archeologiche e linguistico-letterarie, come pure di quelli relativi ai materiali conservati in archivi, magazzini, collezioni e musei. Per superare questa criticità è indispensabile agire su due fronti: se da un lato il processo di digitalizzazione, ancora solo parzialmente realizzato, dovrà essere proseguito definendo opportune linee guida, dall'altro pare ormai imprescindibile la costituzione di un meta-sistema informativo territoriale (meta-SIT) capace di mettere in comunicazione tra loro le diverse banche dati, facilitandone la consultazione, garantendone un'efficiente conservazione sul lungo periodo e amplificandone l'impatto, sia sul versante della ricerca sia su quello della gestione e valorizzazione del patrimonio e della conoscenza (si vedano anche, in generale, l'area d'intervento "High performance computing e big data", articolazioni 1 e 5). Contestualmente andranno definiti standard qualitativi riconosciuti dei dati, dei metadati e dei paradati, secondo i principi FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*), che impongono regole ben precise per la standardizzazione delle risorse in rete. Grazie a tali standard condivisi, questo sistema può rappresentare una componente integrata in più articolate strategie complessive di digitalizzazione del patrimonio (si vedano anche l'area d'intervento "Patrimonio culturale", articolazione 1, l'area d'intervento "Discipline storiche, letterarie e artistiche", articolazione 4 e, in generale, l'area d'intervento "High performance computing and big data", articolazioni 2 e 4).

Parallelamente, andrà sistematicamente promossa la pubblicazione aperta dei dati, finalizzata all'aumento della loro condivisione nella comunità scientifica, riducendone al contempo la ridondanza, e alla trasparenza dei risultati della ricerca, volano anche per iniziative di disseminazione e valorizzazione della conoscenza. L'obiettivo verso cui convergere è la costruzione di un *repository* nazionale nel quale archiviare e rendere accessibili in modalità aperta i prodotti della ricerca (letteratura grigia, dati grezzi e/o elaborati). In particolare, si auspica che la pubblicazione *open* dei dati venga incentivata anche attraverso il suo riconoscimento da parte del sistema nazionale di valutazione della ricerca.

Impatto atteso: contributo alla protezione e gestione del patrimonio culturale; contributo alla transizione economica e digitale attraverso la messa a punto di tecnologie e standard; contributo alla costruzione di una società consapevole, inclusiva e sostenibile.

Articolazione 3. Paesaggi culturali: alle origini delle tradizioni

I paesaggi sono palinsesti in cui sono rappresentate in tutti i loro aspetti le traiettorie di sviluppo dei gruppi umani, dall'antichità al presente, nel loro continuo rapporto con l'ambiente naturale e le sue mutazioni. I paesaggi sono inoltre caratterizzati da componenti non materiali, quali saperi e tecnologie antiche e tradizionali, che pure si possono cristallizzare in manufatti. L'analisi di quelli che possono essere olisticamente definiti "paesaggi culturali" e del loro sviluppo può fornire importanti elementi per una gestione e pianificazione territoriale consapevoli, ecologicamente e socialmente sostenibili, e per una valorizzazione dei territori che sia rispettosa delle loro vocazioni e peculiarità (si veda anche l'area d'intervento "Bioindustria per la bioeconomia", articolazione 4). Tale ambito di ricerca può contribuire a dare una nuova centralità ad aree oggi emarginate dai principali flussi socioculturali ed economici, sia in Italia sia all'estero (si vedano anche l'area d'intervento "Trasformazioni sociali e società dell'inclusione", articolazioni "Disuguaglianze e inclusione" e "Strategie e strumenti per la rigenerazione urbana e il governo del territorio" e l'area d'intervento "Patrimonio culturale", articolazioni 3 e 4), nel quadro della definizione di nuovi modelli di sviluppo sostenibile (si vedano anche l'area d'intervento "Creatività, design e Made in Italy", articolazioni 3 e 5, e l'area d'intervento "Discipline storiche, letterarie e artistiche", articolazione 3). Lo studio dei paesaggi culturali richiede una forte impronta interdisciplinare e l'applicazione di strategie d'indagine basate sull'uso di nuove tecnologie (si vedano *supra*, le articolazioni 1 e 2 di questa area d'intervento).

Impatto atteso: contributo alla tutela, gestione e valorizzazione del patrimonio culturale; contributo alla transizione economica e all'imprenditoria creativa; contributo alla transizione e alla sostenibilità ambientale; contributo alla costruzione di una società consapevole, inclusiva e sostenibile.

Articolazione 4. Frontiere e transizioni nel mondo antico

La ricerca italiana sul mondo antico si è spesso focalizzata su aree o fasi di transizione culturale, in cui le identità interagiscono, vengono continuamente negoziate e plasmate. Il rapporto tra culture e tra identità singole e collettive, intese non come unità monolitiche ma piuttosto come entità porose e caratterizzate da variabilità interne in costante divenire, si è di volta in volta manifestato nella permeabilità propria dell'interazione prolungata e quotidiana o in momenti di grande intensità e accelerazione, rappresentati dagli spostamenti di popolazioni, che hanno caratterizzato la storia della nostra specie dalla sua origine, e da fenomeni trasversali e largamente condivisi, come i cambiamenti climatici e ambientali, le catastrofi naturali e le epidemie. Lo studio in una prospettiva processuale di lunga durata dei contatti tra territori, culture e identità non solo arricchisce significativamente la ricostruzione delle traiettorie storiche, ma può contribuire a una più profonda capacità di analisi e comprensione dei conflitti in molte aree del mondo contemporaneo (si vedano anche l'area d'intervento "Trasformazioni sociali e società dell'inclusione", articolazioni "Mobilità e migrazioni", "Disuguaglianze e inclusione" e "Nuove identità e processi culturali", e inoltre l'area d'intervento "Discipline storiche, letterarie e artistiche", articolazione 3). La valorizzazione e la disseminazione dei risultati delle ricerche condotte su tali temi possono inoltre promuovere un più consapevole e critico rapporto con la complessità del nostro presente (si vedano anche l'area d'intervento "Patrimonio culturale", articolazione 5, l'area d'intervento "Discipline storiche, letterarie e artistiche", articolazioni 1 e 2). In particolare, ne potrà essere significativamente arricchita la didattica della storia antica nelle scuole.

Le ricerche che si focalizzano su questi temi richiedono una forte impronta interdisciplinare e l'applicazione di strategie e metodi d'indagine basati sull'uso di nuove tecnologie (si vedano *supra*, le articolazioni 1 e 2 di questa area d'intervento).

Impatto atteso: contributo alla gestione e valorizzazione del patrimonio culturale; contributo alla costruzione di una società consapevole, inclusiva, plurale e sostenibile, capace di rispondere alle dinamiche socioculturali legate alla globalizzazione.

*Il **Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 2 e 3 di questa area d'intervento.*

5.2.4 Creatività, design e Made in Italy

All'interno del grande ambito "Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione" del PNR, l'area d'intervento "Creatività, design e Made in Italy", in linea con gli obiettivi della Commissione Europea presieduta da Ursula von der Leyen e con le finalità dei *Pillars II* e *III* di Horizon Europe, raccoglie le sfide del sistema economico e produttivo dell'Italia, un sistema Paese che concentra sul Made in Italy e sull'esportazione la sua economia reale, la sua cultura, la capacità progettuale e creativa, attraverso i principali ambiti produttivi delle 4A (arredo-casa, agroalimentare-enogastronomia, abbigliamento-moda, automazione-meccanica) e, in generale, delle industrie creative. Tali ambiti sono espressione della cultura materiale e immateriale dell'Italia, della sua capacità di intrecciare percorsi creativi con il saper fare manifatturiero e le innovazioni tecnologiche. Questo intreccio genera un livello di qualità percepito e riconosciuto nel mondo che definisce l'identità del nostro Paese quale "pluriverso complesso", che nasce dalle differenze, dalle tante specificità sia naturali sia culturali del nostro territorio; e genera un potenziale su cui si basa il *soft power* dell'Italia, con ricadute positive anche su settori economici contigui come il turismo e l'industria creativa e culturale, mostrando un potenziale di crescita rilevante ma ancora non del tutto espresso, da valorizzare attraverso logiche e strategie integrate e una forte connessione tra ricerca, territori, amministrazioni, imprese, e capitale umano.

I fattori che di fatto costituiscono l'architettura dell'economia del Made in Italy sono, tuttavia, la ragione della sua fragilità: un insieme di piccole e medie imprese che delineano geografie economiche "a macchie", spesso sullo stesso territorio su cui insistono, in molti casi con scarsa propensione all'integrazione tecnologica e alla collaborazione tecnica e logistica. Le imprese di successo sono inserite, nella maggior parte dei casi, in filiere con sbocchi consolidati in mercati internazionali, e hanno attuato un'intelligenza avanzata di sistema. L'emergenza generata dalla pandemia ha prodotto una discontinuità temporale, tra un prima e un dopo, che ha cambiato il pianeta e, nel caso del Made in Italy, ne ha compromesso attualmente gli sbocchi sui mercati internazionali su cui basa la propria competitività, ma accelerando, allo stesso tempo, la spinta verso i grandi, inderogabili cambiamenti, ponendo le condizioni per attuare tematiche di ricerca e innovazioni tecnologiche che da tempo sono obiettivi per lo sviluppo del Paese.

Il design, vero driver dell'innovazione, e la creatività sono alla base della capacità dell'Italia di trasferire negli artefatti e nei prodotti qualità immateriali quali espressioni delle diverse culture, vocazioni locali, territori, bisogni. Gli ambiti di ricerca del design si estendono a tutti i settori del Made in Italy, dal progetto degli artefatti e ai servizi per la qualità della vita e del pianeta. Attraverso le sue metodiche e l'attitudine al progetto collaborativo, il design trasforma continuamente la complessità del contemporaneo in nuovi sensi, in nuove direzioni dell'innovazione, grazie alla sua natura fondamentale di *medium* tra nuove istanze e bisogni e necessità produttive, ambientali ed economiche. Il contributo che il design fornisce alle aziende, anche attraverso la natura originale e innovativa del progetto creativo, è indiscusso e riconosciuto in ambito internazionale come fattore fortemente competitivo. Proprio il carattere di *medium* e la natura fortemente relazionale e aperta all'ascolto dei fenomeni contemporanei, portano questa disciplina a un confronto continuo che amplia i propri ambiti di ricerca e applicazione, consentendo di comunicare la ricerca scientifica in modo innovativo e originale. Attraverso la ricerca fondamentale, il design affronta nuovi percorsi, mette a punto nuovi metodi, strumenti e processi per l'innovazione aperta e continua, amplia l'impatto del progetto di design in molteplici ambiti di applicazione, sostiene metodologicamente l'attività progettuale come processo di conoscenza. Attraverso la ricerca applicata e industriale, il design sviluppa innovazioni di prodotto, processo e servizi coerentemente con i valori della salvaguardia ambientale e il miglioramento della vita delle persone. Promuovere e valorizzare il design e la creatività italiani, proteggere e implementare la proprietà intellettuale, sostenere l'industria culturale e creativa, le diversità culturali, sociali e territoriali italiane, in forte connessione con il mondo delle imprese e della ricerca, sono azioni rivolte a promuovere il *public engagement* mediante azioni di disseminazione scientifica che supportino i *policymakers* nell'elaborazione di politiche di coesione per il rafforzamento del benessere sociale ed economico dell'intero Paese, con effetti anche in ambito europeo. Il Made in Italy richiede, inoltre, azioni fortemente connesse rivolte all'innovazione aperta e condivisa, capaci di trasformare le crisi in possibilità di sviluppo di nuove imprenditorialità, architetture dei sistemi organizzativi e produttivi, di sistemi di merci, coerenti con la sostenibilità ambientale e con nuovi paradigmi valoriali di natura umana, sociale e tecnologica. Il rafforzamento e la connessione delle infrastrutture di ricerca, in questo particolare ambito, svolgeranno un ruolo fondamentale per l'intelligenza collettiva dei territori e per i processi di innovazione aperta, in modo trasversale rispetto alle priorità di sistema del PNR, e in diretto contatto con le imprese. La ricerca *design-driven* nell'ambito del PNR 2021-27, è alla base di una visione del Paese quale laboratorio di innovazione creativa, strategica e tecnologica nel segno della sostenibilità, dell'inclusività e della governance partecipativa.

Articolazione 1. Design studies

Obiettivi: promuovere e divulgare in modo innovativo la ricerca fondamentale quale strumento prioritario di conoscenza e valorizzazione del Made in Italy, promuovere competenze innovative in relazione alle trasformazioni sociali, ambientali ed economiche.

La ricerca fondamentale di design indirizza le proprie indagini alle frontiere della conoscenza e agisce come volano per l'innovazione. Le azioni, proiettate nel medio-lungo periodo e caratterizzate dalla convergenza tra la cultura umanistica e la cultura tecnico-scientifica, mirano a risultati innovativi (*breakthrough and disruptive innovation*) per definire gli scenari basati sulla sostenibilità dello sviluppo (Sustainable Development Goals delle Nazioni Unite) e sulla centralità della persona. L'approccio sistemico e *human-centred*, finalizzato ad acquisire nuove conoscenze, a comprendere, sperimentare e governare la complessità dei processi, anche attraverso strumenti quali, ad esempio, *co-design*, *participatory design, ecosystem activation, citizen engagement*, traccia percorsi di ricerca riferiti ai seguenti studi: innovazione aperta (*open innovation*) e condivisa, guidata dal design, riferita a nuovi modelli di produzione e di società collaborativa (*industry* 5.0→*society* 5.0); innovazione *human-centred*, partecipativa e collaborativa; studi storici,

socioculturali, studi interdisciplinari antropologici, di estetica e, più in generale, legati ai patrimoni culturali, studi tecnologici ed economici riferiti all'impatto del design sull'evoluzione e sul sistema produttivo e sociale, nonché sul *policy planning* e sulle relative riforme delle pubbliche amministrazioni; ruolo del design nel promuovere forme innovative di *public engagement* e di divulgazione scientifica; ruolo del design in relazione all'evoluzione dei servizi per il settore pubblico e la pubblica amministrazione; studi collaborativi con tutta la filiera educativa per l'innovazione dei sistemi formativi e di apprendimento collaborativi, anche per mezzo di didattica a distanza e degli strumenti digitali; studi per la valorizzazione del patrimonio culturale del Made in Italy; studi sul ruolo del design in ordine ai cambiamenti demografici, sociali, economici; sostenibilità di prodotti e processi produttivi (*European Green Deal*); nuovi criteri di valutazione delle qualità complessive dei prodotti, dei servizi e dei processi aziendali.

Sustainable Development Goals associati[77]: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16.

Impatto atteso: creazione e disseminazione di nuove conoscenze riferite al ruolo del design nell'innovazione delle filiere produttive e della società; promozione della diffusione della conoscenza, accessibile e fruibile a tutti i livelli, della scienza aperta e della collaborazione nella ricerca e innovazione; valorizzazione, protezione e promozione dei patrimoni creativi materiali e immateriali del Made in Italy; transizione dell'industria verso modelli collaborativi; sviluppo di approcci incentrati sull'uomo promuovendo le competenze, l'inclusività, responsabilizzando i giovani, riducendo le disuguaglianze socioeconomiche, di genere e di capitale culturale.

Articolazione 2. Made in Italy/Restart in Italy

Obiettivi: delineare un sistema culturale, creativo e produttivo aperto e inclusivo attraverso la promozione di modelli collaborativi e connessi, di infrastrutture di ricerca trasversali e aperte, dell'accesso alle nuove tecnologie verso una società 5.0, dell'innovazione di processi, prodotti e servizi, a sostegno dell'intelligenza territoriale e del capitale umano.

Il Made in Italy, alla luce delle trasformazioni socioeconomiche e ambientali, richiede azioni integrate e trasversali a supporto della resilienza, dell'innovazione *human-centred* e della completa transizione al digitale, inclusa la *cybersecurity* (cfr. area d'intervento "Cybersecurity"). Strumenti indispensabili per la ripartenza del sistema Paese sono in primo luogo la formazione e il graduale consolidamento di una cultura della pubblica amministrazione orientata alla protezione e alla valorizzazione degli ecosistemi produttivi locali mediante adeguate attività di *policy design and planning*, la valorizzazione delle potenzialità umane nel rapporto con le macchine, in un'ottica di umanesimo digitale; l'utilizzo di strumenti di intelligenza artificiale, robotica, realtà aumentata a favore dell'inclusività sociale; nuovi modelli imprenditoriali verso l'innovazione collaborativa e aperta; nuovi modelli di produzione e distribuzione (tecnologie digitali e sperimentazioni di intelligenza artificiale verso produzioni *customer-based*); innovazione basata sullo sviluppo, valorizzazione e integrazione con le potenzialità delle tecnologie di elaborazione e produzione digitali dei saperi e delle competenze dell'artigianato; innovazioni sistemiche e sostenibili di prodotti, processi e servizi; piattaforme aperte di innovazione; nuovi sistemi di lavorazione e produzione; filiere connesse ricerca-produzione per l'integrazione della conoscenza nei sistemi dei prodotti; nuovi modelli di business per l'accesso alle tecnologie (ad esempio, *pay per use*); nuovi modelli e approcci di design per il *digital manufacturing*; sperimentazioni e azioni volte all'implementazione, alla tutela e allo sfruttamento della proprietà intellettuale; innovazione nella formazione e nell'aggiornamento delle competenze tecnologiche del capitale umano secondo criteri di *lifelong-learning* attraverso nuovi strumenti di erogazione e di articolazione della didattica; sviluppo di reti educative a distanza, sia nazionali sia transnazionali, supportate dalle tecnologie digitali; definizione e sviluppo di nuovi profili di docenza trasversali nella formazione (formazione dei formatori/docenti per tutti i livelli di formazione); nuovi modelli organizzativi e gestionali nei processi di produzione manifatturiera e di erogazione di servizi, anche con riferimento all'organizzazione del lavoro in presenza e in remoto.

Sustainable Development Goals associati: 4, 5, 8, 9, 10, 16.

Impatto atteso: accesso inclusivo alle nuove tecnologie, al mondo del lavoro e alla formazione continua; sviluppo responsabile e rispondente ai grandi cambiamenti sociali, etici ed economici in atto; sperimentazione e implementazione di nuovi modelli produttivi collaborativi e inclusivi per il miglioramento della qualità e della

[77] In Appendice II è riportata la lista dei Sustainable Development Goals (Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite) ai quali si fa riferimento nel testo.

produttività del lavoro; valorizzazione della cultura imprenditoriale italiana; realizzazione di ecosistemi connessi ricerca-imprese-istituzioni.

Articolazione 3. Sostenibilità sistemica di prodotti, processi, servizi

Obiettivi: promuovere approcci di sostenibilità complessiva (ambientale, economica e sociale) relativi al Made in Italy, definire nuovi prodotti, servizi e sistemi produttivi che pongano l'uomo al centro del suo ambiente, promuovere la consapevolezza ambientale dei consumatori e dei produttori.

Il sistema Made in Italy deve transitare verso modelli di sostenibilità ambientale e sociale non più differibili, per la tutela della salute delle persone e degli ecosistemi, per la qualità della vita e degli ambienti di lavoro. Tale transizione richiede l'esplorazione di ambiti tematici che superano il concetto di sostenibilità applicato al prodotto e all'unità funzionale, per generare innovazioni supportate da strategie di sistema e dalle relazioni tra imprese, stakeholder e comunità. I nuovi modelli sostenibili di produzione e consumo promuovono azioni condivise e globali che incidono sugli standard di benessere della collettività, sui comportamenti, oltre che sui sistemi produttivi e distributivi delle merci. È necessario un cambiamento nel modo in cui si progettano, producono, trasformano e distribuiscono le merci con lo scopo di accelerare il processo verso la realizzazione di sistemi sostenibili, guidati dal design, diffondendo modelli innovativi, sicuri e competitivi. Questa articolazione vuole stimolare progetti di innovazione sociale e ambientale finalizzati alla diffusione di processi produttivi sistemici, alla facilitazione di comportamenti sostenibili e all'inclusione, anche attraverso il lavoro. Le linee di ricerca da promuovere comprendono: *a*) nuovi paradigmi economici inclusivi, che possano garantire maggiore giustizia sociale e stabilità politica, attraverso una "ecologia integrale" capace di rimettere l'essere umano al centro dei processi economici; *b*) produzione etica e socialmente responsabile, che coinvolga in modo attivo o passivo gli strati più vulnerabili della società in modo da garantire un aumento del loro benessere e dell'ambiente in cui vivono (design per l'innovazione sociale); *c*) nuovi modelli produttivi sistemici, circolari e di economia simbiotica, che valorizzino gli scarti come input di nuovi processi, non rilascino sostanze nell'ambiente e generino economie territoriali (design sistemico); *d*) strumenti, metodi e processi per l'economia circolare e per nuovi comportamenti di consumo responsabile, che definiscano nuovi scenari di produzione e scambio (*circular design*, *design to reduce*, *design for reuse*, *design for recycle*); *e*) design per la sostenibilità ambientale dei prodotti, processi e servizi, che preveda la valutazione degli impatti fin dai primi stadi progettuali (applicazione dei principi del *Life Cycle Design* e *Life Cycle Assessment*, selezione di materiali e processi a ridotto impatto ambientale), l'innovazione a livello di sistema complesso (design dei sistemi prodotto-servizio), il design bioispirato al fine di imitare la natura nei suoi processi e nelle sue forme funzionali (biomimesi, applicazione dei metodi e strumenti del *biomimicry thinking*); *f*) design per la cooperazione internazionale, finalizzato a supportare lo sviluppo sostenibile dei territori e prevenire i flussi dovuti alle migrazioni forzate; *g*) recupero di *traditional knowledge* come matrice di innovazione sostenibile.

Sustainable Development Goals associati: 3, 5, 6, 7, 8, 12, 13.

Impatto atteso: minore pressione sull'ecosistema, creazione di nuove imprese e posti di lavoro, innovazione tecnologica sostenibile, cambiamento culturale verso nuovi modelli di produzione e di consumo.

Articolazione 4. Design per la qualità della vita e del lavoro

Obiettivi: sviluppo di pratiche e politiche per il *life-improvement*, la salute e il benessere delle persone, la qualità dei servizi pubblici, l'inclusività e l'innovazione sociale.

Le trasformazioni sociali e ambientali contemporanee evidenziano la necessità di sviluppare nuove politiche e pratiche di gestione del sistema pubblico e privato, volte all'individuazione e alla sperimentazione di modelli gestionali, basati anche su tecniche di intelligenza artificiale, a favore della qualità della vita e degli ambienti urbani, con riferimento alla salute, alla istruzione, alla cultura, al lavoro (articolazione in stretta connessione con l'area d'intervento "Trasformazioni sociali e società dell'inclusione"). L'articolazione "Design per la qualità della vita e del lavoro" prevede 5 assi di ricerca principali: *a*) design per l'inclusione sociale prende in considerazione le diversità tra gli individui e i gruppi sociali per definire azioni strategiche che garantiscano pari opportunità a persone, comunità e gruppi di persone, relativamente all'accesso al lavoro, alla formazione, alle economie, alla fruizione degli spazi e degli ambienti anche in relazione alle diverse disabilità dei cittadini; *b*) design per un nuovo welfare urbano, focalizza la ricerca sulla rigenerazione urbana sostenibile, in riferimento alle profonde trasformazioni sociali e ambientali

contemporanee e in risposta ai diritti fondamentali delle persone, attraverso i processi d'innovazione guidati dal design; *c*) design per l'emergenza si focalizza sulla condizione di 'emergenza' negli ambienti antropici. Emergenza che viene oggi considerata come 'permanente' nella misura in cui le tensioni – ambientali, sociali, economiche, politiche religiose – aprono a stati di anomia che abbandonano lo status di 'eccezione' per diventare una costante della contemporaneità. Tale condizione di labilità strutturale, se da un lato evidenzia la fragilità degli attuali tessuti sociali, dall'altro lato, invece, rappresenta uno spazio di possibilità, all'interno del quale il design può costruire risposte utili a ripensare le modalità di gestione delle relazioni e dei conflitti, politici, religiosi, culturali, economici, di genere; *d*) design per la salute registra la spinta innovativa che ha caratterizzato il settore medicale negli ultimi anni, dal punto di vista sia tecnologico sia metodologico, con ricadute sostanziali sulla società e sulle economie, trasformando le abitudini delle persone, le strutture e il modo in cui gli utenti e i progettisti guardano all'artefatto medicale. Le ricerche che questo asse intende promuovere mirano a immaginare nuove forme di gestione dei servizi per la salute che coinvolgano le istituzioni preposte, le grandi aziende del settore, i cittadini e le fasce deboli della popolazione diversamente abili, attraverso pratiche di innovazione sociale. Il design, inteso qui come uno dei settori di creazione del valore, gioca quindi un ruolo determinante nella sua capacità di analizzare e riscrivere, attraverso processi partecipati, i contesti e le dinamiche di domanda e offerta dei servizi per la salute e il benessere, con una attenzione anche al tema della accessibilità economica; *e*) servizi pubblici e transizione verso i servizi digitali rappresenta un importante ambito di convergenza tra le metodologie progettuali del design e le necessità della pubblica amministrazione, in particolare laddove risultino utili quelle capacità abilitanti tipiche del design finalizzate a promuovere l'inclusione e la partecipazione civica. Il risultato di questo processo è una necessaria e sempre più stretta integrazione tra design e settore pubblico.

Sustainable Development Goals associati: 3, 5, 8, 11, 16.

Impatto atteso: miglioramento della qualità della vita e del lavoro mediante modelli inclusivi e semplificati che garantiscano il pluralismo, la non-discriminazione, la partecipazione culturale, il rispetto delle diversità, l'accesso inclusivo alle nuove tecnologie; il salvaguardare la salute delle persone attraverso la sostenibilità ambientale degli spazi di vita.

Articolazione 5. Territori e valorizzazione del Made in Italy

Obiettivi: proposizione di nuovi modelli di sviluppo per la valorizzazione delle diversità del sistema Paese nei settori dei patrimoni culturali, dell'agroalimentare, dell'enogastronomia e del turismo.

Il paesaggio produttivo è tessuto delle nostre comunità e società, filo che collega il passato al nostro futuro. L'Europa ha riconosciuto ai luoghi della produzione, materiali e immateriali, un ruolo centrale non soltanto nella creazione di capitale economico, sociale, tecnologico ma anche per la trasmissione di identità da una generazione all'altra con la creazione di nuova cultura.
In sistemi insediativi caratterizzati da complesse stratificazioni di valori materiali e immateriali, la gestione delle risorse e dei saperi a fini produttivi, si configura, nel tempo, come processo incrementale, condiviso e identitario per la comunità. Le tecnologie - costruttive e produttive - sono espressione di una cultura in divenire, profondamente radicata nei sistemi insediativi, risultante di relazioni complesse tra la dimensione fisica, socioeconomica, istituzionale.
L'Italia dimostra di valorizzare il proprio territorio, inteso come stratificazione di saperi e contesti (*Cultural and Environmental Heritage*). In particolare, l'agroalimentare, il turismo e i beni culturali materiali e immateriali, sono settori nei quali l'Italia può consolidare un vantaggio competitivo a livello mondiale, in modo sostenibile dal punto di vista ambientale e sociale. L'innovazione in questi ambiti va supportata attraverso ricerche che coniughino *technologies, humanities* e *fintech*, e che esplorino temi strategici quali: *a*) salvaguardia, valorizzazione, *storytelling* e promozione dei patrimoni culturali del Made in Italy e della dieta mediterranea, in quanto patrimonio UNESCO e stile di vita promosso dalla OMS e dalla FAO; promozione e sviluppo di ecosistemi imprenditoriali per l'innovazione sociale e la valorizzazione del patrimonio culturale, ivi incluso il patrimonio delle comunità di migranti (*cross-cultural management*); *b*) promozione di percorsi di certificazione di qualità, che leghino i processi produttivi ai luoghi della tradizione recuperati; *c*) promozione della parità di genere nel Made in Italy; *d*) promozione del *lifelong learning* in educazione alimentare e cultura gastronomica; *e*) nuovi paradigmi e politiche per la promozione di *healthy food environments*; *f*) design per lo *smart packaging* e *labeling* dei prodotti agroalimentari; *g*) prospettive e innovazioni che favoriscano la transizione verso un Made in Italy biologico, accessibile, sostenibile e che tuteli la salute delle persone e

dell'ambiente in accordo con le politiche programmatiche europee e internazionali (cfr. *Farm to Fork Strategy*[78] e Agenda 2030 dell'ONU); *h*) studi sulla *Circular Economy for Food*; *i*) valorizzazione culturale, sociale, economica e turistica dei paesaggi, delle ecologie e delle identità alimentari; *l*) nuovi modelli, processi e prodotti per il turismo culturale e ambientale, consapevole, inclusivo e sostenibile; *m*) riappropriazione delle relazioni tra saperi e contesti del Made in Italy, sperimentando di nuovo il radicamento della produzione ai luoghi, riportando all'interno dei sistemi insediativi le manifatture, nuove e antiche, restituendo congruenza ai cicli di produzione e fruizione dell'ambiente costruito; sviluppo e promozione dell'utilizzo di piattaforme digitali per gli scambi commerciali, le transazioni finanziarie (*banking and peer-to-peer systems*) e sviluppo di nuovi prodotti finanziari.

Questa articolazione è in stretta connessione con tutte le aree d'intervento del grande ambito "Cultura, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione".

Sustainable Development Goals associati: 3, 4, 8, 5, 8, 10, 11, 15.

Impatto atteso: tutela e valorizzazione del patrimonio culturale attraverso metodologie e strumenti scientifici propri del design volti alla realizzazione di nuovi prodotti e servizi e di modelli di fruizione sostenibile del patrimonio culturale, promuovendo allo stesso tempo comportamenti responsabili; transizione verso produzioni sistemicamente sostenibili, accessibili e biologiche e verso una cultura dell'alimentazione che promuova la salute dei cittadini e la salvaguardia ambientale.

Articolazione 6. Le imprese culturali e creative per lo sviluppo locale e la competitività globale

Obiettivi: promuovere e sostenere le industrie creative e culturali quale settore strategico del Paese attraverso le nuove tecnologie, le nuove forme di imprenditorialità e i laboratori creativi, la valorizzazione dei talenti creativi; promuovere la ricerca e l'innovazione, l'inclusività, la parità di genere attraverso la cultura e i settori creativi; promuovere occasioni di sviluppo socioeconomico, legando le tradizioni artistiche e artigianali presenti nei territori con l'innovazione creativa di processi e prodotti, anche in forma di impresa sociale.

Le imprese culturali e creative (ICC) rappresentano un sistema economico fondato sulle attività che hanno origine dall'espressione della creatività individuale o collettiva, dall'abilità e dal talento e che generano valore attraverso prodotti e servizi di rilievo culturale e la gestione di diritti di proprietà intellettuale. Cultura e creatività sono fattori determinanti per la qualità e la competitività del Made in Italy. La tradizione culturale e il patrimonio archeologico, storico, artistico e demo-etno-antropologico del nostro Paese accrescono il valore simbolico dei prodotti e dei servizi delle imprese culturali e creative, in un sistema virtuoso di valorizzazione reciproca (*heritage-led innovation*). Le ICC creano posti di lavoro con forte incidenza di occupazione giovanile e opportunità economiche lungo l'intera catena di valore; ma sono anche in grado di dare impulso all'innovazione in altri settori dell'economia e di offrire ai territori mezzi efficaci per lo sviluppo locale attraverso la valorizzazione dei patrimoni culturali. Questo settore così strategico dell'Italia richiede azioni di ricerca e sviluppo dedicate a: supportare l'originalità e l'innovatività della ricerca, i laboratori creativi nei settori delle arti visive e performative, del cinema e delle arti in genere, del teatro, della musica, in stretta connessione con i territori; valorizzare il patrimonio culturale degli ambiti dell'industria culturale e creativa attraverso studi e ricerche mirati alla creazione di archivi accessibili e consultabili; sperimentare modelli innovativi per la gestione dei diritti di proprietà intellettuale, con particolare riferimento al diritto d'autore in ambito digitale (*copyright e digital rights management*); cogliere a pieno le opportunità offerte dalla transizione digitale (*virtual reality, augmented reality, Internet of Things,* blockchain); adottare modelli di business e di partenariati pubblici privati per sostenere le ICC caratterizzate da elevata percentuale di piccole e micro imprese e da forme di lavoro spesso precarie; favorire l'approccio partecipativo degli utenti attraverso processi di co-creazione mediante contaminazione, *networking* e *citizen engagement*; valorizzare le diversità culturali e il multiculturalismo attraverso il coinvolgimento di soggetti sociali e riducendo il divario tra centri dinamici e aree interne, tra centri storici e periferie; recuperare la cultura materiale e promuovere la creatività attraverso la produzione artistica come fattore acceleratore dei processi di rigenerazione dei paesaggi urbani e dei *fragile landscapes*; sperimentare processi di valorizzazione dei territori e dei patrimoni culturali in cui progettisti e comunità, in modo partecipato, lavorino insieme in un processo di *empowerment* reciproco; promuovere le istituzioni culturali, i musei, gli archivi, le collezioni per incrementare lo sviluppo economico, per stimolare l'offerta turistica, per rilanciare i territori in via di spopolamento e per costruire una maggiore coesione

[78] COM(2020) 381 final, A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system.

sociale; tecnologie e innovazioni per mostre e musei digitali che valorizzino le diverse culture europee ed extraeuropee, promuovano i valori della democrazia e consolidino un processo di inclusione sociale efficace; sviluppare una filosofia di valorizzazione culturale *image-oriented* alla luce della crescente importanza delle immagini nelle dinamiche relazionali e nei processi educativi; studi per favorire il *policy planning* e la riforma delle istituzioni nell'ambito delle ICC. Questa articolazione è particolarmente coerente con gli ambiti tematici "Discipline storico letterarie e artistiche", "Patrimonio culturale" e "Trasformazioni sociali, società dell'inclusione".

Sustainable Development Goals associati: 5, 8, 9, 10, 16.

Impatto atteso: aumento del numero di imprese innovative e di posti di lavoro nel comparto delle industrie creative e culturali; valorizzazione dei territori e dei patrimoni culturali e ambientali ancora inespressi attraverso laboratori creativi quali luoghi di *networking* e contaminazione; tutela dei prodotti derivanti dalle attività creative; implementazione del livello tecnologico delle imprese di settore.

*Il **Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo** ha fornito contributi per la definizione dell'articolazione 6 di questa area d'intervento.*

5.2.5 Trasformazioni sociali e società dell'inclusione

Le profonde trasformazioni della società italiana e i rischi per la sua inclusività richiedono una prospettiva di ricerca multidisciplinare e integrata, orientata all'identificazione di risultati e soluzioni utili a governare con efficacia, efficienza ed equità i processi di cambiamento. Tra questi processi, in particolare, si identificano i seguenti:

- società e mercati tra globale e locale. Con la globalizzazione che tende a regredire dopo la crisi scoppiata nel 2007, acquistano forza alcune tendenze nelle società e nei mercati, che segneranno anche il post-COVID-19: ondata tecnologica a base digitale, reazioni partecipative a dinamiche della disuguaglianza e a crisi della rappresentatività, approcci di sostenibilità ambientale al governo del territorio e dei sistemi produttivi, tendenze che ridefiniscono quadri di opportunità, processi selettivi, rischi di declino in Italia, in Europa e nel mondo;

- trasformazione tecnologica e mediatizzazione. La trasformazione tecnologica agisce sui piani individuale e sociale, generando opportunità e rischi per il benessere della persona, l'inclusività, la tenuta sociale e la qualità degli ambienti di vita. Questo avviene attraverso: lo stabilirsi di una condizione di pervasività e ubiquità della mediazione tecno-digitale e delle dinamiche di datificazione; l'affermarsi di nuove piattaforme di comunicazione e la conseguente trasformazione delle industrie culturali; gli avanzamenti tecnologici nell'ambito dei sistemi cyberfisici che definiscono la quarta rivoluzione industrial;

- demografia e migrazioni. L'Italia si caratterizza per un significativo invecchiamento della popolazione, fenomeno alimentato dall'allungamento della durata media di vita e da una spiccata riduzione della natalità. A fronte di tale tendenza, i flussi migratori in entrata negli ultimi anni non sono stati sufficienti a compensare i saldi naturali negativi, anche a causa di una ripresa dell'emigrazione, soprattutto giovanile. Il cambiamento demografico determina squilibri tra generazioni, con rilevanti effetti economici e sociali;

- processi di esclusione e di inclusione sociale. L'aumento delle disuguaglianze, fra persone e territori, i processi di esclusione economica e sociale, il senso di ingiustizia sociale che ne deriva, sono un segno distintivo di questa fase storica, in Italia come nell'intero Occidente. Negli ultimi trent'anni la tendenza alla riduzione delle disuguaglianze osservata a partire dal secondo dopo guerra si è invertita, generando un aumento della povertà e dell'esclusione sociale;

- territorio e metropolizzazione. La città contemporanea è l'esito di un processo di metropolizzazione che ha mutato l'assetto del territorio italiano e le problematiche legate alla città, all'ambiente e al paesaggio. Le contraddizioni indotte dalla globalizzazione si sovrappongono alle anomalie genetiche che hanno caratterizzato, dal ventesimo secolo, lo sviluppo delle città, evidenziando l'emergere di una nuova questione urbana, che sottende condizioni generalizzate di

marginalità e che richiede la messa in campo di un nuovo welfare urbano, per garantire i diritti fondamentali: alla salute, alla casa, all'istruzione, all'ambiente, alla mobilità pubblica, alla città;

- processi di governance e accountability. Il bisogno di processi di governance collaborativa e di accountability democratica cresce entro società locali e nazionali colpite da sfide complesse. Sono strumenti per una curvatura delle trasformazioni socioeconomiche e territoriali e dei quadri normativi verso modelli di sviluppo caratterizzati da qualità maggiori di inclusione e sostenibilità che, ad esempio, incorporino strutturalmente la responsabilità sociale e ambientale nelle strategie delle imprese e nei comportamenti del consumo.

Articolazione 1. Demografia: invecchiamento e denatalità

Priorità di ricerca: *a*) processi di innovazione sociale al fine di cogliere le opportunità dell'allungamento della durata media di vita; in particolare, al fine di favorire la trasmissione delle competenze, coniugando questa opportunità con le esigenze specifiche, di salute e di benessere, dei soggetti anziani; *b*) politiche per il contrasto alla denatalità.

Impatto atteso: conoscenze utili per il disegno delle politiche demografiche su scala nazionale ed europea e per la gestione degli impatti dei fenomeni di invecchiamento e di denatalità sul mercato del lavoro, sulla tenuta del sistema previdenziale, sulla sostenibilità di alcuni servizi pubblici, sulla produttività e sulla crescita.

Articolazione 2. Mobilità e migrazioni

Priorità di ricerca: *a*) modelli e pratiche di gestione sovra-nazionale delle politiche e dei flussi migratori; *b*) ruolo attuale dei media e delle nuove tecnologie e promozione di atteggiamenti positivi di integrazione; *c*) ruolo della eterogeneità migratoria sui fenomeni economici: produttività di lavoratori e imprese, creatività e potenziale innovativo dei territori, tenuta dei sistemi di welfare e attitudini verso le politiche di redistribuzione e di protezione sociale; *d*) nuovi approcci metodologici, anche multidisciplinari, per l'analisi dei fenomeni migratori (ad esempio, big data, analisi dei network) l'utilizzo del tempo, il rapporto tra migrazione e spopolamento delle aree interne.

Impatto atteso: conoscenze utili per le politiche migratorie su scala nazionale e il coordinamento di tali politiche all'interno dell'Unione Europea**.**

Articolazione 3. Disuguaglianze e inclusione

Priorità di ricerca: *a*) valutazione multidimensionale delle disuguaglianze e dell'esclusione sociale; *b*) misurazione delle disuguaglianze di opportunità, ereditate e legate a circostanze esogene, quali il genere, il territorio di nascita, il contesto familiare d'origine, il colore della pelle, l'etnia; *c*) confronti territoriali di benessere e di disagio, considerando reddito monetario/livello dei prezzi ed eterogeneità nella qualità e nella accessibilità di servizi pubblici e beni comuni; *d*) politiche di redistribuzione, di contrasto alla povertà e di inclusione sociale; *e*) percezione delle disuguaglianze e del supporto alle politiche di redistribuzione e di inclusione; *f*) nuove dimensioni di disuguaglianza evidenziate anche dalla crisi COVID-19 e conseguente riforma del welfare.

Impatto atteso: conoscenze utili per il disegno di politiche di inclusione sociale e di riduzione delle disuguaglianze che siano eque, efficienti ed efficaci, nel contesto nazionale ed europeo anche post-COVID-19.

Articolazione 4. Nuove identità e processi culturali c

Priorità di ricerca: *a*) nuove forme di identità, di aggregazioni collettive, di partecipazione e rivendicazioni sociali; *b*) dinamiche di innovazione sociale in forma di modelli di reti tra produttori e consumatori, di autogestione e mutualità, con attenzione al mutamento dei valori; *c*) pratiche di partecipazione sui temi dei beni comuni e spazio pubblico; *d*) forme di costruzione e rappresentazione identitaria e collettiva declinate nei diversi processi culturali e comunicativi, con attenzione anche alle differenze generazionali e di genere, nello specifico digitale; *e*) comunicazione di crisi ed emergenza e circuiti informativi fiduciari.

Impatto atteso: riconoscimento e lotta alla discriminazione in relazione alle identità di genere ed etniche; costruzione di modelli di sviluppo sostenibile; maggiore efficacia delle campagne di comunicazione pubblica e sociale finalizzate al cambiamento culturale e sociale e promozione di stili di vita sostenibili in diversi ambiti della società**.**

Articolazione 5. Benessere psicosociale e qualità della vita

Priorità di ricerca: *a*) analisi delle esigenze specifiche di benessere psicologico e sociale; *b*) definizione di metodi e interventi per migliorare la qualità della vita, in particolare in persone che attraversano fasi vulnerabili del ciclo di vita, che vivono in situazioni socioeconomiche svantaggiate, che soffrono di malattie o disabilità fisiche e/o cognitive; *c*) ricerca per la promozione di comportamenti salutari e sostenibili per prevenire e contrastare l'insorgere o il persistere di comportamenti conflittuali e pericolosi, sul lavoro, a scuola, nelle relazioni familiari, nell'uso delle tecnologie, negli stili di vita, di consumo e nell'alimentazione.

Impatto atteso: promozione del benessere e della qualità della vita degli individui, identificando i meccanismi sociali e psicologici alla base della salute e delle malattie; contributo nell'affrontare disparità sociali, economiche e politiche, sostenendo modelli di crescita inclusiva; promozione di una alimentazione sana e sicura e di stili di vita consapevoli e sostenibili.

Articolazione 6. Welfare urbano, città pubblica e diritti

Priorità di ricerca: *a*) dare risposta alla nuova questione delle città e dei territori; *b*) realizzare un nuovo welfare urbano, garantendo i diritti fondamentali per salute, casa, istruzione, ambiente, mobilità pubblica, città; *c*) costruire la città pubblica, sistema di reti materiali e immateriali: reti di servizi pubblici e spazi infrastrutturali per la mobilità sostenibile e l'inclusione, reti tecnologiche ed energetiche, reti connettive del verde e delle acque, reti degli assetti paesaggistici; delle emergenze storico-documentario-architettoniche, reti di comunità, di gestione condivisa dei beni comuni, reti di partenariato pubblico-privato, reti di rivitalizzazione socioeconomico e culturale, reti per l'abitare, reti per la riconversione energetica, la sostituzione del patrimonio edilizio.

Impatto atteso: soluzioni per riformare i SSN (modelli di distribuzione territoriale); cambiamenti per welfare e servizi sociali; politiche per la tutela dei diritti; sicurezza ambientale, infrastrutturale, dei servizi; protezione degli spazi pubblici aperti; *green economy*, ciclo dei rifiuti; Infrastrutture (anche verdi), servizi ecosistemici; accessibilità, inclusività, alloggi; soluzioni di governance per pianificare spazio, ambiente, inclusione di cittadini e attori.

Articolazione 7. Innovazione, democrazia, etica e diritto

Priorità di ricerca: *a*) costellazioni di attori multilivello in processi di governance collaborativa per beni collettivi specifici alle comunità più colpite da disuguaglianze e allo sviluppo di sistemi produttivi e territoriali resilienti; *b*) accountability democratica, compreso lo sviluppo di metodi e prassi valutative della PA e di altri attori; *c*) armonizzazione del quadro normativo per ridurre l'incertezza nei progetti d'innovazione; *d*) modelli e strumenti di contrasto di comportamenti opportunisti ed estrattivi, giocati da attori locali e globali, in particolare dove la concentrazione di capitali e capacità innovative entro la trasformazione digitale aumenta disuguaglianze e approfondisce la crisi dei sistemi democratici colpendone fondamenti etici e giuridici.

Impatto atteso: conoscenze utili per l'integrazione di politiche economiche, sociali e territoriali, e del loro coordinamento con diffusi processi di governance collaborativa; come base per un rinnovato rapporto fra innovazione e democrazia.

Articolazione 8. Modelli di sviluppo, competenze e formazione

Priorità di ricerca: *a*) ricostruzione economica post-COVID-19 su modelli di sviluppo che incorporino sia idee motrici a partire da nuovi modi di intendere consumo, lavoro e territorio, sia combinazioni sistematiche di input scientifico-sperimentali e nuove forme di partenariato fra pubblico e privato, per innovazioni e internazionalizzazione orientate all'inclusione sociale e alla sostenibilità; *b*) riproduzione e variazione di fondamentali fattori di sviluppo, in particolare la condivisione di identità e sensi di appartenenza aperti e le attitudini verso il lavoro competente, l'imprenditorialità, le relazioni su basi fiduciarie, anche attraverso la ricerca sui modelli e i percorsi formativi e scuola/lavoro.

Impatto atteso: conoscenze per quadri normativi e politiche di sviluppo multiscalari e di sistema, tesi a una nuova ondata di investimenti produttivi e nella formazione in Italia entro il contesto europeo post-COVID-19.

Articolazione 9. Trasformazioni tecnologiche e design centrato sulla persona

Priorità di ricerca: *a*) analisi dei processi di trasformazione tecnologica e dei loro effetti sulla vita personale e delle comunità, con particolare riferimento al mondo del lavoro e ai sistemi di welfare; *b*) ricerca, applicazione e valutazione di metodi e linee guida per il design di prodotti e servizi tecnologici centrati sulla persona, socialmente sostenibili ed eticamente corretti; *c*) design e valutazione ergonomico-cognitiva di prodotti e servizi per l'adozione di stili di vita salutari, la sicurezza lavorativa, l'educazione e la formazione, l'invecchiamento attivo e le relazioni intergenerazionali, l'inclusione sociale e l'integrazione linguistica e culturale, l'accessibilità e l'assistenza ai disabili.

Impatto atteso. Identificazione e analisi di fattori chiave per lo sviluppo di tecnologie abilitanti, accessibili, sicure e socialmente sostenibili; design di prodotti sicuri, sostenibili, inclusivi accessibili; definizione di soluzioni e metodi per affrontare i disallineamenti di competenza e le problematiche etiche sollevati dal progresso tecnologico**.**

Articolazione 10. Trasformazioni mediali, comunicative e processi di digitalizzazione

Priorità di ricerca: *a*) analisi di piattaforme e sistemi mediali ibridi con attenzione alla dimensione locale/globale e alle trasformazioni delle industrie culturali classiche in post-mediali; *b*) privacy, intimità e conseguenze dei processi di mediatizzazione, con attenzione all'universo dei minori e delle fasce meno protette; *c*) pratiche d'uso dei media in chiave socialmente produttiva (ad esempio, volontariato, promozione sociale) e asociale o antisociale (ad esempio, *hate speech*, sovversione); *d*) nuove pratiche di fruizione dei pubblici trans e postmediali, con attenzione alle differenze generazionali, di capitale sociale, economico e di genere.

Impatto atteso. Sostegno alla produzione mediale in ottica di mercato globale; coordinamento pubblico-privato per le attività comunicative di promozione sociale e in funzione di monitoraggio, controllo ed eventuale intervento sulle pratiche comunicative aggressive, violente e criminali; incremento delle competenze digitali di giovani e anziani, con attenzione alle differenze e alle forme di fruizione culturale come diritto alla partecipazione e all'inclusione.

Articolazione 11. Metodi innovativi e tecnologie per la ricerca sociale e l'educazione

Priorità di ricerca: sviluppo di metodi, tecnologie e standard per *a*) condivisione di dati (big data) e di modelli, per comparazione di risultati e previsioni; *b*) la simulazione in ambienti virtuali, aumentati e ibridi di pratiche e fenomeni sociali e per l'uso dei medesimi sistemi nella ricerca, nell'educazione e nella formazione; *c*) l'analisi di reti sociali e dei big data; *d*) la valutazione *in silico* di scelte di politiche e pianificazione *e*) la co-progettazione e la co-creazioni online di ricerche sui temi delle trasformazioni sociali e dell'inclusione

Impatto atteso. Le attività andranno a potenziare meta-infrastrutture per l'educazione e per la ricerca EU come *Research Infrastructure for Research and Innovation Policy Studies* (RISIS) o il *Social Sciences and Humanities Open Cloud* (SSHOC).

Articolazione 12. Strategie e strumenti per la rigenerazione urbana e il governo del territorio

Priorità di ricerca: *a*) strategie di rigenerazione urbana e riequilibrio territoriale, programmi strategici e specificità dei territori; *b*) riforma della legislazione nazionale per il governo del territorio e la rigenerazione urbana; *c*) integrazione tra politiche di sviluppo del sistema insediativo e delle infrastrutture, e politiche di tutela e valorizzazione del sistema ambientale; *d*) definizione e omogeneizzazione di strumenti, meccanismi attuativi, parametri, risorse per la rigenerazione urbana, la città pubblica; *e*) aggiornamento degli standard urbanistici; *f*) programmi di formazione per figure competenti sulla rigenerazione.

Impatto atteso: salubrità ecosistemi; politiche/piani integrati, ambiente, urbanistica, infrastrutture, sanità; politiche per una governance democratica; uso sostenibile del patrimonio culturale; territori resistenti ai disastri; competenze integrate (governo del territorio, ambiente, clima, energia); ICT (*territorial survey, regional and urban planning*); qualità ambiente urbano, cambiamenti climatici; energia-mobilità; uso del suolo; pianificazione integrata (governance, politiche urbane, partecipazione); politiche per la sostenibilità, gestione ecosistemi e capitale naturale.

Il ***Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*** *e il* ***Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali*** *hanno fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*

5.3. SICUREZZA PER I SISTEMI SOCIALI

5.3.1 Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti

L'area d'intervento "Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti" è inserita nell'ambito "Sicurezza per i sistemi sociali", corrispondente al *cluster 3 Civil security for Society* di Horizon Europe, che mira a contribuire alla protezione della UE e dei suoi cittadini dalle minacce determinate da crimine e terrorismo e dall'impatto di disastri naturali e antropici.

L'area di intervento "Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti" intende promuovere attività di ricerca e innovazione tecnologica che contribuiscano a una efficace implementazione, a livello nazionale, di politiche e direttive internazionali nel campo del *Disaster Risk Management*; in particolare, *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015-2030)* e *Union Civil Protection Mechanism,* oltre che *European Programme on Critical Infrastructure Protection, EU Climate Adaptation Strategy, EU environmental policies* (ad esempio, *Seveso III Directive*, *Flood Directive*), *EU CBRN and Explosives Action Plans*. Allo stesso tempo, le attività di ricerca saranno coerenti con il contesto di riferimento generale del PNR 2021-27, ossia i Sustainable Development Goals (da qui in poi SDGs), le priorità espresse dalla nuova Commissione Europea e gli obiettivi della Politica di coesione 2021-27. Riguardo quest'ultima, tra i sei Obiettivi di policy (OP), lo *OP1. A low-carbon and greener Europe*, dedica specifica attenzione ai temi della prevenzione dei rischi e della riduzione delle perdite, temi che sono ripresi anche nello *OP4. Promoting our European way of life*, che li indica tra gli obiettivi principali degli investimenti in ricerca e innovazione. In questo contesto, prioritari per l'Italia saranno gli investimenti diretti a incrementare la resilienza ai rischi naturali (sismico, idrogeologico, vulcanico), con particolare attenzione alle infrastrutture critiche e ai sistemi urbani.

In Italia vi è una consolidata attenzione alla sicurezza e resilienza dell'ambiente costruito e delle infrastrutture, nonché del sistema di sistemi complessi, distribuiti e interdipendenti che lo formano. Da un lato, i principali attributi della sicurezza e della resilienza da considerare sono: *a*) vulnerabilità dei sistemi, intrinseca e dovuta a deterioramento; *b*) molteplicità dei pericoli di origine naturale e antropica; *c*) conoscenza imperfetta e/o incompleta (cioè, incertezza) di eventi pericolosi e dei loro impatti; *d*) robustezza e riparabilità/manutenibilità. Dall'altro lato, vanno riconosciute le principali complessità intrinseche a strutture, infrastrutture e sistemi a rete, derivanti da: *a*) molteplicità ed eterogeneità degli elementi (*hard-humanware* e *cyber-humanware*) e delle tecnologie; *b*) dipendenze e interdipendenze; *c*) estensione spaziale dei sistemi e delle conseguenze di eventuali disastri, potenzialmente intersettoriali e transnazionali (ad esempio, effetti domino e a cascata); *d*) evoluzione nel tempo e vita utile residua; *e*) limitata disponibilità di risorse economiche per la sicurezza e la resilienza; *f*) comparabilità dei rischi conseguenti a pericoli diversi; *g*) rapida evoluzione tecnologica (ad esempio, *energy transition*).

Dall'analisi del contesto emergono alcune esigenze specifiche e temi di particolare rilevanza per il Paese, ossia: sicurezza e robustezza del costruito, sicurezza e resilienza delle infrastrutture critiche, valutazione *multi-hazard* e *multi-risk*, analisi di sistemi complessi e interdipendenti, strategie di mitigazione delle conseguenze, consapevolezza e preparazione ai rischi delle comunità.

Le attività di ricerca dovranno determinare l'avanzamento delle conoscenze di base (TRL basso-medio) verso l'applicazione e il trasferimento tecnologico (TRL medio-alto), con il coinvolgimento delle pubbliche amministrazioni, delle comunità professionali e imprenditoriali, dei cittadini. Strumenti facilitatori in tale direzione si ritiene debbano essere, tra gli altri, le infrastrutture di ricerca e i dottorati di ricerca (anche industriali). Vanno ricercati e sviluppati strumenti di analisi e valutazione, nonché tecnologie trasversali, considerando anche aree scientifiche in cui risultano dominanti paradigmi, quali: *digitalisation*, *smart materials, smart cities, smart grids, smart systems*, *data science, big data, machine learning, situation awareness, remote metering, fault diagnosis,* robotica e droni, IoT. Fondamentale, in fase di progettazione sia di nuove opere sia di intervento su quelle esistenti, è la definizione di metriche oggettive e condivise, basate su fattori economici, temporali e sociali, per orientare la scelta tra diverse soluzioni possibili e per comparare i livelli di sicurezza e di resilienza di sistemi diversi che svolgono le stesse funzioni. Oltre che con le aree d'intervento "Sicurezza sistemi naturali" e "Cybersecurity", le attività di ricerca dovranno trovare una efficace integrazione con gli ambiti "Clima, energia, mobilità sostenibile", "Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione" e "Digitale, industria, aerospazio". In termini generali gli impatti attesi dell'area

d'intervento "Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti" rientrano tra quelli del *cluster 3* di Horizon Europe, in particolare: i) *Losses from natural, accidental and man-made disasters are reduced through better societal resilience and improved disaster risk management*; ii) *Resilience and autonomy of physical and digital infrastructures are enhanced and vital societal functions are ensured with the help of modern technologies, as well as better cooperation between stakeholders*; iii) *Security threats are more effectively addressed thanks to better cross-cutting knowledge across different areas of security, enhanced implementation of the research and innovation cycle and improved uptake*.

Articolazione 1. Analisi e valutazione dei rischi e della resilienza

Nell'analisi e valutazione dei rischi e della resilienza, la sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti richiede un approccio sistemico per essere sia garantita in fase di progetto sia gestita e mantenuta operativa. Vanno considerati i pericoli multipli, attuali, emergenti e futuri, di origine sia naturale sia antropica, che minacciano la sicurezza delle comunità a causa della vulnerabilità individuale e sistemica di strutture, infrastrutture e reti su scala nazionale e sovranazionale. Vanno sviluppate metodologie che tengano conto delle caratteristiche di complessità e interdipendenza di questi sistemi, che ne fanno dei sistemi di sistemi eterogenei, con componenti fisiche, cyber e umane che interagiscono e che possono portare a propagazione a cascata di guasti, danni e perdite. In questo contesto di complessità, con sistemi che invecchiano e si degradano, vanno sviluppati modelli accurati per la valutazione degli effetti dei fenomeni che espongono a rischio le strutture, infrastrutture e reti, nonché a descriverne la risposta resiliente tenendo conto delle incertezze. Vanno sviluppati modelli stocastici, topologici e logici di sistema, di simulazione di processo, per prevedere l'accadimento e le conseguenze di eventi (anche estremi) che ledono l'integrità delle strutture, infrastrutture e reti e per analizzare in maniera olistica la risposta resiliente alla crisi considerando tutti gli aspetti tecnici, economici e sociali coinvolti. È anche necessario sviluppare modelli del comportamento umano e sociale che possono avere un effetto di mitigazione o di aggravamento delle conseguenze. Nella specificità del contesto italiano, si rileva come l'ambiente costruito sia in larga parte caratterizzato da costruzioni vulnerabili e giunte oltre la vita utile nominale. Specificamente, edilizia popolare, edifici storici e monumentali, ponti e opere civili in genere, presentano in molti casi una critica intersezione tra condizioni di pericolosità, vulnerabilità, ed esposizione, come testimoniato da recenti terremoti e altri eventi calamitosi. Pertanto, la valutazione e la gestione della sicurezza del patrimonio edilizio e infrastrutturale, la difesa e la salvaguardia del patrimonio culturale sono una priorità nazionale. Inoltre, la vocazione industriale di un Paese trasformatore come l'Italia e la necessità di uno sviluppo economico armonico e sostenibile impongono tra gli obiettivi strategici nazionali il mantenimento in efficienza e sicurezza delle reti e delle infrastrutture critiche (energia, telecomunicazioni, trasporti, *supply chains*), tenendo altresì conto di alcune specificità, come la posizione nel Mediterraneo, che evidenzia il ruolo strategico del sistema portuale, e di *Energy Hubs*. Ciò richiede l'ottimizzazione degli sforzi economici per programmi di interventi ordinari/straordinari, per i quali è cruciale disporre di strumenti per la valutazione rapida dello stato di sicurezza, in particolare dopo eventi calamitosi (inclusi quelli dolosi), ma anche per il monitoraggio continuo dell'integrità in fase di esercizio. Appare importante fornire in tempi molto brevi scenari di possibile distribuzione spaziale dell'impatto, diretto e indiretto (effetti a cascata) di eventi inattesi, sviluppando modelli evoluti per la quantificazione di pericolosità, esposizione e vulnerabilità. Allo stesso modo, considerando la dimensione imponente del problema in Italia, vanno sviluppati sistemi per la riduzione del rischio in tempo reale attraverso la riduzione dell'esposizione (per esempio, sistemi di *early warning*) che in alcuni casi possono rappresentare un'alternativa sostenibile o essere complementari a soluzioni classiche basate essenzialmente sulla riduzione della vulnerabilità, più onerose e di lunga attuazione. Infine, vanno definite metriche per quantificare il rischio e monitorare il grado di sicurezza che consentano ai sistemi di gestione di prendere decisioni in condizioni ordinarie e di emergenza. Decisioni la cui rischiosità debba essere a sua volta valutabile sulla base di modelli analitici per l'analisi e la propagazione dell'incertezza.

Impatto atteso: sviluppo di modelli, metriche, metodi e strumenti di analisi olistica e di valutazione del rischio e della resilienza che forniscano le informazioni necessarie per supportare le scelte decisionali relative ad azioni di prevenzione e a soluzioni per la mitigazione delle conseguenze e per l'incremento della resilienza rispetto a pericoli di origine naturale e antropica.

Articolazione 2. Metodi, tecniche e tecnologie per il monitoraggio e la prevenzione dei rischi

Le attività di monitoraggio e prevenzione sono essenziali per la sicurezza di strutture, infrastrutture e reti. Vanno sviluppate nuove conoscenze che forniscano metodi e tecnologie in grado di far fronte a scenari e situazioni di

contingenza, anche in relazione a nuove minacce derivanti da condizioni ambientali e di contesto socioeconomico in continua evoluzione e influenzate dai cambiamenti climatici e sociali. Nuovi metodi e tecnologie dovranno consentire di rilevare in tempo reale sintomi di degrado o guasto incipienti, di monitorare e controllare l'evoluzione dinamica dei sistemi, anche su area geografica estesa, con le necessarie risoluzioni spaziali e temporali. Sistemi innovativi di monitoraggio e controllo, anche adattativi, potranno scaturire da avanzamenti sia metodologici sia tecnologici (disponibilità di nuove tecnologie per misure, telecomunicazioni e calcolo ad alte prestazioni). Le potenzialità di tali sistemi innovativi di monitoraggio e controllo andranno considerate anche nelle fasi di emergenza e di ripristino delle prestazioni iniziali, in presenza di condizioni di elevata vulnerabilità, beneficiando dell'integrazione con tecniche di intelligenza artificiale e *soft computing* per l'analisi dei dati. Nello specifico, edifici storici, siti archeologici, monumenti, che sono una parte fondamentale della storia e della economia italiana, richiedono tecniche e dispositivi di monitoraggio dedicati. Inoltre, vista la forte impronta industriale del sistema Italia, particolare rilievo assumono anche il monitoraggio e il controllo delle infrastrutture critiche e degli impianti industriali (in particolare quelli a *rischio di incidente rilevante,* come da *Seveso III Directive*). Tra le infrastrutture critiche, una particolare attenzione va rivolta alle reti stradali e ferroviarie nazionali in quanto sistemi nei quali i concetti di robustezza e ridondanza possono non essere economicamente sostenibili e per i quali l'interruzione di servizio di un singolo segmento può mettere a rischio interi corridoi nazionali e transnazionali per il trasporto di persone e merci. Attenzione va posta anche alle infrastrutture di accumulo, trasporto e distribuzione di materie prime, semilavorati ed energia (acqua, elettricità e gas). Vanno sviluppate soluzioni per garantire continuità del servizio (*service continuity*) e funzionamento in sicurezza delle infrastrutture critiche, anche in relazione alla necessità di aggiornamento dei piani di difesa di queste infrastrutture in risposta a misure di gestione delle crisi derivanti da emergenze sanitarie. Specifici sviluppi potranno riguardare metodi e tecnologie per migliorare la sicurezza delle infrastrutture, con riferimento alla loro protezione perimetrale e considerando gli aspetti di *situational awareness* e di contrasto. Inoltre, tenuta presente la numerosità delle componenti da controllare ai fini del monitoraggio e della prevenzione dei rischi, è necessario affrontare la complessità del problema con sistemi di nuova generazione capaci di integrare i concetti di "gemello digitale" e "intelligenza artificiale" con i concetti di "sistemi di misura in tempo reale" e "strumentazione virtuale". In generale, per la sicurezza di infrastrutture critiche interdipendenti e di sistemi complessi vanno sviluppate soluzioni basate sulla integrazione di: *a*) tecnologie e sistemi di monitoraggio *in situ* e da remoto; *b*) metriche del rischio e della sicurezza, modelli multiparametrici; *c*) tecniche di *data analysis* applicate a big data; *d*) sistemi e strumenti per l'individuazione di possibili condizioni di criticità di strutture e infrastrutture; *e*) modelli per l'analisi delle interdipendenze e per la valutazione dell'effetto sulla resilienza dei sistemi complessi e delle comunità.

Impatto atteso: sviluppo di metodologie, tecnologie e sistemi di monitoraggio delle funzionalità critiche di strutture, infrastrutture e reti; metodi di misura e controllo del degrado sia per invecchiamento sia per accumulo del danno; metodi di progettazione orientati alla sicurezza e alla resilienza; tecniche e tecnologie innovative per la prevenzione dei rischi, per la mitigazione degli impatti di eventi inattesi e per il pronto recupero.

Articolazione 3. Gestione dei rischi e della resilienza

In termini quantitativi, la resilienza può essere definita in relazione al processo di recupero della qualità (funzionalità) di un sistema perturbato da un evento dannoso, di origine naturale o antropica. La valutazione dell'entità della perdita di funzionalità del sistema è oggetto dell'analisi di rischio. Il recupero da tale perdita, per il ripristino (anche parziale o più che totale) della funzionalità, riguarda la resilienza, che viene tipicamente caratterizzata da diversi fattori e azioni, quali: *a*) la robustezza del sistema (cioè, la capacità del sistema di sopportare la perturbazione derivante dall'evento dannoso, mitigandone gli effetti di perdita di funzionalità), supportata dalla ridondanza funzionale (cioè, la capacità del sistema di continuare a fornire la funzionalità anche avendo subito perdite); *b*) le azioni di prevenzione, preparazione, risposta e recupero che determinano la capacità del sistema di mitigare gli effetti, prepararsi e reagire all'evento dannoso e infine ristabilire la funzionalità in tempi accettabili.

Nel contesto specifico di comunità (di cittadini, di imprese ecc.) servite da sistemi fisici e di servizi interconnessi e interdipendenti (ad esempio, un sistema informatico bancario che dipende dall'infrastruttura elettrica), il parametro di qualità/funzionalità è la *lifeline* delle comunità, nonché la valutazione e la progettazione della resilienza devono necessariamente coinvolgere tutti i suddetti sistemi, nel sistema di sistemiche essi compongono. In tale organizzazione sistemica rientrano, quindi, campi fortemente interdisciplinari nei quali sviluppare conoscenze, competenze e

tecnologie per la sicurezza dell'ambiente fisico ai fini della mitigazione dei rischi e della resilienza delle comunità, con ricerche indirizzate ad uno o più degli attributi della resilienza prima identificati. Le scale di sviluppo delle ricerche possono essere molteplici. Dal punto di vista spaziale, la scala di maggiore dettaglio è quella della singola struttura, infrastruttura o rete, per passare poi al sistema di infrastrutture a scala urbana, regionale, nazionale e sovranazionale. Dal punto di vista temporale è necessario distinguere la scala a cui operano i sistemi oggetto di analisi, mentre, dal punto di vista degli eventi che possono determinare le perdite, è d'uso distinguere un breve termine dopo l'evento (gestione delle emergenze), un medio termine, in cui la comunità recupera una certa funzionalità di regime, e un lungo termine, che ha a che fare con il ciclo di vita. Nella specificità del contesto italiano, e in particolare considerando l'elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio e infrastrutturale, l'applicazione delle ricerche deve sempre più contribuire alla riduzione dei rischi e al miglioramento della resilienza attraverso diverse strategie di prevenzione, strutturale e non strutturale. Decidere quale delle strategie sia la migliore o come esse vadano opportunamente combinate per ottimizzare la distribuzione spaziale e temporale delle risorse in termini benefici/costi, è difficile. Pertanto, sono necessari studi e ricerche che consentano di definire criteri e metodi per la individuazione della strategia ottimale, con un approccio olistico e interdisciplinare in un contesto *multi-hazard* e multirischio. In ambito industriale e di infrastrutture critiche vanno sviluppate tecnologie per il controllo della resilienza (*resilience control systems*) per garantire un accettabile livello di sicurezza e il livello di prestazione più elevato possibile in risposta a eventi poco frequenti e ad alto impatto. Vanno sviluppati sistemi *self-healing*, che rappresentano una tecnologia promettente per l'incremento della resilienza di infrastrutture e reti. Per quanto riguarda la preparazione e gestione delle emergenze, vanno sviluppate soluzioni più efficaci per la protezione e il supporto dei *first responders*, in particolare in caso di eventi CBRN (*Chemical, Biological, Radiological and Nuclear*) e in ambiente ostile.

Impatto atteso: sviluppo di conoscenze, competenze e tecnologie relative agli attributi della resilienza dell'ambiente fisico per la *lifeline* delle comunità a scala urbana, regionale, nazionale o sovranazionale; definizione di strategie ottimizzate per la riduzione delle perdite e il miglioramento della resilienza di infrastrutture e reti; sviluppo di sistemi avanzati di controllo della resilienza.

Articolazione 4. Sicurezza e resilienza per la società e lo sviluppo sostenibile

Il programma *Science with and for Society* in Horizon 2020 pone grande attenzione al coinvolgimento della società civile nel promuovere la domanda di ricerca e innovazione tecnologica e sociale, in particolare sui temi della sicurezza e resilienza di strutture e infrastrutture. Su questo, la comunità scientifica italiana è già fortemente impegnata, ma appare necessario proseguire in tale direzione, non solo lavorando per l'avanzamento delle conoscenze sulla progettazione, monitoraggio e riabilitazione, ma anche promuovendo sempre più l'informazione, la consapevolezza, la preparazione e i comportamenti attivi dei cittadini nel gestire la sicurezza delle persone e dei beni materiali rispetto ai rischi naturali e antropici, come auspicato dal *Sendai Framework*. Filoni di ricerca a cavallo tra scienze dure, scienze sociali, economiche e umane dovranno mirare a consolidare la corretta percezione da parte della società (*decision makers*, comunità tecnica, cittadini ecc.) della sicurezza di strutture e infrastrutture, del rischio residuo e di quello socialmente accettabile a seguito di analisi costi-benefici che permettano di identificare, in funzione delle risorse disponibili, le priorità di intervento per lo sviluppo sostenibile delle comunità. Gli ineludibili obiettivi di riduzione delle emissioni climalteranti spingono verso una rapida ristrutturazione e riorganizzazione di alcune infrastrutture, creando nuove opportunità di sviluppo ma anche minacce, mai sperimentate in passato, in termini di sicurezza e resilienza (ad esempio, il passaggio rapido da un sistema energetico centralizzato ad uno decentralizzato dovuto alla *energy transition*). In tal senso, principale obiettivo delle ricerche dovrà essere la definizione di soluzioni in grado di coniugare le forti istanze sociali e l'esigenza di una gestione sicura e resiliente delle infrastrutture, su orizzonti temporali di lungo termine. Un chiaro esempio è la sfida posta dall'aumento osservato delle temperature globali che potrebbe minacciare la sicurezza (nell'accezione anglosassone di *security*) degli approvvigionamenti idrici in alcune regioni del nostro Paese e del mondo. Ciò comporta la necessità di sviluppare ricerche per un uso più razionale ed efficiente della risorsa idrica (microirrigazione, irrigazione di precisione) e per la pianificazione degli interventi nelle zone costiere minacciate dall'innalzamento del livello dei mari, già osservato e previsto in accelerazione, rendendo la società più consapevole e attiva su questi processi in atto.

Impatto atteso: crescita della consapevolezza, del grado di preparazione e dei comportamenti attivi dei cittadini rispetto alla gestione dei rischi; miglioramento della capacità di recupero a seguito di catastrofi di origine naturale o antropica;

definizione di priorità di intervento per il miglioramento della sicurezza in funzione delle risorse disponibili e supporto alle decisioni; efficienza nell'uso delle risorse naturali in un contesto di cambiamenti climatici e sociali; favorire la trasformazione di strutture e infrastrutture in chiave sostenibile garantendo la sicurezza.

*L'**Ufficio del Consigliere militare della Presidenza del Consiglio dei Ministri**, il **Ministero della Difesa**, il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**, il **Ministero dell'Interno** hanno fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*

5.3.2 Sicurezza sistemi naturali

La sicurezza dei sistemi naturali è fortemente interconnessa alla conoscenza del territorio e delle evoluzioni dinamiche indotte da agenti endogeni ed esogeni, incluse le attività antropiche e legate ai sistemi sociali. Nel decennio 2009-18 i disastri naturali hanno causato, su scala globale, perdite eccedenti 1.858 milioni di dollari[79] e la dislocazione di 24 milioni di persone[80]. L'impatto di eventi naturali sul sistema Terra si manifesta, in modo diretto e indiretto, anche con effetti concomitanti che derivano in parte dall'interazione con l'ambiente antropico. La riduzione e gestione dei rischi naturali richiedono, perciò, l'integrazione di competenze di base, multi e interdisciplinari per garantire la definizione di scenari di pericolosità affidabili e completi, considerando l'intrinseca incertezza nell'identificare e concettualizzare i processi naturali della biosfera e la disponibilità di dati, non di rado inadeguata. Il *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*, approvato nel 2015 alla terza *UN World Conference on Disaster Risk Reduction*, auspica lo sviluppo di approcci e applicazioni *multi-hazard* utili sia per il preannuncio sia per la rapida stima dell'impatto di un evento[81]. Un avanzamento significativo delle conoscenze di base del sistema Terra, dei processi e materiali che ne regolano l'evoluzione, è strumento imprescindibile per rendere lo sviluppo delle società moderne sicuro e sostenibile in un contesto di cambiamenti globali. È necessario, quindi, giungere a un efficace e sistematico utilizzo delle conoscenze scientifiche e tecnologiche nelle strategie multilivello di mitigazione e prevenzione dei rischi naturali (in ambiente terrestre e marino) e degli impatti indotti da attività antropica sulle matrici ambientali. In tale contesto, l'integrazione della conoscenza scientifica nelle decisioni pubbliche e private richiede nuovi approcci che armonizzino informazioni, dati e conoscenze derivate da diverse discipline e le inseriscano all'interno di modelli e strumenti decisionali robusti. Considerando la rilevanza della dimensione sociale ed economica dei rischi naturali, sia riguardo ai comportamenti collettivi e individuali, che trasformino gli *hazard* in rischi, sia riguardo agli impatti e ai costi socioeconomici che da tali rischi derivano, si propone che venga dato un impulso significativo a programmi di ricerca innovativi. La quantificazione degli impatti antropici a diverse scale spazio-temporali pone nuove sfide nella prevenzione e gestione degli eventi e delle catastrofi naturali e indotte da azioni antropogeniche e si configura come elemento chiave anche per una valutazione complessiva e robusta del rischio associato, in particolare, alla tutela dei beni culturali e paesaggistici. La ricerca mira anche a identificare elementi utili per la governance e la gestione dei rischi e a dare la necessaria rilevanza alla prevenzione, alla riduzione della vulnerabilità, nonché all'aumento della capacità di risposta e della resilienza. È riconosciuto sempre più chiaramente il ruolo dei cittadini nel contribuire alla prevenzione, alla mitigazione e alla gestione di situazioni emergenziali, nonché il loro coinvolgimento e impegno (*engagement*) in analisi di efficacia di programmi di ricerca sul rischio (*citizen science*). Elementi prioritari di attenzione includono l'opportunità di: *a*) favorire sviluppi significativi per la ricerca di base sui processi coinvolti nei singoli fenomeni naturali e indotti da azioni antropogeniche e sulla identificazione e rappresentazione di eventuali fattori ed eventi preparatori e precursori e sulla loro modellazione; *b*) innovare le banche dati, rendendole fruibili e integrabili con moderni strumenti modellistici,

[79] MUNICH RE (2019), *Munich Re Group Annual Report 2019*.
[80] UNDRR (2019), *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva; WEF (2020), *The Global Risks Report 2020*, World Economic Forum, Geneva.
[81] UNDRR (2015), *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva.

anche includendo tecniche strumentate da intelligenza artificiale; *c*) sviluppare il monitoraggio multiparametrico proponendo strumenti e tecnologie di acquisizione dati innovativi, includendo lo sviluppo e la sperimentazione di tecnologia avanzata per sistemi di *early warning* multirischio dei fenomeni naturali; *d*) migliorare la quantificazione e la comunicazione dei risultati ottenuti nella stima della pericolosità e del rischio e della relativa incertezza. Sviluppi significativi di conoscenze e tecnologie associati a tali assi prioritari consentono valutazioni appropriate di scenari, quantificandone pericolosità, livelli di esposizione e vulnerabilità, identificando, altresì, le differenti scale spaziali e temporali che caratterizzano i diversi eventi naturali e indotti dall'uomo. In tale contesto rientrano gli effetti indotti dall'interazione di opere e interventi di stabilizzazione/difesa. La stima dei livelli di rischio residuo a seguito della realizzazione di opere di difesa è un elemento rilevante nell'analisi multirischio e richiede la quantificazione degli effetti indotti da tali opere sul comportamento dei sistemi e fenomeni naturali nonché legati ad attività antropogeniche. Da ultimo, si sottolinea come la fruizione in sicurezza di aree a forte interesse turistico, culturale e paesaggistico rappresenti una delle priorità per la valorizzazione e lo sviluppo socioeconomico del nostro Paese. L'inclusione e armonizzazione nella stima della pericolosità di tali aspetti nella ricerca costituiscono alcune delle sfide scientifiche prioritarie del prossimo futuro.

Articolazione 1. Conoscenza di base, processi e modelli

Priorità di ricerca: innovazione tecnologica e sociale e ricerca, anche multidisciplinare, per l'avanzamento della conoscenza dei processi alla base della dinamica evolutiva dei sistemi naturali e per la riduzione delle incertezze concettuali e modellistiche nella definizione degli scenari di pericolosità e di rischio (TRL atteso: 1-5).

Impatto atteso:

1. fornire robuste e rigorose basi scientifiche sulle quali fondare lo sviluppo di approcci innovativi per l'analisi e la quantificazione sia dei rischi naturali associati a varie scale spaziali e temporali sia dei rischi indotti da azione antropogenica;
2. consentire lo sviluppo, la validazione e l'integrazione di modelli innovativi, favorendo la definizione del livello di affidabilità delle stime e delle associate incertezze;
3. definire metodologie operative per l'assimilazione di dati in modelli previsionali, con conseguente impatto sulla gestione e riduzione dell'incertezza, anche con riferimento ad aspetti di *early warning*;
4. favorire lo sviluppo di ambienti computazionali in grado di integrare i diversi elementi che governano i processi evolutivi dei sistemi naturali, anche favorendo la sinergia tra approcci probabilistici, metodi numerici associati ad approcci fisicamente basati e tecniche di intelligenza artificiale.

Articolazione 2. Monitoraggio dei sistemi naturali

Priorità di ricerca: innovazione tecnologica e sociale e ricerca interdisciplinare per rispondere alle esigenze di acquisizione di dati innovativi per il monitoraggio e la comprensione dei sistemi naturali, finalizzata anche all'adozione di procedure standard utili alla comunità scientifica, ai fruitori e alla loro condivisione (TRL atteso: 4-9).

Impatto atteso:

1. avanzamento nello sviluppo e implementazione di sensori, strumenti e reti di monitoraggio, in particolare multiparametriche, anche con riferimento alla standardizzazione delle tipologie di monitoraggio e alla valutazione di impatti antropici;
2. sviluppo e potenziamento di infrastrutture sperimentali in sito e in laboratorio a supporto delle azioni di conoscenza, previsione, prevenzione, monitoraggio, gestione e mitigazione dei rischi naturali e degli impatti antropici (in ambiente terrestre e marino);
3. implementazione e creazione di banche dati ad elevato contenuto informativo, spaziale e temporale, adeguate a sostenere monitoraggi e modellazioni multiscala;
4. sviluppo di metodologie efficienti per l'analisi e la gestione operativa e razionale di grandi database con politiche di condivisione mirate a garantire la più ampia fruibilità dei dati;
5. Integrazione di piattaforme *open access* per *datasets*, risultati scientifici e tecnologici utilizzabili in condivisione con la società civile e come strumento operativo per la governance del multirischio e degli impatti antropici.

Articolazione 3. Strategie multirischio per la difesa da eventi naturali

Priorità di ricerca: innovazione tecnologica e sociale e ricerca per lo sviluppo di metodologie e sistemi per la valutazione quantitativa degli effetti di scenari *multi-hazard* e multirischio finalizzati alla previsione (*early warning*), all'allertamento e alla valutazione dell'impatto di eventi potenzialmente dannosi (TRL atteso: 4-8).

Impatto atteso:

1. favorire approcci avanzati *multi-hazard* a varie scale spazio-temporali in grado di integrare misure strutturali e non strutturali per mitigazione e prevenzione di rischi naturali e degli impatti antropici;
2. favorire lo sviluppo dei sistemi conoscitivi e valutativi della esposizione, vulnerabilità e resilienza della popolazione, dei beni economici e infrastrutturali, dei beni culturali e dei capitali naturali;
3. miglioramento delle capacità di valutazione e stima degli impatti antropici sulla resilienza dei sistemi naturali anche ai fini dell'adattamento ai cambiamenti globali;
4. nuovi criteri e metodi per la tempestiva ricognizione dello stato e del livello di evoluzione dei fenomeni naturali in atto e dei danni post evento, per l'aggiornamento degli scenari di rischio e al fine di favorire il pronto ripristino dei livelli di stabilità e sicurezza dei sistemi naturali.

Articolazione 4. Governance e gestione dei rischi naturali e degli impatti antropici

Priorità di ricerca: ricerca di base e multidisciplinare per lo sviluppo di modelli e strumenti informativi, conoscitivi, decisionali e procedurali per la definizione di strategie integrate e partecipative di prevenzione, mitigazione e gestione dei rischi e degli impatti generati da attività antropica.

Impatto atteso:

1. razionale utilizzo di moderne conoscenze scientifiche e tecnologiche nella gestione e governance dei rischi e degli impatti antropici e riduzione del gap conoscitivo tra *policymakers* e comunità professionale e scientifica;
2. metodologie robuste per la valutazione integrata dei costi multipli, diretti e indiretti, associati a disastri naturali e indotti da attività antropica e dei benefici netti di investimenti in prevenzione/mitigazione;
3. sviluppo di strumenti per la pianificazione e gestione del rischio con forte enfasi sulla riduzione di esposizione e vulnerabilità e l'aumento della resilienza, fino alla definizione e selezione delle più appropriate tipologie di intervento tecnico e di piani emergenziali di soccorso e protezione e difesa civile;
4. strategie condivise e partecipate di riduzione dei rischi in sistemi fortemente antropizzati, nell'ambito dei processi di 'città intelligente' e adattamento a mutazioni climatiche, anche con riferimento ad aree costiere e ad aree ad alta fruibilità turistica e alto valore artistico culturale;
5. strategie di coinvolgimento della popolazione per incrementare consapevolezza e percezione del rischio e capacità di autotutela, anche attraverso pratiche di *citizen science*, anche coinvolgendo dei cittadini nella stima qualitativa dei rischi tramite tecniche di *crowdsourcing*;
6. supporto allo sviluppo di sistemi assicurativi e strumenti di copertura finanziaria per i rischi naturali.

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo** e il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** hanno fornito contributi per la definizione dell'articolazione 3 di questa area d'intervento.*

5.3.3 Cybersecurity

Blocco dell'operatività delle aziende, compromissione dei servizi delle infrastrutture critiche o di servizi essenziali, furto della proprietà intellettuale o di informazioni cruciali per la sopravvivenza di aziende e di asset nazionali, furti di identità sono solo alcuni dei possibili risultati di attacchi informatici. Questi suscitano allarme, causano danni

all'economia e mettono in pericolo l'incolumità dei cittadini quando colpiscono infrastrutture critiche e reti di distribuzione dei servizi essenziali come la sanità, l'energia, gli acquedotti, i trasporti. In Italia, interi settori di eccellenza, come la meccanica, la cantieristica, il Made in Italy, il turismo, l'agroalimentare, il farmaceutico e i trasporti, potrebbero subire pesanti ridimensionamenti di fatturato a causa di attacchi perpetrati da stati sovrani o da concorrenti sleali. Oggetto di attacco può essere anche il sistema politico e con esso la democrazia e i processi decisionali che ne sono alla base. La storia recente dimostra come campagne di *fake news* possano orientare l'opinione politica degli elettori, condizionando l'esito di elezioni e processi di governance. È necessario mettere a punto sistemi di difesa, coordinati a livello nazionale, per contrastare le minacce e, ove possibile, prevenirle. Per questo la ricerca di base e applicata in *cybersecurity* deve essere considerata una priorità per il Paese. Il radicale cambiamento di architettura delle infrastrutture di comunicazione e di erogazione dei servizi, conseguente alla diffusione su larga scala delle tecnologie IoT, del 5G, dell'intelligenza artificiale e delle tecnologie quantistiche, introdurrà nuove criticità dovute al progressivo rilassamento del concetto di "perimetro di difesa" e al conseguente crollo di buona parte delle strategie di difesa e protezione che si basano su tale concetto.

La *cybersecurity* non è solo la definizione di strategie di difesa atte a contrastare gli attacchi, mitigare il rischio e consentire la regolare vita di un Paese, ma è anche un presupposto abilitante per la realizzazione di asset stabili e competitivi. Vi è, infatti, una crescente esigenza da parte di consumatori, cittadini, imprese e pubblica amministrazione, non solo di disporre di tecnologia IT sempre più avanzata e intelligente, ma anche di avere fiducia in tale tecnologia. *Cybersecurity* significa fornire "credibilità" al sistema Paese, garantire vantaggi competitivi alle nostre imprese e fare in modo che le nuove metodologie, *frameworks* e tecnologie siano volano per nuove imprese in un settore nella quale si manifestano gravi carenze di professionalità a livello mondiale. Nel settore della *Cybersecurity* la competizione a livello mondiale è alta e i Paesi dell'Unione Europea possono avere un ruolo fondamentale solo se si muovono in sintonia; ma ciascun Paese dell'Unione avrà in proporzione a quanto potrà apportare. È pertanto fondamentale che l'Italia raggiunga i propri obiettivi in autonomia, sviluppando la ricerca e approntando adeguate metodologie, strumenti e sistemi. In parallelo a questo, sarà importante mettere a punto iniziative di formazione sul territorio che, coinvolgendo università e aziende, offrano ai cittadini occasioni di formazione e crescita.

Per essere al passo di ricerca e sviluppo a livello internazionale è necessario individuare misure per coprire l'intero spettro che va dalla ricerca di base a quella industriale e dallo sviluppo sperimentale allo scrutinio tecnologico, mettendo a sistema strumenti di supporto e coordinando azioni già esistenti. In Italia sono poche le aziende di medie dimensioni che si occupano di *cybersecurity* ed è necessario puntare su startup e spin-off anche per evitare che tanti giovani considerino l'estero un terreno più fertile e collaborativo. Per questo è necessario definire strategie di *brain retention* che rendano attraente lavorare su tematiche di sicurezza informatica e che stimolino un'osmotica collaborazione tra attori pubblici e privati, creando un ecosistema che punti alla valorizzazione delle aziende, delle università e delle eccellenze e faccia in modo che le miriadi di prototipi, *proof of concept* e algoritmi innovativi sviluppati dalla ricerca italiana possano essere trasformati in opportunità di business.

Impatto atteso:

- sviluppo di strumenti di protezione dati e di controllo accessi, definizione di metodologie e tecniche per proteggere, identificare e rispondere ad attacchi;
- irrobustimento delle soluzioni di intelligenza artificiale utilizzate per la sicurezza, ma anche messa in sicurezza dei sistemi di intelligenza artificiale;
- definizione di nuove norme e standard per la sicurezza aziendale e la certificazione di prodotti, servizi e organizzazioni;
- creazione di spin-off o start-up, con aumento di pubblicazioni e brevetti e trasferimento dalle pubblicazioni alle applicazioni;
- nuovi modelli di interazione con istituzioni pubbliche e private, nuovi modelli produttivi e aumento della consapevolezza dei rischi cyber e della privacy;
- nuove infrastrutture per ricerca avanzata e per servizi digitali sicuri.

Articolazione 1. *Intelligence and incident response*

La possibilità di individuare per tempo possibili minacce e di rispondere tempestivamente agli attacchi è una tematica di rilevante interesse per il sistema nazionale in funzione del crescente incremento del rischio cyber per asset e operatori essenziali dello Stato. L'avanzamento della conoscenza scientifica nel campo delle metodologie e delle tecnologie orientate a prevenzione, identificazione, gestione, contenimento, analisi di attacchi cyber è pertanto tra le principali priorità, anche al fine di consolidare strutturalmente le capacità del Paese di difesa nel dominio cyber. Vi sono diverse linee di intervento verso le quali è strategico orientare la ricerca nazionale in *cybersecurity*. Tra queste certamente lo sviluppo di metodologie e tecnologie di *intelligence* per identificazione e contrasto delle attività di *cybercrime* e *cyberterrorism*, attraverso uno sforzo multidisciplinare che tenga conto delle componenti socioeconomiche e politiche delle reti criminali organizzate. È cruciale anche dare impulso all'*offensive security*, non riferendosi necessariamente a scenari di *cyberwar*, ma al fatto che la protezione del proprio dominio cyber può realizzarsi efficacemente solo se si è in grado di testarne la robustezza con le armi di un attaccante. Un capitolo specifico è quello dell'analisi, della classificazione e del rilevamento del malware, che oggi rappresenta una delle minacce principali alla sicurezza dei sistemi IT. L'analisi del malware e le strategie di *attack detection* rientrano nel dominio più vasto dell'*incident response*, intesa come capacità delle organizzazioni di identificare, classificare, prioritizzare, analizzare prontamente attacchi informatici, e attuare strategie di contenimento e *remediation*, oltre che di *digital forensics*, per un'analisi *post mortem* dell'incidente e l'estrazione di evidenze e prove digitali.

Articolazione 2. Sicurezza dei sistemi ciberfisici e delle infrastrutture

I dispositivi di utilizzo comune, anche quelli indossabili, quali un misuratore di pressione arteriosa, sono sempre più informatizzati e connessi. La nostra società dipende massicciamente dai servizi essenziali o digitali identificati dalla Direttiva NIS[82]. La definizione del Perimetro di sicurezza nazionale cibernetica pone nuove sfide in termini di ricerca di base e applicata. Il diffuso utilizzo di tecnologie sviluppate da soggetti esteri e caratterizzate da vulnerabilità, note e non, evidenzia la necessità di investire in soluzioni hardware o software "nazionali", in grado di fornire il livello di sicurezza richiesto all'interno del Perimetro. Si ritiene importante considerare il rischio inerente di attacchi nei quattro domini introdotti di seguito. La crescente e sempre più capillare tendenza all'uso di tecnologie informatiche su dispositivi che tradizionalmente erano meccanici o comunque disconnessi spinge verso un sempre più massiccio impiego dei cosiddetti sistemi ciberfisici (*cyber-physical system*) negli ambiti più disparati. La trasformazione digitale ha anche portato a perdere completamente il concetto di perimetro fisico in ambito industriale per via dell'impiego sistematico di dispositivi IoT, dell'intelligenza artificiale, di dispositivi mobili e di collegamenti a distanza. Le infrastrutture di rete e di *storage* costituiscono la tecnologia abilitante della maggior parte delle moderne applicazioni digitali, intrinsecamente basate su forme – efficienti e regolamentate – di condivisione di informazioni. Vanno aggiunte le nuove infrastrutture per le comunicazioni mobili di moderna e prossima generazione (5G e 6G), le cui prestazioni fanno da prologo alla progettazione di un'enorme varietà di nuovi servizi digitali.

Articolazione 3. Tecniche e metodologie per la protezione

I fabbisogni di protezione che coinvolgono i più recenti scenari caratterizzati dall'uso delle tecnologie digitali trovano soluzione nell'armonizzazione di diverse aree tematiche e tecnologie, che spaziano dalla protezione dello strato fisico alla crittografia, al controllo degli accessi, all'intelligenza artificiale (IA). La crittografia fornisce strumenti e metodologie per garantire confidenzialità, autenticazione, integrità non-ripudio e anonimato. In tale ambito, è importante la ricerca sulla crittografia resistente ad attacchi basati sull'uso di computer quantistici che renderebbero vulnerabili schemi crittografici molto diffusi. Inoltre, vanno considerate tecniche per la definizione e l'analisi di protocolli sicuri, la computazione su dati cifrati, le primitive e i protocolli a basso costo per l'IoT e la distribuzione sicura di chiavi, anche tramite tecnologie quantistiche. Le tradizionali modalità di controllo degli accessi basate su ruoli e identità stanno evolvendo verso modelli più flessibili e dinamici basati su attributi per tenere conto della diversificazione e della fluidità delle tecnologie di accesso mobili e per definire regole di accesso basate sui fattori di rischio, anche usando sistemi di IA per identificare le minacce in tempo reale. Inoltre, l'uso della biometria offre nuove

[82] Directive (EU) 2016/1148 of the European Parliament and of the Council of 6 July 2016 concerning measures for a high common level of security of network and information systems across the Union.

prospettive finalizzate all'autenticazione, all'identificazione e alla sorveglianza. A fronte del crescente numero di attacchi di tipo avversariale verso reti neurali e tecnologie di apprendimento automatico, diventa strategico lo studio di soluzioni di difesa di IA per garantire stabilità e sicurezza nei processi decisionali e nelle strategie di reazione legate al controllo di sistemi critici. In considerazione della mancanza di tecnologia nazionale per lo sviluppo di hardware di cui si abbia il totale controllo, la sicurezza dei sistemi critici va anche garantita attraverso l'utilizzo di *Trusted Computing Environments* che garantiscono riservatezza e integrità di codice e dati, migliorano l'autenticazione nei dispositivi autonomi dell'IoT e proteggono le comunicazioni. Queste soluzioni sono particolarmente importanti per la protezione di dati e infrastrutture nazionali strategiche.

Articolazione 4. Sicurezza dei servizi al cittadino e alle imprese

L'uso di sistemi informatici sofisticati è ormai diventato ineludibile per l'interazione del cittadino con le istituzioni pubbliche (*e-government*), con soggetti privati, con le cose (IoT), con l'ambiente (*smart cities*). Tuttavia, i sistemi attuali non garantiscono un buon controllo dei processi e neppure la possibilità di una verifica trasparente dei dati coinvolti. Pertanto, è necessario sviluppare strumenti e metodologie che rendano i processi trasparenti, verificabili e decentralizzati e fondati su nuovi modelli di *trust*. Sono numerosi i contesti nei quali è necessario tracciare processi complessi che coinvolgono molteplici entità. Per difendere il Made in Italy in importanti sistemi produttivi, quali l'agroalimentare, l'abbigliamento, il farmaceutico, è importante definire strumenti e sistemi di tracciabilità e comunicazione trasparente. Altrettanto importante è la protezione del diritto d'autore, che possa essere realizzata in maniera decentralizzata attraverso l'interazione diretta tra creatore e fruitore della stessa. La tecnologia delle blockchain risulta molto promettente a questo scopo e la disponibilità di una infrastruttura di blockchain nazionale rappresenterebbe una garanzia e uno stimolo per tutti i soggetti coinvolti. Anche la qualità dei servizi sanitari potrebbe beneficiare di piattaforme che facilitino convergenza e accessibilità a dati sanitari da remoto in tempo reale e sicuro, ma è altrettanto importante offrire al cittadino la possibilità di verificare l'uso dei dati raccolti. Un'altra area rilevante è quella relativa alla definizione di strumenti e di tecniche per l'analisi, la tracciabilità e la verificabilità di notizie provenienti da media/reti sociali per contrastare tecniche di misinformazione attraverso le *fake news* e i *deep fakes*.

Articolazione 5. Ecosistema della *cybersecurity*

La *cybersecurity* è parte di un sistema complesso, dinamico e multicomponente, fondato su una visione orientata ai processi di gestione, certificazione, *assessment*, standardizzazione e *compliance*. Le linee di azione, se da una parte sono caratterizzate da componenti interdisciplinari, dall'altra hanno lo scopo di inquadrare aspetti tecnologici e metodologici all'interno di *frameworks* di governance della sicurezza, tipicamente basati sulla gestione del rischio, in tutto il ciclo di vita di processi, servizi e prodotti. Di importanza basilare è il principio della *security by design*, non solo nello specifico dominio dell'ingegneria del software, ma più in generale nell'intero processo di gestione dei progetti IT, declinato anche attraverso approcci formali e simulativi, quali *formal verification* e metodologie di *testing*, anche al fine di supportare e migliorare i processi di *cybersecurity certification* e *accreditation* di prodotti e processi. Un tema di ricerca di elevato valore strategico, anch'esso legato ai processi di *certification, evaluation* e *compliance*, riguarda la governance della *cybersecurity* per migliorare la capacità di organizzazioni complesse nell'adozione di strategie di mitigazione del rischio con modelli accurati di *risk quantification*, e modelli decisionali a supporto della sua corretta gestione (*risk management*). L'approccio *risk-based* è solo una delle prospettive dalle quali è possibile identificare la stretta relazione che le problematiche di *cybersecurity* hanno rispetto a diversi ambiti disciplinari, primo fra tutti quello dell'economia, attraverso i quali è possibile identificare i meccanismi che regolano l'equilibrio e l'efficacia dell'ecosistema della sicurezza.

Articolazione 6. Infrastrutture di ricerca per la *cybersecurity*

Per difendersi dagli attacchi cyber, perpetrati da organizzazioni criminali sempre più strutturate e articolate, è necessario un ecosistema cyber nazionale che supporti la realizzazione della politica nazionale di *cybersecurity*. La struttura portante di questo ecosistema deve essere una rete di centri di competenza che ruoti attorno ad un Centro nazionale di ricerca e sviluppo in *cybersecurity* (previsto nel DPCM del 17 Febbraio 2017) e che sia di riferimento anche per il nascituro Centro europeo di competenza industriale, tecnologica e di ricerca sulla *cybersecurity*. Il Centro nazionale potrebbe attrarre ricercatori e investitori pubblici e privati (nazionali) e rappresentare il collante tra università

e centri di ricerca italiani, il settore produttivo e il settore governativo e potrà contribuire alla definizione degli obiettivi strategici nel settore, concorrendo, tra l'altro, a creare competenze di alto profilo, a generare spin-off di settore, a sviluppare la ricerca e a definire metodologie e strumenti a supporto delle certificazioni nazionali, fungendo da supporto tecnologico ai costituendi laboratori accreditati dal Centro di valutazione e certificazione nazionale. Inoltre, per supportare la ricerca e garantire riservatezza di risultati in alcune aree strategiche, è opportuno mettere a disposizione della comunità scientifica infrastrutture nazionali sicure per la memorizzazione, il calcolo, la certificazione e la comunicazione. Tali infrastrutture potrebbero essere realizzate a partire da quelle che consorzi, quali GARR e CINECA, già mettono a disposizione della comunità scientifica e prevedere, tra l'altro, l'attivazione di nuovi servizi, quali una blockchain nazionale e osservatori per lo studio avanzato di malware e di attacchi organizzati. Esse potrebbero essere accompagnate da una rete nazionale federata di *cyber ranges* che, integrando quanto già disponibile in ambito privato, pubblico, militare e governativo, permetta di sperimentare sul campo avanzate tecniche di difesa tramite simulazioni con scenari via via più reali.

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare**, il **Ministero della Salute** e il **Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri** hanno fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*

5.4. DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO

5.4.1 Transizione digitale – i4.0

L'area di intervento "Transizione digitale – i4.0" rappresenta un settore nel quale, insieme all'esigenza di promuovere tecnologie e metodologie relative allo sviluppo e all'integrazione della ricerca in informatica, elettronica e telecomunicazioni, diventa sempre più pressante l'esigenza di mettere a sistema e valorizzare pienamente il potenziale dell'innovazione digitale a vantaggio delle diverse esigenze e prospettive che possono emergere a livello individuale, di comunità e del sistema Paese. Tutto questo assume maggiore importanza nella progettazione post-COVID-19, per la quale la Commissione Europea ha evidenziato come «the Recovery should accelerate the digital and ecological transformation of our societies, with a particular focus on the European Green Deal and giving a clear signal to industry, investors and consumers»[83]. L'Europa e l'Italia dovranno affrontare la doppia sfida della trasformazione digitale e della trasformazione green se vogliono proporsi come economie moderne, efficienti, competitive; in tale processo, le ricerche sulla transizione digitale e sull'i4.0 si configurano come alcuni dei principali volani per il raggiungimento dei Sustainable Development Goals dell'Agenda 2030.

Gli assi di ricerca dell'area d'intervento "Transizione digitale – i4.0" del PNR sono stati strutturati secondo articolazioni strategiche e tecnologiche. Ciò risponde a quanto previsto da Horizon Europe che considera le tecnologie digitali sia come uno dei poli tematici del *Pillar II Global Challenges and European Industrial Competitiveness*, nell'ambito del quale il digitale ha margini di azione e di intervento trasversali, sia come uno dei settori di possibili partenariati europei istituzionalizzati (a norma degli artt. 185/187 del TFUE). La transizione digitale, infatti, si allinea naturalmente con gli schemi di *European Partnership* (EP) in corso di definizione in Horizon Europe, finalizzati al

[83] EC DG RTD (2020), *The role of research and innovation in support of Europe's recovery from the Covid-19 crisis*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

rafforzamento della *European Research Area* (ERA) e alla razionalizzazione del panorama di strumenti disponibili di finanziamento.

Le articolazioni strategiche sono orientate a sostenere l'innovazione continua, secondo il paradigma dell'*open innovation*, valorizzando le potenzialità della transizione digitale mediante i sistemi *human-centred*, le comunità sostenibili e la competitività del Paese. Le articolazioni tecnologiche sono riferite sia a dispositivi e sistemi eterogenei, in grado di offrire soluzioni diversificate, adattative e riconfigurabili, sia alla realizzazione di reti di sistemi intelligenti, necessarie allo sviluppo resiliente e autenticamente sostenibile del nostro Paese. Tutte le articolazioni proposte sono, quindi, fortemente connesse con molti ambiti del PNR, non solo in area ICT. Queste articolazioni individuano attività di ricerca ritenute fondamentali, anche a livello internazionale, in quanto abilitanti per la trasformazione digitale della PA e del sistema produttivo in termini di prodotti e servizi, e per la necessità di sostenere in modo continuo lo sviluppo tecnologico e metodologico in settori dinamici, a elevata qualificazione, pervasivi e, quindi, altamente strategici, nonché in quelli più tradizionali, anche nell'ottica di garantire la sovranità digitale del nostro Paese e limitare drasticamente la dipendenza tecnologica da Paesi terzi, specialmente in ambiti come difesa, telecomunicazioni, aerospazio e *cybersecurity*.

Articolazione 1. Servizi *human-centred*

L'individuo è il primo attore e fruitore del cambiamento di paradigma derivante dalla digitalizzazione dei processi. Pertanto, la strategia del cambiamento non può che partire dal considerare le sue necessità, caratteristiche, abilità di adattamento alla trasformazione. È necessario potenziare la ricerca sugli *human-centred services* soprattutto in riferimento alle politiche sociali, al welfare, alla PA, alla giustizia, all'educazione e alla formazione, ai processi industriali. In questo senso, vengono incluse le ricerche riguardanti l'identità digitale, anche attraverso tecnologie biometriche e modelli di *human-behaviour analysis*, le tecnologie didattiche (incluso il *lifelong learning*), per il superamento del *digital divide*, i servizi alla persona, i modelli di e-governance, le tecnologie a supporto dell'individuo nel mondo del lavoro e per la fruizione di contenuti culturali. L'invecchiamento della popolazione richiede, inoltre, di porre specifica attenzione allo sviluppo di servizi digitali progettati per essere utilizzati anche da cittadini anziani, fragili e con disabilità, al fine di aumentare il loro livello di benessere. Richiede, altresì, di sostenere lo sviluppo di tecnologie biomedicali, di supporto alla diagnosi e al trattamento delle malattie e della telemedicina, con particolare enfasi alle questioni della medicina personalizzata (analisi *point-of-care*, riabilitazione remota supportata da robot e/o sistemi digitali, *smart devices* e *multifunctional sensors* per il monitoraggio di parametri biologici e ambientali).

Sustainable Development Goals associati[84]: 4, 3, 9, 11, 10, 16.

Articolazione 2. Comunità sostenibili

Nell'ambito delle società digitali, lo sviluppo di comunità sostenibili richiede di ripensare città e territori secondo paradigmi basati sulla capacità di condividere e validare flussi di dati eterogenei provenienti da fonti diverse (come ad esempio, IoT, IoP, social media e database commerciali), integrandoli pienamente all'interno di modelli inferenziali di *social-behaviour analysis*. Ciò richiede lo sviluppo di soluzioni e servizi digitali facili da utilizzare e sicuri, con elevata capacità di adattarsi automaticamente alle specifiche esigenze dei cittadini, in grado di rispondere in modo autonomo ed efficiente a possibili crisi ed emergenze sociali, sanitarie, economiche e ambientali. Specifica attenzione va, inoltre, riservata alla definizione di strumenti di valutazione delle migliori opportunità e modalità di utilizzo dei sistemi e dei servizi digitali, nell'ottica di garantirne la corretta fruizione mediante l'integrazione dell'innovazione tecnologica con l'innovazione sociale, educativa e culturale, anche grazie ad un'attenta analisi degli eventuali rischi legati ad un uso non corretto del digitale.

La transizione digitale dovrà necessariamente confrontarsi con le problematiche della semplificazione amministrativa per PA e imprese, anche attraverso l'adozione di strumenti, quali la blockchain e gli *smart contracts*, affrontando aspetti di organizzazione e conservazione dei dati digitali e sostenendo lo sviluppo di sistemi intelligenti a supporto di specifici ambiti strategici (giustizia predittiva, *smart procurement* ecc.). Dovranno essere, inoltre, valorizzati nuovi modelli di

[84] In Appendice II è riportata la lista dei Sustainable Development Goals (Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite) ai quali si fa riferimento nel testo.

educazione attraverso approcci digitali innovativi, che siano complementari e integrino la didattica tradizionale, e nuovi modelli di lavoro, come lo *smart working*, attraverso approcci di *Human-Machine-Interaction* (HMI), servendosi di strumenti e dispositivi per la realtà virtuale e aumentata e di supporto alle esigenze operative e di formazione.

Nell'ambito del monitoraggio permanente dell'integrità strutturale e della funzionalità operativa di infrastrutture (fabbricati, strade, ferrovie, porti, aeroporti, ponti, dighe e altre installazioni), la ricerca dovrà avanzare secondo approcci *digital twin*, basati su sensoristica innovativa, mininvasiva e capillare, mirando alla realizzazione di infrastrutture intelligenti, quali *smart road* e Sistemi intelligenti di trasporto (ITS) a supporto della gestione di servizi collettivi per la mobilità (*Mobility as a Service* – MaaS). Un analogo approccio dovrà riguardare il monitoraggio della qualità di aria e acque, dell'ambiente, del ciclo dei rifiuti e dei sistemi di mobilità e logistica per la salute pubblica e i servizi sanitari e di emergenza, per la vivibilità e l'accessibilità delle città e per la valorizzazione del patrimonio culturale e la fruibilità turistica. I sistemi digitali dovranno, inoltre, gestire in modo sostenibile le risorse energetiche, attraverso *smart grid* e sistemi di *Intelligent Energy Management*, sostenendo lo sviluppo di politiche green e la riconversione a fonti rinnovabili.

Per far fronte a questi bisogni, la ricerca dei prossimi anni andrà orientata verso lo sviluppo di: nuovi sensori e dispositivi, anche indossabili, basati su sistemi micro, nano e optoelettronici, elettromeccanici, tecnologie fotoniche come pure di nuovi materiali, *silicon photonics,* mix elettronica-fotonica per lo sviluppo di nuova componentistica nell'ambito dei dispositivi a semiconduttore. L'integrazione eterogenea di blocchi funzionali (*chiplet*) e il *packaging* avanzato permetteranno di ridurre le dimensioni e di includere funzionalità diverse. Gli sviluppi relativi a *biochips* e *lab-on-chip* consentiranno di integrare in un singolo dispositivo le funzionalità di un intero laboratorio di analisi. Lo sviluppo di un nuovo modello di connettività wireless per favorire la costruzione di reti motiva le ricerche sui sistemi *embedded*, comprensivi di sensori e dispositivi, dispositivi a basso rumore, dispositivi programmabili sia via software (microprocessori) sia via hardware (FPGA, sistemi di accelerazione), convertitori (A/D, D/A). Infine, alla base di una nuova era digitale è necessario lo sviluppo di nuovi modelli matematici e statistici per l'analisi dei dati e l'elaborazione dei segnali, nonché di modelli di monitoraggio e controllo avanzati per la rappresentazione virtuale di entità e processi.

Sustainable Development Goals associati: 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16.

Articolazione 3. Competitività del Paese

La digitalizzazione del sistema Paese si sviluppa in tre ambiti principali: produzione, pubblica amministrazione (PA) e alta formazione. La prima comprende industria, trasporti e agricoltura, mentre la PA ha diversi livelli di capillarizzazione tra ministeri e unità locali. La ricerca nell'ambito della transizione digitale e sull'i4.0 offre l'opportunità di favorire, attraverso tecnologie ICT, lo sviluppo, la modifica e la gestione intelligente di processi e prodotti industriali, aumentando la competitività intra/extra-UE. Attraverso la digitalizzazione declinata in IoT, IoP, *smart devices* e sistemi *embedded* intelligenti, il paradigma i4.0, secondo modelli di *cloud manufacturing* e di *manufacturing as a service*, migliorerà la qualità dei prodotti sviluppando sinergia e complementarità tra aziende, favorendo la prototipazione rapida e la customizzazione anche attraverso l'*additive manufacturing*, a vantaggio della competitività del Paese.

Attraverso sistemi di *workforce management* e per il *deployment* di soluzioni e servizi, la ricerca sulle tecnologie digitali deve intervenire, oltre che a sostegno dei processi tecnologici di produzione (*automotive*, *agrifood*, energia ecc.), anche a supporto del rafforzamento competitivo, migliorando l'efficienza e l'efficacia organizzative e assicurando la semplificazione delle procedure interne ad aziende e PA, anche favorendo il rafforzamento di reti interorganizzative per assicurare un'interazione sistematica tra diverse competenze (interdisciplinarità), diversi ambiti di lavoro (intersettorialità) e diversi livelli di attuazione (interistituzionalità). La ricerca nell'ambito del *data analytics* e l'adozione di modelli e indicatori tecnologici, economici e di prestazioni sarà, inoltre, indispensabile per supportare lo sviluppo di strumenti di promozione del brand e a sostegno delle imprese italiane sui mercati interni ed esterni e per sviluppare sistemi evoluti di *assessment* e *matching*, per favorire l'incontro virtuoso tra domanda e offerta di competenze, prodotti e servizi.

Gli sviluppi della *5G-industry* aprono una nuova fase nella digitalizzazione dell'industria. Sistemi locali di *edge cloud* in grado di garantire la sicurezza dei dati e dei processi saranno integrati in tempo reale con altre sedi delocalizzate. Lo sviluppo di ambienti cooperativi di *smart manufacturing* deve essere orientato alla modellazione, simulazione e virtualizzazione di prodotti a supporto dello sviluppo di sistemi interoperabili, scalabili ed estensibili. La connettività

massiva a bassa latenza 5G/6G costituisce la chiave per connettere sistemi IoT per controllo critico; in questo scenario sistemi di monitoraggio e diagnosi con realtà virtuale remota e internet tattile diventeranno applicabili in svariati campi, tra cui la telemedicina e l'i4.0. Le ricerche sui sistemi 5G/6G saranno abilitanti nella cooperazione tra veicoli elettrici, sistemi ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) e a guida autonoma per il trasporto di merci e/o persone, anche in termini di sostenibilità ambientale, nello sviluppo di sistemi avanzati di gestione intelligente delle infrastrutture e della connettività pervasiva e massiva per monitoraggio, controllo, sicurezza.

Il quadro tecnologico permette di sviluppare sistemi avanzati di *remote sensing* per utilizzare le potenzialità dell'integrazione di sensori satellitari e su droni con altre piattaforme di osservazione (aeree, terrestri, marine). Ciò permetterà di implementare sofisticati sistemi di osservazione della Terra multipiattaforma e/o multisensore attuando programmi di monitoraggio che producano indicatori dinamici utili alla definizione di specifici servizi on demand aperti e di supporto alle decisioni per le pubbliche amministrazioni nazionali e regionali, anche con riferimento al controllo di eventi potenzialmente catastrofici (terremoti, inondazioni, tsunami, incendi, frane ecc.) e al fine di allertare la popolazione in tempo utile (*early warning*).

Per favorire la competitività del Paese è fondamentale prevedere un programma di alta formazione universitaria e postuniversitaria, anche basato su dottorati di interesse nazionale centrati sulle discipline scientifiche e tecnologiche alla base della transizione digitale. Occorre, poi, sostenere la *IP protection* in ambito ICT e la partecipazione attiva ai comitati di standardizzazione, strumenti indispensabili per valorizzare gli investimenti in ricerca e innovazione, assicurando significativi vantaggi competitivi al sistema industriale italiano.

È indispensabile impegnarsi sulla formazione quale primo e principale asset per determinare una netta discontinuità con il passato e sostenere la transizione digitale e lo sviluppo dell'i4.0. La trasformazione digitale dell'istruzione, in grado di integrare attività di ricerca e innovazione con aspetti pedagogici, etici, culturali e sociali, offre, anche attraverso modelli, dispositivi e servizi innovativi, strumenti molto utili a supporto della formazione continua, ubiqua e personalizzata, anche con riferimento alle esigenze delle categorie più fragili, specialmente quelle a rischio di perdita dei diritti di cittadinanza digitale e di esclusione sociale.

Sustainable Development Goals associati: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16.

Articolazione 4. Dispositivi e sistemi eterogenei

La transizione digitale deve cogliere le possibilità offerte da diversi modelli di sviluppo. Quello *More than Moore* è orientato allo sviluppo di soluzioni scientifiche e tecnologiche per l'integrazione di nuovi materiali e funzionalità e per il *packaging* eterogeneo di dispositivi. Servono, inoltre, avanzamenti delle tecnologie tradizionali (*More Moore*) per garantire la sempre maggiore integrazione richiesta dai sistemi di elaborazione e di rete. I due approcci convergono nell'aprire costantemente nuove prospettive nel campo dei componenti per la gestione della potenza e dell'energia, dei sistemi micro e nano-elettromeccanici, dei materiali organici e/o compostabili anche inseriti in sistemi energeticamente autonomi e delle reti di sensori intelligenti per il mondo dell'internet delle cose e delle persone, della fotonica e della radio e iperfrequenza.

È strategico consolidare in ambito nazionale ed europeo la capacità di progettazione e realizzazione di dispositivi elettronici *ultra-low-power* nel settore dei microprocessori, circuiti RF e sistemi *embedded*. Cresce, inoltre, la necessità di aggiungere, a valle di processi convenzionali, fasi di fabbricazione e di *packaging* eterogeneo per interfacciare componenti tradizionali con materiali e dispositivi innovativi (*smart devices*), quali metamateriali, materiali bidimensionali, *smart skins*, materiali a conduzione mista ionica-elettronica, polimeri organici e grafene. È necessario sviluppare nuove tecnologie per l'accumulo di energia elettrica basate su batterie ibride, supercondensatori e materiali a conduzione mista ionica-elettronica. L'integrazione di dispositivi ottici e fotonici con processori, memorie, *networks-on-chips* o elettronica di controllo, è fondamentale sia per superare gli stringenti limiti di banda e consumo sia per abilitare nuove generazioni di sensori integrati, ottici e in fibra. Va, inoltre, considerato l'enorme potenziale di innovazione dei sensori intelligenti (*intelligent sensors*) e connessi, anche su substrati flessibili e/o biocompatibili, dei dispositivi elettromeccanici e ottici su scala micro e nano (MEMS, NEMS, MOEMS). A tale scopo è indispensabile sostenere la ricerca sullo sviluppo di sistemi operativi sicuri ed efficienti in grado di integrare paradigmi di *cloud computing* ed *edge computing* con meccanismi di virtualizzazione specificatamente rivolti alla gestione di reti IoT di nuova generazione.

Ambiti quali automotive, i4.0 e *smart grid* richiedono lo sviluppo di ricerche su dispositivi e circuiti elettronici di potenza basati su semiconduttori ad alto *band gap* (ad esempio, SiC e GaN) per il risparmio energetico, l'aumento delle prestazioni, l'integrazione e l'ottimizzazione dell'uso delle fonti rinnovabili (*energy harvesting*, *power handling*). Lo sviluppo degli ambiti IoT, IoP, 5G e successivi richiede specifiche ricerche su circuiti integrati analogico-digitali ad alta efficienza energetica, nonché su circuiti monolitici a microonde e onde millimetriche a bassa cifra di rumore e antenne attive. La ricerca su circuiti analogici *low-noise* è necessaria per sviluppare l'elaborazione di segnali da sensori e rivelatori in svariati ambiti applicativi tra cui la strumentazione d'avanguardia per laboratori di ricerca.

La complessità dei *cyber-physical systems* e dei sistemi software evolve con ritmo anche superiore a quello dei microprocessori e delle reti di nuova generazione. Ciò motiva lo sviluppo di ambienti di simulazione, metodologie e strumenti per la progettazione software guidata da modelli per la configurazione automatica e adattiva e per l'automazione del *testing*, la correzione e la validazione anche su architetture *special-purpose*. Risulta fondamentale investire nella ricerca in nuovi ambienti cooperativi di supporto alla progettazione, con particolare riferimento alle problematiche *real time/just-in-time*. Per la realizzazione su grande scala di prodotti nei settori industriali rilevanti per il Paese, sono da ritenersi prioritari gli aspetti di ricerca connessi con l'affidabilità dei sistemi digitali, dei componenti elettronici e dei dispositivi (*device reliability*), in particolare in ambienti ostili e in applicazioni critiche (radiazioni, medicale, aerospaziale ecc.), e quelli relativi ai fenomeni fondamentali alla base del rumore nei processi di conduzione e alle fluttuazioni dei parametri di processo e delle caratteristiche circuitali.

Per favorire la transizione digitale e intercettare efficacemente il vantaggio competitivo offerto dall'i4.0, occorre ridurre tempi, costi e rischi della ricerca tecnologica. A tal fine è essenziale lo sviluppo di infrastrutture di ricerca di alta qualità per la progettazione e lo sviluppo di dispositivi e processi d'avanguardia, anche per ridurre la dipendenza da Paesi terzi in settori strategici per l'Italia. Nell'ottica *More Than Moore* della strategia europea, è essenziale disporre di infrastrutture di ricerca per sperimentare e impiegare nuove tecnologie, per valutarne gli effetti sui prodotti e sui processi, per analizzarne i relativi rischi e per sperimentarne le potenzialità in ogni ambito di una completa transizione digitale. Tali infrastrutture di ricerca sono essenziali per completare l'offerta di servizi del sistema Paese al mondo della ricerca pubblico-privata e alle piccole e medie imprese al fine di metterle in grado di competere su scala europea, assicurando al contempo il supporto alle fasi di valutazione, certificazione e collaudo.

Sustainable Development Goals associati: 8, 9.

Articolazione 5. Reti di sistemi intelligenti

Al fine di permettere una transizione digitale per la persona, le imprese e la PA, è fondamentale definire infrastrutture IT ad alte prestazioni, sicure, con accesso pervasivo ad alta velocità. Ciò richiede la convergenza di telecomunicazioni e tecnologie dell'informazione in un'unica infrastruttura integrata, portando a compimento la visione dell'ecosistema 5G e di quelli successivi. A tal fine, si rende necessaria la ricerca su innovativi sistemi di antenne intelligenti e superfici a riflettività configurabile, sull'ottimizzazione di reti integrate terrestri e satellitari e sulla coesistenza, cooperazione e integrazione con altri sistemi di comunicazione radio e ottici. Le reti di telecomunicazioni devono, quindi, evolversi verso piattaforme integrate in grado di offrire servizi adeguati ai nuovi requisiti applicativi in modo dinamico, resiliente, efficiente e sostenibile dal punto di vista sia economico sia ambientale, sociale e culturale. In questo contesto la ricerca sulla pianificazione e controllo dei livelli di campo elettromagnetico è necessaria per garantire la qualità dei servizi e la valutazione dei livelli di esposizione. Vanno sviluppate ricerche su ambienti software di gestione e controllo che permettano alle architetture di rete di evolvere secondo i paradigmi di virtualizzazione delle risorse e funzionalità in modo automatico e dinamico. Ad esempio, sotto la supervisione di *hypervisor*, elementi di rete e terminali dovranno cooperare per fornire le necessarie risorse di calcolo e *storage*, secondo i principi di *edge/fog computing*, anche per poter raccogliere e gestire al meglio le informazioni di contesto necessarie all'ottimizzazione dinamica dei sistemi di rete.

In particolare, la ricerca sull'integrazione di reti di comunicazione terrestri e satellitari e di nodi capaci di mobilità autonoma (su terra, acqua, aria o spazio), equipaggiati con diversi tipi di sensori, apre all'acquisizione e all'aggregazione di dati fisici di diversa natura per ulteriori elaborazioni, ad esempio per la realizzazione di sistemi di guida autonoma collaborativi, il monitoraggio delle condizioni ambientali su vaste aree, la gestione più efficiente delle risorse naturali e la prevenzione di disastri ambientali dovuti ai cambiamenti climatici o azioni antropiche. In questa direzione si colloca anche la necessità di capitalizzare l'esperienza maturata a livello nazionale nella realizzazione di

cyber-physical systems affidabili e di sistemi *embedded* basati su soluzioni *More Moore*, investendo nella ricerca su microprocessori e FPGA (*Field Programmable Gate Array*) di nuova generazione.

Infrastrutture di rete innovative potranno permettere un'adeguata capacità di elaborazione locale dei dati in un paradigma *edge computing* e un livello elevato di sicurezza, anche attraverso approcci di *machine learning* e tecniche di crittografia basati sui principi della *physical layer security*. Inoltre, è necessario sviluppare approcci innovativi per agevolare la realizzazione di reti 5G private, ovvero sistemi di comunicazione a uso esclusivo di siti produttivi specifici e ottimizzati per i requisiti futuri nell'area dell'Industria 4.0. La transizione digitale non dovrà prescindere dallo sviluppo di grandi centri di calcolo in grado di consentire ricerche su sistemi complessi, fondamentali in settori di ricerca di base e applicata, tra cui economia, scienze della vita, meteorologia, fisica e chimica. In tali applicazioni si intende valorizzare un paradigma di *Infrastructure as a Service* (*IaaS*) per ottimizzare prestazioni e consumo energetico, anche investigando le potenzialità del *quantum computing*. Un approccio particolarmente promettente è quello del cloud FPGA, che offre un ambiente riprogrammabile di accelerazione degli algoritmi più complessi basato su reti di FPGA. Le ricerche strategiche riguardano le tecnologie di connessione tra FPGA e processori dei server e la virtualizzazione della programmazione delle FPGA. La massiccia concentrazione di risorse di calcolo in FPGA pone anche il problema di studiare la loro affidabilità e di sviluppare tecniche di verifica in tempo reale dell'integrità della loro configurazione.

Sustainable Development Goals associati: 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15.

*Il **Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** ha fornito contributi per la definizione dell'articolazione 2 di questa area d'intervento.*

5.4.2 High performance computing e big data

I dati e le informazioni disponibili in formato digitale sono cresciuti negli ultimi anni in modo esponenziale, creando nuove e prima inimmaginabili opportunità di conoscenza e di sviluppo economico. Settori chiave della ricerca, dell'innovazione, della PA, dell'industria e del benessere della società, avanzano una domanda di big data, di piattaforme dati e di sistemi di calcolo a elevate prestazioni di dimensioni e qualità tali da richiedere una permanente e intensa attività di ricerca nei settori dell'informatica e dell'ICT, in convergenza con i domini applicativi di tali settori.

Horizon Europe esplicitamente assegna allo *High Performance Computing* (calcolo avanzato e ad alte prestazioni, nel seguito HPC) e ai big data (grandi sistemi di dati) un ruolo primario per il perseguimento dei seguenti ***impatti***:

- sviluppare un'economia basata sui dati, dinamica, attrattiva, sicura e fondata su processi agili di gestione e fruizione dei dati (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 20);
- accrescere i livelli di sovranità e indipendenza dell'Unione Europea nelle esistenti e nelle future tecnologie emergenti e abilitanti (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 21);
- determinare uno sviluppo umano-centrico ed etico delle tecnologie digitali e industriali (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 24).

Inoltre, entrambi gli impatti attesi n. 21 e 24 di Horizon Europe includono lo sviluppo di tecnologie a sostegno delle grandi sfide sociali e sistemiche, come quelle per la prevenzione e la sostenibilità di epidemie e pandemie.

Per il perseguimento di tali impatti, sulla base della Strategia europea per i dati[85], i programmi Horizon Europe e Digital Europe, insieme ai Fondi strutturali e d'investimento, finanzieranno un progetto ad alto impatto dedicato allo "sviluppo di spazi comuni europei di dati e interconnessione delle infrastrutture cloud". Il progetto si fonda sulla promozione di

[85] COM(2020) 66 final, Una strategia europea per i dati.

investimenti combinati di 4-6.000 milioni di euro, con una prima fase di attuazione prevista per il 2022. In particolare, nell'ambito della Strategia, la Commissione sosterrà la creazione di nove nuovi "spazi comuni europei di dati" dedicati rispettivamente a dati industriali (manufatturieri), sul Green Deal, sulla mobilità, sanitari, finanziari, sull'energia, sull'agricoltura, per la pubblica amministrazione, sulle competenze.

Con riferimento ai grandi processi di innovazione digitale dispiegati e per una presenza attiva su tutto lo scenario europeo sopra delineato, l'Italia riconosce la centralità dell'ambito HPC e big data nei seguenti strategici ***obiettivi***:

- obiettivo 1. Realizzazione ed evoluzione delle grandi infrastrutture europee HPC e big data con hub italiani per il calcolo scientifico e l'analisi di dati;
- obiettivo 2. Migrazione del sistema produttivo nazionale verso i4.0, con la realizzazione della rete italiana dei Centri di competenza e il loro collegamento alla rete dei *Digital Innovation Hubs* europei;
- obiettivo 3. Valorizzazione, qualificazione e protezione, accessibilità agile e fruizione massiva del patrimonio dati delle PA a fini sociali e produttivi.

Il sistema della ricerca italiana, in tutte le sue articolazioni (università, enti di ricerca, istituti e consorzi) è caratterizzato da grande maturità e riconosciute eccellenze e si colloca nella ricerca internazionale ed europea in un ruolo di primo piano, forte di una tradizione consolidata di conoscenze, competenze e sviluppo negli ambiti dello HPC, dell'ingegneria e delle scienze per tutto il ciclo di vita e fruizione dei dati. Tali ricerche, peraltro, si caratterizzano per una buona e uniforme distribuzione lungo tutta la scala di classificazione TRL.

Quanto sopra descritto consente di delineare una strategia di ricerca italiana nel settore HPC e big data che si sviluppi lungo tre ***assi strategici di ricerca***:

- asse strategico 1. Ricerca di base, teorica e sperimentale per la produzione di nuova conoscenza e l'evoluzione dei fondamenti caratterizzanti il calcolo ad alte prestazioni (HPC) e i sistemi di gestione e analisi di dati di grandi dimensioni (big data);
- asse strategico 2. Ricerca in ingegneria, scienze e tecnologie software, hardware e di dati per componenti, piattaforme e sistemi di HPC e big data;
- asse strategico 3. Ricerca finalizzata per applicazioni e soluzioni HPC e big data su specifici obiettivi e/o domini applicativi, inclusa la resilienza anti-pandemica.

Tali assi strategici di ricerca saranno perseguiti attraverso le 5 articolazioni di seguito riportate.

Articolazione 1. Hardware e software a supporto della realizzazione ed evoluzione dei grandi hub HPC e big data europei e nazionali per il calcolo scientifico, la ricerca e la scienza aperta

L'articolazione 1 è finalizzata all'evoluzione dei sistemi di HPC e big data verso il calcolo *exascale* con architetture e componenti innovative che superino metodi e tecniche tradizionali di *scaling*, con forte accelerazione verso efficienza e sostenibilità energetica. In essa sono inclusi progetti di ricerca e sviluppo tecnologico direttamente finalizzati alla prototipazione, al dispiegamento e alla sperimentazione dei sistemi *exascale*, dei sistemi e servizi cloud per la scienza aperta. L'articolazione accoglie anche ricerche rivolte allo sviluppo di tecnologie con un impatto diretto sulla costruzione di: sistemi di modelli e paradigmi di programmazione; ambienti di sviluppo, parallelizzazione, *debugging*, *monitoring* e ottimizzazione; software di sistema e *middleware* (dai sistemi operativi ai *cluster management tools*, dai *distributed file systems* ai *resource management software*); sistemi di *storage*. L'articolazione si estende a metodi, modelli e tecniche di analisi di dati web (di contenuto, di strutturazione e d'uso), multimediali, di rete e mobili.

Con riferimento alle classificazioni introdotte nel cappello introduttivo (cfr. *supra*, p. 95), questa articolazione si colloca negli assi strategici di ricerca n. 2 e 3, contribuirà all'impatto atteso di Horizon Europe n. 21 e all'obiettivo n. 1; produrrà risultati con TRL≥5.

Articolazione 2. Ricerca di base e fondamentale in ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per HPC e big data

L'articolazione 2 è dedicata a ricerche per la produzione di nuova conoscenza e all'evoluzione della conoscenza esistente su tutte le aree tematiche HPC e big data. L'articolazione comprende le ricerche per nuove metodologie e

tecniche di *HW/SW Co-Design* per macchine e componenti di nuova generazione (dai processori alle gerarchie di memoria, dai dispositivi logici alle topologie di rete), anche fondate su tecnologie microelettroniche emergenti (fotonica integrata, nanotecnologie, nuovi materiali). Dal punto di vista software, la ricerca include: metodologie, processi, tecnologie e strumenti di Ingegneria del software per lo sviluppo di applicazioni HPC; metodi matematici, algoritmi e software matematico per HPC; fondamenti e caratterizzazione dei big data, con particolare riferimento a modelli, metodi e tecniche per la qualità (affidabilità, correttezza, riusabilità) e la protezione dei dati; i paradigmi computazionali; pre-processi di preparazione, classificazione semantica, trasformazione e filtraggio (*data mining* e *cleaning*); aggregazione e integrazione; analisi descrittive, predittive e prescrittive (*analytics*). Sono, infine, inclusi architetture e ingegneria software per big data, modelli, architetture e servizi cloud per big data, metodi, tecniche e strumenti di intelligenza artificiale.

Con riferimento alle classificazioni introdotte nel cappello introduttivo (cfr. *supra*, p. 95), questa articolazione si colloca negli assi strategici di ricerca n. 2 e 3, contribuirà agli impatti attesi di Horizon Europe n. 21 e 21, all'obiettivo strategico n. 1 e al progetto ad alto impatto previsto dalla Strategia europea per i dati, produrrà risultati con 1<TRL≤5.

Articolazione 3. Strutture distribuite e decentralizzate di calcolo e dati, per IoT, i4.0 e applicazioni sociali e di rete

L'articolazione 3 è finalizzata alla ricerca, prototipazione e sperimentazione di infrastrutture, componenti e piattaforme distribuite per il calcolo e la gestione dati, integrando le funzionalità delle grandi infrastrutture e le capacità di elaborazione locale e in tempo reale. Si tratta di tecnologie abilitanti la diffusione di IoT (*Internet-of-Things*) in ambito domestico, pubblico, territoriale, sociale e umano-centrico e industriale e delle tecnologie i4.0 per l'impresa e le filiere d'impresa. Si tratta anche di tecnologie abilitanti l'applicazione e la distribuzione locale di intelligenza artificiale. L'articolazione include *middleware* per la gestione di ecosistemi *fog/edge*; abilitazione all'uso e integrazione di tecniche di intelligenza artificiale per il monitoraggio e la gestione di dispositivi IoT distribuiti; sviluppo e standardizzazione di processi per la gestione del ciclo di vita di ecosistemi *fog/edge*; ambienti e *framework* software per lo sviluppo di applicazioni per dispositivi IoT da accoppiare a risorse cloud e nodi *fog/edge*.

Con riferimento alle classificazioni introdotte nel cappello introduttivo (cfr. *supra*, pg. 95), questa articolazione si colloca negli assi strategici di ricerca n. 2 e 3, contribuirà agli impatti attesi di Horizon Europe n. 20, 21 e 24, all'obiettivo strategico n. 2 e al progetto ad alto impatto previsto dalla Strategia europea per i dati, produrrà risultati con TRL≥5.

Articolazione 4. Architettura, ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per la evoluzione dei dati della PA verso sistemi aperti, big data e servizi cloud

L'articolazione 4 è dedicata a ricerche per la standardizzazione, l'interoperabilità e la qualità di dati delle pubbliche amministrazioni; per infrastrutture e piattaforme di dati aperti dedicate, per sistemi di big data aperti con l'uso di tecniche di *deep learning* e l'integrazione di *tools* di intelligenza artificiale per l'analisi dei dati, per sistemi e servizi cloud (PA *Data-as-a-Service*); le ricerche si estendono alla riservatezza (privacy) dei dati e alla trasparenza degli algoritmi di apprendimento automatico. Sono incluse attività di ricerca applicata per la modellazione e la realizzazione dello spazio comune di dati delle PA e la sua integrazione nell'omologo spazio comune europeo. In tale articolazione riveste un ruolo centrale la ricerca per modelli, metodi, processi, tecniche, tecnologie, sviluppi prototipali e studi empirici per la reingegnerizzazione e la migrazione di banche dati esistenti in ambienti di dati aperti, big data e cloud.

Con riferimento alle classificazioni introdotte nel cappello introduttivo (cfr. *supra*, p. 95), questa articolazione si colloca negli assi strategici di ricerca n. 2 e 3, contribuirà agli impatti attesi di Horizon Europe n. 20, 21 e 24, all'obiettivo strategico n. 3 e al progetto ad alto impatto previsto dalla Strategia europea per i dati con particolare riferimento allo spazio comune europeo di dati per la pubblica amministrazione, produrrà risultati con TRL≥5.

Articolazione 5. Applicazioni HPC, big data e sistemi di servizi cloud per la società, per la sua resilienza, per lo sviluppo sostenibile, per gli spazi dati comuni locali, nazionali ed europei

L'articolazione 5 assegna rilevanza primaria alla ricerca per infrastrutture centralizzate, distribuite e decentralizzate che forniscono servizi HPC e big data secondo l'approccio FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*) per la

comprensione, misurazione, monitoraggio, prevenzione e predizione di fenomeni socioeconomici in riferimento sia agli Obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) sia a condizioni critiche e di sfide sistemiche quali, ad esempio, le pandemie. Essa include altresì: ricerca e sperimentazione di applicazioni e tecnologie HPC e big data per utenti finali e lavoratori finalizzate al potenziamento e all'ampliamento in quantità, qualità, sostenibilità e sicurezza delle proprie attività e del proprio lavoro; ricerca, progettazione e sperimentazione di piattaforme di integrazione di dati di provenienza diversa (sistemi di IoT, IoP e social, sistemi e dati della PA, altri) per servizi sicuri e a elevata affidabilità per il cittadino, per comunità e organizzazioni sociali. L'articolazione include piattaforme e servizi cloud di HPC e big data per settori professionali e per PMI sia per servizi generali sia per servizi di specifico dominio applicativo. Sono, altresì, incluse progettazione e sperimentazioni di piattaforme e componenti a supporto della costituzione, alimentazione e fruizione di aree comuni di dati in ogni settore di produzione di beni e servizi; le ricerche si riferiscono ad aree dati sia a livello locale e regionale sia a livello interregionale e nazionale, nonché alla loro interconnessione e/o integrazione negli spazi comuni europei di dati.

Con riferimento alle classificazioni introdotte nel cappello introduttivo (cfr. *supra*, p. 95), questa articolazione si colloca negli assi strategici di ricerca n. 2 e 3, contribuirà agli impatti attesi di Horizon Europe n. 20, 21 e 24, all'obiettivo strategico n. 3 e al progetto ad alto impatto previsto dalla Strategia europea per i dati con particolare riferimento a tutti gli spazi comuni europei di dati, da quelli industriali (manufatturieri) a quelli sulle competenze, produrrà risultati con TRL≥4.

5.4.3 Intelligenza artificiale

L'intelligenza artificiale (IA), grazie ai suoi straordinari risultati scientifici, è entrata a far parte della vita quotidiana e del mondo del lavoro, permeando tutti gli ambiti della società moderna. L'IA è una priorità assoluta per tutti i Paesi e per l'Europa *in primis*: la capacità di contribuire con posizione dominante nella ricerca sia di base sia applicata è essenziale per il posizionamento strategico dell'Europa a breve, medio e lungo termine, come già ampiamente confermato dai rapporti e dagli investimenti internazionali nel settore. Si prevede che nel 2030 l'adozione dell'IA potrà contribuire al previsto incremento del 14% del PIL mondiale con un aumento di fatturato stimato di 12.800 miliardi di euro[86]. Tali investimenti, se supportati da finanziamenti appropriati dal settore pubblico e privato, rappresentano una irripetibile opportunità per il rilancio nel nostro Paese dell'industria digitale, del settore manifatturiero e di tutto il Made in Italy[87]. Contestualmente, l'impiego dell'IA nella pubblica amministrazione e in risposta alle sfide sociali e ambientali porterà a risultati di altissimo valore e impatto in merito alla qualità della vita, alla salute dei cittadini e alla vigile salvaguardia delle infrastrutture critiche. La comunità scientifica italiana dell'IA[88] concorda sulla necessità di un grande accordo tra ricerca, istituzioni e industria sull'IA, mirato a promuovere l'investimento sulla ricerca fondazionale di medio-lungo termine e l'immediata fruibilità delle tecnologie mature per supportare la trasformazione digitale. L'impatto di questi investimenti sarà direttamente misurato con chiari indicatori (KPI), quali: *a)* l'eccellenza scientifica (pubblicazioni); *b)* l'impatto industriale (prototipi e brevetti); *c)* l'impatto economico dei sistemi/servizi e la creazione di nuove aziende nate a partire dalla rivoluzione portata dall'IA. A complemento, si dovrà progettare un nuovo sistema educativo che diffonda la cultura dell'IA, eviti la diaspora di cervelli e crei un futuro occupazionale per le nuove generazioni. La ricerca può essere declinata in quattro aspetti caratterizzanti, quali: 1. IA è ricerca fondazionale; 2. IA è ricerca applicata nell'industria; 3. IA è ricerca applicata alle sfide sociali, dei singoli, della collettività e dell'ambiente; 4. IA è un'industria.

---

[86] EUROPEAN POLITICAL STRATEGY CENTER (2018), *The Age of Artificial Intelligence. Towards a European Strategy for Human-Centric Machines*, in "EPSC Strategic Notes", issue 29, 27 marzo 2018.
[87] GRUPPO DI ESPERTI MISE SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE (2020), *Proposte per una Strategia italiana per l'intelligenza artificiale*, Ministero per lo Sviluppo Economico, Roma.
[88] CUCCHIARA R., GIANNOTTI F., NARDI D., NAVIGLI R. (2020), *AI for Future Italy*, The Lab CINI AIIS con il patrocinio del Dipartimento di Informazioni per la Sicurezza della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Roma.

L'IA è ricerca fondazionale. L'IA non è una tecnologia assestata ma è in grande evoluzione come testimoniato dagli investimenti pubblici e privati in ricerca fondazionale in tutto il mondo nei diversi temi delle sue anime componenti: *machine/deep learning*, IA simbolica, pianificazione, sistemi multiagente, elaborazione del linguaggio naturale, visione artificiale, elaborazione intelligente dei flussi di dati provenienti dai sistemi ciberfisici e dallo IoT (*Internet-of-Things*). La comunità scientifica italiana dell'IA, con i suoi 55 centri di ricerca e più di 1.100 docenti e ricercatori italiani nel solo Lab CINI AIIS[89], già rappresenta un'eccellenza a livello internazionale e può, e deve, mantenere la sua *leadership* nella ricerca di base per il progresso scientifico e per le evidenti ricadute sull'industria e sulla società. L'Italia ha una grande tradizione nella ricerca nei diversi settori dell'IA, come è testimoniato dalla storia pluridecennale delle sue associazioni scientifiche, e dal collegamento con le reti europee che lavorano in IA, quali CLAIRE, ELLIS, EuRAI.S. Sono necessari un forte investimento e l'impegno delle comunità scientifiche e tecnologiche, delle istituzioni e dell'industria italiana per promuovere la ricerca a lungo termine sulle nuove metodologie di IA, che abbia ricadute misurabili sui suddetti KPI.

L'IA è ricerca applicata nell'industria. I risultati della ricerca in IA hanno già oggi un diretto impiego nell'ambito manifatturiero, dell'alimentazione, dell'*automotive* e del Made in Italy più in generale, fino alla industria dei servizi, da quelli finanziari a quelli turistici passando per la logistica e l'intera gestione della catena di distribuzione. L'IA per l'industria deve superare il classico modello lineare ricerca-sviluppo-adozione a favore di un approccio circolare che possa coniugare, fin dall'ideazione, le competenze di dominio e quelle informatiche. In ambito industriale è necessario definire nuovi approcci di servizi e sistemi di IA, che vanno ben oltre la trasformazione digitale, nel ripensamento delle metodologie di progettazione, di produzione e di interazione tra persona (lavoratore e utente) e macchina. La nuova tecnologia IA non deve essere adottata ma progettata e sviluppata in Italia per rafforzare l'autonomia nazionale di tutto il ciclo di sviluppo della produzione. Sono necessarie nuove soluzioni affidabili, comprensibili e certificabili a livello italiano ed europeo.

L'IA è ricerca applicata alle sfide sociali, dei singoli, della collettività e dell'ambiente. L'IA fornisce nuove soluzioni, per loro natura intrinsecamente multidisciplinari, applicabili alla società e i cittadini che la compongono. Le soluzioni dell'IA sono determinanti, ad esempio, nel mondo della medicina, nella comprensione di nuove pandemie, nelle fasi di anticipazione e gestione dei rischi naturali, tecnologici e chimici, nell'ambiente e nel controllo delle infrastrutture critiche. Contestualmente, l'IA è fondamentale per la sicurezza dei cittadini, nell'ottimizzazione delle risorse energetiche ed economiche, nell'analisi automatica dei dati della pubblica amministrazione e delle città intelligenti. L'IA è fondamentale in tutte le discipline scientifiche (fisica, chimica, biologia, matematica, medicina ecc.) che sono alla base della competitività scientifica dell'Italia a livello mondiale e hanno a loro volta impatto sulla società; l'uso in tali contesti è un potente volano di diffusione delle conoscenze IA negli ambiti extra-accademici.

L'IA è una industria. L'IA è l'industria delle piattaforme, degli strumenti e dei servizi hardware e software, testimoniata nel mondo dai più grandi colossi industriali IT e che, coniugando tecnologia e creatività, favorisce la creazione di brillanti *start-up*. L'IA può far risorgere in Italia l'industria informatica, soprattutto partendo dai giovani, per trattenere i talenti e progettare il futuro. L'industria software italiana dell'intelligenza artificiale può dare impulso per il rilancio dell'industria hardware nazionale, con la sua grande tradizione nella produzione di oggetti intelligenti, di robot e di prodotti industriali. Potrà inoltre essere il volano dell'industria digitale, anche in collegamento con iniziative europee come gli E-DIH (*European Digital Innovation Hub*), i TEFs (*Testing and Experimentation Facilities for artificial intelligence*), i Centri di competenza, e le iniziative accademiche e degli enti di ricerca sulla *terza missione*.

In linea con tutti gli impatti del grande ambito "Digitale, industria e aerospazio", l'area di intervento "Intelligenza artificiale" si compone di 6 articolazioni: le prime due si rivolgono alla IA in quanto disciplina scientifica, focalizzandosi sulla ricerca a medio/lungo termine e sul suo impiego diretto per una futura industria IA italiana con specifico riferimento alla ricerca fondazionale e alla IA umano-centrica; tre articolazioni, connesse con tutti gli ambiti e le priorità di sistema del PNR, si rivolgono a temi trasversali dell'individuo, della società e dell'ambiente; un'articolazione finale è dedicata allo sviluppo dell'IA per la produzione e riconversione dei processi, ben oltre l'industria 4.0, attraverso l'estrinsecazione di una IA nativa nella produzione industriale.

[89] www.consorzio-cini.it, consultato il 19/11/2020.

Articolazione 1. Intelligenza artificiale per l'intelligenza artificiale (IA per IA)

L'Italia deve investire nella ricerca e sviluppo dell'intelligenza artificiale, in quanto disciplina scientifica. Deve investire sulla ricerca fondazionale in IA per mantenere l'attuale leadership scientifica internazionale; deve investire, anche mediante un grande progetto nazionale in IA, per incidere con contributi importanti su tutte le articolazioni del PNR, e per garantire opportunità di crescita all'industria italiana e un futuro lavorativo alle nuove generazioni.

Priorità di ricerca. L'Italia deve compiere uno sforzo importante nella ricerca fondazionale. Molti sono i problemi aperti dell'IA, che riguardano le nuove architetture neurali e la loro modellazione, i modelli di ragionamento simbolico, la connessione percezione-ragionamento-azione, il rilassamento delle ipotesi di lavoro di molte tecniche di apprendimento, l'integrazione tra modelli fisici reali e virtuali per superare i limiti percettivi e cognitivi umani, l'IA spiegabile e sostenibile, la compenetrazione tra intelligenza artificiale e biologia, il tutto nel rispetto dei principi etici. La ricerca in IA deve progredire con nuove metodologie che seguano le raccomandazioni dei *cluster* europei (ad esempio, *next level of Intelligence and Autonomy* e *Destination 6 Horizon Europe*). La ricerca deve rafforzare l'interdisciplinarità coadiuvando la modellazione informatica con strumenti teorici matematici per un miglior circolo virtuoso tra teoria, modelli prototipali e applicazioni. La ricerca deve rivolgersi anche alla ingegnerizzazione del software in IA nella direzione della standardizzazione, misurabilità e affidabilità e alla concezione di hardware e sistemi dedicati intelligenti che siano efficienti e sicuri. Le metodologie IA si stanno dimostrando le uniche soluzioni efficaci per estrarre conoscenza da grandi moli di dati, e devono essere ripensate per sfruttare le potenzialità dell'*High Performance Computing* (HPC) e dei modelli misti *edge* e *cloud*.

Impatto atteso. L'impatto di questa articolazione sarà notevole in uno spettro industriale e sociale ad amplissimo raggio: dalle industrie dei servizi e delle applicazioni IT fino a quelle che si occupano di integrazione di sistema e di impianti; dalla adozione dell'HPC nell'industria alla standardizzazione alla regolamentazione e certificazione dell'IA; dallo sviluppo di start-up e spin-off italiane alla riconversione delle aziende IT capaci di rispondere alle sfide sociali del nostro Paese, alle sfide di economia circolare, di resilienza e di economia dei dati.

Articolazione 2. Intelligenza artificiale umano-centrica

La ricerca fondazionale italiana si deve rivolgere a nuove tecnologie che siano non solo efficaci ma anche sostenibili dal punto di vista sociale e del singolo individuo. Per questo l'articolazione 2 si concentra su due aspetti critici del rapporto tra tecnologia e persona. Il primo è la costruzione di nuove generazioni di sistemi per la persona, capaci di interagire con l'individuo nel modo più efficace, empatico e naturale possibile secondo le linee guida della *Destination 6* di Horizon Europe per sistemi interagenti comprensibili, affidabili e robusti. Il secondo è la creazione di un paradigma di ricerca e progettuale che sia *ethical-by-design*, controllabile nelle sue fasi dall'uomo e quindi sia attendibile (sia affidabile sia basato sulla fiducia) per permettere un impatto a largo spettro delle tecnologie IA e una loro adozione consapevole.

Priorità di ricerca. La ricerca si sviluppa in nuove metodologie e strumenti per l'IA rivolta alla persona; è una ricerca a breve e medio termine che propone strumenti innovativi di personalizzazione di servizi, capaci di lavorare sui dati dell'individuo, con interazioni sia off-line sia on-line, con l'obiettivo di sviluppare una tecnologia e un'industria italiana capaci di lavorare su dati personali (nel rispetto della privacy e dei diritti), dai sistemi conversazionali, anche in lingua italiana, a servizi personalizzati su dati multimediali dell'individuo. Questa è, inoltre, una ricerca a medio e lungo termine per fornire nuove modalità di *human-AI interaction* e *AI for human empowerment* secondo i suggerimenti di Horizon 2020. La suddetta ricerca fondazionale fornirà nuovi strumenti di apprendimento automatico, anche *self-supervised* e di apprendimento continuo, attraverso la percezione e la comprensione del comportamento, così da costruire una futura intelligenza collaborativa tra l'essere umano e la macchina e per nuove forme di interazione tra persona e IA, sia essa puro software e servizio, o *embodied* in robot o in oggetti intelligenti, nuove forme di comprensione reciproca, e di *collaborative intelligence*. Un ambito strettamente connesso è una ricerca di base per creare nuovi strumenti e servizi, affidabili, accettabili e trasparenti, nell'ottica di *trustworthy AI*, con compromessi tra autonomia e controllo *Human-in-the-loop* e attenzione alla privacy e ai diritti umani[90]. Una grande enfasi sarà data ai nuovi modelli e strumenti di *explainable AI* sia per l'utente finale delle tecnologie sia per i progettisti (anche mediante

[90] COM(2020) 65 final, White Paper On Artificial Intelligence – A European approach to excellence and trust.

metodologie di simulazione e di visualizzazione) per comprendere i meccanismi interni di ottimizzazione di reti neurali complesse. La ricerca verterà su principi di robustezza (anche seguendo i paradigmi di studio dell'*adversarial learning*) e di affidabilità contro la creazione di dati e informazioni non veritiere.

Impatto atteso. L'impatto su tutti gli ambiti sociali e industriali sarà notevole. L'eventuale carenza di affidabilità, robustezza e trasparenza dei sistemi di IA della ricerca avrebbe un impatto negativo sulla sua adozione, sulla trasformazione intelligente e sulla limitazione dell'*AI-divide* che presto caratterizzerà i Paesi tecnologicamente evoluti. L'IA dovrà per migliorare la vita dell'uomo e sempre più convivere con tutte le espressioni umane dei singoli, sia fisiche sia virtuali, e perciò sono necessarie una ricerca e una produzione industriale italiana di tali tecnologie emergenti nell'ambito dei sistemi di interazione uomo/robot sociali, uomo/veicolo, uomo/computer, nei sistemi di intelligenza collaborativa di *egocentric vision*, nei sistemi di *augmented/virtual reality*.

Articolazione 3. Intelligenza artificiale per la salute

L'IA moderna si sta definendo sempre di più come uno strumento rivolto alla persona, in termini di capacità aumentate dell'individuo in termini cognitivi e predittivi a supporto delle decisioni per migliorarne il benessere, la salute e la vita.

Priorità di ricerca. Seguendo la declaratoria europea, l'IA nasce come elemento abilitante nell'interazione con la persona, sempre con l'obiettivo del miglioramento della salute e dello stile di vita del cittadino. La ricerca in IA ha qui come oggetto l'individuo in una sua declinazione verso medicina e salute. È richiesta una grande azione di ricerca per la medicina personalizzata, per studiare nuove correlazioni tra i dati fenotipici (come, ad esempio, nelle immagini medicali) e quelli genotipici, a fini sia diagnostici sia prognostici, per creare un *human-digital-twin*, per il monitoraggio della salute e la personalizzazione del consulto digitale e del trattamento. L'IA dovrà essere di supporto al medico, alla diagnosi, alla cura, sia medica sia chirurgica, attraverso sistemi (semi)autonomi.

Impatto atteso. L'articolazione 3 impatta su tutto il contesto della medicina e della salute, per bambini, adulti e anziani, il benessere e la sicurezza individuale, nella casa e nel luogo di lavoro. Sistemi di IA devono fornire nuovi strumenti per la diagnosi di dati della salute e strumenti per aumentare le capacità e le competenze dei medici nel loro lavoro quotidiano, anche in risposta ad eventi eccezionali quali le pandemie.

Articolazione 4. Intelligenza artificiale per la società

L'IA, attraverso l'elaborazione di grandi quantità di dati, mostra enormi potenzialità nella risposta alle sfide della società, in ambiti che spaziano dal suo benessere alla sua pianificazione, alla sua evoluzione economica e scientifica.

Priorità di ricerca. La ricerca si focalizza nei sistemi di raccomandazione, nei modelli di apprendimento, ragionamento e pianificazione, nella ricerca per similarità e il recupero di informazioni, nelle interfacce multilingue, nella comprensione documentale testuale e visuale, nei sistemi di simulazione multiagente per la comprensione di fenomeni sociali.

Impatto atteso: L'articolazione 4 ha impatto diretto per migliorare il sistema sanitario, l'interazione tra la collettività e le normative nazionali, la trasformazione digitale per una pubblica amministrazione intelligente e la *cybersecurity*. Con riferimento alla pubblica amministrazione, l'impiego dell'intelligenza artificiale nei procedimenti amministrativi e giurisdizionali, ad esempio, può garantire efficienza e neutralità dell'azione ferma restando la necessità di tenere conto del contesto etico e di un utilizzo sostenibile dell'intelligenza artificiale sul piano sociale e culturale. Le nuove metodologie di IA si applicano in ambiti sociologici e antropologici, con l'evoluzione del *sentiment analysis* verso modelli proattivi e predittivi, la diffusione delle informazioni e loro credibilità. I servizi e sistemi di IA si applicano ai dati sul web dei social network e ai dati dinamici di eventi *live*, coniugando efficienza e garanzia dei diritti fondamentali. L'impatto è evidente per le *smart cities*, per l'ottimizzazione dei servizi, la pianificazione urbanistica e architettonica, i trasporti collettivi e la mobilità, fino all'economia e la finanza, il sistema assicurativo, l'individuazione e la gestione delle emergenze. L'IA deve favorire la diffusione della cultura e una migliore gestione e fruizione dei beni culturali, per la crescita del Paese e per l'industria del turismo. L'IA ha, infine, un profondo impatto sulla competitività del sistema della ricerca scientifica di base, mediante l'analisi di dati prodotti da apparati sperimentali di grandi dimensioni. Una grande attenzione deve essere posta per evitare ogni effetto di discriminazione, compreso quelle di genere, nei sistemi IA che interagiscono con la persona.

Articolazione 5. Intelligenza artificiale per l'ambiente e le infrastrutture critiche

Le problematiche di natura ambientale sono, per loro natura, complesse e necessitano di una molteplicità di approcci a causa del grande numero di variabili coinvolte, delle loro mutue interazioni e della dominante presenza di incertezza, anche causata dalla interazione con l'umano. La creazione di un modello in grado di descrivere computazionalmente tale complessità (o alcune sue parti) è una sfida che l'IA può cogliere e vincere.

Priorità di ricerca. L'IA, per definizione[91], costruisce sistemi autonomi e semiautonomi capaci di percepire l'ambiente e agire su di esso con un comportamento "intelligente"; l'ambiente è quindi teatro di movimento dell'IA. L'IA deve proporre nuove soluzioni per fondere dati multimodali e multimediali, immagini multispettrali e dati provenienti da reti di sensori distribuiti, al fine di comprendere e predire i fenomeni ambientali e le loro implicazioni sulle infrastrutture critiche del Paese.

Impatto atteso. L'IA contribuirà alle linee europee dettate dalla nuova presidenza che vede nel Green Deal un fondamentale pilastro per lo sviluppo sostenibile europeo. L'implicazione di soluzioni IA è diretta nelle azioni pubbliche e nelle iniziative private per la sostenibilità dell'ambiente, delle infrastrutture antropiche e delle opere edili, per l'agricoltura, nella la catena della nutrizione, della gestione di allevamenti e coltivazioni sostenibili, nella gestione e manutenzione delle infrastrutture critiche in un'ottica di trasformazione digitale.

Articolazione 6. Intelligenza artificiale per la produzione industriale

L'IA è il perno della nuova rivoluzione industriale a completamento dei paradigmi dell'industria 4.0 che vanno nella direzione di adottare, personalizzare e co-creare sistemi intelligenti per l'ottimizzazione dei processi e per la progettazione di nuove generazioni di prodotti IA-nativi.

Priorità di ricerca. Il controllo di qualità e la diagnostica sono strumenti che necessitano di ricerca specifica in IA. Inoltre, nuovi metodi e tecniche proprie dell'IA si applicano alla ricerca di nuove molecole, alla progettazione di nuovi materiali, alla creazione di *digital twins* per la simulazione di scenari industriali complessi, allo sviluppo di sistemi di *edge-AI* integrabili nella produzione e nei prodotti. Un aspetto cardine è l'ottimizzazione intelligente dei processi industriali con i futuri strumenti di *Robotic Process Automation* per l'interazione con i dati digitali, dalla e-mail alla fatturazione. Infine, l'IA ha una sua valenza nella ottimizzazione della logistica, del magazzino, della vendita sia fisica sia on-line.

Impatto atteso. L'impatto dell'articolazione 6 è a 360°. Nell'ambito della produzione industriale l'IA introduce miglioramenti significativi, di tutta la *supply chain* della logistica interna ed esterna, della manutenzione degli asset industriali e, nel campo dei servizi, nella robotica industriale, per la gestione delle vendite e delle promozioni e per l'ottimizzazione delle scorte nei magazzini. Ciò si applica all'industria manifatturiera e di produzione meccanica, ma anche alla produzione di una nuova generazione di oggetti intelligenti o di nuovi oggetti tipici del Made in Italy che potranno avere un nuovo rinascimento portando intelligenza a livello del bene, fino all'industria alimentare e del farmaco.

*Il **Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri** ha fornito contributi per la definizione di questa area d'intervento.*

5.4.4 Robotica

Sebbene i robot abbiano avuto origine nella produzione su larga scala, negli ultimi anni si stanno diffondendo in un numero crescente di scenari applicativi. Li troviamo nelle fabbriche, negli ospedali, nelle case, nelle scuole, robot che

[91] COM(2018) 237 final, AI for Europe.

spengono incendi, che creano beni e servizi che fanno guadagnare tempo e che salvano vite: sono robot sempre più ubiqui e personali. Via via che maturano, le tecnologie sviluppate dalla robotica divengono più pervasive, trasformano i dispositivi consueti rendendoli macchine intelligenti, e creano nuove prospettive che sollevano sfide sempre nuove per l'avanzamento delle nostre conoscenze scientifiche, tecniche e anche umanistiche.

Al di là dell'impatto nella nostra società, la robotica ha anche assunto caratteristiche via via più spiccate di ricerca scientifica fondamentale, ponendosi naturalmente come fulcro transdisciplinare delle tecnologie dell'inter-azione (*Inter-Action Technologies*, IAT), ovvero dei metodi e delle tecniche utilizzate nella percezione e nella modifica degli stati fisici delle macchine e degli ambienti circostanti, secondo una logica intelligente realizzata artificialmente. La robotica odierna pone questioni fondamentali alle ricerche più avanzate delle discipline del settore: studia le interfacce naturali tra macchine e persone con le scienze della mente umana e le neuroscienze; indaga l'integrazione bionica tra corpi naturali e artificiali con le scienze della salute e della riabilitazione; sviluppa nuovi sistemi su scale micro e nanoscopiche alle frontiere delle scienze dei materiali e dell'energia; studia nuovi meccanismi di apprendimento artificiale con strumenti matematici e informatici per distillare efficientemente e rapidamente da dati empirici modelli generalizzabili dell'interazione fisica col mondo reale.

L'analisi critica del contesto di riferimento per tutta la filiera, dalla ricerca fondamentale all'applicazione, porta all'individuazione di sei articolazioni: 1. Robotica in ambienti ostili e non strutturati; 2. Robotica per industria 4.0; 3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture; 4. Robotica per il settore agroalimentare; 5. Robotica per la salute; 6. Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi. Per ciascuna di queste aree prioritarie è fondamentale sviluppare adeguate capacità di autonomia e destrezza dei robot, che abbiano un impatto sull'efficienza delle applicazioni chiave e che vadano oltre l'attuale stato dell'arte. La prima articolazione è fortemente motivata dall'emergenza sanitaria dovuta alla pandemia da COVID-19. Le altre cinque articolazioni sono in linea con le priorità individuate nei *clusters* del *Pillar II* di Horizon Europe in cui le tecnologie robotiche sono fortemente abilitanti: *cluster 1 Health*, *cluster 3 Civil Security for Society*, *cluster 4 Digital, Industry and Space, cluster 5 Climate, Energy and Mobility*, *cluster 6 Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment*. Inoltre, con riferimento al *cluster 2 Culture, Creativity and Inclusive Society*, le implicazioni etiche, legali, sociali, economiche (ELSE) della robotica sono parte integrante di ogni progetto di ricerca. La robotica italiana è stata la culla delle discussioni su queste implicazioni partendo dagli incontri sulla Roboetica del 2004. Sin da allora esiste una profonda consapevolezza che le capacità dei robot autonomi avranno un forte impatto e che il loro sviluppo deve essere guidato da chiari principi etici e giuridici per essere inclusivo e non creare nuove divisioni sociali.

La comunità robotica nazionale (accademie, centri di ricerca, aziende, start-up), riunita nell'Istituto di robotica e macchine intelligenti (I-RIM), rappresenta bene l'eccellenza industriale e della ricerca italiana. In passato, un piano di investimenti nazionali nel settore (Progetto finalizzato Robotica CNR 1989–1994) ha investito 56,4 miliardi di lire e ha abilitato finanziamenti di oltre 200 progetti in FP7 e H2020 (con un share surplus del 3,5%) e 15 *ERC grant* per un totale di 120 miliardi di euro, oltre a un impatto difficilmente quantificabile ma fortissimo sull'industria. Si prevede che questo fattore di leva sarà ancora maggiore con investimenti strategici fatti nella fase attuale, caratterizzata da una profonda riconversione produttiva fondata sulle nuove esigenze di mercato, di sicurezza e sulle nuove tecnologie. Si prevede, infatti, che l'area di intervento "Robotica" nel PNR potrà avere un elevato impatto sui grandi ambiti nazionali di ricerca e innovazione, tra i quali la digitalizzazione, le infrastrutture critiche e l'energia pulita.

Articolazione 1. Robotica in ambienti ostili e non strutturati

L'emergenza sanitaria dovuta alla pandemia da COVID-19 ha portato sotto gli occhi di tutti la impellente necessità di poter svolgere il proprio lavoro in sicurezza anche in ambienti che, prima familiari, sono improvvisamente diventati potenzialmente ostili. L'esigenza si è manifestata in primo luogo negli ospedali e nelle case di riposo, dove il personale sanitario è stato esposto al contagio diretto dai pazienti, ma nelle fasi successive si è resa evidente anche nella produzione, nella logistica e nel commercio di beni materiali. Alle cresciute necessità di sicurezza e di distanziamento si può dare risposta incisiva estendendo il paradigma dello *smart working* a quegli impieghi che richiedono azione fisica sulle persone e sull'ambiente.

L'utilizzo di tecnologie robotiche in ambiente ostile ha in Italia fortissime motivazioni e potenzialità anche al di fuori della prevenzione del contagio. Lo smantellamento delle centrali nucleari e il conferimento di materiali pericolosi e rifiuti contaminati (provenienti da ospedali, industrie, laboratori di ricerca) nel costruendo deposito nazionale che deve

sostituire i depositi attuali (giunti al limite di progetto di 30 anni) e mettere in sicurezza grandi quantità di materiali radioattivi, rappresenta un impegno impellente a cui nel mondo si sta rispondendo con enormi investimenti verso tecnologie robotiche per evitare l'esposizione umana alle radiazioni.

Le risposte a disastri e calamità naturali, purtroppo frequenti e di grande impatto sociale, sono campi di applicazione della robotica nei quali recenti successi della ricerca, in particolare italiana, hanno dimostrato la possibilità di un intervento efficace sviluppando sistemi di robotica operativa nel soccorso per il rilievo e il supporto alle attività del Corpo nazionale dei vigili del fuoco. Analoghe esigenze sono riscontrabili nelle operazioni per la difesa e la sicurezza (avvicinamento e ispezione di persone, materiali e veicoli sospetti, gestione delle minacce terroristiche) e di soccorso, e nella manipolazione di sostanze pericolose, per esempio nella chimica farmaceutica. D'altronde, il numero tuttora altissimo (1.218 nel 2018, in aumento nel 2019) di morti sul lavoro, l'ininterrotta elevata prevalenza di disturbi muscolo-scheletrici (DMS) tra i lavoratori italiani nonostante la legislazione e le misure di prevenzione in atto, per non citare gli incidenti domestici (4,5 milioni all'anno, di cui 8.000 mortali), indicano chiaramente che il concetto di ambiente ostile deve essere allargato ben oltre le convenzionali definizioni. Caratteristica comune di queste applicazioni è la necessità di separare fisicamente l'operatore del robot dal luogo in cui il robot si trova a operare. Questa è la condizione normale per le attività che si svolgono in ambienti difficilmente accessibili come lo spazio o il fondo degli oceani, ma anche il sottosuolo, le stive delle navi e i grandi serbatoi. In questi ambienti esistono anche grandi difficoltà di comunicazione che possono essere risolte dalle funzioni autonome di un robot.

In un vicino futuro in cui i robot saranno chiamati ad aiutare le persone nella vita individuale o familiare, anche l'ambito domestico farà parte degli ambienti non strutturati e potenzialmente critici. La ricerca del prossimo decennio dovrà sollevare le persone dai rischi di questi ambienti, in modo che possano far leva sulla propria personalità e professionalità e svolgere un vero e proprio *physical smart working*. I robot collaborativi e gli avatar robotici, macchine intelligenti semiautonome che possono essere inviate in ambienti remoti e pericolosi a svolgere compiti a elevata destrezza, dovranno trasferire le abilità degli operatori specializzati negli scenari critici, evitando loro i pericoli e la fatica psicofisica. Si contribuirà così anche alla perequazione di mansioni e potenzialità tra persone di diverse strutture fisiche. In una visione di lungo termine, questo potrà condurre a una vera e propria sinergia bionica tra uomo e robot, che lavoreranno insieme per compiere qualcosa che né l'uomo né il robot potrebbero fare da soli, contribuendo a realizzare un vero salto in avanti per la società in cui uomini e robot sono chiamati a convivere.

Articolazione 2. Robotica per industria 4.0

Versatili, affidabili, in grado di effettuare con precisione svariate operazioni, i robot sono gli strumenti preferiti nei sistemi di automazione flessibile, dove la produzione deve potersi modificare sulla base delle mutevoli esigenze del mercato. Ci sono operazioni, per lo più ripetitive, in cui il robot è ormai insostituibile: carico/scarico di macchine, saldatura, verniciatura, tutte mansioni in cui la rapidità di esecuzione aumenta la produttività della fabbrica, diminuendo i tempi-ciclo e sollevando l'uomo dall'eseguire tali mansioni in condizioni disagevoli. I dati di vendita di robot industriali in Italia sono ottimi, con 11.100 unità vendute nel 2019, per una crescita del 13% rispetto all'anno precedente, in controtendenza rispetto al mercato mondiale in contrazione nel 2019. Il mercato italiano della robotica è il sesto a livello mondiale e il secondo in Europa, dietro alla Germania. La densità di robot in Italia, calcolata come il numero di robot installati ogni 10.000 addetti, è 212, contro una media mondiale di 113[92].

Le ragioni del successo della robotica industriale nel mondo e in Italia sono molteplici: *a*) la personalizzazione sempre più spinta dei prodotti richiede piccoli lotti con elevati mix produttivi e i robot industriali si prestano particolarmente bene a questi scenari; *b*) l'aumento della competitività nel mercato globale richiede incrementi di produttività, eliminazione e riduzione dei difetti, soluzioni produttive sostenibili; *c*) i robot oggi non sono più appannaggio della sola grande industria ma sono utilizzati sempre più anche da aziende medio-piccole (PMI), in particolare nella versione dei robot collaborativi, in grado di operare a stretto contatto con l'uomo e destinati ad avere sempre maggiore rilevanza anche in applicazioni non industriali. La diffusione dei paradigmi produttivi dell'industria 4.0 ha dato rinnovata importanza all'utilizzo dei robot, quali macchine altamente digitalizzate. Accanto ai tradizionali manipolatori industriali, i robot mobili (AGV, AMR, LGV) rivestono importanza crescente nella logistica industriale e, in generale, nelle applicazioni relative al flusso dei materiali e al trasporto. La ricerca si indirizza verso la gestione di flotte di robot mobili,

[92] International Federation of Robotics (IFR) (2020), https://ifr.org/, consultato il 15/11/2020.

di robot mobili con manipolatori a bordo, l'integrazione spinta e intelligente con i MES (*Manufacturing Execution System*) aziendali e lo sviluppo di robot mobili leggeri per la logistica dell'ultimo miglio.

In questo scenario è prevedibile una progressiva penetrazione della robotica in comparti industriali diversi da quelli tradizionalmente interessati alla robotizzazione (*automotive* e industria elettrica/elettronica). Di particolare rilievo sono le applicazioni della robotica nel settore dell'aerospazio (forature, rivettature, posizionamento pezzi) in cui le esigenze di altissima precisione e di affidabilità pongono delle sfide di grande interesse per la ricerca.

Il robot diventerà elemento sempre più centrale nella nuova fabbrica intelligente attraverso l'integrazione con il resto dell'automazione di fabbrica e, in particolare, con le moderne tecnologie basate su IA e big data. Ciò comporterà una sempre maggiore fusione degli aspetti fisici e digitali della macchina, che diventerà a tutti gli effetti un sistema ciberfisico indissolubilmente legato alla sua rappresentazione digitale, utilizzata per manutenzione predittiva, percezione avanzata, monitoraggio della produzione e ottimizzazione delle prestazioni. La robotica trarrà anche beneficio dall'evoluzione delle altre tecnologie produttive, in particolare lo *additive manufacturing*, dando luogo a scenari di crescente interesse, dove il robot manipolatore è equipaggiato con uno strumento di deposizione di materiale oppure è integrato a stampanti 3D per migliorarne la produttività.

La robotica collaborativa è, a detta di tutti gli analisti, destinata a una forte crescita nei prossimi anni. Questa crescita dovrà essere accompagnata da attività di ricerca e trasferimento tecnologico intese a soddisfare le esigenze di operare in sicurezza negli ambienti misti uomo–robot. Gli aspetti di ergonomia e ausilio all'operatore nella limitazione dell'esposizione al rischio dell'apparato muscolo-scheletrico sono ancora solo parzialmente esplorati dalla ricerca. Peraltro, l'impiego della robotica collaborativa darà nuova linfa all'artigianato, contrastando il fenomeno dell'invecchiamento di professionalità specializzate, sarà pervasivo, raggiungendo nuovi settori (ad esempio, la moda, settore di punta del Made in Italy) e favorirà il *reshoring* di produzioni delocalizzate all'estero negli anni passati.

Articolazione 3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture

Le industrie, a partire dal comparto petrolchimico ed energetico, stanno affrontando un processo di digitalizzazione senza precedenti nell'era moderna. In questo contesto sono sempre più diffuse iniziative volte a fertilizzare l'impiego di tecnologie robotiche per l'ispezione automatica o autonoma e la manutenzione remotizzata, che attualmente vale circa il 3% del mercato dei robot venduti in tutto il mondo. Soluzioni robotiche innovative per i processi di ispezione di serbatoi, scambiatori di calore, torri di raffinazione, turbine, piattaforme offshore (nel 2018 il mercato valeva 7,19 miliardi di dollari), ambienti misti *nearshore* tipici di situazioni di disastro o calamità naturale, *pipe-rack*, condotti sottomarini (nel 2014 il mercato dei ROV valeva 1,2 miliardi di dollari) e di superficie sono oggi tra i principali obiettivi dei centri di ricerca e sviluppo delle grandi imprese del settore. Analogamente, l'ispezione di turbine, sia di impianto nel settore della conversione di energia sia di propulsione nel settore aeronautico, potrà beneficiare in modo significativo delle soluzioni connesse con la cosiddetta robotica *soft*, che potrà superare i limiti dell'attuale tecnologia boroscopica. L'ispezione degli elettrodotti, degli acquedotti, delle dighe, dei sistemi di generazione eolici, è un ulteriore esempio di possibili applicazioni di tecnologie robotiche mobili, marine e aeree. Recenti studi dimostrano come la sola robotica aerea ridurrà fino al 90% i costi di ispezione di piattaforme offshore, fino al 70% i costi di ispezione di serbatoi di stoccaggio e fino al 50% i costi di ispezione di torri eoliche.

Oltre al comparto industriale, non va dimenticato il settore civile, sia in relazione ad attività cantieristiche complesse, che si svolgono più agevolmente e con riduzione di tempi e costi utilizzando soluzioni robotizzate, sia per la sempre più urgente necessità di esecuzione di rilievi e ispezioni di opere civili in modo obiettivo, ripetibile e certificato, con riduzione dei costi e miglioramento della qualità, attendibilità e tempestività delle misure. Viadotti, strade, ponti, gallerie, metropolitane, treni e reti ferroviarie, tram e reti tramviarie, aerei e aeroporti, navi, beni culturali ed edifici storici, sono ulteriori comparti per i quali lo sviluppo di soluzioni robotiche semiautonome con un elevato livello di specializzazione determinerebbe un cambio di paradigma rispetto agli attuali piani di ispezione programmati in modo statico. Assume un ruolo cruciale l'utilizzo di robot per l'ispezione e la manutenzione delle infrastrutture ferroviarie e dei treni. Gli elevati standard e requisiti di sicurezza richiesti dal trasporto ferroviario odierno possono trarre beneficio considerevole da un programma di manutenzione su condizione, che richiede la disponibilità di sistemi robotici in grado, mediante l'uso di sistemi di visione artificiale e di misura automatica, di eseguire la diagnosi preventiva dell'occorrenza di possibili guasti e/o malfunzionamenti.

Si potrebbero, inoltre, attuare monitoraggi continui delle infrastrutture critiche, integrati da sensori distribuiti IoT per il lungo periodo. La sicurezza assume un ruolo di assoluto rilievo in tutti questi scenari, tipicamente ritenuti rischiosi e/o usuranti per gli operatori. L'impiego di tecnologie robotiche in questo settore contribuirà a creare industrie circolari e pulite. Si pensi alla possibilità di utilizzare robot per ispezionare serbatoi o condutture nel settore petrolchimico o del trattamento delle acque, evitando di effettuare bonifiche o interruzioni dei servizi primari. L'investimento nella ricerca comporterà il duplice beneficio di rafforzare la leadership industriale italiana, riducendo i costi e migliorando l'efficienza degli impianti, e di creare nuovi mercati per le aziende di servizio e le startup innovative, che avrebbero la possibilità di sviluppare prodotti ad alto valore aggiunto, quindi non attaccabili dai Paesi emergenti nel breve periodo.

Articolazione 4. Robotica per il settore agroalimentare

Il settore agroalimentare, che contribuisce con l'11% al PIL e con il 9% all'export (Osservatorio Smart AgriFood) è uno dei settori che attualmente sta subendo una significativa trasformazione in termini di automazione e connettività nel senso dell'industria 4.0 e dello IoT, osservabile in tutte le fasi della produzione. Un prodotto agroalimentare per raggiungere l'utente finale deve subire fasi di coltivazione sia outdoor sia indoor: stoccaggio e conservazione, trasformazione, trasporto e vendita. In tutte queste fasi la robotica può contribuire in modo significativo al raggiungimento di standard elevati, per esempio, nella semina, nell'irrigazione, nel diserbo, nel monitoraggio, nella raccolta, nel trasporto, nella garanzia della qualità, nella trasformazione delle materie prime in prodotti di alta qualità, nella ricarica degli scaffali o nell'elaborazione degli ordini dei clienti attraverso la raccolta delle merci.

L'aumento della popolazione umana e, quindi, il bisogno continuamente crescente di prodotti agroalimentari, il cambiamento climatico, la lotta contro le malattie delle piante, gli elevati costi del lavoro e dell'energia, la richiesta della società di una produzione rispettosa dell'ambiente e autosostenibile, ma anche umana riducendo mansioni altamente manuali poco pagate e dannose per la salute o aumentando le capacità umane con aiuti meccatronici, nonché gli effetti del COVID-19 e la conseguente riduzione di forza lavoro, come pure l'aumento della richiesta di prodotti a km zero, sono sfide tipiche che il settore agroalimentare si trova ad affrontare e che possono essere superate solo con un alto livello di automatizzazione e digitalizzazione come trovato anche nelle tecnologie dell'agricoltura di precisione. La leadership industriale in tecnologie chiave, quali la robotica, che permette di dare all'intelligenza artificiale un corpo fisico in grado di interagire con l'ambiente, sarà uno degli elementi cruciali per ottenere una produzione agroalimentare pulita, neutra dal punto di vista climatico, sostenibile e responsabile. Secondo l'Osservatorio Smart AgriFood, l'11% delle start-up internazionali che operano nel settore sono italiane, conferendo all'Italia un ruolo importante in questo campo. Con il decreto ministeriale 22 dicembre 2017, n. 33671, il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali ha approvato le linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia. Anche a livello europeo l'importanza del settore è stata riconosciuta e si riflette in una politica di sviluppo rurale, come l'*Agricultural European Innovation Partnership* lanciata nel 2012[93].

Articolazione 5. Robotica per la salute

I dati più recenti sul settore dei dispositivi medicali in Italia sono stati pubblicati nel 2015. Da essi si ricava che le imprese del settore censite sono 4.368, la cui maggioranza sono PMI, e che per il 52% sono operanti nella produzione, per il 44% in attività di tipo commerciale e per il restante 4% nei servizi. Il totale dei dipendenti occupati nel settore è pari a circa 70.000 addetti, di cui l'8% impiegato in ricerca e innovazione, per un valore della produzione complessiva pari a 9.750 milioni di euro, di cui più del 70% generato dalla domanda pubblica. Incrociando i dati relativi alla domanda di sanità pubblica e all'offerta, appare chiaro che il settore trarrebbe grande beneficio da investimenti mirati che comportino risparmi da parte del Servizio sanitario nazionale (SSN) e rinforzino un settore produttivo che solo in parte risponde alla domanda nazionale.

Le aree in cui la spesa pubblica è suddivisa (assistenza sanitaria e riabilitazione, prodotti farmaceutici e apparecchi terapeutici, *long-term care*, servizi ausiliari, prevenzione delle malattie e amministrazione), descrivono fedelmente il percorso seguito dai pazienti: prevenzione, diagnosi, terapia, convalescenza, riabilitazione e assistenza. Si può quindi

[93] https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en, consultato il 19/11/2020.

pensare ad azioni mirate in queste aree che permettano alle aziende medicali italiane di entrare in quei settori non ancora presidiati dalle grandi multinazionali estere e di ricavarsi spazi significativi di mercato.

In particolare, seguendo il percorso prevenzione – diagnosi – cura - convalescenza, si può dedurre facilmente come le tecnologie robotiche possano arrecare un contributo significativo sia al miglioramento della qualità della cura sia a economie nei costi della sanità pubblica, come negli esempi seguenti. La prevenzione può essere migliorata utilizzando dispositivi di telepresenza, utilizzabili anche in ospedale, che consentono la comunicazione a distanza, il supporto psicologico ai pazienti e la loro assistenza senza l'intervento diretto del personale medico. La diagnosi può essere migliorata introducendo sistemi, sia locali sia a distanza, di screening più accurati e più estesi dei pazienti, per esempio biopsie robotizzate e centri satelliti per la tele-ecografia. I sistemi per la chirurgia robotica sono già diffusi in sala operatoria, ma il loro costo è troppo elevato per la maggior parte degli ospedali; vanno pertanto ricercate soluzioni che, pur mantenendo la qualità dell'intervento robotico, possano drasticamente ridurne il costo. Un problema rilevante è quello dell'assistenza domestica, sia medica sia nelle attività della vita quotidiana. Per esempio, strumenti robotici possono aiutare a mantenere l'indipendenza e la vita attiva degli anziani, così come permettere la diagnostica precoce delle patologie, l'assistenza di pazienti a casa durante la convalescenza dopo un intervento, la supervisione dell'uso di farmaci, l'effettuazione di terapie riabilitative a ciclo continuo. Un sistema robotico domestico permetterebbe di evitare l'uso improprio dei farmaci, che comporta un costo elevatissimo per il SSN in termini sia di salute dei pazienti sia di costo diretto dei farmaci, con impatto sulla società. Lo stesso sistema potrebbe svolgere funzioni di riabilitazione e monitoraggio domestico permettendo ai pazienti cicli di terapia estesi (al limite 24/7) senza doversi recare negli ospedali, riducendo il traffico e l'inquinamento e garantendo un pronto intervento nel caso di incidenti o malori. In particolare, vanno menzionati i sistemi robotici indossabili, quali gli esoscheletri utili non solo per la riabilitazione, ma anche per l'assistenza al paziente con disturbi o limitazioni del movimento degli arti, superiori o inferiori, conseguenti a lesioni spinali o patologie, nonché per la riduzione dell'affaticamento nelle attività quotidiane. Se integrati con opportune reti di sensori, possono essere utilizzati nella diagnostica a distanza.

L'emergenza COVID-19 ha messo in evidenza aspetti relativi all'organizzazione ospedaliera: la mancanza di personale medico, la necessità di offrire servizi sanitari e svolgere funzioni a distanza di sicurezza dal paziente o dall'ambiente. Per rispondere alla mancanza di personale, si possono trasferire le tecnologie della robotica collaborativa industriale al campo medico e fornire, per esempio, servizi di supporto alla sala operatoria, alla movimentazione dei pazienti, all'assistenza in corsia, alla distribuzione dei farmaci, alla disinfezione degli spazi, al collegamento con i familiari remoti. A queste funzioni appartengono i servizi logistici per la sanità (pulizia, sanificazione, smistamento, medicine ecc.). La sanificazione robotica, in particolare, dovrà essere estesa anche ad ambienti non sanitari per garantire la sicurezza degli ambienti a largo flusso di persone, quali i centri commerciali, gli aeroporti e le fiere. Per mantenere una distanza di sicurezza tra l'operatore sanitario e un paziente contagioso o un ambiente pericoloso, come quello della preparazione dei farmaci, si potranno usare le tecnologie del controllo remoto, teleoperazione e robot autonomi, che permetteranno di porre una barriera fisica tra l'operatore sanitario e il paziente o i farmaci pericolosi, evitando rischi di contagio o di intossicazione.

Articolazione 6. Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi

La mobilità personale, fino a oggi principalmente soddisfatta da automobili di proprietà privata a combustibile fossile e a guida umana, nei prossimi decenni vivrà una vera e propria rivoluzione. Il catalizzatore di questa rivoluzione sarà il passaggio alla guida autonoma, che spingerà alla diffusione dell'auto elettrica, alla transizione dall'auto privata all'auto condivisa e alla riduzione della dimensione media dei veicoli circolanti che permetterà a ciascun utente, in ogni occasione, di scegliere il veicolo di taglia minima che soddisfa la propria esigenza.

La plausibilità del paradigma del cosiddetto *robo-taxi*, un veicolo interamente autonomo chiamato, usato e rilasciato su richiesta, è rafforzata da recenti analisi fatte a partire da dati telematici, che mostrano che non più del 10% dell'attuale parco macchine circolante in Italia è mai usato contemporaneamente. Questo rivoluzionario passaggio alla completa automazione dei veicoli sarà progressivo ma rapido e si ipotizza venga completato al più entro 20-30 anni.

Dal punto di vista dei contenuti tecnologici, la componente di gran lunga più costosa e sofisticata del *robo-taxi* sarà il pacchetto di automazione (o di robotizzazione), che contiene numerosi strati tecnologici interconnessi: gli attuatori smart (freni, sterzo, motori ecc.), i sensori (unità inerziali, sistemi GNSS, ma soprattutto sensori EGO di distanza dagli ostacoli, quali videocamere, LIDAR, radar e sensori acustici), il sistema di controllo della dinamica del veicolo (*motion*

control) e il sistema di controllo della navigazione (pianificazione della traiettoria e del profilo di velocità). All'interno di questo pacchetto tecnologico, la componente di intelligenza (ovvero gli algoritmi di controllo e di elaborazione dei segnali) sarà quella più importante e caratterizzante e verrà sviluppata a partire dalle tecnologie dell'automazione, del *machine learning* e dell'elaborazione dei segnali (in particolare delle immagini). Questo pacchetto tecnologico, nel suo insieme, può essere considerato una forma complessa e articolata di intelligenza artificiale nella sua declinazione che la vede al centro dell'interazione fisica col mondo esterno mediata da attuatori e sensori: si tratta quindi squisitamente di robotica.

Questo enorme e importantissimo pacchetto tecnologico per la robotizzazione di veicoli, opportunamente adattato, troverà applicazione in tutti i veicoli terrestri su gomma, che possono essere così classificati: *a*) veicoli per mobilità delle persone su strada (automobili, bus, minibus); *b*) veicoli per la mobilità delle merci su strada (camion, veicoli commerciali); *c*) veicoli *off-highway* (veicoli per l'agricoltura, per le costruzioni, la movimentazione terra, battipista, etc.); *d*) veicoli senza persone a bordo (*unmanned*) (droni terrestri, per la mobilità delle merci – *last-mile delivery* nei centri urbani e metropolitani – o per l'agricoltura, completati e integrati da sistemi di robotica manipolativa per l'esecuzione di operazioni di lavorazione).

Siamo, quindi, di fronte ad alcuni decenni di enorme importanza strategica per le tecnologie della mobilità, che definiranno i nuovi equilibri industriali del settore. Il ruolo della ricerca tecnologica italiana in questo ambito può e deve essere di primaria importanza: l'Italia è una delle eccellenze mondiali nel campo dei veicoli, dalle biciclette alle moto, dai camion ai trattori, passando ovviamente per l'automobile, l'Italia è sempre stata in una posizione di leadership e vanta tuttora alcuni dei più importanti e prestigiosi marchi a livello mondiale. Allo stesso tempo, l'Italia è una eccellenza mondiale nel campo dell'automazione, dei sistemi di controllo e della robotica e può quindi cogliere una opportunità unica di giocare un ruolo di primo piano nello sviluppo tecnologico dei veicoli autonomi.

Tecnologie abilitanti

Le tecnologie abilitanti cui la ricerca deve focalizzarsi includono: *a*) tecnologie per l'apprendimento continuo e l'integrazione di percezione e attuazione con intelligenza naturale e artificiale, che permettano agli operatori di avvalersi delle capacità aumentate dalle macchine senza essere espropriati delle proprie indispensabili capacità cognitive e operative; *b*) tecnologie per migliorare l'intuitività, l'usabilità e l'ergonomia delle interfacce uomo–robot, che consentano l'uso efficace di robot da persone senza formazione specifica; *c*) tecnologie per facilitare l'interazione fisica e sociale dei robot con l'ambiente e con le persone circostanti, usando nuovi materiali, sensori e attuatori *smart*, architetture di controllo per garantire stabilità e sicurezza; *d*) tecnologie per la realizzazione di nuovi dispositivi meccatronici tradizionali e tipici della robotica *soft* per la manipolazione destra e la locomozione in ambienti aerei, acquatici, sotto terra e su suoli di natura diversa e accidentata; *e*) tecnologie per la navigazione autonoma, il riconoscimento delle situazioni e il controllo dinamico degli automezzi per raggiungere la mobilità sostenibile di veicoli a guida autonoma nelle zone urbane e il controllo intelligente del traffico nelle zone extraurbane; *f*) tecnologie per migliorare l'autonomia energetica e la resilienza alle imperfette comunicazioni nonché la capacità di comunicare a elevata velocità con ridotti tempi di latenza nelle situazioni realisticamente incontrate in scenari applicativi; *g*) tecnologie per ridurre la traccia ecologica dei sistemi robotici sviluppando nuove forme di energia ricavabile dall'ambiente e materiali ecocompatibili. Lo sviluppo di queste tecnologie migliorerà o semplificherà il lavoro delle persone (ambienti ostili, ambiti industriali e civili, medicina, agroalimentare, mobilità), salverà o aumenterà posti di lavoro (artigiani, nuove aziende produttive, con robot e macchine intelligenti in Italia invece che all'estero). L'impatto sul mondo del lavoro sarà immediato e positivo, non solo perché le grandi innovazioni tecnologiche hanno sempre portato a un aumento dei posti di lavoro, ma in virtù del fatto che la robotica permette di accrescere la produttività e rendere economiche sul suolo nazionale attività che rimarrebbero altrimenti delocalizzate.

*Il **Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** ha fornito contributi per la definizione dell'articolazione 3 di questa area d'intervento.*

5.4.5 Tecnologie quantistiche

Le tecnologie quantistiche (*Quantum Technologies*, d'ora in avanti QT) presentano caratteristiche radicalmente innovative e hanno un impatto intersettoriale, in forte discontinuità con le tecnologie oggi disponibili. Quella che potremo vivere nei prossimi anni si annuncia come una vera rivoluzione, derivante dalla gestione e sfruttamento delle potenzialità dei fenomeni quantistici (sovrapposizione, *entanglement* ecc.) secondo cui le particelle sono in grado di assumere diversi stati allo stesso tempo o lo stesso stato in luoghi diversi. Se confrontate con altre tecnologie più tradizionali, le QT possono consentire la soluzione di problemi ritenuti, fino a oggi, impossibili, irresolubili o molto costosi dal punto di vista energetico. La trasformazione che si prefigura è dirompente avendo le QT ricadute dirette e di grande portata su molteplici campi, dall'informatica alla biologia, dalle telecomunicazioni all'ingegneria, dalla chimica alla farmaceutica, dalla medicina all'ambiente. Oltre allo sviluppo di un paradigma rivoluzionario per la computazione, le QT permettono di comunicare le informazioni in modalità assolutamente sicura e, ancora, consentono di effettuare misure con precisione estrema. Tali soluzioni sono rese possibili da piattaforme tecnologiche basate su settori quali la scienza dei materiali, la fotonica, l'optoelettronica e il controllo dei sistemi atomici, nei quali l'Italia vanta riconosciute competenze. Le QT sono abilitanti per tutte le tematiche comprese nell'ambito "Digitale, industria, aerospazio" e hanno importanti ricadute per le aree d'intervento su tecnologie sostenibili, energia, *cybersecurity*, tecnologie per la salute e l'ambiente. Per la dimensione dell'impatto sociale ed economico, e per la loro natura abilitante, le QT richiedono una priorità di investimento molto elevata, giustificata dalle proiezioni macroeconomiche che prevedono per le QT un impatto significativo sia sul PIL sia sui livelli occupazionali. Se le attuali previsioni saranno completamente realizzate, i Paesi avanzati si divideranno fra quelli che avranno accesso diretto alle QT e quelli che non lo avranno. I primi potranno ambire ad acquisire una leadership tecnologica, mentre gli altri potrebbero sperimentare gravi problemi di dipendenza per le infrastrutture strategiche e la propria sicurezza nazionale. L'agenda strategica europea sulle QT dedica a questa tematica ingenti finanziamenti non solo per lo sviluppo delle ricerche e delle tecnologie ma anche per la realizzazione di reti di infrastrutture. È perciò cruciale individuare una strategia nazionale di sviluppo che, con investimenti mirati, possa condurre, agganciandosi alla strategia europea, a una significativa crescita dell'afflusso di risorse. La grande sfida che pongono le QT implica lo sviluppo di una traiettoria che porti, nell'arco di questo PNR, dalla ricerca di frontiera all'introduzione delle QT nei prodotti industriali e che, dato l'altissimo valore aggiunto, dovrà passare per la difesa di vari aspetti strategici: valorizzazione delle persone con competenze chiave, start-up in grado di trasferire e concretizzare nuove tecnologie, aziende in grado di integrare le QT in sistemi e servizi.

Articolazione 1. Tecnologie quantistiche per computer e simulatori

Il calcolo quantistico rappresenta un cambio radicale dei paradigmi computazionali. I computer e i simulatori quantistici hanno un potenziale rivoluzionario in molti ambiti, dall'ottimizzazione di processi produttivi e sociali alla soluzione di problemi complessi, dalla chimica alla biologia, dallo sviluppo di materiali innovativi e nuovi farmaci alla fisica fondamentale. La recente dimostrazione della supremazia quantistica – la capacità di un computer quantistico di svolgere un compito impossibile per un computer classico – promette di rendere l'ecosistema quantistico una realtà produttiva già nel prossimo decennio.

Stato dell'arte. A livello mondiale diverse architetture sono perseguite in ambito accademico e industriale: *qubit* basati su superconduttori, semiconduttori, ioni intrappolati, fotonica integrata, *qubit* topologici, *spin qubit* molecolari, gas degeneri. Il sistema italiano ha una vasta competenza sperimentale, teorica e tecnologica in diverse di queste piattaforme: *photonics quantum information processing,* simulazione quantistica con sistemi atomici, sistemi superconduttori, semiconduttori, *qubit* basati su molecole magnetiche.

Obiettivo e impatto: rendere l'Italia un *key player* nell'ambito delle QT per computer e simulatori sia come fornitore di tecnologie abilitanti sia come sviluppatore di piattaforme integrate e algoritmi sia come *end user* industriale; dotare il sistema Italia di una infrastruttura di computazione/simulazione quantistica all'avanguardia in Europa. L'impatto di tale sforzo è enorme sulle tecnologie abilitanti nel nostro Paese. La ricerca di soluzioni basate su QT alimenta un'industria trasformativa e di avanguardia, in termini sia di piccole e medie imprese (PMI) sia di grandi industrie, in

diversi ambiti – circuiti elettronici integrati per il controllo e il *readout* (TRL 8), fotonica integrata (TRL 7), materiali innovativi (TRL 5-7), criogenia d'avanguardia (TRL 7), altra componentistica e software di controllo (TRL 7) – per gestire in modo efficace il nuovo hardware.

Strategia: 1. Potenziare, dal punto di vista teorico e sperimentale, le piattaforme per computazione e simulazione quantistica in cui l'Italia ha una vasta competenza (superconduttori, semiconduttori, molecole magnetiche, fotonica integrata, sistemi atomici), perfezionandone la tecnologia; 2. Dimostrare e utilizzare il *quantum advantage* nel regime NISQ (*Noisy, Intermediate-Scale Quantum*), basato sullo sviluppo di macchine imperfette, già disponibili, integrando tecniche di calcolo quantistiche con quelle di *High Performance Computing*; 3. Raggiungere la piena potenza della computazione quantistica, realizzando la correzione quantistica degli errori, con codici mirati sulle specifiche piattaforme; 4. Sviluppare nuovi algoritmi quantistici, per la soluzione di numerosi problemi di elevata complessità. 5. Sviluppare un'industria trasformativa e d'avanguardia, negli ambiti sopra individuati, realizzando poli di fabbricazione avanzata.

Articolazione 2. Tecnologie quantistiche per la comunicazione

La comunicazione quantistica, tecnologia abilitante per la *cybersecurity* del prossimo decennio, comporta la generazione e l'uso di stati e risorse quantistiche per protocolli di comunicazione radicalmente nuovi. Allo stato attuale, l'applicazione tecnologicamente più avanzata (TRL 9) è la crittografia quantistica che garantisce una sicurezza inviolabile nello scambio di chiavi di cifra.

Stato dell'arte. Sono già disponibili prodotti commerciali e prototipi per la generazione di numeri casuali quantistici e la distribuzione quantistica delle chiavi (QKD). Reti in fibra ottica per QKD sono presenti in diversi Paesi tra cui Europa, Stati Uniti, Cina e Giappone. L'Italia ha contribuito, a livello sia accademico sia industriale, in maniera determinante alla comunicazione quantistica su comunicazione in fibra in *free-space* e allo sviluppo di componentistica integrata e sui protocolli avanzati. L'Italia è l'unica nazione europea dotata di una infrastruttura basata su una dorsale in fibra ottica, dedicata a oggi alla diffusione di segnali di sincronizzazione di tempo e frequenza, e in grado di supportare la comunicazione quantistica: l'*Italian Quantum Backbone (IQB),* lunga 1.850 km, collega le principali città italiane: Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma, Napoli per raggiungere il Centro di geodesia spaziale con sede a Matera. Nell'ultimo anno la Commissione Europea ha lanciato la *European Quantum Communication Infrastructure* (EuroQCI) con l'obiettivo di costruire una rete di comunicazione quantistica sicura in tutta l'UE che protegga l'economia e la società dalle minacce informatiche.

Obiettivo e impatto: rendere l'Italia tecnologicamente indipendente con la creazione di filiere produttive verticali dei dispositivi di comunicazione quantistica. In parallelo, completare una rete quantistica a livello italiano ed europeo che espanda l'attuale infrastruttura digitale, gettando le basi per un *quantum internet*. L'obiettivo è di fare progredire le comunicazioni quantistiche principalmente in tre direzioni: prestazioni, integrazione e industrializzazione.

Strategia. 1. Sviluppare le tecnologie abilitanti per la crittografia quantistica: la fotonica integrata (sorgenti di stati di luce quantistici, modulatori e circuiti integrati, rivelatori di singolo fotone), l'elettronica, le reti e le piattaforme per comunicazioni satellitari; 2. Completare l'*IQB* con il suo collegamento alla EuroQCI e la sua estensione ai link verso le reti metropolitane e lo spazio; 3. Introdurre tecniche e standard di comunicazione quantistica e creare collegamenti fra le infrastrutture nazionali critiche.

Articolazione 3. Tecnologie quantistiche per la sensoristica e la metrologia

I sensori quantistici, sfruttando il fenomeno dell'*entanglement* in sistemi basati su singoli oggetti quantistici quali fotoni, elettroni, atomi o molecole, promettono di raggiungere i limiti fisici di misura e di migliorare di ordini di grandezza le attuali prestazioni in termini di precisione e accuratezza, con importanti ricadute applicative e commerciali. L'utilizzo di tali sensori migliorerà anche il controllo di precisione di processi industriali complessi, contribuendo agli obiettivi di sostenibilità previsti nel Green Deal europeo.

Stato dell'arte. I sensori sono elementi chiave per tutti i prodotti ad alta tecnologia, dalle automobili agli elettrodomestici, dagli smartphone agli apparati di diagnostica medica. Il mercato globale della sensoristica vale più di 200 miliardi di euro, con una crescita stimata annuale del 10% per i prossimi 5 anni. Grandi aziende e PMI italiane sono leader europei e mondiali nello sviluppo di sensori nei settori della ricerca, medicina, sicurezza e industria elettronica.

Obiettivo e impatto. Le QT rappresentano la punta avanzata dell'evoluzione di tecnologie abilitanti, quali la fotonica e la microelettronica. La scelta strategica di puntare su di esse innescherà forti ricadute grazie alle quali l'industria nazionale potrà avere un ruolo fortemente competitivo, sia direttamente in tali settori sia con ricadute in settori più maturi ma di forte impatto economico, quali l'elettronica, l'energetica, la criogenia e il vuoto. La metrologia quantistica consente di realizzare standard di misura universali e altamente riproducibili, ad esempio per misure di tempo, frequenza o elettriche, di forte impatto su ricerca di base, industria, economia e società. L'imaging quantistico in correlazione permette di superare le limitazioni intrinseche degli attuali dispositivi di imaging. Impatti rivoluzionari a breve e medio termine sono attesi in campi quali la diagnostica e l'imaging biomedicale, l'*automotive*, la geolocalizzazione e la navigazione ad alta precisione, l'osservazione e il monitoraggio della terra, l'*Internet-of-Things*.

Strategia: dimostrare la superiorità dei sensori quantistici ed espanderne l'implementazione in contesti reali ad alto TRL. A tale scopo vanno perseguiti: *a*) il consolidamento della ricerca di base, nelle sue articolazioni teoriche e sperimentali, in grado di realizzare ulteriore innovazione nel campo della sensoristica e della metrologia quantistica; *b*) l'applicazione in settori di frontiera, ad esempio per la rivelazione di materia oscura o delle onde gravitazionali; *c*) lo sviluppo di sistemi integrati e miniaturizzatati fotonici, elettronici e opto-meccanici; *d*) lo sviluppo di prototipi basati su sistemi di misura e *imaging quantum-enhanced; e*) lo sviluppo di materiali e superfici nanostrutturate e bio-funzionalizzate per prototipi di *lab-on-chip*; *f*) il trasferimento in contesti applicativi industriali (TRL>6) di dimostratori relativamente consolidati, ad esempio accelerometri, magnetometri, MEMS e LIDAR.

Articolazione 4. Tecnologie quantistiche per l'efficienza e la sostenibilità energetica

Gli aspetti connessi con la sostenibilità e l'efficienza energetica rivestono un ruolo cruciale anche nello sviluppo delle QT. Approcci puramente quantistici offrono grandi prospettive nello sviluppo di architetture per minimizzare la richiesta energetica (*green ICT*), nella concezione di nuovi meccanismi di alimentazione, nella progettazione su scala nanometrica di materiali avanzati a basso impatto ambientale.

Stato dell'arte. Le QT per l'energia sono attualmente a un TRL iniziale (2-3) ma hanno un potenziale rivoluzionario. Sono già state concepite strutture integrate per l'alimentazione (ad esempio, batterie quantistiche, nanodispositivi per l'estrazione di energia dall'ambiente ecc.); inoltre, la manipolazione degli stati quantistici del campo elettromagnetico consente il controllo del trasporto elettronico e delle interazioni molecolari, con risultati che comprendono: *a*) la modifica della termodinamica di reazioni chimiche; *b*) l'innalzamento della temperatura critica dei superconduttori; *c*) il trasporto a distanza delle eccitazioni in materiali scarsamente conduttivi. In questi campi i ricercatori italiani sono all'avanguardia sia nella formulazione delle teorie di funzionamento sia nelle prime implementazioni.

Obiettivo e impatto: sviluppare dispositivi in grado di mostrare la possibilità di contribuire a superare le limitazioni dei sistemi per la conversione e il trasporto dell'energia e a migliorare la sostenibilità dei processi industriali (*Green New Deal*). Rendere disponibili nuove tecnologie che contribuiscano a incrementare l'efficienza dei dispositivi già esistenti. Tutto questo avverrà anche tramite lo sviluppo di componentistica opto-elettronica a bassa dissipazione e di nuovi materiali *green* con migliori proprietà termiche e di trasporto elettrico, sfruttando anche proprietà intrinseche topologiche.

Strategia: sostenere la progettualità, la ricerca di base e applicata, sviluppare le infrastrutture necessarie, favorendo le interconnessioni tra le attività teoriche e sperimentali puntando nei prossimi anni all'innalzamento del TRL. Le linee di ricerca e sviluppo comprendono: sistemi di *storage* multicella, componentistica a bassa dissipazione per la computazione, macchine termiche con guadagno quantistico, meccanismi quantistici di trasporto dell'energia, manipolazione quantistica di reazioni chimiche ad alta efficienza, sensori quantistici per il monitoraggio energetico.

Articolazione 5. Infrastrutture di ricerca per le tecnologie quantistiche

Basandosi sull'eccellenza scientifica continentale, la Commissione Europea ha lanciato nel 2018 il programma decennale *Quantum Flagship* finanziato con 1 miliardo di euro per progetti di ricerca e sviluppo nell'ambito di Horizon 2020.

Stato dell'arte. La *Quantum Flagship* si svilupperà in Horizon Europe collegandosi con nuove infrastrutture europee cofinanziate con 1–2 miliardi di euro a valere su *Digital Europe*: *European Quantum Communication Infrastructure*

(EuroQCI) e *European Quantum Computing/Simulation Infrastructure* (EuroQCS). Parallelamente si strutturerà una rete europea di istituti nazionali per le tecnologie quantistiche, cofinanziata dalla Commissione Europea e attualmente in fase avanzata di definizione.

Obiettivo e impatto. Le QT rivestono un ruolo cruciale per la sicurezza della comunicazione, la difesa, le applicazioni spaziali e la *cyber-physical security*. Occorre, dunque, realizzare infrastrutture strategiche che consentano di preservare e valorizzare il grande capitale umano nazionale e le tecnologie chiave per lo sviluppo industriale. Tali infrastrutture avranno un ruolo di coordinamento e sostegno tra la ricerca e l'industria, così come tra le diverse QT, all'interno di una strategia europea ben definita. Le QT consentiranno, inoltre, una maggiore verticalizzazione e integrazione delle tecnologie su alcuni comparti industriali anche al fine di creare sinergia e aumentare l'impatto di innovazione.

Strategia: 1. Promuovere l'aggregazione delle competenze nazionali su QT per: *a*) attivare le sinergie e ottimizzare l'uso delle risorse nella creazione delle infrastrutture menzionate sopra; *b*) coordinare e aggregare la partecipazione italiana a progetti di ricerca nell'ambito di Horizon Europe; *c*) favorire lo sviluppo di tecnologie industriali; *d*) elaborare/consigliare strategie/priorità/programmi nazionali; *e*) partecipare ad una futura rete europea di istituti nazionali quantistici; *f*) costituire un presidio infrastrutturale in grado di attrarre i migliori scienziati, difendere il know-how e creare una rete di supporto e protezione per le aziende start-up; 2. Sviluppare un *Italian Quantum Computing and Simulation Hub* che servirà a: *a*) offrire a strutture di ricerca e aziende l'accesso a computer quantistici integrabili con *High Performance Computing* classico; *b*) perseguire l'indipendenza tecnologica nelle diverse piattaforme (atomi, fotoni, semiconduttori, superconduttori, nano-strutture, molecole magnetiche ecc.); *c*) sviluppare algoritmi e protocolli quantistici; *d*) studiare problemi fondamentali con le conseguenti applicazioni industriali, ad esempio nell'ottimizzazione dei processi, nelle telecomunicazioni e sicurezza, nei materiali, nella chimica, nella medicina e nella farmaceutica; 3. Completamento dell'*Italian Quantum Backbone* con il suo collegamento alla EuroQCI e la sua estensione ai link verso lo spazio e alle reti metropolitane. L'IQB farà da banco di prova per la comunicazione quantistica e le tecnologie correlate, e garantirà l'accesso alle aziende nazionali per lo sviluppo di applicazioni e di software; 4. Creazione di una rete avanzata di poli di fabbricazione per: *a*) circuiti integrati elettro-ottici, fotonici e ibridi scalabili; *b*) dispositivi basati su semiconduttori, superconduttori, nanomagneti molecolari, sistemi fotonici, atomici e ibridi per la computazione e la comunicazione quantistica; *c*) sensori quantistici miniaturizzati basati su atomi neutri, superconduttori e dispositivi opto-elettro-meccanici; *d*) apparati di imaging quantistico; *e*) interfacce quantistiche in grado di combinare diverse piattaforme; f) test, validazione e certificazione di apparati QT. La rete dei poli si integrerà con infrastrutture complementari in diversi ambiti (superconduttività, criogenia ecc.).

Articolazione 6. Formazione e capitale umano

La rivoluzione promessa dalle tecnologie quantistiche necessita di una comunità scientifica estesa con competenze multidisciplinari. La formazione dovrà garantire il funzionamento dell'intera filiera che dalla ricerca di base arriva fino alla competitività delle imprese *high-tech* italiane, rendendo attrattivo e dinamico il nostro sistema dell'innovazione.

Stato dell'arte. In diverse università europee sono già attivi percorsi di laurea specifici dedicati alle QT con una forte impronta interdisciplinare. Il livello della formazione universitaria italiana è, in generale, molto elevato sebbene, a oggi, siano ancora sostanzialmente i dipartimenti di fisica a offrire corsi in QT, spesso con percorsi ancora non specificamente mirati.

Obiettivo e impatto: creare personale altamente specializzato in un settore scientifico avanzato in rapida evoluzione e in possesso di competenze trasversali; coinvolgere le realtà industriali nella formazione e nella ricerca universitaria incrementando le interconnessioni tra i settori accademici interessati.

Strategia: 1. Costruire nuovi curricula di laurea e laurea magistrale finalizzati alle QT che integrino conoscenze fisiche, informatiche, ingegneristiche, anche mediante l'apporto di competenze esterne; allo scopo, ipotizzare anche corsi di studio interateneo e/o in collaborazione con gli altri enti/istituti di ricerca presenti sul territorio; 2. Attivare nuovi dottorati interateneo e/o in collaborazione con enti di ricerca, interdisciplinari e intersettoriali (coinvolgendo direttamente le realtà industriali emergenti); 3. Incentivare dottorati congiunti internazionali tramite accordi bilaterali o integrati nei programmi europei (ad esempio, *Marie Skłodowska-Curie Actions*).

*Il **Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri** ha espresso interesse per questa area di intervento e fornito contributi per la definizione dell'articolazione 5.*

5.4.6 Innovazione per l'industria manifatturiera

La ricerca e l'innovazione nell'industria manifatturiera sono questioni chiave e opportunità importanti per l'economia e la società italiana. Il PNR 2021-27 può offrire un quadro organico che leghi ricerca pubblica e privata, contribuendo a una traiettoria di sviluppo caratterizzata da sostenibilità ambientale e inclusione sociale. I problemi attuali della ricerca e innovazione manifatturiera riguardano in particolare: l'esigua percentuale di risorse pubbliche e private destinate a ricerca e sviluppo in rapporto al PIL; la caduta degli investimenti materiali e immateriali delle imprese nell'ultimo decennio; la piccola percentuale di laureati nella società e nelle imprese italiane e la scarsa attività di formazione sulle nuove tecnologie nelle aziende; l'emigrazione di 14.000 ricercatori italiani in un decennio dovuta alla mancanza di opportunità di lavoro in Italia; i bassi salari di ingegneri, tecnici, professionisti e ricercatori nelle imprese e nel settore pubblico, a confronto di altri Paesi europei; il prevalente orientamento delle imprese verso innovazioni di processo rispetto a quelle di prodotto, con effetti negativi sull'occupazione; la scarsa dimensione media delle imprese italiane e le resistenze a processi di aggregazione che porterebbero a maggiori capacità competitive e di ricerca; l'acquisizione di molte importanti imprese italiane da parte di aziende straniere con lo spostamento all'estero di attività di ricerca e centri decisionali; la scarsa integrazione del sistema università-ricerca-innovazione del Paese; il mancato coordinamento tra stimoli allo sviluppo di tecnologie dal lato dell'offerta e una corrispondente domanda pubblica di beni ad alta tecnologia; la difficoltà a individuare missioni specifiche su cui far convergere in modo coerente l'insieme delle politiche di ricerca industriale, della domanda, economiche, ambientali, di formazione del Paese.

Cinque sono le direttrici principali che dovranno guidare lo sviluppo e la competitività del sistema manifatturiero italiano, emerse a seguito dei lavori del gruppo di esperti, dell'esito della consultazione pubblica e delle osservazioni e dei contributi pervenuti da altri Ministeri. Esse sono: 1. Industria circolare, pulita ed efficiente; 2. Industria inclusiva; 3. Industria resiliente; 4. Industria intelligente; 5. Industria competitiva.

1. Industria circolare, pulita ed efficiente. In linea con quanto definito nell'*European Green Deal: Circular and Climate-neutral Manufacturing* e nell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, l'industria manifatturiera dovrà fare progressi sostanziali verso processi produttivi e materiali caratterizzati da economia circolare, *carbon neutrality* di filiera e impianti efficienti dal punto di vista energetico, fornendo prodotti verdi e circolari per design che siano al contempo innovativi oltre che accessibili economicamente.

2. Industria inclusiva. Il nuovo modello di industria deve essere centrato sulla persona, intesa sia come lavoratore sia come utilizzatore dei prodotti e dei servizi a base industriale; le nuove tecnologie, al pari dei nuovi materiali e dispositivi a queste correlate, dovrebbero avere al centro le capacità umane, le competenze dei lavoratori, i diritti dei cittadini, contribuendo al loro sviluppo e benessere, anziché presentare minacce, limitazioni, creare nuovi divari.

3. Industria resiliente. Ai sistemi produttivi e alle filiere logistiche è richiesta una sempre maggiore resilienza per far fronte a fenomeni di natura sociale, tecnologica, economica, ambientale sempre più imprevedibili e in rapido cambiamento, nonché adattività alle mutevoli esigenze del mercato. La crisi determinata dall'emergenza sanitaria ha fatto emergere le vulnerabilità della nostra società, anche riguardo ai modelli produttivi e alle capacità del Paese e delle aziende di rispondere in modo sistemico a situazioni imprevedibili.

4. Industria intelligente. La diffusione delle tecnologie digitali sta modificando lo scenario industriale attraverso la disponibilità di enormi quantità di dati, lo sviluppo di processi, dispositivi e materiali intelligenti, la connettività di macchine, di sistemi produttivi e filiere logistiche con un forte cambiamento anche dei modelli di impresa, improntati a logiche relazionali di sistemi prodotto-servizio. In questo contesto, le piattaforme digitali che consentono la connessione e l'interoperabilità in sicurezza tra sistemi rivestono un'importanza fondamentale per la competitività dei sistemi produttivi e, in ultima istanza, del sistema Paese.

5. Industria competitiva. Trasversale alle precedenti, questa articolazione riguarda l'orientamento della ricerca verso il sostegno alle imprese perché possano realmente trasferire nei propri prodotti e processi le opportunità di innovazione tecnologica rese possibili dal mondo della ricerca privata e pubblica, migliorando la produttività, l'impiego delle risorse, le performance economiche, la competitività. Fondamentale sarà l'integrazione tra ricerca pubblica, di base e applicata, ricerca nelle imprese, sostegno all'innovazione, diffusione e formazione delle conoscenze.

Articolazione 1. Industria circolare, pulita ed efficiente

La sostenibilità economica del manifatturiero europeo e nazionale potrà essere conseguita attraverso il rafforzamento tecnologico e, soprattutto, attraverso la transizione ecologica del manifatturiero verso un'economia che sia effettivamente circolare, caratterizzata da neutralità da un punto di vista dell'impatto ambientale e da una minimizzazione della dipendenza da risorse naturali, beneficiando localmente di scambi di materiali e di flussi energetici ottimizzati in ottica di simbiosi industriale e incrementando la resilienza anche attraverso il recupero di materie prime seconde e lo sviluppo di materiali verdi e sostenibili.

Priorità di ricerca: materiali e rivestimenti ecocompatibili**,** tecnologie, sistemi e modelli di business in grado di accelerare la transizione verso l'economia circolare mediante l'implementazione di processi di disassemblaggio/*de/re-manufacturing/sorting*/riciclo a basso impatto ambientale calcolato lungo tutto il ciclo di vita; processi e sistemi di produzione di alta precisione caratterizzati da zero-difetti, zero-scarti e *zero-downtime*, tecnologie (su scala micro e nano) di controllo qualità predittiva e metodi non distruttivi di ispezione sul ciclo di vita del prodotto; processi manifatturieri basati su nuovi materiali e/o su materiali di sostituzione anche provenienti da materie prime seconde e/o su nuovi approcci progettuali e produttivi (ad esempio, *materials-by-design*, processi bio-manifatturieri o *biomachining*); sviluppo di innovativi modelli di gestione e business finalizzati all'ottimizzazione di processi di movimentazione, stoccaggio trattamento di MPII; processi a basso impatto ambientale per la produzione di fibre riciclate con un ridotto *carbon footprint* che utilizzino materiale composito contenuto negli scarti di lavorazione o recuperato da prodotti giunti a fine vita; processi di progettazione e produzione basati su analisi del ciclo di vita per prodotto/processo/sistema produttivo/filiera, che considerino già dalla progettazione l'implementazione di tecnologie di *de/re-manufacturing* e di riciclo intelligente e consentano l'incremento della vita dei prodotti; soluzioni innovative per la generazione e la cogenerazione di energia da fonti rinnovabili, lo stoccaggio energetico e lo *energy harvesting/recovery* a livello di fabbrica/ecosistema locale; soluzioni *power-to-gas* per lo sfruttamento dell'energia elettrica disponibile in rete prodotta da fonti rinnovabili e il bilanciamento della rete elettrica; materiali e processi per la cattura, lo stoccaggio e la trasformazione della CO_2 prodotta a livello di fabbrica in biocombustibili; l'integrazione dei distretti industriali nelle reti energetiche multi vettore in qualità di produttore e consumatore di energia; soluzioni per minimizzare l'impatto ambientale a livello di fabbrica (rumore, emissioni, consumo energetico e di risorse) e transizione verso processi, sistemi e modelli di business per una produzione/fornitura/distribuzione più vicina a clienti e consumatori finali, incluse nuove soluzioni logistiche per la movimentazione di materiali, parti, prodotti e scarti in contesti urbani; la promozione dell'economia dei dati, con specifico riferimento alla valorizzazione dei dati raccolti lungo tutto il ciclo di vita dei prodotti, processi e sistemi di produzione con particolare enfasi sui dati di monitoraggio ambientale per lo sviluppo di politiche a tutela della salute dei cittadini.

Impatto atteso: minimizzare l'impatto ambientale del manifatturiero con focus specifico sull'efficientamento, sull'utilizzo delle risorse naturali ed energetiche e su una minimizzazione dell'impronta ambientale a livello di intero ciclo di vita di prodotto/processo/sistema; creare ecosistemi industriali circolari locali in cui la produzione e l'approvvigionamento delle materie prime e seconde siano più vicini ai clienti e ai consumatori finali, favorendo la transizione verso il concetto di manifatturiero circolare urbano; sfruttare i vantaggi della economia dei dati per garantire, nel rispetto dei vincoli etico-legali e delle libertà individuali, il conseguimento di obiettivi collettivi in termini di salute e benessere.

Articolazione 2. Industria inclusiva

Le persone assumeranno sempre di più un ruolo centrale nel manifatturiero. Accanto agli sviluppi della ricerca e dell'innovazione dal lato delle tecnologie, è importante tener conto degli effetti sul lavoro, la quantità e qualità dell'occupazione, l'accesso e lo sviluppo delle competenze delle persone, in modo da delineare una traiettoria di

sviluppo tecnologico caratterizzata da elevata conoscenza, produttività, intensità di lavoro, salari e qualità sociale, puntando a ridurre le disuguaglianze – di reddito, sociali, di genere e territoriali – del Paese.

Priorità di ricerca: tecnologie digitali e sistemi sicuri di interazione uomo-macchina a supporto dell'operatore nelle fabbriche; materiali e dispositivi, sistemi e interfacce uomo-macchina per sostenere le strategie decisionali ibride tra uomo e sistemi automatici intelligenti (basate, ad esempio, su realtà virtuale/aumentata e *digital twin*) e che consentano di mantenere l'uomo al centro della fabbrica; sviluppo di nuove competenze per l'interazione tra uomo e sistemi intelligenti, sia per la collaborazione negli ambienti produttivi sia per l'addestramento di sistemi di intelligenza artificiale basati sull'utilizzo dei dati e la loro integrazione nel know-how aziendale; progettazione e sviluppo di scenari socio-tecnici per l'integrazione dell'uomo in ambienti produttivi intelligenti, che comprendano idonei meccanismi organizzativi e di controllo di sistemi manifatturieri complessi; aumento delle competenze e qualifiche del personale promuovendo una capillare formazione nelle tecnologie digitali e scienze computazionali; sviluppo di programmi di formazione che tengano conto dell'impatto di nuove tecnologie sulle attività svolte dagli operatori e che prevedano l'evoluzione degli attuali profili lavorativi e la nascita di nuove figure professionali.

Impatto atteso. Le tecnologie, in particolare le tecnologie digitali, dovranno accrescere le opportunità di accesso, apprendimento, qualificazione del lavoro e consentire la convergenza verso l'alto di gruppi sociali, evitando di provocare processi di esclusione, dequalificazione, precarizzazione, impoverimento. Fondamentali saranno il superamento del divario digitale che ostacola l'accesso dei cittadini e delle imprese alle potenzialità delle nuove tecnologie, la maggior accessibilità alle conoscenze rilevanti sui sistemi digitali, la trasparenza degli algoritmi che regolano l'attività delle piattaforme digitali.

Articolazione 3. Industria intelligente

Un'industria intelligente si fonda sulla collaborazione tra aziende e sistemi, sulla raccolta e condivisione di dati e informazioni, sulla connessione di sistemi e prodotti, sulla messa a sistema di soluzioni e servizi attraverso l'uso di piattaforme, sulla capacità di rispondere e anticipare il cambiamento con processi decisionali *data-driven*, sulla standardizzazione dei protocolli, sull'automazione dei processi decisionali e operativi. Dovranno essere colte le opportunità legate ai sistemi informatici ad architettura distribuita, all'evoluzione delle infrastrutture di telecomunicazioni, degli standard 5G e delle loro successive evoluzioni.

Priorità di ricerca: soluzioni e tecnologie digitali a supporto del ciclo di vita del prodotto (dalla progettazione, alla scelta dei materiali, alla modellizzazione, all'ingegnerizzazione per la produzione, dalla distribuzione fino alla gestione del post vendita e del fine vita) per un'efficiente gestione del processo produttivo, un'ottimale gestione delle fasi d'uso del prodotto, un miglioramento della qualità del prodotto , del servizio al cliente finale e delle possibilità di riutilizzo; sistemi di produzione e prodotti, connessi grazie all'ausilio di IA e IoT e a strumenti di simulazione e ottimizzazione della realtà aumentata e virtuale; processi e sistemi di produzione flessibili, personalizzati, scalabili e riconfigurabili grazie alla robotica e all'IA; tecnologie digitali, di comunicazione *real time*, di IA per il controllo remoto, la telediagnostica e la manutenzione predittiva dei processi, dei sistemi prodotto-servizio e dei sistemi di produzione, anche nell'ottica di ottimizzazione dell'efficienza e della produttività aziendale; metodologie di *machine learning* e IA, supportate da infrastrutture informatiche ad architettura distribuita, per la gestione affidabile e sicura dei processi, dei prodotti-servizi e dei sistemi di produzione; tecniche di modellazione, ottimizzazione e simulazione per la gestione efficiente dei processi e delle soluzioni prodotto-servizio; applicazione della blockchain nei sistemi produttivi e nelle filiere logistiche; sviluppo di piattaforme digitali per servizi a valore aggiunto e per il tracciamento e la certificazione della filiera produttiva; formazione esperienziale con l'ausilio di laboratori remotizzati; materiali sostenibili, intelligenti e funzionalizzati in superficie; dispositivi e sensori per prodotti connessi e sistemi adattativi.

Impatto atteso. Le tecnologie digitali consentono la transizione verso un'industria manifatturiera flessibile, adattiva e agile per una produzione rapida e reattiva che risponda rapidamente alle mutevoli esigenze del mercato. L'obiettivo è il conseguimento di un utilizzo pervasivo di nuove piattaforme digitali, di infrastrutture tecnologiche, di servizi avanzati per la gestione della catena di produzione e distribuzione dei sistemi di prodotto/servizio orientati al cliente finale al fine di conseguire un incremento di efficienza e produttività e un adeguato raccordo tra domanda e offerta.

Articolazione 4. Industria resiliente

Dato il continuo cambiamento degli scenari economici, sociali, tecnologici, ambientali, i sistemi logistico-produttivi dovranno essere sempre più orientati verso la resilienza, intesa come la capacità di rimanere operativi a fronte di eventi che incidono sulle normali attività operative e di recuperare la capacità operativa a seguito di interruzioni del normale flusso operativo.

Priorità di ricerca: resilienza rispetto a eventi naturali estremi, fragilità del territorio e infrastrutturale (incidenti tecnologici e interruzione della produzione indotti da eventi naturali, interruzione delle reti di comunicazione e di approvvigionamento causate da eventi accidentali e fragilità nel sistema delle infrastrutture stradali e ferroviarie); resilienza rispetto a crisi ambientali e condizioni climatiche estreme (mutamenti climatici, crisi nell'approvvigionamento di materie prime); resilienza rispetto a emergenze sanitarie (impatto sul sistema produttivo; sviluppo di sistemi di prevenzione e protezione dei lavoratori; nuove filiere produttive di contrasto); resilienza ad attacchi alla sicurezza dei dati e ai sistemi di controllo dei processi (protezione dei dati industriali, *cybersecurity*); adattamento dell'industria a nuovi scenari politici, economici e tecnologici, nel breve e lungo periodo; strategie per affrontare le conseguenze di conflitti o crisi internazionali nell'approvvigionamento di energia e di materie prime; effetti sul sistema produttivo di nuovi e improvvisi cambiamenti dell'assetto economico mondiale); prevenzione dell'invecchiamento degli impianti e processi produttivi (*ageing* e *risk-based inspection*, *asset integrity management*, prognostica degli impianti); processi di valutazione e gestione dei rischi integrati nella progettazione e gestione delle attività produttive, tecnologie digitali volte alla collaborazione interaziendale per la costituzione di filiere produttive robuste e sostenibili, in grado di coordinarsi rapidamente per reagire a eventi dirompenti e capaci di reindirizzare, in condizioni di emergenza, i flussi dei materiali primari verso produzioni critiche.

Impatto atteso. L'incremento del livello di resilienza permetterà al manifatturiero di adattarsi alle mutevoli situazioni associate alla continua evoluzione degli scenari tecnologici, economici e di mercato, di reagire a shock endogeni ed esogeni dovuti a eventi imprevisti più o meno impattanti (dalle catastrofi naturali alla momentanea indisponibilità di infrastrutture critiche, dalle epidemie ed emergenze sanitarie a situazioni contingenti ad elevato impatto sulle prestazioni e sulla continuità dell'operatività) e di cogliere le opportunità associate alla digitalizzazione, alle nuove tecnologie produttive, all'integrazione delle imprese della stessa filiera.

Articolazione 5. Industria competitiva

Il sistema della ricerca deve affiancare e sostenere il manifatturiero e, in particolare, le PMI, nella sfida per mantenere/raggiungere un ruolo di leadership nelle tecnologie abilitanti. È necessario mirare a salvaguardare e sviluppare un'industria manifatturiera competitiva e favorire un'innovazione basata sulla ricerca tecnologica fondamentale in ambito di *Key Enabling Technologies* (KET), a partire dalle filiere ad alto potenziale di innovazione ed elevata propensione al trasferimento tecnologico. Inoltre, è auspicabile il continuo miglioramento tecnologico di dimostrazione e validazione di nuove tecnologie e metodologie nell'ottica delle produzioni digitali e dell'economia circolare con lo scopo di promuovere anche la rilocalizzazione di intere filiere produttive strategiche in grado di garantire l'indipendenza nazionale e la leadership industriale sul mercato globale nel rispetto dei vincoli ambientali.

Priorità di ricerca: sviluppo, caratterizzazione e modellizzazione di nuovi materiali, di sistemi leggeri e multimateriale, di nuove tecnologie e sistemi di fabbrica per la realizzazione di nuovi prodotti e il miglioramento di quelli esistenti; rafforzamento dell'ecosistema dell'innovazione - costituito in particolare dai Cluster tecnologici nazionali e regionali, i Centri di competenza 4.0, le reti dei *Digital Innovation Hub* e dei Punti impresa digitale, le reti di valorizzazione della ricerca universitaria – al fine di supportare le PMI nel processo di transizione digitale, sostenendo la collaborazione tra ricerca e industria, riducendo le micro infrastrutture e favorendo la creazione di poli produttivi per l'industria intelligente; valorizzazione di infrastrutture di ricerca nazionali (laboratori avanzati per sperimentazioni, siti dedicati alle tecnologie innovative di produzione, assemblaggio e integrazione dell'industria manifatturiera), puntando a uno scambio di eccellenza in ambito internazionale con analoghe strutture e organizzazioni; sviluppo di filiere nazionali attraverso i distretti tecnologici, accelerando la nascita di nuove imprese, anche attraverso spin-off condivisi da università, industrie e centri di ricerca; transizione verso processi, sistemi e modelli di per una produzione e distribuzione di prodotti e soluzioni prodotto-servizio più vicini a clienti e consumatori finali; ricorso a nuovi e avanzati materiali nel mondo dell'artigianato digitale con il suo grande potenziale valore di rilancio del sistema produttivo nazionale di micro impresa; utilizzo di piattaforme digitali per la commercializzazione dei prodotti e di tecnologie

digitali per la dematerializzazione dei processi gestionali e contabili; erogazione di attività di formazione continua esperienziale con l'ausilio di laboratori remotizzati e realtà aumentata.

Impatto atteso: accrescere la competitività delle PMI manifatturiere e il loro posizionamento tecnologico e scientifico rafforzando la rete di collaborazioni interne e la capacità di interagire positivamente in campo internazionale; consolidare la leadership nazionale nei settori di eccellenza tradizionali (Made in Italy) attraverso il supporto a innovazioni distintive e qualificanti che esaltino le capacità tecnologiche e industriali nazionali rispetto alla concorrenza europea e mondiale.

*Il **Ministero dello Sviluppo Economico** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizioni dell'articolazione 1 di questa area d'intervento.*

5.4.7 Aerospazio

La ricerca aerospaziale in Italia vanta una lunga tradizione di eccellenza e la legge 11 gennaio 2018, n. 7 ha riconosciuto al settore alta valenza strategico-politica. L'Italia riesce a coprire, grazie all'efficace coordinamento tra università ed enti di ricerca e al qualificato sistema di piccole, medie e grandi industrie, l'intera catena del valore, distribuita su tutto il territorio nazionale. Sono significative le ricadute della ricerca aerospaziale in altri campi per l'effetto volano legato alle tecnologie sempre più performanti richieste nel settore aerospaziale e per il carattere fortemente interdisciplinare dell'aerospazio. Pertanto, il PNR 2021-27 copre sia gli aspetti di ricerca fondamentale, alla base del progresso delle conoscenze, sia lo sviluppo di nuove tecnologie, al fine di rafforzare la competitività del Paese e consolidarne la posizione di eccellenza nel panorama internazionale. Infatti, la dimensione e gli investimenti dei programmi di ricerca aerospaziale più ambiziosi e complessi necessitano di sinergie nel contesto internazionale nel quale l'Italia è da sempre un interlocutore attivo e propositivo; il PNR intende potenziarne la posizione su scala globale. A tal fine, nelle articolazioni sono riportati settori e temi considerati prioritari rispetto ai quali è necessaria una visione di lungo periodo per incrementare ancora di più la posizione del Paese, facendo leva sull'elevato potenziale della grande industria, delle PMI e delle start-up in rete col mondo della ricerca scientifica, creando così occupazione stabile.

Il PNR pone, inoltre, grande attenzione alla formazione di terzo livello (dottorati e master) nel settore aerospaziale, anche per il suo effetto di stimolo verso le discipline tecnico-scientifiche, e al potenziamento del numero degli addetti.

Infine, l'aerospazio è, per sua natura, un settore con chiare connotazioni duali, che si presta quindi a ottimizzazione di obiettivi, infrastrutture, sistemi e finanziamenti.

Articolazione 1. Velivoli ad ala rotante di nuova generazione

Gli *Urban Air Mobility Vehicle* (UAMV) rappresentano una delle soluzioni su cui la Comunità Europea punta per risolvere congestione e inquinamento delle aree urbane. Le attività necessarie al loro sviluppo si articolano in: *a*) progettazione di aeromobili a decollo verticale VTOL e a decollo corto STOL multirotore a bassa rumorosità, facilmente governabili in ambienti complessi in presenza di ostacoli; *b*) propulsione elettrica o ibrida per veicoli VTOL, STOL e sviluppo delle relative tecnologie abilitanti (azionamenti elettrici ed elettronica di potenza); *c*) integrazione nel traffico aereo assieme ai droni, governati da sistemi di gestione del traffico aereo a bassa quota in ambienti urbani complessi; *d*) sicurezza e certificabilità di queste architetture innovative con costi limitati; *e*) sviluppo di ConOps per UAMV; *f*) integrazione tecnologica dell'aeronautica (ala rotante, aviazione generale, velivoli regionali, droni) con gli scenari complessivi di mobilità sostenibile per ottenere un sistema globale *zero-carbon*; *g*) sviluppo di infrastrutture per UAMV con capacità di integrarsi con gli altri sistemi di mobilità urbana e con il tessuto urbano.

Articolazione 2. Riduzione impatto ambientale e incremento del benessere in aeronautica

Argomento di fondamentale importanza per il futuro del trasporto, affidato alle seguenti sfide di progresso scientifico: *a*) sistemi di propulsione innovativi essenzialmente basati su fonti elettrochimiche, idrogeno, ibride o *full-electric*, *more electric aircraft*; *b*) tecnologie innovative per aumentare l'efficienza e ridurre le emissioni; *c*) tecnologie che riducono il rumore dei velivoli in decollo/atterraggio; *d*) generatori di energia solare e integrazione con sistemi di autogenerazione di energia a bordo; *e*) tecnologie che evitino o riducano la formazione di ghiaccio con sistemi a basso consumo energetico, con ridotte potenze di picco; *f*) materiali e processi produttivi *green* nell'ottica di economia circolare: materiali riciclabili, tecnologie *net-shape* (ad esempio, *additive manufacturing*), sostituzione processi (ad esempio, tecniche galvaniche, uso di fluidi dannosi per sghiacciamento); *g*) benessere del passeggero (ad esempio, riduzione del rumore, sistemi di sanificazione, materiali antibatterici).

Articolazione 3. Velivoli autonomi

I sistemi *unmanned* costituiscono una delle innovazioni più radicali degli ultimi anni in aeronautica. Le tecnologie legate all'automazione e all'autonomia rendono già possibile l'utilizzo di aeromobili automatici. Nel futuro l'impiego di aeromobili semiautonomi e autonomi supporterà sempre più numerose applicazioni. A tale scopo dovranno maturare tecnologie nelle seguenti aree: *a*) sensori per la navigazione autonoma; *b*) sistemi di controllo avanzati (adattativi, *fault tolerant*); *c*) sistemi di guida autonoma, (*collision avoidance* e *surveillance*); *d*) sistemi di navigazione autonoma *GNSS-free/resilient*; *e*) sistemi di comunicazione per i velivoli autonomi; *f*) certificazione di sistemi aeronautici autonomi, tecnologie per l'integrazione di velivoli *unmanned* nello spazio aereo; *g*) piattaforme *HW/SW* ad alte prestazioni per il volo autonomo; *h*) manipolazione aerea; *i*) volo in formazione e sciami di velivoli autonomi; *l*) configurazioni innovative per velivoli non abitati.

Articolazione 4. Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative

I velivoli di nuova concezione, capaci di inediti profili di missione e in grado di garantire *durability*, *affordability* e *maintainability* per l'intero ciclo-vita, richiedono la disponibilità di nuovi materiali e/o componenti funzionalmente innovativi. A tal fine, la ricerca dovrà incentrarsi su: *a*) *Health and Usage Monitoring Systems* per il monitoraggio continuo dello stato di integrità dei componenti per garantire maggior sicurezza e migliore manutenibilità; *b*) *Self-Healing Materials* per la riparazione in tempo reale dei danni strutturali; *c*) *morphing* delle strutture per migliorare le prestazioni di volo; *d*) tecniche di *energy harvesting* tramite l'uso di materiali attivi; *e*) *smart composite materials* a prestazioni avanzate con inclusione di materiali PZT, PYRO, SMA, FO capaci di sviluppare capacità multifunzionali integrate, anche con il ricorso alle opportunità offerte dalla nanostrutturazione/strutturazione gerarchica dei materiali ottenute impiegando le nanotecnologie; *f*) sviluppo di materiali di frontiera (supermateriali), per utilizzo in condizioni ambientali estreme (quali quelle relative alle temperature), incentivando la ricerca di base nella scienza dei materiali e lo sviluppo di tecnologie abilitanti, ad esempio (ma non limitatamente), nei campi della chimica, della fisica dei materiali opto-elettronici, della metallurgia e dei materiali per alte temperature; *g*) tecniche innovative di produzione (*additive manufacturing*) a terra, *in orbit* e *in situ*.

Articolazione 5. Controllo del traffico aereo

Il ruolo italiano in contesti europei su temi quali la sicurezza del volo sarà potenziato nei segmenti di terra e di volo incentrando la ricerca su: *a*) algoritmi di predizione delle traiettorie dei velivoli (riduzione rischi di congestione, *Collaborative Decision Making*, forme avanzate di navigazione, ad esempio, *Continuous descent/climb e 4D navigation*); *b*) modelli di simulazione per l'utilizzo in fase strategica (rotte, procedure, impatto aeroporti) e in fase tattica (soluzione delle situazioni critiche), *digital twins*; *c*) procedure per rilevare errori umani e suggerire soluzioni di *recovery*; *d*) realtà aumentata/virtuale per lo sviluppo di *remote towers* e di sistemi di supporto alle operazioni in condizioni di scarsa visibilità; *e*) *data fusion* per l'aumento dell'integrità della navigazione satellitare in decollo e atterraggio (sistemi inerziali, misure *carrier-phase*, 5G); *d*) sviluppo di soluzioni *see and avoid* ibride per sistemi *unmanned* e ACAS di velivoli tradizionali; *e*) ADS-B per incrementare l'autonomia dei velivoli (*self-separation*); *f*) *Unmanned Traffic Management* e interazioni tra ATM ed UTM in prossimità degli aerodromi.

Articolazione 6. Volo suborbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro

Le piattaforme stratosferiche e i voli suborbitali aprono nuovi scenari di ricerca e di sperimentazione attraverso l'utilizzo di quote non praticabili da aerei o satelliti. Le piattaforme offrono una vasta gamma di opportunità per diverse applicazioni scientifiche e di ricerca. Inoltre, il volo suborbitale apre interessanti opportunità di ricerca nel campo ipersonico. Gli obiettivi del programma sono: *a*) supportare e promuovere la capacità nazionale per il volo stratosferico con un dimostratore in scala e, sulla base dei risultati di *Space Rider* e del programma nazionale Iperdrone, di rientro di veicoli da missioni extra-atmosferiche orbitali o suborbitali per la validazione di concetti di missione e sviluppo di nuovi *payload*; *b*) volo suborbitale e ipersonico, sviluppando le tecnologie abilitanti, favorendo lo sviluppo di modelli, tecnologie e infrastrutture di test, approfondendo i temi del volo ipersonico, la gasdinamica a differenti regimi di volo, la propulsione e lo sviluppo di nuovi materiali (protezione termica, strutture avanzate, protezione da radiazioni ionizzanti e particelle cariche a elevata energia); *c*) piattaforme stratosferiche, sviluppando nuovi materiali, studiando gli stati di transizione dell'aria al variare della quota, sviluppando sistemi di alimentazione (accumulo e gestione dell'energia solare), sviluppando sistemi propulsivi, promuovendo la realizzazione di un dimostratore in scala per la validazione delle tecnologie critiche.

Articolazione 7. Osservazione della terra (OT), telecomunicazioni (TLC) e navigazione

In questi settori l'Italia rappresenta una eccellenza in vari ambiti. È pertanto cruciale: *a*) consolidare il ruolo del nostro Paese rafforzando la partecipazione ai programmi europei e dell'ESA (Copernicus, Galileo, EGNOS, GovSatCom, Earth Explorer) e valorizzando le iniziative nazionali (COSMO-SkyMed Second Generation, PRISMA, SHALOM, PLATINO, Ital-GovSatCom) e garantendone anche la continuità in un'ottica evolutiva. Inoltre, è prioritario lo sviluppo di: *b*) sensori innovativi di OT, quali ottici pancromatici e multi/iper-spettrali ad alta risoluzione, IR, LIDAR, SAR multicanale, polarimetrici, geosincroni, distribuiti su costellazioni/formazioni di satelliti; *c*) nuove metodologie basate su tecnologie ICT (HPC, IA, IoT ecc.) per l'estrazione automatica di informazioni da dati di OT multipiattaforma e/o multisensore in servizi *downstream* ad alto valore aggiunto; *d*) applicazioni innovative nel settore GNSS (ad esempio, guida autonoma in ambito automotive/ferroviario/marittimo, GNSS-R, estensione della copertura GNSS allo *Space Service Volume*); *e*) componentistica avanzata, miniaturizzata, ad alte prestazioni e costo ridotto per sistemi di OT, TLC e GNSS; *d*) tecnologie per nuovi canali di comunicazione (bande Q/V/W per piattaforme VHTS, comunicazioni ottiche e quantistiche).

Articolazione 8. Esplorazione e osservazione dell'universo

Punto di eccellenza nazionale e posizione di leadership internazionale nei molteplici ambiti (fisica solare, planetologia, eso-planetologia, astrobiologia, astrofisica, astro-particelle, cosmologia, GW, fisica fondamentale ecc.). Per migliorare/consolidare la posizione acquisita è necessario: *a*) sviluppare strumentazione e piattaforme all'avanguardia; *b*) potenziare il contributo nazionale nell'ambito dei programmi ESA in corso (sia obbligatori, Cosmic Vision 2015-2035 – che opzionali, ad esempio, ExoMars, Hera ecc.) e nell'ambito di collaborazioni con altre agenzie internazionali, anche relativamente allo sfruttamento delle orbite circumterrestri LEO e alla valorizzazione delle infrastrutture in orbita bassa (ISS e future stazioni spaziali); *c*) creare le opportunità per missioni spaziali nazionali innovative, anche attraverso l'uso di CubeSat/nanosatelliti, palloni e piattaforme stratosferiche. Di notevole interesse nazionale sono anche: *d*) programmi/missioni per l'osservazione dello spazio, per la sorveglianza di orbite di interesse nazionale ed internazionale e per la difesa planetaria nel settore SSA (SST/NEO/SWx) secondo una progettualità evolutiva dell'asset esistente di infrastrutture nazionali di osservazione da Terra. Ricerca nel campo dell'osservazione del sole, del plasma interplanetario e del sistema Terra-Sole per lo sviluppo di modelli di previsione degli effetti dello SWx sulle infrastrutture critiche; *e*) potenziare i Centri spaziali nazionali (quali, SRT/SDSA, SSDC, CGS, Centro "L. Broglio", ISOC, COMet) e l'analisi dei dati scientifici dallo spazio; *f*) promuovere missioni robotiche sulla Luna (allunaggio, base lunare, estrazione ed uso di risorse).

Articolazione 9. Accesso allo spazio

Il nostro Paese dispone delle competenze e delle tecnologie per l'accesso autonomo allo spazio. È necessario procedere nei prossimi anni allo sviluppo e alla crescita delle competenze su sistemi di lancio e di propulsione in grado di perseguire propulsione *green*, sostenibilità dell'ambiente spaziale (riduzione *debris*), riduzione costi, concentrandosi

in particolare sulle configurazioni evolutive di Vega e sullo sviluppo di flessibili famiglie di mini/micro lanciatori. Obiettivi da perseguire sono: *a*) il consolidamento della competitività del Sistema Vega; *b*) il consolidamento della leadership nazionale nella propulsione; *c*) il miglioramento della capacità nazionale di accesso autonomo allo spazio; *d*) il supporto al Green Deal europeo.

Articolazione 10. Satelliti di nuova generazione

In missioni LEO e per l'esplorazione dello spazio profondo, le attività sono così articolate: *a*) aumentare il livello di efficienza e autonomia dei veicoli spaziali per ridurre la dipendenza da terra; *b*) incrementare la miniaturizzazione dei sistemi (CubeSat e SmallSat); *c*) sviluppare sistemi di bordo e tecnologie abilitanti avanzate per mini/micro/nano/pico satelliti in grado di volare in formazione per missioni di *in-orbit servicing*, di *active debris removal*, di osservazione della Terra (per servizi *near-real-time*) della corona solare e dell'Universo, di protezione degli assetti satellitari di interesse nazionale, per esperimenti in regime di microgravità, per comunicazione a banda larga a copertura globale e/o regionale, per aumentarne agilità orbitale e di assetto e per prevedere eventuali collisioni in orbita e calcolare ed eseguire le manovre di prevenzione in modo totalmente autonomo; *d*) per l'esplorazione dello spazio profondo incrementare la guida autonoma, la resistenza alle radiazioni e la possibilità di determinare a bordo l'orbita del veicolo spaziale; *e*) sviluppare metodi avanzati di analisi di missione e gestione di progetto, ad esempio, *concurrent engineering, twin models*.

Articolazione 11. Esplorazione umana dello spazio

È un settore strategico, considerate le collaborazioni internazionali (ESA e NASA), e rilevante per il benessere degli astronauti per lunghi periodi all'interno di stazioni orbitanti e moduli abitabili. Sono prioritari i seguenti temi: *a*) strutture e sperimentazioni di ricerca di base e applicata *life science* (orbitanti e cislunare); *b*) sostenibilità di insediamenti e infrastrutture abitabili in gravità ridotta o microgravità (ad esempio, tecnologie per la costruzione in-situ); *c*) tecnologie per evitare formazione e proliferazione di agenti patogeni, ciclo dell'acqua, dell'aria e sviluppo di coltivazioni vegetali; *d*) tecnologie miniaturizzate a basso costo e compatte per la diagnostica biochimica a distanza; *e*) tecnologie per la protezione dalle radiazioni cosmiche; *f*) identificazione di biomarcatori (affaticamento, stress) di interesse aeronautico per la sicurezza del volo, ad esempio, *computer vision* e intelligenza artificiale; *g*) soluzioni per controllo missione e avionica di bordo di futura generazione.

*L'**Ufficio del Consigliere militare della Presidenza del Consiglio dei Ministri** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*
*Il **Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri** hanno fornito contributi per la definizione delle articolazioni 7 e 8 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizioni dell'articolazione 7 di questa area d'intervento.*

5.5. CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE

5.5.1 Mobilità sostenibile

La mobilità è essenziale per lo sviluppo della società e dell'economia e può risultare decisiva per il successo delle politiche ambientali e sociali, la qualità della vita, la competitività industriale, la protezione dell'ambiente nonché le politiche di inclusione e coesione sociale, di sviluppo urbano e sicurezza.

Nel contesto attuale le agende strategiche devono essere integrate e coordinate, considerando i diversi e interconnessi fattori legati sia alla domanda e ai comportamenti dei consumatori sia all'offerta di servizi e modalità di trasporto. La mobilità ideale consente di soddisfare i bisogni di muoversi, accedere e comunicare, e di stabilire relazioni senza sacrificare valori umani e ambientali. La ricerca sui sistemi, modi/mezzi di trasporto e infrastrutture deve garantire l'equilibrio tra le quattro declinazioni della sostenibilità: sociale (bisogni delle persone), ambientale (preservazione e riqualificazione), economica (razionalità di spesa, di consumi e sviluppo/competitività industriale) e culturale (accettabilità, inclusività, ricreazione, turismo).

La sfida più impegnativa che si è oggi chiamati ad affrontare è la riduzione della dipendenza da fonti non rinnovabili e la transizione pulita e sostenibile nei settori dell'energia e dei trasporti verso la neutralità climatica tramite modelli, sistemi, componenti e tecnologie innovative. La crescente sensibilità ambientale spinge a un cambio di paradigma della mobilità, che deve orientarsi verso soluzioni innovative e sempre più sostenibili. La Conferenza sul clima (COP21) del dicembre 2015 conferma che il trasporto è determinante per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra. A tal proposito, il nostro Paese ha sottoscritto l'Accordo di Parigi impegnandosi a contenere l'aumento della temperatura mondiale al di sotto di 2 °C (scenario 2DS, *2-Degree Scenario*) e di proseguire gli sforzi per ridurne l'incremento a 1,5 °C (scenario B2DS, *Beyond 2-Degree Scenario*). Tuttavia, l'attuale scenario tecnologico non garantisce il raggiungimento di tali obiettivi e richiede di andare oltre i limiti delle tecnologie correnti, attraverso la ricerca e l'innovazione.

L'innovazione del settore dei trasporti basata su modelli e profili di mobilità più sostenibili e su tecnologie verdi e pulite genera un impatto immediato e misurabile sull'ambiente e sulla qualità della vita. Inoltre, essa indirettamente riduce la dipendenza energetica e crea occupazione e nuove filiere produttive. Infine, sistemi e infrastrutture di trasporto moderni, efficienti e sicuri determinano economie e opportunità di sviluppo forieri di nuove risorse per la transizione verso la mobilità sostenibile.

L'emergenza del 2020 ha messo in evidenza l'esigenza di creare filiere produttive strategiche nazionali ed europee, complete e competitive. Nell'attuale contesto di forte accelerazione e innovazione, legato alla quarta rivoluzione industriale, la mobilità gioca un ruolo chiave. La ricerca e lo sviluppo di tecnologie di stoccaggio dell'energia elettrica e di nuovi sistemi propulsivi, la penetrazione delle fonti rinnovabili e la diffusione di veicoli, reti e sistemi intelligenti e connessi, devono rispondere alle sfide della decarbonizzazione e della sostenibilità delle nuove filiere produttive, rafforzando il ruolo cruciale della mobilità elettrica nel panorama dei trasporti del nuovo millennio.

L'evoluzione verso un modello di mobilità sostenibile potrà, peraltro, rivoluzionare i segmenti di mercato tradizionali, permettendo a diversi attori di offrire nuovi servizi e prodotti, sviluppare nuove tecnologie, materiali e componenti, nuovi modelli di business e approcci collaborativi, stimolare iniziative economiche, politiche e strategie attente al consumo delle risorse (flusso dei materiali, circolarità, *second life* e *zero-waste*).

La ricerca per la mobilità sostenibile deve:

- creare un sistema resiliente di mobilità sicura, equa, accessibile e a zero-incidentalità;
- promuovere una mobilità *green*, *clean* e *climate-neutral*;
- favorire lo sviluppo di un'industria nazionale dei trasporti e di soluzioni per la produzione di servizi di mobilità

all'altezza delle più avanzate frontiere della ricerca globale, nonché strategicamente specializzata rispetto alle attitudini, competenze e prospettive di sviluppo tipiche del Paese.

Il Programma nazionale per la ricerca nell'ambito dell'area di intervento "Mobilità sostenibile" prende in considerazione tutto il processo, dall'idea, anche visionaria, fino al prodotto e al suo riciclo o riuso a fine vita, supportando tutte le fasi di ricerca, sviluppo, dimostrazione, trasferimento e immissione sul mercato.

Le linee strategiche dell'area di intervento "Mobilità sostenibile" sono articolate come descritto nella figura seguente:

Schema sintetico dell'organizzazione del documento.

Articolazione 1. Sistemi di supporto all'analisi e al governo della mobilità

La riduzione dell'impatto dei trasporti sull'ambiente e la salute, lo sviluppo di infrastrutture efficienti e innovative e l'incremento della sicurezza dei trasporti, per modalità e tra modalità, richiedono maggiore attenzione alla ricerca sulle determinanti sociodemografiche ed economiche legate ai comportamenti individuali e collettivi di mobilità. Vanno indagate, inoltre, le dimensioni valoriali e attitudinali sottese, normalmente poco trattate, al fine di promuovere la transizione dal possesso all'utilizzo degli strumenti di mobilità e, più in generale, processi di razionalizzazione collettiva delle risorse. Pari attenzione si dovrà riservare alla ricerca sulle relazioni tra morfologia dei sistemi insediativi e domanda di mobilità, per migliorare una realtà ancora troppo dominata dalla mobilità veicolare privata e dalla presenza di un parco veicolare consistente, vetusto e ad alimentazione tradizionale. Sul lato delle politiche occorre incentivare la ricerca sull'efficacia, efficienza e inclusività degli interventi e sull'integrazione delle misure e degli strumenti di pianificazione territoriale, della mobilità e dei trasporti. La ricerca dovrà fornire alle politiche di governo della mobilità nuovi ed efficienti metodi e modelli di analisi, programmazione e pianificazione che tengano conto della crescente disponibilità di dati provenienti da veicoli, infrastrutture e sistemi di gestione dei servizi, nonché dell'utilizzo di tecniche di *big data analytics*.

Priorità di ricerca:

- *travel behaviour* e *modal choice* (domanda di mobilità);
- DSS (*Drive Safe System*) per l'inclusione sociale e territoriale;
- DSS per politiche nazionali per la mobilità e i trasporti;
- DSS per politiche di interazione trasporti/territorio;
- tecnologie, soluzioni e modelli di business per *open data* nei trasporti;
- tecnologie e soluzioni per modelli di mobilità *data-driven*;
- DSS strategici per la gestione dei rischi pandemici e la protezione civile.

Impatti attesi:

- ripartizione modale più sostenibile (modello 30 - 30 - 30);
- diffusione e consolidamento della cultura del *mobility management;*
- riduzione dell'impatto dei trasporti sull'ambiente e la salute umana;
- sviluppo di infrastrutture di trasporto efficienti e innovative;
- incremento della sicurezza dei trasporti, per modalità e tra modalità.

Articolazione 2. Infrastrutture per la mobilità accessibili, ecocompatibili, intelligenti e sicure, resilienti, efficienti

Le reti di infrastrutture e gli hub sono elementi necessari per i servizi di mobilità e trasporto e la loro adeguatezza fisica e funzionale è condizione necessaria di benessere e sviluppo. L'innovazione deve permettere di progettare, in maniera integrata, le nuove infrastrutture e ottimizzare quelle esistenti per connettere l'Italia al suo interno e con il resto del mondo, anche in riferimento alle nuove tecnologie e forme di mobilità, esplicitando i relativi effetti economici e sociali. Occorrono infrastrutture finalizzate alla accessibilità e alla ridotta impronta ambientale, con riferimento sia alla costruzione/manutenzione sia all'utilizzo. È importante conoscere e gestire il rischio dovuto all'invecchiamento del patrimonio infrastrutturale esistente, controllandone continuamente lo stato di salute, rispetto alle fragilità e agli effetti valutati a livello di rete, assicurandone la resilienza rispetto alle fragilità puntuali ma anche rispetto agli effetti di rete, considerando gli eventi sismici, climatici estremi nonché gli attacchi intenzionali e quanti altri fattori di suscettibilità. Condizione necessaria per l'ammodernamento delle reti infrastrutturali e la loro sostenibilità è la trasformazione digitale delle stesse, anche nella direzione dei servizi *infrastructure-side* abilitanti la guida autonoma, connessa e dei servizi C-ITS (*Cooperative Intelligent Transport Systems*), nonché del ruolo dei terminali di trasporto come elementi di snodo dei traffici e della mobilità, possibile attraverso il miglioramento dell'accessibilità, efficacia ed efficienza anche grazie ad azioni di adeguamento tecnologico.

Priorità di ricerca:

- accessibilità delle infrastrutture e loro impronta ambientale;
- intelligenza e sicurezza di infrastrutture e hub della mobilità;
- servizi cooperativi specifici *roadside* per mezzi pesanti, TPL (trasporto pubblico locale) e *truck platooning*;
- salute e resilienza delle reti;
- efficienza e controllo del traffico abilitati da soluzioni e tecnologie cooperative;
- logistica e trasporto intelligente delle merci.

Impatto atteso:

- aumento dell'accessibilità e diminuzione dei costi di trasporto;
- riduzione dell'impatto dei trasporti sull'ambiente e la salute umana;
- maggiore resilienza delle infrastrutture e delle reti;
- promozione della multimodalità di logistica e servizi di mobilità passeggeri;
- incremento della sicurezza dei trasporti, per modalità e tra modalità;
- sviluppo di infrastrutture di trasporto efficienti e innovative.

Articolazione 3. Servizi di mobilità e trasporto

Lo sviluppo di servizi innovativi di mobilità e trasporto richiede di indirizzare la ricerca sui vantaggi socioeconomici e ambientali della mobilità attiva, della micromobilità e dell'integrazione delle forme più sostenibili di trasporto, anche grazie allo sviluppo dei sistemi MaaS (*Mobility as a Service*), al potenziamento della condivisione dei mezzi, allo sviluppo dei sistemi tecnologici e dei modelli organizzativi e di business a supporto della multimodalità e della qualità dei servizi. Per tali obiettivi è necessario sviluppare tecnologie abilitanti e offerte di servizi innovativi con una crescente attenzione alla tematica della salute e della protezione dei cittadini, della qualità della vita, della fruizione anche edonica degli spazi e dei luoghi antropici e naturali. Si evidenzia, infine, l'importanza degli elementi di design industriale (dove il nostro Paese è storicamente leader) per la realizzazione di sistemi di mobilità attrattivi, in termini di mezzi e infrastrutture, in grado di migliorare la narrazione dei nostri territori anche in chiave turistica.

Priorità di ricerca:

- efficienza, equità e qualità del trasporto pubblico;
- *sharing mobility;*
- micromobilità, mobilità assistita e mobilità attiva;
- MaaS (*Mobility as a Service*);
- mobilità turistica e turismo della mobilità.

Impatto atteso:

- incremento della fruibilità dei servizi di trasporto, per modalità e tra modalità, in termini di sicurezza, salute, accessibilità, integrazione, connessione, automazione e flessibilità d'utilizzo;
- sviluppo della rete di trasporto futura e del sistema di gestione del traffico integrato;
- aumento dell'attrattività dei territori attraverso la realizzazione di sistemi e servizi di mobilità innovativi e caratterizzanti in termini turistici (ma non esclusivamente);
- riduzione dell'impatto dei sistemi di trasporto sull'ambiente e sulla salute umana.

Articolazione 4. Reti e veicoli *green* e *clean*

La transizione verso una mobilità *zero-emission* è già iniziata e prevede la progressiva penetrazione di mezzi di mobilità e trasporto elettrici o alimentati con biocombustibili, insieme allo sviluppo di infrastrutture di ricarica e rifornimento. Le attività di ricerca e sviluppo devono essere orientate a ottimizzare le diverse opportunità offerte dalla propulsione elettrica e da quella ibrida. La diffusione di mezzi e veicoli elettrici è fortemente limitata dalla carenza o assenza delle infrastrutture di ricarica delle batterie o di distribuzione dell'idrogeno e richiede la ricerca di nuove soluzioni come la ricarica senza fili, l'uso del fotovoltaico e, soprattutto, lo sviluppo di nuovi materiali e tecnologie per l'accumulo di energia. Le nuove tecnologie possono contribuire in maniera significativa alla decarbonizzazione, potendo essere trasversalmente impiegate in tutti i settori del trasporto e anche in applicazioni *off-road*. La riprogettazione dei mezzi di mobilità e trasporto si incrocia con la trasformazione dei comportamenti di mobilità, con l'opportunità di realizzare una specializzazione funzionale di mezzi e veicoli che incontri anche le nuove richieste funzionali di una mobilità fondata sull'utilizzo e non sul possesso e sulla presenza di grandi flotte tecnologicamente avanzate. Particolare attenzione si ritiene necessaria verso i nuovi paradigmi di progettazione, *testing* e validazione basati sugli strumenti di co-simulazione (mobilità, traffico, veicolo e componenti) in ambiente XIL (MIL, SIL, HIL, VHEIL ecc.).

Priorità di ricerca:

- biocombustibili, *e-fuels* e vettori energetici *green* e *clean*;
- nuovi materiali e nuove tecnologie per batterie ad alta capacità, batterie ibride e assistite da fotovoltaico, celle a combustibile e altri sistemi di accumulo di energia per il settore di mobilità e trasporto;
- metodologie di analisi, co-simulazione e *physical modelling* (MIL, SI, VHIL);
- metodologie per la gestione ottimale di sistemi *multi-energy*;
- metodologie di *Life Cycle Management*, SWOT, PESTE (*Political, Economic, Social, Technological, and Environmental*) e costi-benefici;
- sistemi di sicurezza attiva per la riduzione della massa e del fabbisogno energetico dei veicoli;
- piattaforme multimodali e multifunzionali per la mobilità e il trasporto specializzate per le diverse applicazioni (aereo, navale, ferroviario, stradale, veicoli pesanti, *off-roads*);
- propulsori e sistemi di propulsione con tecnologia ibrida (bimodale), elettrica e idrogeno;
- veicoli e reti per la micromobilità e per altre applicazioni speciali;
- tecnologie e sistemi per la gestione e la ricarica delle batterie;
- sistemi innovativi di generazione, trasporto e stoccaggio dell'idrogeno;
- sistemi *multi-energy* per integrare infrastrutture, reti, tecnologie e mezzi per la mobilità;
- sistemi e tecnologie per la riconversione ecologica dei veicoli;
- potenziamento e sviluppo delle infrastrutture di ricarica delle batterie e di distribuzione dell'idrogeno;
- infrastrutture e sistemi di approvvigionamento energetico dei mezzi di trasporto;
- tecnologie per l'alleggerimento per veicoli su gomma, ferroviari e per vie d'acqua;
- *testing*, dimostrazione, omologazione, certificazione e pre-industrializzazione prototipi.

Impatto atteso:

- mobilità e trasporto accessibile, sicuri, verdi, puliti e competitive;
- neutralità climatica, decarbonizzazione e verso zero inquinamento di tutte le tecnologie di mobilità e trasporto (aereo, navale, ferroviario, stradale, veicoli pesanti e *off-roads*);

- penetrazione diffusa delle fonti rinnovabili nella produzione di biocombustibili e nella generazione dei nuovi vettori energetici (elettricità e idrogeno);
- potenziamento e sviluppo delle tecnologie e infrastrutture di ricarica delle batterie o di distribuzione dell'idrogeno e dei sistemi di *storage*;
- sviluppo di un'industria nazionale dei trasporti innovativa, strategicamente specializzata e resiliente attraverso la collaborazione sistematica con l'università e la ricerca e la creazione di filiere produttive complete, indipendenti e competitive;
- sviluppo di una nuova economia per nuove opportunità di business e occupazione.

Articolazione 5. Mobilità automatizzata, connessa e sicura

L'introduzione dei veicoli semiautonomi e autonomi è uno dei maggiori driver di cambiamento nel mondo della mobilità, ma anche nell'industria e nella produzione di servizi. Si diffonderanno a tutti i livelli, anche nei sistemi di trasporto pubblici, e i veicoli autonomi a bassa velocità per il trasporto di persone e cose sono già adatti per un utilizzo in aree limitate, come gli aeroporti, le aree industriali, gli ospedali, i centri storici e i siti turistici. È necessaria l'innovazione di conoscenza circa l'effetto di condizioni di mobilità e traffico complesse sull'automazione e di questa ultima sui sistemi di mobilità, sulla correlazione tra mobilità a crescente automazione e *vehicle sharing*, sui possibili effetti a livello di sistema di una mobilità pubblica autonoma e connessa, come pure sulle esigenze in termini di capacità di scambio dati tra attori coinvolti, ai fini della messa in opera dei vari servizi.

Sarà, inoltre, cruciale investire sulla ricerca relativa all'ottimizzazione e al controllo della mobilità e del deflusso in reti di traffico a crescente automazione e connessione, sfruttando i veicoli sviluppati per queste reti come elementi attivi per la regolarizzazione dei flussi di traffico urbani ed extraurbani. Attenzione andrà dedicata allo sviluppo di veicoli autonomi non terrestri (aerei o nautici) per la mobilità di persone e il trasporto delle merci. Non dovrà essere trascurato lo sviluppo di infrastrutture di utilizzo pubblico per il *testing*, la validazione e l'omologazione di veicoli e reti a crescente automazione, sviluppando anche strumenti integrati in grado di utilizzare nel campo più opportuno ambienti virtuali e modelli, ambienti controllati, ambienti protetti, ambienti reali e *living labs*. Sarà necessario sviluppare metodologie che permettano di tenere conto in fase di progettazione/validazione delle reazioni dei "guidatori" umani, per risolvere sia le problematiche connesse con le fasi di non completa automazione sia i problemi posti dalla compresenza di veicoli automatizzati e manuali nelle correnti di traffico. Particolare attenzione, in questo contesto, rivestono le questioni di *cybersecurity* dei sistemi di guida autonoma e connessa e dei sistemi di mobilità a elevata automazione (Cfr. ambito "Sicurezza per i sistemi sociali", area d'intervento "Cybersecutity", articolazione 2).

Priorità di ricerca:

- tecnologie e soluzioni per la sicurezza attiva e preventiva;
- sicurezza dei veicoli del trasporto pubblico e del trasporto pesante;
- mobilità a crescente automazione (verso la guida autonoma), inclusi sistemi di TPL ad alta automazione per il trasporto flessibile di persone e cose;
- modellazione del comportamento degli utenti in presenza di nuove tecnologie e forme di mobilità;
- ottimizzazione/controllo della mobilità e del deflusso in reti di traffico a crescente automazione e connessione;
- veicoli semiautonomi e autonomi per il trasporto pubblico;
- *testing*, validazione, omologazione di veicoli e reti a crescente automazione (laboratori, *proving ground*, strade pubbliche-tecnologie, strumenti e aspetti normativi);
- veicoli autonomi non terrestri per la mobilità di persone e trasporto delle merci;
- *cybersecurity* delle soluzioni di guida autonoma e connessa.

Impatto atteso:

- sviluppo di un sistema di trasporto stradale automatizzato, connesso, sicuro e competitivo anche con interventi di adeguamento o ammodernamento sulle flotte circolanti, limitato a sistemi ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) di Livello 1;
- miglioramento dell'efficienza e della sostenibilità dei sistemi di trasporto pubblico;
- riduzione dei costi e dell'impatto ambientale dei trasporti terrestri e non;

- sviluppo della rete di trasporto futura e del sistema di gestione del traffico integrato;
- riduzione della incidentalità e incremento della sicurezza dei trasporti, per modalità e tra modalità.

Articolazione trasversale. *Cross-cutting actions*

Priorità di ricerca:

- *research actions* trasversali;
- *research infrastructures*;
- *research competences*;
- *research deployment.*

Impatto atteso:

- creazione di una comunità scientifica interdisciplinare per la mobilità sostenibile e di piattaforme di cooperazione, favorendo lo sviluppo di banche dati accessibili e integrate sulla mobilità e di tecniche di *big data analytics*;
- valorizzazione di laboratori esistenti e creazione di punti di riferimento nazionali per la ricerca di settore;
- promozione della capacità di produzione di brevetti industriali;
- supporto alla *open innovation* e alla creazione di spin-off e start-up;
- competitività globale dell'industria manifatturiera.

*Il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento, mentre il **Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri** ha fornito contributi per la definizione dell'articolazione 5.*

5.5.2 Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento

La velocità e l'accelerazione del cambiamento climatico e la sua ormai accertata attribuzione all'attività umana come causa dominante lo rendono uno dei principali problemi scientifici del momento. La ricerca scientifica deve affrontare la complessità dell'evoluzione del clima, che coinvolge l'eterogeneo sistema Terra, e la varietà degli effetti combinati che il cambiamento ha sui sistemi fisici, naturali, agricoli, urbani, sociali, economici e della salute. Questo richiede competenze interdisciplinari e approcci olistici capaci di tener conto della non-linearità dei processi, generata da meccanismi di compensazione e amplificazione e di valutare opportunità e controindicazioni innescate dalle numerose interazioni fra i diversi sistemi coinvolti. La scienza deve anche rispondere alla domanda sociale di individuare strategie tempestive per intervenire sulle cause (strategie di mitigazione per una riduzione delle emissioni clima-alteranti nazionali di almeno ogni anno il 5% a partire dal 2020/21) e sugli effetti (strategie di adattamento). Questa sfida richiede il concorso di competenze transdisciplinari che coinvolgano settori di ricerca anche storicamente distanti, al fine di affrontare le diverse problematiche in maniera complessiva ed esaustiva (fisica dell'atmosfera, climatologia, chimica, biologia, architettura, economia, medicina, matematica, informatica, sociologia, ingegneria, geologia, psicologia, filosofia). Inoltre, il carattere globale del problema conferisce una dimensione internazionale agli interventi e alla ricerca scientifica. I progetti di ricerca nazionali devono avvalersi delle iniziative internazionali e contribuirvi in modo proattivo, prestando attenzione a problemi e interessi del nostro Paese, collocato nel Mediterraneo, una delle aree del globo dove gli effetti del cambiamento climatico sono e saranno nei prossimi decenni tra i più intensi. Tali effetti richiedono di dedicare attenzione alle caratteristiche geografiche ed economiche del Paese e alle previsioni a carattere locale di interventi di adattamento appropriati ed efficaci. L'importanza del clima, a tutti gli effetti da considerare un *global common*, e l'urgenza con cui la società richiede risposte per evitare un suo cambiamento stanno mobilitando istituzioni e ricercatori. Il processo di trasformazione deve essere gestito con iniziative di coordinamento dell'esistente

e di sviluppo della formazione specialistica nel settore. La ricerca deve fornire risposte concrete e dialogare con le istituzioni e le comunità, tenendo conto che l'agire collettivo è l'unico che può modificare l'evoluzione del clima.

Articolazione 1. Determinazione delle sorgenti e dei pozzi di agenti clima-alteranti, attribuzione e quantificazione delle cause antropiche

Occorrono osservazioni di variabili chiave per determinare pozzi e sorgenti, quantificare forzanti e feedback, comprendere l'evoluzione del clima e i processi fisico-chimici, e disegnare modelli avanzati.

Obiettivo: migliorare le osservazioni per comprendere i processi e quantificare pozzi e sorgenti.

Impatto atteso: comprendere i processi che causano le emissioni e l'incidenza del cambiamento climatico sui sistemi biofisici, insediativi e infrastrutturali, sulla salute e sul benessere socioeconomico delle comunità; quantificare più accuratamente le sorgenti e i pozzi degli agenti climalteranti; migliorare i modelli, per ottenere informazioni più accurate anche a scala locale; determinare i responsabili delle attività umane che causano le emissioni; supportare le scelte più efficaci per una gestione equa dei *global commons*; disaccoppiare lo sviluppo socioeconomico dall'aumento delle concentrazioni di agenti clima alteranti.

Articolazione 2. Comprensione delle interazioni che determinano l'evoluzione e la variabilità del clima

L'uso combinato di osservazioni e di modelli sempre più accurati favorisce la comprensione delle interazioni tra le diverse componenti del sistema Terra, e del rischio di potenziali transizioni radicali del clima (punti di non-ritorno), con particolare attenzione alle scale locali.

Obiettivo: aumentare la comprensione delle interazioni tra i processi che determinano il clima.

Impatto atteso: simulare più realisticamente le interazioni fra le diverse componenti delle attività antropiche; migliorare le capacità di simulazione delle catene modellistiche per ridurre l'incertezza; migliorare il monitoraggio dell'evoluzione del clima con un'assimilazione più accurata delle osservazioni; valutare le probabilità di transizioni improvvise del clima; aumentare la comprensione della variabilità climatica su scale globali, regionali e locali, in particolare sull'area euromediterranea e dell'Italia.

Articolazione 3. Miglioramento dei modelli del sistema Terra e riduzione dell'incertezza delle proiezioni

I modelli del sistema Terra sono gli unici strumenti disponibili per comprendere l'evoluzione del clima e generare proiezioni; essi, integrati con modelli d'impatto, permettono di stimare gli effetti del cambiamento climatico su aree urbane e infrastrutture, su benessere e salute.

Obiettivo: sviluppare una modellistica avanzata, capace di fornire informazioni meno incerte anche a scala locale.

Impatto atteso: ridurre l'incertezza nelle proiezioni future; migliorare la stima degli impatti e fornire informazioni più accurate e affidabili per lo sviluppo di strategie di mitigazione e di adattamento; migliorare le tecniche di assimilazione dati; migliorare la previsione dell'evoluzione del clima a scala 1-10 anni, e le proiezioni a lungo termine; generare rianalisi, previsioni e proiezioni ad alta risoluzione.

Articolazione 4. Comprensione, valutazione e previsione degli impatti del cambiamento climatico su ambienti naturali e costruiti, sulla salute, sul benessere e sulla coesione delle società

Gli eventi estremi e di lungo periodo legati al cambiamento climatico hanno impatti sui contesti biofisici, insediativi, infrastrutturali, socioeconomici e della salute, quali nuove scarsità, interruzioni di servizi o accelerazioni di situazioni compromesse.

Obiettivo: analizzare gli impatti, comprendere le vulnerabilità e valutare più accuratamente i rischi.

Impatto atteso: sviluppare modelli previsionali e metodi di stima di rischio, vulnerabilità e resilienza; migliorare le conoscenze della variabilità spazio-temporale degli impatti presenti e futuri dei rischi ambientali, insediativi, sociali e

sulla salute; analizzare e valutare i rischi definendo le aree di prevenzione e intervento, i costi economici e sociali, le priorità nonché la mediazione degli interessi sociali.

Articolazione 5. Metodi e strumenti di contabilità delle emissioni degli agenti clima-alteranti

La quantificazione delle emissioni consente di individuare le attività umane che maggiormente contribuiscono al cambiamento climatico e per le quali è più urgente lo sviluppo di misure di mitigazione.

Obiettivo: sviluppare nuovi metodi di contabilità delle emissioni nelle attività di produzione, distribuzione, consumo di beni.

Impatto atteso: sviluppare metodi e strumenti migliorativi e trasversali per il calcolo delle emissioni; integrare approcci basati su modelli innovativi di produzione e consumo, con una visione riferibile ai cicli di vita di prodotti e sistemi; realizzare metodi e strumenti di contabilità applicabili ai diversi settori delle attività umane, ai diversi contesti ambientali e territoriali e alle differenti realtà produttive; orientare le politiche di mitigazione e verificarne le ricadute, per indirizzare i processi di decarbonizzazione e sensibilizzare la popolazione a comportamenti responsabili.

Articolazione 6. Valutazione della efficacia e della sostenibilità delle misure di mitigazione

La mitigazione richiede progetti che, partendo dai settori maggiormente responsabili, portino allo sviluppo di misure integrate, capaci di riorganizzare il territorio e i propri usi. Sono necessarie valutazioni sulla reale efficacia della riduzione delle emissioni e della cattura e stoccaggio degli agenti climalteranti, sui livelli di sostenibilità e accettazione da parte della popolazione e sull'effetto sugli ecosistemi e servizi ecosistemici.

Obiettivo: definire strategie e individuare azioni per una riduzione sostanziale e crescente delle emissioni e valutarne l'efficacia.

Impatto atteso: individuare azioni e progetti innovativi che portino ad una riduzione delle emissioni e dei fabbisogni energetici; sviluppare politiche, piani d'investimento e forme di organizzazione socioeconomica e produttiva che riducano le emissioni; raggiungere l'obiettivo del Green Deal europeo della transizione energetica e della decarbonizzazione dei sistemi biofisici, insediativi/edilizi, infrastrutturali, socioeconomici e produttivi.

Articolazione 7. Sviluppo di strategie e azioni per l'attuazione di interventi di adattamento climatico

Per prevenire o limitare i danni e cogliere opportunità, occorre attivare strategie, interventi, piani e progetti di adattamento per i sistemi biofisici, insediativi/edilizi, infrastrutturali, per il patrimonio culturale, la salute e di produzione/consumo.

Obiettivo: definire metodi, strumenti e approcci operativi per un efficace ed equo adattamento.

Impatto atteso: sviluppare metodi e procedure di *downscaling* a supporto della pianificazione di azioni di adattamento finalizzate alla riduzione di vulnerabilità ed esposizione e al mantenimento di funzionalità ed erogazione di servizi in presenza di impatti climatici; adattare i contesti con azioni *green*, *grey* e *blue* nella convergenza di scelte sostenibili e mitigazione; favorire approcci di gestione flessibile in risposta all'evolversi del clima con misure tecnologiche, ambientali, ecosistemiche; promuovere approcci integrati multirischio e interventi di transizione verso ecodistretti e sistemi ambientali resilienti; incrementare la resilienza della produzione industriale, agroalimentare e animale e in campo sanitario; favorire azioni di planning e partecipazione per la gestione delle migrazioni climatiche e dei conflitti per le risorse.

Articolazione 8. Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico

Negli ambiti biofisico, insediativo/edilizio, infrastrutturale, socioeconomico e della salute umana e della produzione nei vari settori, si richiede di valutare l'efficacia dei processi per l'incremento della resilienza e la riduzione di vulnerabilità ed esposizione.

Obiettivo: valutare l'efficacia di misure e interventi di adattamento in una prospettiva di una transizione equa.

Impatto atteso: sviluppare modelli di conoscenza, previsione, misurazione e monitoraggio dell'efficacia delle azioni di adattamento; proporre protocolli e sistemi di indicatori, simulazioni e modellazioni informative; misurare l'incidenza di azioni di *green* e *blue economy* ed economia circolare per la protezione da impatti e danni climatici; valutare le ricadute delle azioni di adattamento garantendo coesione e giustizia sociale.

Articolazione 9. Formazione e divulgazione scientifica sul cambiamento climatico

Occorre istituire specifiche classi di laurea sia triennale sia magistrale, scuole di specializzazione e corsi di dottorato che formino esperti in cambiamento climatico, adattamento e mitigazione. Inter, trans e multidisciplinarietà richiedono l'attivazione di corsi di laurea interateneo, in collaborazione con enti e istituzioni di ricerca nazionali e internazionali.

Obiettivo: attuare processi formativi nel campo del cambiamento climatico, l'adattamento e la mitigazione.

Impatto atteso: formare laureati in grado di affrontare le problematiche del cambiamento climatico mediante approcci nuovi; incrementare le conoscenze di studenti e cittadini sui concetti di base del sistema climatico, la mitigazione e l'adattamento; promuovere l'istituzione di un "progetto clima" innovativo che coinvolga università, enti di ricerca e scuole primarie e secondarie; aumentare la consapevolezza sulle conseguenze ambientali, ecologiche, economiche, sociali e sulla salute del cambiamento climatico.

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 4 e 7 di questa area d'intervento.*

5.5.3 Energetica industriale

Il contesto generale parte dalla condivisione delle scelte strategiche europee e nazionali che hanno l'obiettivo di pervenire entro il 2050 a una pressoché completa decarbonizzazione del Paese implementando in parallelo misure per valorizzare i benefici socioeconomici e ambientali della transizione energetica. Insieme agli elementi di contesto, che hanno consentito di definire le articolazioni delle linee di ricerca, è necessario considerare gli impatti generali verso cui le linee stesse devono orientarsi per sostenere la transizione energetica del Paese.

In particolare, è necessario:

- aumentare lo sviluppo competitivo e l'occupazione che deriveranno dalla spinta alla transizione energetica attraverso l'implementazione di azioni di ricerca e sviluppo di nuovi materiali, tecnologie, prodotti e servizi per l'energia mirati al trasferimento tecnologico verso la filiera industriale nazionale;
- supportare il processo di cambiamento del sistema nazionale che prevede un maggiore utilizzo dell'energia elettrica come fattore abilitante per la realizzazione di un sistema intelligente, flessibile, resiliente, sicuro e in grado di massimizzare l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, nonché promuovere lo sviluppo di comunità energetiche;
- sostenere il ruolo dei gas nel processo di decarbonizzazione energetica, favorendo il *sector coupling* e sviluppando una traiettoria chiara e coerente verso i gas da rinnovabili e decarbonizzati grazie all'implementazione di tecnologie CCUS (*Carbon Capture, Utilization, and Storage*).

Quanto sopra è inserito in un quadro di costante attenzione per la riduzione dei costi e dei consumi dell'energia per gli usi finali, a beneficio dei consumatori e della competitività del Paese.

L'opportunità di una maggiore elettrificazione negli usi finali di energia è evidente. La transizione verso la mobilità elettrica costituisce uno strumento essenziale per la decarbonizzazione e avrà un impatto rilevante a livello sistemico se si tiene conto che la rete elettrica dovrà integrarsi con le infrastrutture di ricarica, i veicoli elettrici e la rete scambieranno informazioni e i veicoli stessi potranno costituire un elemento della rete, fornendo capacità di accumulo e regolazione.

L'evoluzione dei consumi energetici in ambito industriale non deve prescindere dall'evoluzione delle nuove tecnologie di produzione (*Industry 4.0*) e dallo sviluppo di soluzioni pulite, distribuite, resilienti, possibilmente autonome, intelligenti e vicine agli utilizzatori/consumatori. Inoltre, è evidente l'esigenza di potenziare l'autonomia nazionale e di riconvertire settori chiave della produzione industriale e della logistica, come emerso durante l'emergenza COVID-19. In tale contesto si colloca anche l'incremento dell'efficienza energetica conseguibile con lo sviluppo di nuovi materiali e tecnologie e con una visione integrata degli insediamenti industriali, intesi come insieme di processo produttivo, impianti di servizio e strutture distributive.

Il comparto industriale rappresenta un settore dove l'elettrificazione è già ampiamente presente e può ancora svilupparsi grazie all'applicazione di soluzioni a energia rinnovabile, alla poligenerazione, al controllo intelligente di linee produttive, allo sviluppo di tecnologie e sistemi innovativi di pianificazione, esercizio, monitoraggio e controllo delle reti elettriche industriali (*Smart Industry*) e all'introduzione degli accumuli e recuperi di energia nelle diverse forme che introducono nuove possibilità di risparmio energetico. Le azioni di ricerca dovranno, quindi, mitigare la possibile spinta sui consumi energetici derivante dall'introduzione di sistemi di produzione basati sul paradigma *Next Production Revolution*, mantenendo e monitorando il trend di decrescita dell'intensità energetica che posiziona l'Italia tra i Paesi più virtuosi al mondo nel campo delle misure di efficienza, doverosamente allargata alla visione complessiva del consumo delle risorse (flusso dei materiali, circolarità, *second life*, *zero-waste*).

La maggiore penetrazione di fonti rinnovabili avrà un impatto sistemico rilevante che offre opportunità di innovazione e valorizzazione delle risorse nazionali. La ricerca nell'ambito delle reti energetiche e della loro integrazione dovrà approfondire quelle soluzioni che aumentino l'interoperabilità, la flessibilità e la sicurezza incrementando la digitalizzazione e la disponibilità di dati e di soluzioni di controllo *real time*. Tecnologie e strumenti possono essere, inoltre, sviluppati per consentire l'integrazione tra le reti e la sinergia tra gli operatori di trasmissione e distribuzione. Fondamentale, in questo contesto, è l'accumulo di energia. L'Italia si giova di una situazione favorevole degli impianti idroelettrici, molti dei quali sono stati riconvertiti in sistemi di accumulo: di fronte alla crescente penetrazione delle rinnovabili a regime variabile, è necessario prevedere sviluppi futuri e integrazioni anche con altre forme di accumulo. I sistemi di accumulo elettrochimico offrono ampi margini di sviluppo, in termini sia tecnologici sia di utilizzo. In questo contesto è essenziale lo sviluppo di nuove batterie con materiali facilmente reperibili e di cui sia possibile il recupero e riutilizzo nell'ottica di un'economia circolare. Le soluzioni delle diverse forme di accumulo di energia dovranno svilupparsi a tutti i livelli (da quello di utente a quello di rete), tenendo conto dei servizi richiesti e dell'evolvere del sistema verso soluzioni distribuite, integrate, intelligenti e interconnesse (*smart grids*).

Ampi margini di sviluppo sono presenti nell'elettronica di potenza, che svolge un ruolo abilitante nel processo di decarbonizzazione, fornendo i mezzi per la gestione e il controllo della conversione ad alta efficienza e della trasmissione a grande distanza dell'energia elettrica.

Oltre alle ricadute secondarie finora conseguite, annoverabili per lo più in termini di sviluppo tecnologico, sono possibili, nei tempi previsti della transizione energetica, risultati delle ricerche che si stanno conducendo nell'ambito della fusione nucleare avanzata, dove l'Italia partecipa ormai da anni nell'ambito di intensivi programmi europei.

In questo contesto, è importante l'integrazione tra infrastrutture esistenti (ad esempio, tra le reti elettriche e del gas mediante le tecnologie *power-to-gas*) e la produzione (mediante processi dotati di tecnologie CCUS o altri processi che garantiscano almeno bilancio zero di CO_2 emessa) di vettori energetici puliti (idrogeno, metano, altri vettori gassosi e liquidi); inoltre, potranno essere sviluppate nuove infrastrutture locali per la gestione di idrogeno, biocombustibili e teleriscaldamento. L'utilizzo delle biomasse si integra nell'ambito dei sistemi multienergia, contando su un patrimonio forestale nazionale importante e sulla possibilità offerta dalla valorizzazione dei residui agricoli e degli allevamenti zootecnici.

Gli aspetti di ricerca sui singoli settori tecnologici non devono prescindere dallo sviluppo di metodologie e strumenti per la pianificazione energetica a livello nazionale e settoriale. In questo senso è auspicabile la disponibilità di una infrastruttura di ricerca nazionale e/o la messa a sistema di banche dati interdisciplinari a supporto di analisi multisettoriali. La pianificazione energetica può, infatti, mettere in evidenza opportunità per rafforzare il Paese anche dal punto di vista strutturale e geopolitico, aumentando la resilienza del sistema e la competitività delle aziende nazionali. In particolare, un ruolo fondamentale rivestono la diversificazione degli approvvigionamenti, l'interconnessione bidirezionale delle reti con l'estero, l'impiego sostenibile delle risorse locali, le sinergie con i Paesi

dell'area mediterranea e la geopolitica dei materiali strategici nella transizione energetica. La ricerca di pianificazione energetica avrà il compito di indicare le scelte più razionali per consentire un'evoluzione del sistema di regolamentazione che favorisca le nuove opportunità che nascono dalla ricerca tecnologica.

Articolazione 1. Generazione di energia da FER, accumuli energetici e reti europee e intercontinentali

Valorizzare le risorse nazionali e gli asset industriali e infrastrutturali per cogliere le opportunità di crescita economica, occupazionale e tecnologica offerte dalla transizione energetica e per rafforzare il ruolo svolto dal Paese nello sviluppo dell'area euromediterranea.

Impatto atteso:

- nuove tecnologie, nuovi materiali e componenti per lo sfruttamento delle FER (fonti energia rinnovabile), l'accumulo e la conversione di energia (meccanica, termica, elettrica, chimica);
- sviluppo di catene nazionali di valore per la produzione e utilizzo di energia elettrica e idrogeno da FER, per l'accumulo energetico, per l'elettronica di potenza e per la gestione dell'energia;
- integrazione del sistema energetico nazionale con quelli della regione mediterranea e con le reti intercontinentali elettriche e del gas;
- tecnologie per lo sviluppo e la gestione delle infrastrutture per i trasferimenti a grande distanza di energia elettrica con le relative interconnessioni.

Articolazione 2. Reti intelligenti, flessibili, integrate, resilienti e digitalizzate per una piena integrazione delle FER

Evoluzione, innovazione e integrazione dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia a supporto della transizione verso le FER, con diversificazione e controllo intelligente dei flussi dei vettori energetici.

Impatto atteso:

- tecnologie per l'affidabilità, efficienza, flessibilità e resilienza del sistema energetico nazionale;
- tecnologie per la cattura e il sequestro della CO_2 (CCUS), *sector coupling* tra reti energetiche e *commodities*, *Power-to-X*, e conversione *dual-energy* degli impianti di compressione gas;
- implementazione di *smart grids* e sviluppo delle relative tecnologie abilitanti (in particolare, convertitori elettronici di potenza, dispositivi a semiconduttore *wide-bandgap*, *smart metering*, digitalizzazione);
- adeguamento e ampliamento del Mercato elettrico e della Borsa dell'energia per rispondere alle sfide, alle esigenze e alle opportunità imposte dalla transizione energetica;
- tecnologie, modelli di business e adeguamenti normativi per la produzione e il *blending* di gas da FER e *low-carbon*.

Articolazione 3. Decarbonizzazione dell'industria: produzione locale da FER, uso efficiente e sostenibile dell'energia e dei materiali, trasformazione dei vettori energetici

Rilanciare il comparto industriale negli scenari della *Next Production Revolution* (NPR) e favorire la resilienza del Paese in presenza di eventi eccezionali, come la crisi sanitaria COVID-19 e i ricorrenti disastri naturali.

Impatto atteso:

- nuove tecnologie per la decarbonizzazione (produzione di energia da FER, biocombustibili, poligenerazione e sistemi multivettore);
- riduzione dell'intensità di utilizzo di materiali ed energia negli scenari della NPR mediante l'efficienza energetica, l'elettrificazione, la digitalizzazione, la domanda attiva, l'*auditing* e le BAT (*Best Available Techniques*);
- sviluppo di processi chimici e biologici per la produzione di vettori energetici *low-* e *zero-carbon* (ad esempio, idrogeno, metano, metanolo);
- miglioramento dell'efficienza energetica degli insediamenti industriali, in particolare nella produzione di calore di processo e nella "filiera fredda";
- nuove soluzioni per accumulo energetico, trasporto del calore, generazione e trasporto di fluidi freddi in ambito

industriale;

- decarbonizzazione delle filiere produttive ad alta intensità energetica (ad esempio, acciaio, cemento ecc.), recupero di energia e materiali da residui, rifiuti e processi industriali (*energy harvesting*, *water-energy nexus*) nell'ottica dell'economia circolare e resilienza.

Articolazione 4. La catena del valore delle comunità energetiche: verso sistemi energetici decentralizzati

Innovazione tecnologica e socioeconomica mediante l'implementazione di comunità energetiche (CE) con molteplici attori per incrementare la resilienza e l'autosufficienza del sistema energetico, migliorare la qualità della vita nelle città e favorire il ripopolamento dei piccoli centri urbani e delle aree rurali.

Impatto atteso:

- sviluppo di tecnologie e architetture di sistema per la gestione e la conduzione delle CE;
- metodi innovativi per la pianificazione energetica e per la valutazione dei suoi impatti sul sistema socioeconomico, sull'ambiente e sulla resilienza ai cambiamenti climatici;
- nuovi modelli di business per le CE con riferimento all'uso efficiente e condiviso delle risorse;
- implementazione delle CE e incremento della consapevolezza energetica e della partecipazione dei cittadini;
- sviluppo di comunità energetiche in ambito industriale, residenziale e misto e dei PED (*Positive Energy Districts*).

Articolazione 5. Il sistema energetico nazionale e i sistemi di trasporto terrestre, marino e aereo

Valorizzare le interazioni sinergiche tra la transizione del sistema energetico e quella dei sistemi di trasporto verso la mobilità elettrica e *low-carbon*.

Impatto atteso:

- sviluppo di tecnologie per la decarbonizzazione dei sistemi di trasporto terrestre, marittimo e aereo e delle infrastrutture portuali, aeroportuali e intermodali;
- sviluppo di una catena del valore nazionale dei componenti elettronici e dei sistemi per la mobilità elettrica;
- evoluzione del sistema energetico a supporto della *e-mobility* e della decarbonizzazione dei trasporti, anche sviluppando sinergie tra veicoli e reti elettriche (V2G, V2H, *battery second life*);
- sviluppo di sistemi di accumulo veicolari avanzati e sistemi per la ricarica in movimento *contactless* (*e-road*) e veloce;
- sviluppo di *powertrain* innovativi per mobilità elettrica e ibrida.

5.5.4 Energetica ambientale

La transizione energetica e la decarbonizzazione dell'economia italiana richiedono un importante e decisivo cambiamento nel settore civile, ancora oggi responsabile di circa il 40% dei consumi finali di energia. L'attività di ricerca svolta in questo settore ha già consentito di raggiungere un notevole livello di expertise diffuso sul territorio con un positivo impatto anche su diversi settori industriali, da quello termotecnico a quello dei materiali e tecnologie innovative.

Restano, però, due questioni irrisolte: la lentezza con cui avviene il rinnovamento/riqualificazione dello stock edilizio e la mancanza di un approccio di sistema per affrontare in modo integrato e globale il tema dell'efficienza energetica in edilizia. Mentre la soluzione del primo problema è essenzialmente legata alla disponibilità di risorse finanziarie e alla razionalizzazione dei vincoli burocratici e normativi, la seconda questione richiede un salto di qualità dell'attività di ricerca, che dovrà essere rivolta allo studio di sistemi complessi, interagenti tra di loro, con un approccio interdisciplinare per trovare soluzioni che ottimizzino contemporaneamente una molteplicità di fattori.

A questo fine, occorre mettere a punto un più efficiente modello di gestione delle risorse, tra cui quelle energetiche, permettendo ai cittadini, alle aziende e alle istituzioni, di risparmiare, convertire e distribuire - e non solo consumare - energia. Tra i pilastri della ricerca del futuro c'è, dunque, la progressiva integrazione degli edifici nelle *smart energy communities*, che include entità che condividono e collaborano nella gestione dell'approvvigionamento e del consumo, mediante l'implementazione di soluzioni tecnologiche per la conversione distribuita di energia, in primo luogo da fonti rinnovabili, e la gestione "intelligente" dei flussi energetici, anche grazie alle tecnologie di *storage* in varie forme (termiche ed elettriche). Una naturale conseguenza è la necessità di una migliore integrazione tra gli edifici e le reti, multivettore, di distribuzione dell'energia incrementando così la resilienza dell'infrastruttura energetica e migliorando il supporto alla mobilità elettrica (connessione con l'area di intervento "Energetica industriale").

In sintesi, l'incremento dell'efficienza energetica del settore civile non dipende più solo dal miglioramento delle caratteristiche intrinseche degli edifici, ma anche da un'intelligente (*smart*) gestione della domanda (*demand side management*) e dell'autoconsumo e da un più efficace e attivo coinvolgimento dei loro occupanti. Quanto sopra richiede una migliore conoscenza dell'effettivo comportamento dell'edificio e l'interazione in tempo reale con i suoi occupanti nonché strumenti che possano efficacemente supportare le decisioni in materia di energia a scala più grande (quartiere, città, comunità energetica).

Il problema è, indubbiamente, in parte di tipo politico, giuridico ed economico per quanto riguarda accessibilità, trasparenza e diffusione dei dati (energetici) e le modalità contrattuali con i quali i soggetti coinvolti (*utilities*, ESCo, amministratori condominiali) comunicano i dati agli interessati. In parte è, invece, legato anche a una carenza di cultura tecnico/scientifica relativa alle tecniche di analisi dei dati e alla corretta installazione e gestione dei sistemi di acquisizione dei dati di supervisione e della sensoristica, carenza che andrebbe risolta con opportune azioni di formazione.

In definitiva, restano numerose sfide da approfondire attraverso attività di ricerca. La ricerca scientifica deve mettere in primo piano il ruolo degli occupanti in termini sia di fruizione sia di controllo e gestione ottimizzata dell'ambiente costruito. Infatti, il rispetto dei requisiti di comfort (termoigrometrico, visivo e acustico) e qualità dell'aria anche in riferimento alle strategie di ventilazione che prevengano rischi epidemiologici non deve essere subordinato all'efficienza energetica, ma andare di pari passo con essa. D'altro canto, è necessario comprendere a fondo il comportamento degli occupanti e studiare sistemi e strategie che consentano di assumere decisioni corrette per la gestione e la manutenzione del sistema edificio-impianti.

Di pari passo, l'edificio va considerato non solo per le sue qualità intrinseche (materiali, involucro, salubrità, prestazione energetica più o meno spinta verso soluzioni NZEB/edifici passivi) ma anche in relazione, più generale, con l'ambiente costruito alle diverse scale (da edificio singolo a comparto edilizio urbano) tenendo ben presenti da un lato, potenzialità e limiti della riqualificazione energetica del patrimonio esistente e dall'altro, come le relazioni tra edifici impattino su altri aspetti (diritto al sole, mobilità, reti multivettore, comunità energetica).

Articolazione 1. Edifici, *storage*, e interazione con *energy communities* e *smart energy grid*

Priorità di ricerca:

- sviluppare tecnologie fisiche, tecniche gestionali e strumenti normativi finalizzati all'integrazione ottimale degli edifici nelle reti energetiche multiverso e multienergia, secondo metodiche *ad hoc* in funzione della densità urbana, extraurbana e della vocazione territoriale, in termini di fabbisogni, usi energetici, opportunità di conversione;
- individuare le modalità ottimali di interazione con la rete a livello di distretto urbano e suburbano in funzione di pervasività e capillarità delle FER (fonti energetiche rinnovabili) convertite *in situ* (connessione con area di intervento "Energetica industriale");
- sviluppare tecnologie e strumenti, compreso l'uso di IoT e intelligenza artificiale, finalizzate all'integrazione di diversi sistemi e vettori energetici, di sub-reti e infrastrutture energetiche con un diverso livello di sviluppo;
- lavorare su nuove soluzioni e materiali a basso impatto ambientale e basso costo, che consentano di sviluppare sistemi più compatti, flessibili ed efficienti per l'accumulo centralizzato e decentralizzato di energia per applicazioni industriali e domestiche e per lo stoccaggio di energia termica, anche su base stagionale, per il teleriscaldamento e il raffreddamento, a livello di comparto urbano e/o distretto;

- integrare negli edifici il supporto ai sistemi di trazione elettrica, considerandone il doppio ruolo di vettori di energia e di persone (connessione con l'area di intervento "Mobilità sostenibile");
- potenziare gli strumenti di supporto per operatori del mercato e consumatori visti come raggruppamento in comunità energetiche urbane o suburbane.

Impatto atteso:

- favorire la stabilità, la resilienza e l'efficienza delle reti di approvvigionamento e di distribuzione dell'energia e degli altri obiettivi connessi con la transizione verso la *green economy*, anche grazie all'ottimizzazione dell'interazione con gli edifici;
- incrementare la flessibilità della risposta alle richieste energetiche, massimizzando l'integrazione negli edifici di energia rinnovabile e ottimizzando le tecnologie di stoccaggio, anche mediante la valutazione della convenienza economica in ciascuna condizione di funzionamento;
- migliorare le sinergie tra gli edifici, i loro impianti e le diverse reti elettriche e vettori energetici, sistemi di accumulo, infrastrutture di trasporto e infrastrutture digitali, per consentire il funzionamento intelligente, integrato, flessibile e verde delle comunità energetiche del futuro a qualunque scala esse siano sviluppate (connessione con area d'intervento "Energetica industriale").

Articolazione 2. Rigenerazione e decarbonizzazione del patrimonio edilizio

Priorità di ricerca:

- identificazione di metodi, strategie e soluzioni complessive per la riqualificazione energetica e la de-carbonizzazione degli edifici esistenti, declinandone le modalità di integrazione e i livelli di trasformazione in ragione della articolata specificità propria degli organismi edilizi (edifici storico-testimoniali, edifici di recente costruzione, edifici per abitazioni e di servizio, terziari, scuole ecc.);
- individuazione di soluzioni che considerino gli obiettivi di integrazione, oltre che miniaturizzazione e delocalizzazione nel patrimonio storico e/o con valore testimoniale delle componenti tecnologiche basate sullo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili e il controllo energetico quasi zero o *energy-plus*) nella maggioranza degli edifici esistenti, promuovendo modalità di scambio anche tra edifici di diversa tipologia e uso;
- integrazione delle tecnologie per il risparmio e la conversione di energia nell'involucro degli edifici con attenzione alla riduzione dell'invasività dell'intervento. Tale integrazione potrà considerare, per moltiplicarne l'efficacia, anche i legami con altri benefici non necessariamente legati alle prestazioni energetiche (comfort complessivamente inteso, isolamento acustico, *daylighting*, sicurezza, aumento di valore, attrattiva).

Impatto atteso:

- messa a punto di soluzioni efficienti, pulite e sicure per l'ambiente costruito alle diverse scale di intervento (edificio singolo e comparto edilizio urbano) e tali da considerare l'integrazione delle fonti rinnovabili e lo scambio energetico finalizzate al raggiungimento degli standard nZEB (*Nearly Zero Energy Building*) o *energy-plus buildings*, o ai *Positive Energy District*, laddove sussistono le condizioni di trasformabilità come, ad esempio, nell'ambito delle aree dismesse o in trasformazione;
- miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici esistenti, potenziando allo stesso tempo lo sfruttamento dell'energia da fonti rinnovabili, con modalità sostenibili, competitive e a costi contenuti.

Articolazione 3. Impianti di climatizzazione, *indoor air quality* e comfort

Priorità di ricerca:

- progettazione coordinata dei sistemi di climatizzazione e migliore integrazione tra i vari componenti con particolare riguardo alle pompe di calore (elettrificazione) anche negli edifici esistenti;
- strategie di ottimizzazione di sistemi di regolazione degli impianti di climatizzazione in un'ottica multilivello mediante l'impiego della sensoristica per il rilievo delle condizioni indoor, termiche, di qualità dell'aria e di illuminamento per incrementare vivibilità e salubrità degli edifici, anche in sintonia con gli obiettivi dell'Agenda 2030 e per migliorare le condizioni di comfort (termoigrometrico, acustico e visivo) degli occupanti;

- criteri di progettazione dei sistemi di filtrazione, delle unità terminali degli scambiatori per il recupero termico e degli altri componenti e dispositivi in grado di ridurre i rischi di contaminazione (COVID-19, legionella ecc.) assicurando nel contempo buoni livelli di efficienza;
- approfondimenti delle potenzialità della termofluidodinamica numerica e sperimentale per la corretta progettazione della distribuzione dell'aria negli ambienti al fine di migliorare la qualità dell'aria e il comfort e ridurre i rischi di contagio, in particolare negli ambienti con indici di affollamento elevati;
- studio dei processi di diffusione di aerosol (e droplet), anche connessi con la movimentazione dell'aria indoor, indotta da impianti HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), che possono favorire la diffusione di malattie infettive (ad esempio, COVID-19);
- criteri e metodi per la progettazione e la riqualificazione degli impianti di condizionamento di edifici civili e delle strutture ricettive, anche in relazione al controllo dei livelli di umidità dell'aria indoor;
- indicazioni per la progettazione e la riqualificazione degli impianti di condizionamento delle strutture sanitarie, dagli ospedali alle RSA;
- revisione dei criteri di progettazione dell'impiantistica per la climatizzazione nei sistemi di trasporto, sia pubblici sia privati, incluso il trasporto aereo;
- attenzione al costo energetico dei requisiti impiantistici e alle strategie di manutenzione, anche in relazione alle nuove esigenze di contenimento dei rischi epidemici.

Impatto atteso:

- migliorare il benessere degli occupanti e aumentare la resilienza degli edifici, anche rispetto alle presenti e future minacce epidemiche, innalzando il livello di sicurezza e salubrità degli ambienti indoor;
- collocare gli edifici lungo un percorso spinto di decarbonizzazione, in linea con le direttive e le raccomandazioni internazionali, ottimizzando la prestazione energetica e lo sfruttamento delle energie rinnovabili;
- ripensare la progettazione e il retrofitting degli impianti di climatizzazione;
- favorire il ruolo attivo dell'utenza, anche attraverso la conoscenza puntuale e istantanea dei dati di IAQ (*Indoor Air Quality*) e dei consumi energetici.

Articolazione 4. *Occupant behaviour*: modelli e impatti

Priorità di ricerca:

- strumenti di controllo semplici, affidabili e leggibili che forniscano informazioni sui consumi e la qualità globale dell'ambiente indoor e con i quali l'utente possa interagire in maniera intuitiva e veloce;
- ricerca di soluzioni sistemiche che possano favorire comportamenti virtuosi, attraverso la promozione di forme e strumenti per produrre dati certi e affidabili (*supply-side*) e di facile accesso e comprensione per gli utenti (*demand-side*);
- sviluppo di strumenti di dialogo tra HVAC e ICT (*smart meters*, *storage* ecc.) per la loro corretta e migliore interazione con gli utenti/abitanti in forma singola e associata (condomini e comunità). Ricerca di modalità *user-friendly*, accessibili, attraenti ed economiche, per favorire l'adattamento ambientale negli spazi confinati, la qualità dell'aria, lo sfruttamento dell'illuminazione naturale e la relazione proattiva tra utente ed edificio, nonché accelerare la transizione energetica;
- fornire analisi e raccomandazioni per coinvolgere e responsabilizzare efficacemente i cittadini nella partecipazione alla transizione verso l'energia pulita, dalla pianificazione al processo decisionale, all'attuazione. I risultati della ricerca possono anche contribuire ad elaborare le strategie di transizione a livello più elevato;
- gestione attiva dei sistemi di acquisizione dei dati di supervisione e della sensoristica, anche attraverso opportune azioni di formazione, oltre che di tecniche di *gamification*, applicazioni software sui dispositivi personali ecc.
- modelli statistici del comportamento degli utenti e tecnologie per ottenere edifici resilienti.

Impatto atteso:

- disponibilità di dati e modelli affidabili sul comportamento del cittadino, nel suo ruolo di *consumer*, come ricettore dei servizi energetici, ma anche di *prosumer*, quale entità che partecipa attivamente al processo di condivisione energetica. Tali conoscenze sono fondamentali per promuovere e verificare l'evoluzione negli edifici dell'efficienza

energetica, della diffusione delle energie rinnovabili, della digitalizzazione e del loro funzionamento intelligente, anche per promuovere l'autoconsumo a livello singolo e di comunità, diretto o mediato dagli accumuli;

- disponibilità di tecnologie ICT in grado di portare gli utenti alla piena consapevolezza e di attivare, anche con modalità *real time*, comportamenti proattivi da parte loro con l'obiettivo di una gestione consapevole e informata dei consumi energetici, del comfort degli ambienti interni e della loro salubrità e della produzione di energia.

Articolazione 5. *Better data and models for optimising the building performance*

Priorità di ricerca:

- definizione di sistemi di monitoraggio, supervisione, previsione, controllo e interazione multilivello, dalla comunità energetica nel suo complesso, allo *smart metering* e *decision making* per il singolo edificio e la singola utenza.
- sovrapposizione di una rete di ottimizzazione, controllo e gestione alla rete fisica, mediante modelli dinamici dei singoli sistemi e metamodelli della comunità complessa nella sua interezza;
- sviluppo di specifici e accurati modelli dinamici dei nodi, anche mediante digitalizzazione BIM (*Building Information Modelling*) dell'ambiente costruito, e metamodelli e modelli surrogati del sistema complesso (la rete e la comunità) tra loro complementari;
- sviluppo di opportune regole di associazione atte a interpretare relazioni tra fenomeni e, quindi, consentirne supervisione, controllo di funzionamento, ma anche determinare l'entità di una risposta o anche operare una scelta tra la pluralità di quelle possibili;
- sviluppo di modelli di controllo predittivo degli eventi integrati nel sistema di gestione, analizzando moltitudini di informazioni (big data), nel rispetto della privacy di ciascun individuo nella comunità;
- analisi della sensibilità dei modelli di calcolo rispetto alle incertezze dei parametri in ingresso e al comportamento degli utenti;
- indagine sul *performance gap* tra prestazioni previste ed effettive e validazione dei modelli di calcolo e verifica delle prestazioni utilizzati nella normativa tecnica;
- modelli e strumenti per l'ottimizzazione multicriterio e multiobiettivo della prestazione complessiva degli edifici in fase sia di progettazione (di nuovi edifici e di interventi di riqualificazione) sia di gestione (incluse le strategie manutentive);
- strategie di regolazione evolute (*rule-based* e/o *model predictive*) che consentano di sfruttare al meglio i sistemi di accumulo di vettori energetici termico e elettrico in funzione delle condizioni climatiche (attuali e previste) e di carico e domanda, ottimizzando l'autoconsumo della conversione da rinnovabili, mediante continua interazione con le reti multivettore (ad esempio, elettricità, fluidi termovettori per riscaldamento e raffrescamento);
- *metering* (*smart*), livelli di comfort, interazione con l'utente finale (interfaccia) ed effettiva influenza su comportamento e accettazione;
- strumenti affidabili per l'elaborazione di scenari energetici e complementarietà nella gestione delle scelte alle diverse scale temporali, dallo specifico momento della giornata, alla stagione, al ciclo di vita, dal punto di vista dei costi e dell'impatto ambientale (ad esempio, *Life Cycle Cost* e *Life Cycle Assessment*), del contributo alla riduzione dell'impatto sulle risorse naturali (impronta di carbonio), dello sviluppo delle biodiversità nei contesti urbani, delle esigenze dell'utente, dell'accessibilità e della sicurezza.

Impatto atteso:

- rendere disponibili le tecnologie e le conoscenze socioeconomiche necessarie per raggiungere la piena decarbonizzazione del patrimonio edilizio entro il 2050 attraverso l'efficienza energetica, le energie rinnovabili, la digitalizzazione e il funzionamento intelligente degli edifici, tenendo conto delle esigenze degli utenti;
- fornire analisi e raccomandazioni per coinvolgere e responsabilizzare efficacemente i cittadini nella partecipazione alla transizione energetica, dalla pianificazione al processo decisionale e alla sua attuazione.

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizione dell'articolazione 3 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*

5.6. PRODOTTI ALIMENTARI, BIOECONOMIA, RISORSE NATURALI, AGRICOLTURA, AMBIENTE

5.6.1 Green technologies

L'area delle *green technologies* è fortemente trasversale a numero molto elevato di settori di interesse per la competitività del Paese e rappresenta la visione sinergica dei vari approcci tecnologici alla sostenibilità. Le sovrapposizioni più sostanziali con altre aree del PNR sono esplicitate. Facendo riferimento al *Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe*[94], le principali direttrici delle *green technologies* possono essere riferite ai *clusters 4 Digital, Industry and Space*, *5 Climate, Energy and Mobility*, *6 Food, Bioeconomy Natural Resources, Agriculture and Environment* di Horizon Europe.

Specificamente, nell'ambito nel *cluster 4 Digital, Industry and Space*, le *green technologies* contribuiscono in modo sostanziale allo sviluppo di un'economia industriale sostenibile e circolare. Approfondendo e ampliando quanto citato, nella direttrice *4.1 Manufacturing Technologies*[95], sono strategici i concetti di: chimica rigenerativa (che punta alla riqualificazione e al recupero di materie prime seconde da prodotti a fine ciclo di vita); *chemical leasing* (nuovi modelli di business che promuovono l'uso efficiente dei *chemicals* secondo i paradigmi della *performance economy*); *de-manufacturing* e *re-manufacturing* (aumento del tempo di vita di prodotti a elevato valore aggiunto, recupero di risorse critiche, utilizzo in processi secondari ecc.); riciclo intelligente e *refurbishment* (ripristino delle funzionalità iniziali tramite interventi a basso costo/basso impatto). La direttrice *4.9 Circular Industries*[96] sollecita a considerare il rifiuto non come uno scarto ma come una sorgente di materiali riciclabili all'interno di comunità e distretti in grado di sviluppare adeguate simbiosi industriali (*upcycling* del rifiuto). In questo contesto, il prodotto della valorizzazione può essere sia un prodotto chimico sia un prodotto destinato all'uso energetico. Accanto allo sviluppo di tecnologie dedicate, è cruciale lo sviluppo di una logistica avanzata che, anche basandosi su approcci di gestione di *artificial intelligence* (AI), permetta la messa in rete di eccedenze e scarti di produzione in una logica di sinergia territoriale (*physical internet* delle materie prime, prodotti e scarti). La priorità di ricerca *4.10 Low carbon and Clean Industries*[97] fa riferimento all'economia dell'idrogeno (energia da fonti energetiche rinnovabili, stoccaggio, conversione) e al ciclo della CO_2 (cattura, accumulo e conversione) e, più in generale, a una più efficiente gestione del ciclo del carbonio.

Il *cluster 5 Climate, Energy and Mobility* di Horizon Europee è dedicato allo sviluppo integrato di soluzioni per la produzione, l'utilizzo e l'accumulo sostenibile di energia, tanto nei vettori consolidati (energia elettrica, gas naturale) quanto in quelli più innovativi (soprattutto idrogeno e biocombustibili, con particolare riferimento al biometano, del quale è previsto un impatto importante sul settore trasporti). A livello di produzione, la corretta gestione delle biomasse, già ora un importante asset del Paese, è cruciale e richiede lo sviluppo di sinergie tra i settori delle bioenergie/biocombustibili e quello di *biochemicals* e bioprodotti. Come anche indicato nelle articolazioni 2 e 3 dell'area d'intervento "Bioindustria per la bioeconomia" del PNR, il pieno sfruttamento di queste risorse deve prevedere l'instaurazione di filiere adeguatamente differenziate e distribuite in grado di garantire l'estrazione preventiva di tutti i prodotti a elevato valore aggiunto, anche tenendo conto della differenziazione a livello locale della fonte, prima della successiva valorizzazione tramite i processi tipici della chimica rigenerativa e delle biotecnologie (biocatalisi, ingegneria metabolica, sviluppo di bioreattori avanzati). Dal punto di vista dell'accumulo, assumono rilevanza le strategie per lo stoccaggio di lungo termine dell'energia (*Power-to-X*) e i diversi percorsi di conversione della chimica solare), in particolare di quella resa disponibile da fonti rinnovabili discontinue e aleatorie, sotto forma di potenziale chimico di combustibili alternativi o convenzionali.

Il *cluster 6 Food, Bioeconomy Natural Resources, Agriculture and Environment* di Horizon Europe fa esplicito riferimento all'*European Green Deal*: la roadmap che promuove l'uso efficiente delle risorse, l'implementazione di protocolli di economia circolare, la preservazione della biodiversità e la riduzione dell'inquinamento. Le attività

[94] EC DG RTD (dicembre 2019), Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe.
[95] Ivi, p. 85.
[96] Ivi, p. 93.
[97] *Ibid.*

previste si baseranno sulla integrazione della storica vocazione agricola e industriale del Paese verso la completa realizzazione di una industria sostenibile, circolare e sinergica basata sui concetti della chimica trasformativa e della *biorefinery*. L'interazione tra l'industria bioenergetica e i settori agricolo, zootecnico e agroindustriale, oltre all'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse del territorio, dovrà concorrere al contenimento dello sfruttamento delle risorse naturali, potenzialmente competitivo con le finalità primarie degli stessi, quali l'alimentazione, nonché all'individuazione di pratiche partecipative anche gestionali finalizzate alla rimozione delle criticità di accettabilità sociale di nuovi impianti. Calate nel contesto specifico del territorio italiano, le attività sopra menzionate devono tenere conto di rilevanti peculiarità. Il Paese è già oggi dotato di distretti industriali definiti nell'ambito dei settori manifatturiero e agroalimentare. La necessità di utilizzare al meglio le materie prime, bio-derivate o meno, le fonti energetiche, le reti di trasmissione e distribuzione dei vettori energetici, unitamente alla particolare logistica del territorio italiano suggeriscono una declinazione a livello locale dei concetti di simbiosi industriale e di comunità energetica. Questa visione si contrappone all'attuale situazione, che vede una prevalente disponibilità di fonti energetiche rinnovabili al Sud e una richiesta energetica prevalentemente al Nord. Come discusso nelle articolazioni 1 e 2 dell'area d'intervento "Energetica industriale", l'adeguamento e la sinergizzazione delle reti elettrica e gas naturale sono strategici. È altrettanto importante prevedere interventi di riqualificazione, *refurbishing* ed efficientamento dei considerevoli patrimoni industriale ed edilizio esistenti. Tanto l'incremento dell'indice di penetrazione nel mercato di prodotti da fonte rinnovabile, quanto il superamento dei concetti di scarto e rifiuto in favore di un completo recupero delle materie prime e/o di una rifinalizzazione o riutilizzo del prodotto a fine vita necessitano di un quadro normativo e autorizzativo chiaro e stabile a garanzia degli investimenti pubblici e privati nel settore.

Articolazione 1. *Biochemicals*, bioprodotti e processi chimici sostenibili in sinergia con *biofuels*, *bioenergy* e agroenergie

Impatto atteso [98]: creare sinergie tra bioenergia, bioprodotti e altri settori industriali con ricadute industriali multisettoriali attraverso lo sviluppo di bioraffinerie integrate (cfr. impatti attesi in Horizon Europe n. 30, 37, 38).

La realizzazione dei principi di "circolarità" dell'economia richiede lo sviluppo di una chimica cosiddetta "rigenerativa" che non consumi risorse e non crei rifiuto ma rifinalizzi i prodotti di trasformazioni naturali o antropiche tenendo conto delle peculiarità di ciascuno di essi in termini di provenienza e composizione. Questo approccio richiede lo sviluppo di filiere integrate in grado di garantire, anche avvalendosi di tecnologie digitali di tipo *machine learning/artificial intelligence*, la conoscenza, anche predittiva, delle disponibilità e la valorizzazione di tutte le componenti chimiche complesse direttamente estraibili in loco (in particolare, per biomasse di origine agricola sia vegetali sia animali) e avviabili in forma di semilavorati alla produzione di *specialty chemicals* in centri specializzati (prodotti nutraceutici, cosmetici ecc.). Il restante materiale organico può essere successivamente valorizzato nella produzione di biocombustibili e *bio-based products* (BBPs), seguendo processi sia biotecnologici sia chimici, a seconda della natura della biomassa di partenza e delle economie di processo. La piena valorizzazione dei BBPs deve tenere conto della loro distinzione in due categorie: *drop-in* (analoghi a prodotti esistenti) e *dedicated BBPs* (non aventi una analoga controparte fossile), caratterizzate da differenti performances e livelli di accettazione del mercato. I *dedicated BBPs* sono prodotti attraverso un *pathway* dedicato; generalmente richiedono un periodo più lungo di accettazione del mercato ma hanno prestazioni superiori, non ottenibili con le alternative fossili. Infine, nel trattamento del rifiuto organico e delle biomasse, è necessario gestire nel modo più articolato possibile la complessità del ciclo di carbonio e quindi elaborare e implementare strategie di accumulo e conversione (per via foto e/o elettrochimica) del carbonio inorganico in forma gassosa (ad esempio, CO_2).

Articolazione 2. Strategie per una gestione multipiattaforma dell'energia elettrica da fonte rinnovabile, basata su stoccaggio e/o conversione in prodotti ad elevato valore aggiunto

Impatto atteso: armonizzazione delle tecnologie di accumulo di energia elettrica da fonte rinnovabile tramite una strategia multipiattaforma in grado di gestire fluttuazioni tra domanda e offerta; incremento dell'incidenza

[98] In Appendice I è riportata la lista degli impatti attesi in Horizon Europe ai quali si fa riferimento nel testo.

dell'elettrificazione in processi chimici sintetici di interesse industriale (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 30, 37, 38).

Occorre prevedere lo sviluppo di un approccio multipiattaforma in cui l'adozione delle più sviluppate strategie *Power-to-X* (elettricità-gas naturale, elettricità-H_2-GN, elettricità-H_2 in sinergia con ripompaggio idroelettrico) e una maggiore penetrazione dell'elettrificazione nell'industria chimica (elettrocatalisi e fotoelettrocatalisi in processi bilanciati anodici e catodici, in particolare) complementino il ruolo giocato dalle tecnologie di accumulo più consolidato, quali le batterie e i supercapacitori. In questo scenario, l'industria stessa diventa un accumulo per la rete elettrica globale garantendo approvvigionamento o accumulo, a seconda della disponibilità/richiesta di potenza della rete. Promuovere un più efficace sfruttamento delle potenzialità energetico-ambientali della trigenerazione distribuita interagente con reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento, nonché degli accumuli termici (caldo e freddo) sia sensibili sia con materiali a cambiamento di fase. Intensificare la decarbonizzazione delle filiere produttive ad alta intensità energetica (acciaio, cemento ecc.) e disponibilità di processi chimici e biologici per la produzione *low-carbon impact* di vettori energetici (ad esempio, H_2, CH_3OH, DME, CH_4).

Articolazione 3. Prevenzione della contaminazione del suolo e delle acque

Impatto atteso: riduzione dell'inquinamento da sostanze pericolose, *high concern and toxic materials* e inquinanti emergenti derivanti da farmaceutica cosmetica/personal care; recupero della risorsa idrica e dei terreni (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 33).

L'estensione della logica *end of waste* al settore agricolo/forestale richiede il recupero di nutrienti da terreni e acque (anch'esse da recuperare a fine trattamento) tramite processi a basso consumo energetico (bioelettrochimici, autotrofi anaerobici ecc.) e la produzione di fertilizzanti o ammendanti (in particolare, a base fosforo, la cui disponibilità non colma la crescente richiesta) da sottoprodotti qualificati delle lavorazioni. Inoltre, nella decontaminazione da metalli, questi ultimi possono essere recuperati in un'ottica di economia circolare. Questi ambiziosi obiettivi richiedono lo sviluppo di materiali assorbenti anche nanostrutturati (membrane, criogeli, *bead*, *film*, nanoparticelle) sostenibili e accordabili a stimoli esterni (luce, pH, temperatura). Laddove il recupero/rimozione non sia possibile o non sia economico, come nel caso dei settori farmaceutico e *personal care*, l'introduzione di nuovi prodotti deve prevedere l'adozione di logiche *benign-by-design* che prevedano materie prime e prodotti in grado di degradare nell'ambiente, prevenendo la diffusione di microplastiche e composti farmacologicamente attivi. Sistemi di monitoraggio e controllo attivo fisico-strumentale (*proximal* e *remote sensing*) e inferenziale/predittivo a micro e/o macro scala territoriale attraverso integrazione digitale (*big and thick data analytics*) con il sistema di riferimento dei potenziali inquinanti (produzione, logistica, acquisto/vendita scarto).

Articolazione 4: Riduzione dei rifiuti e della domanda di *critical raw materials* tramite approcci di *disassembling* e *materials recovery*, *remanufacturing* e *refurbishing*

Impatto atteso: riduzione dei rifiuti, promozione di una cultura del recupero e rifinalizzazione; riconversione dei siti produttivi dismessi alla produzione di *biochemicals* e *biofuels* (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 37).

Scarti, eccedenze e rifiuti devono diventare le fonti prevalenti di approvvigionamento dei materiali critici (*urban mining*). Questa visione assume rilevanza particolare nel settore ICT e in quello della produzione e accumulo di energia elettrica. Per quest'ultimi è rilevante anche il concetto di *sea mining* per l'estrazione di metalli rilevanti direttamente dalle acque marine. Laddove il recupero non rappresenta la strategia energeticamente più conveniente, si devono prevedere cicli produttivi integrati e flessibili che permettano la reintroduzione dello scarto o del rifiuto, non necessariamente all'origine del processo di partenza ma laddove economicamente più conveniente (*second life*). Analogamente, la riconversione di impianti chimici dismessi ha costi di gran lunga inferiori a quelli necessari per la costruzione di nuovi impianti e contribuirà a ridare vita a siti industriali in difficoltà. Particolare attenzione va dedicata al recupero tramite disassemblaggio di imballaggi accoppiati (carta/plastica e carta/alluminio/plastica) e materiali compositi.

Articolazione 5. Industrial symbiosis, co-located assets

Impatto atteso: ristrutturazione delle filiere produttive e dei modelli logistici mirata a eliminazione degli scarti e cogestione delle risorse; integrazione dei processi sia del sito produttivo sia del distretto agricolo-industriale di riferimento (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 37).

L'attuazione del concetto di *industrial symbiosis* richiede la predisposizione di database sulla disponibilità di sotto-prodotti e co-prodotti da parte delle aziende nell'ambito dei distretti produttivi (con georeferenziazione), sui flussi di materiali e di vettori energetici (ma anche di servizi da mutualizzare), e di piattaforme e strumenti di supporto decisionale, basate, per esempio, su un approccio *life cycle* per la quantificazione degli impatti ambientali, dei costi e dei benefici economici derivanti dalla condivisione. Generazione di un *knowledge repository* di utilizzo più generale, sulle *extended value chains* generabili dalla simbiosi tra le attività produttive. In questo scenario, impianti e siti industriali potranno adattare le proprie attività produttive in funzione di variazioni dei flussi di materia ed energia, così da garantire flessibilità nell'utilizzo delle risorse. Concetto di ciclo produttivo diffuso, con impianti di piccole dimensioni su *skid*, dedicati a particolari lavorazioni stagionali e all'ottenimento di semilavorati da indirizzare alle bioraffinerie.

Articolazione 6. "A fair benchmarking": sviluppo e diffusione dei metodi della ecologia industriale per una corretta valutazione comparativa tra tecnologie green e consolidate

Impatto atteso: riposizionamento comparativo delle *green technologies* tramite *Life Cycle Sustainability Assessment*, *Environmentally Extended Input-Output*, *Mass Flow Analysis*, *industrial and urban metabolism* (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 29, 30).

L'ecologia industriale esamina sistematicamente e in maniera integrata gli utilizzi e i flussi locali, regionali e globali di materiali e di energia in prodotti, processi, settori industriali ed economici. Essa identifica i "carichi ambientali" associati ad un prodotto/servizio durante tutto il ciclo di vita, compresa la gestione dei rifiuti e la loro re-immissione nei cicli di produzione/utilizzo. L'ecologia industriale permette di valutare le "esternalità" ambientali e sociali integrando nella metodica LCSA (*Life Cycle Sustainability Assessment*) gli strumenti codificati della LCA e quelli, di più recente sviluppo, del *Life Cycle Costing* (LCC) e della S-LCA (*Social Life Cycle Assessment*). Il ricorso generalizzato alle metodologie fortemente interdisciplinari della ecologia industriale rappresenta il prerequisito per la corretta definizione, da parte dei singoli operatori e della società nel suo complesso, di traiettorie di sviluppo economico, sociale e tecnologico compatibili con i vincoli di sostenibilità.

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizioni delle articolazioni 3, 4 e 6 di questa area d'intervento.*

5.6.2 Scienze e tecnologie alimentari

Il settore alimentare è quello più rilevante in Europa, con circa 44 milioni di posti di lavoro, ed è trainante per l'economia italiana, con 538.000 milioni di euro di fatturato e circa 3,6 milioni di occupati nel 2019. È, tuttavia, necessario l'aggiornamento continuo delle conoscenze e l'innovazione, tecnologica e di prodotto, per vincere le nuove sfide sociali e commerciali a livello globale. L'ONU stima, infatti, che la crescita dei fabbisogni, legati all'aumento demografico (10 miliardi di persone entro il 2050), comporterà il raddoppio della produzione alimentare a livello globale. Tutto questo in un contesto di grande disparità, con 3 miliardi di persone sovrappeso e 2 miliardi di malnutriti, mentre il 25% del cibo è sprecato. Con le superfici coltivabili del pianeta già sfruttate a scopo agro-zootecnico e la necessità di evitare ulteriori deforestazione, degrado ambientale e perdita di biodiversità, occorre adottare politiche di sostenibilità nella produzione alimentare che comprendano il miglioramento delle rese delle superfici agricole, l'incentivazione di forme di economia circolare e l'adozione di stili alimentari più sostenibili, assicurando

contestualmente la sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti, che rimane una priorità per la salute pubblica. Le linee strategiche nazionali devono potenziare il sistema agroalimentare, già importante elemento di spinta economica e di sviluppo per l'Italia, anche grazie all'indotto connesso con il turismo enogastronomico e all'appeal del Made in Italy nel mondo. Per far ciò è necessario un approccio strategico transdisciplinare, basato sulla teoria del *systems thinking*, puntando su strumenti ad alta efficienza (*high throughput*). Digitalizzazione, big data, intelligenza artificiale sono strumenti abilitanti trasversali che permettono lo sviluppo di algoritmi da utilizzare sia nei sistemi di produzione sia a fini predittivi e di scenario. In questo modo sarà possibile avere a disposizione strumenti decisionali di supporto (*Decision Support Systems*, DSS) per rispondere in maniera rapida ed efficace alle esigenze della ricerca di base e della ricerca applicata, che devono essere supportate con appropriati finanziamenti per affrontare e superare le sfide del futuro, specie a fronte di nuove emergenze che a livello globale minano la resilienza del sistema (COVID-19).

Articolazione 1. Sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti

La spinta al miglioramento delle rese produttive e i rischi emergenti, anche in sanità animale, comportano la possibilità di un incremento di contaminanti e agenti infettivi, sia in ambito sia agricolo e zootecnico (micotossine, fitofarmaci ecc.) sia nell'industria di trasformazione (sicurezza delle materie prime, dei *novel food*, dei MOCA (materiali e oggetti a contatto con gli alimenti) e dei contaminanti da processo), mentre il riutilizzo di scarti delle produzioni può creare le condizioni per l'emergere di rischi non prevedibili o di fenomeni di bioaccumulo. Le nuove abitudini alimentari, quali il consumo di alimenti crudi o poco cotti o *ready-to-eat*, richiedono soluzioni per incrementare la *shelf-life* degli alimenti contenendo il rischio di sviluppo di patogeni. Per garantire la sicurezza igienico-sanitaria è necessario un approccio di visione a lungo termine, con l'anticipazione delle sfide e lo sviluppo di metodi diagnostici innovativi e di strategie di valutazione del rischio-beneficio che consentano di prevenire o affrontare tempestivamente anche i rischi emergenti, sfruttando opportunamente i *Decision Support Systems* (DSS). Pertanto, una piattaforma digitale collegabile al contesto europeo potrebbe garantire una raccolta delle informazioni e conoscenze scientifiche mentre, per una gestione sistemica della sicurezza alimentare, andrebbero creati collegamenti tra le banche dati dei controlli ufficiali sugli alimenti e le notifiche di malattie a trasmissione alimentare. In questo senso, è fondamentale lo sviluppo di nuove tecnologie hardware e nuove soluzioni per il monitoraggio quantitativo dello stato di conservazione dei cibi, tenendo in debito conto rapidità (*real time*), costi e digitalizzazione.

Impatto atteso[99]: protezione della salute, riduzione al minimo di eventi fatali evitabili, prevenzione delle malattie e gestione sostenibile delle risorse: *a*) garantendo la salubrità degli alimenti e dei mangimi, principale via di esposizione dell'uomo e degli animali a diversi pericoli chimici e biologici, in relazione anche all'approccio *One Health*; *b*) attuando un approccio sistemico alla sicurezza degli alimenti che consideri la sostenibilità ambientale lungo tutta la filiera uno dei requisiti dei sistemi produttivi ed economici, nonché una delle leve più significative del Green Deal; *c*) stimolando lo sviluppo di un approccio basato sulla prevenzione del rischio che, tramite l'analisi delle possibili fonti di contaminazione, favorisca lo sviluppo di misure di gestione che permettano di ottenere alimenti più salubri; *d*) promuovendo una maggiore consapevolezza nelle scelte del consumatore in termini di garanzie sanitarie, nutrizionali e di sostenibilità (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 33).

Articolazione 2. Autenticità e integrità del sistema alimentare

La frode alimentare mette a rischio la sostenibilità dei sistemi alimentari, ingannando i consumatori e impedendo loro di effettuare scelte informate e consapevoli, minando la sicurezza alimentare, le pratiche commerciali eque e la resilienza dei mercati alimentari. È necessario un approccio olistico per salvaguardare l'integrità del sistema, promuovendo la collaborazione globale sia per l'aspetto regolatorio sia per l'adozione di tecnologie e di approcci condivisi, con l'utilizzo di metodologie analitiche innovative *smart*, anche applicabili *in situ*, e la loro validazione, per l'ottenimento di profili compositivi basati su banche dati di composizione affidabili e robuste (da includere nel Piano nazionale integrato sul controllo degli alimenti e dei mangimi, PNI). Inoltre, è fondamentale lo sviluppo di software chemiometrici e algoritmi per la gestione dei big data, unitamente alle nuove tecnologie hardware abilitanti per la tracciabilità che consentano un *link* fisico con il singolo alimento e forniscano una informazione digitale (ad esempio,

[99] In Appendice I è riportata la lista degli impatti attesi in Horizon Europe ai quali si fa riferimento nel testo.

blockchain), anche grazie alla revisione delle etichette nutrizionali e dei *claims* salutistici e al contrasto a sistemi di etichettatura che possano penalizzare ingiustamente il consumo di alcuni prodotti.

Impatto atteso: modelli di governance innovativi e resilienza dei sistemi alimentari mediante la completa tracciabilità lungo tutta la filiera alimentare per difendere il valore aggiunto dei prodotti di alta qualità, ricostruendo nella trasparenza la fiducia dei consumatori e promuovendo la valorizzazione economica e sociale dei territori; sviluppo di metodologie innovative inclusive delle tecnologie abilitanti (tecnologie omiche e nanotecnologie) per la lotta alle frodi alimentari (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 36).

Articolazione 3. Valorizzazione del microbioma nei sistemi produttivi agroalimentari

Il microbioma, definito come l'insieme di microrganismi che popolano e colonizzano un determinato ecosistema, ivi comprese le loro attività e funzioni metaboliche, rappresenta un vero driver di innovazione nel sistema agroalimentare. Le sue potenzialità possono essere sfruttate per ridurre l'utilizzo di antibiotici, rendere più efficienti i sistemi di produzione degli alimenti (fermentazioni), aumentare la sicurezza igienico-sanitaria e impattare in maniera positiva sulla salute umana e animale, nonché aumentare la produttività primaria vegetale e animale. Inoltre, le nuove strategie messe in atto in Europa per la mappatura del microbioma negli ambienti di lavorazione degli alimenti aprono nuove opportunità per il miglioramento degli standard qualitativi, la riduzione degli scarti e per un aumento significativo del livello di sostenibilità delle produzioni alimentari.

Impatto atteso: promozione della salute, ostacolo al declino della biodiversità e aumento della produzione alimentare mediante: *a*) sviluppo di alimenti e diete più salutari e diversificate, considerando le caratteristiche specifiche del microbioma intestinale dei singoli individui e la loro genetica; *b*) definizione, classificazione e uso di prodotti alimentari (pre, pro, sim, post, psicobiotici) in grado di condizionarne la funzionalità; *c*) strategie di prevenzione delle patologie umane e animali più efficaci (anche con l'utilizzo di probiotici/prebiotici), che permettano la riduzione dell'uso di antibiotici o che contrastino patogeni e metaboliti tossici; *d*) ottimizzazione dei processi fermentativi e arricchimento dei *toolbox* disponibili per le trasformazioni enzimatiche nei processi industriali; *e*) valorizzazione delle collezioni microbiche a livello internazionale mediante deposito di ceppi di interesse agroalimentare o potenzialmente probiotici e dei dati provenienti dalla loro caratterizzazione e applicazione biotecnologica (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 32, 24).

Articolazione 4. Alimentazione sana e sostenibile

Sono necessarie soluzioni nutrizionali innovative, salutari, sostenibili e personalizzate per diversi gruppi mirati di consumatori, ottenute mediante prodotti "intelligenti", servizi, innovazione digitale, nuove tecnologie, strumenti, anche sulla base dello studio dei driver che influenzano comportamenti, comunicazione ed educazione, tecnologie digitali ed etichettatura, e considerando il ruolo della ristorazione collettiva. Questo implica anche la definizione di nuovi modelli di business per ridurre i fattori di rischio per le malattie non-trasmissibili (NCD), ridurre le carenze di micronutrienti e la malnutrizione, fornendo ai consumatori una dieta salutare, con idoneo appeal sensoriale, adeguata, sostenibile e personalizzata (*tailor made food*), anche aggiornando gli aspetti regolatori degli alimenti attraverso una *positive nutrition* che valorizzi le caratteristiche consistenti del *pattern* alimentare mediterraneo. Fondamentale è anche la ricerca in ambito sensoriale e analitico, poiché l'esposizione a determinati stimoli può influenzare appetito, assunzione degli alimenti e assimilazione dei nutrienti, con importanti effetti sulla salute.

Impatto atteso: stili di vita più salutari e riduzione delle NCD mediante: *a*) promozione di un buono stato di salute attraverso studio del comportamento alimentare, strategie di comunicazione e coinvolgimento delle filiere produttive e di distribuzione, prestando particolare attenzione ai gruppi più vulnerabili e alla riduzione degli sprechi, inclusi quelli derivanti da consumo eccessivo; *b*) produzione e consumo responsabili e sostenibili a favore della sostenibilità economica e della mitigazione dei cambiamenti climatici; *c*) valorizzazione di alimenti di buona qualità nutrizionale e contrasto della malnutrizione per eccesso e per difetto, anche selettiva (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 31, 33, 34).

Articolazione 5. Fonti proteiche e loro utilizzo nelle tecnologie alimentari

Per garantire alimenti in quantità sufficiente, nutrienti, sicuri, salutari, accessibili ed economicamente sostenibili per una popolazione in continua crescita, considerando anche l'impatto sul cambiamento climatico e sul consumo delle materie prime, è di particolare interesse promuovere l'intensificazione sostenibile nella produzione di proteine vegetali da piante superiori (ad esempio, leguminose) e proteine animali in zootecnia e acquacoltura, mediante l'utilizzo di tecnologie e biotecnologie innovative. Parallelamente, è strategica e di interesse industriale e socioeconomico l'introduzione di fonti proteiche alternative, quali: alghe, funghi o microorganismi, insetti o loro frazioni in alimenti e/o mangimi. Per il loro impiego, occorre colmare le lacune di conoscenza sugli aspetti tecnologici, nutrizionali, di sicurezza igienico-sanitaria e di impatto ambientale, nonché gli aspetti strettamente correlati ai caratteri sensoriali che costituiscono un limite nella diffusione, accettabilità e utilizzo di queste nuove fonti alimentari.

Impatto atteso: effetto positivo sul clima e sul declino della biodiversità mediante: *a*) diversificazione dell'offerta di alimenti e promozione di una dieta più salutare, con nuovi prodotti, nuovi mercati, nuovi modelli di business più resilienti; *b*) minor utilizzo di acqua, energia e di suolo e minori emissioni di gas serra; *c*) incremento della biodiversità; *d*) maggiore competitività delle imprese e sostenibilità economica delle filiere alimentari (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 31, 32).

Articolazione 6. Tendenze emergenti nelle tecnologie alimentari ed efficientamento dei processi di trasformazione

Priorità di ricerca 6.a: studio delle interazioni e degli effetti del processo e della materia prima sulla struttura degli alimenti. Caratterizzazione della relazione tra struttura, formulazione, processo di trasformazione e stabilità dei prodotti alimentari per comprendere e prevedere l'effetto sulla qualità degli alimenti, dal punto di vista sia delle caratteristiche sensoriali sia della conservabilità e disponibilità delle sostanze nutrizionalmente importanti. ***Impatto atteso***: miglioramento delle conoscenze per la gestione dei processi e della conservabilità dei prodotti e sviluppo di nuovi prodotti (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 33, 35).

Priorità di ricerca 6.b: sviluppo di processi di trasformazione innovativi. Sviluppo di *mild technologies* dedicate per il miglioramento della qualità degli alimenti e della sostenibilità ambientale (anche attraverso utilizzo di marcatori di processo e di prodotto), con la progettazione e realizzazione di processi di produzione e trasformazione basati su trattamenti termici e non termici innovativi, più efficienti e più sostenibili, volti a tutelare la qualità dei prodotti alimentari e ottimizzarne la conservabilità con particolare riguardo anche allo sviluppo di innovazioni *ad hoc* per le produzioni tipiche, su piccola scala e biologiche. ***Impatto atteso***: sviluppo sostenibile, equilibrato e inclusivo con: *a*) disponibilità di tecnologie innovative per nuovi prodotti, nuovi mercati e nuove possibilità occupazionali; *b*) mitigazione dei cambiamenti climatici, con minore dipendenza da fonti fossili e gestione degli scarti di processo (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 33, 35).

Priorità di ricerca 6.c: studio di *packaging* innovativi ed estensione della *shelf-life*. Sviluppo di *packaging* innovativi (*smart*, *active*, *intelligent* ecc.) e utilizzo di atmosfere modificate con la riprogettazione dei sistemi di confezionamento anche mediante analisi del ciclo di vita (LCA). ***Impatto atteso***: sviluppo sostenibile, equilibrato e inclusivo con: *a*) riduzione degli scarti alimentari e gestione del *packaging* post consumo; *b*) disponibilità di alimenti con una *shelf-life* adeguata e di ottima qualità, con una più corretta percezione e comunicazione sul fine vita degli imballaggi (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 33, 35).

Priorità di ricerca 6.d: produzione di alimenti innovativi e salutistici. Diverse sostanze bioattive presenti in molti alimenti sono caratterizzate da una scarsa biodisponibilità. Le conoscenze e i processi legati alla presenza e all'arricchimento di principi attivi salutistici, anche sviluppate in ambito farmaceutico, e la loro biodisponibilità/bioaccessibilità, anche basate su sistemi per l'incapsulazione e il rilascio controllato e sito specifico, possono contribuire al miglioramento del binomio alimentazione/salute. ***Impatto atteso***: sicurezza nutrizionale con: *a*) alimenti con potenziate caratteristiche nutrizionali e salutistiche, ottenuti anche attraverso processi fermentativi; *b*) aumento del *know-how* delle aziende alimentari; *c*) strumenti per prevenire patologie e malnutrizione (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 34).

Priorità di ricerca 6.e: nanotecnologie per la realizzazione di rivestimenti innovativi. La rifinitura delle superfici a livello nanometrico per parti di impianto a contatto con gli alimenti permette di: *a*) migliorare la resistenza all'usura; *b*) limitare l'adesione e lo sviluppo microbico (contrasto alla formazione di *biofilm*); *c*) favorire la pulizia degli impianti. ***Impatto atteso***: neutralità climatica mediante: a) risparmio energetico (minori attriti, minor uso di vapore durante la sanificazione) e facilità di pulizia e sanificazione degli impianti; b) minor impatto ambientale per un uso più limitato di detergenti e sanitizzanti (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 31).

Priorità di ricerca 6.f: riduzione e valorizzazione dei sottoprodotti. Progettazione e realizzazione di nuovi processi di produzione degli alimenti che riducano al minimo/evitino gli sprechi in tutte le fasi della filiera, e che trasformino i sottoprodotti in possibili fonti di ingredienti o materie prime per altri processi di produzione, intrafiliera o interfiliera, in un'ottica di completa circolarità, di integrazione e intersezione tra industria alimentare e industria mangimistica, cosmetica, farmaceutica ecc. ***Impatto atteso***: gestione circolare e sostenibile delle risorse con: *a*) riduzione dei costi di smaltimento mediante riprogettazione integrata del flusso di lavoro e di materiale, e contributo positivo alla gestione dei costi diretti e indiretti; *b*) disponibilità di ingredienti e materie prime per produzioni diversificate (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 19, 33, 34, 36).

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizione dell'articolazione 1 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali** ha fornito contributi per la definizione dell'articolazione 6 di questa area d'intervento.*
*Il **Ministero della Salute** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni 1, 2 e 6 di questa area d'intervento.*

5.6.3 Bioindustria per la bioeconomia

La forza propulsiva della bioindustria italiana deriva dall'integrazione trasversale di conoscenze scientifiche e tecnologiche multisettoriali che valorizzano, in un'ottica sistemica, le biorisorse non alimentari delle aree rurali, costiere e marginali, offrendo nuove soluzioni a basso impatto per tutte queste aree. I prodotti della bioeconomia alimentano imprese di molti comparti manifatturieri e del Made in Italy[100]. Questo garantisce oggi al Paese circa 70.000 milioni di euro di fatturato annuo e 330.000 posti di lavoro[101]. A ciò si aggiunge l'indotto del legno che conta più di 80.000 aziende, 400.000 addetti e un fatturato annuo di 40.000 milioni di euro e quello della cellulosa con 3.800 aziende, oltre 72.000 addetti e un fatturato di circa 22.000 milioni di euro annui. La valorizzazione integrata dei rifiuti organici e delle acque reflue municipali, con la produzione di acqua pulita, fertilizzanti e *compost*, preziosi per la fertilità dei suoli, e di bioenergia, garantiscono annualmente altri 15.000 milioni di euro di fatturato e 12.000 posti di lavoro[102]. In questo ambito sta diventando prioritaria anche l'individuazione di soluzioni biotecnologiche per la valorizzazione delle plastiche a fine vita, attraverso l'ottenimento di monomeri e componenti chimiche nobili da riutilizzare secondo una logica di economia circolare.

La competitività della bioindustria italiana richiede l'adozione di ancora maggiore innovazione e l'integrazione della ricerca avanzata nei settori della biologia sintetica, chimica, (bio)catalisi e ingegneria chimica e di processo, così da fornire soluzioni per la conversione efficiente e integrata di un ampio numero di biomasse non alimentari, sia terrestri che acquatiche, ma anche di grandi varietà di sottoprodotti e rifiuti della produzione agroalimentare, ittica e della filiera del legno e della silvicoltura. Una nuova concezione di produzioni socialmente, ecologicamente ed economicamente sostenibili si potrà concretamente tradurre, ad esempio, nello sviluppo di bioraffinerie multiprodotto, flessibili, in

[100] COMITATO NAZIONALE PER LA BIOSICUREZZA, LE BIOTECNOLOGIE E LE SCIENZE DELLA VITA DELLA PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI (2020), *Bioeconomia: una nuova strategia per un'Italia sostenibile.*
[101] *Ibid.*
[102] *Ibid.*

grado di convertire con un approccio a cascata le sopracitate materie prime nonché la CO_2, in prodotti *bio-based* innovativi, quali farmaci, nutraceutici, cosmetici, agrochimici, lubrificanti e materiali, fra i quali biopolimeri multifunzionali. Le bioraffinerie costituiscono un ambito strategico per il Paese, leader europeo nell'implementazione di innovazione nel settore, spesso associata alla riconversione di siti industriali dismessi e alla creazione di nuove filiere di valore, lunghe e ben radicate nel territorio. Occorre, altresì, promuovere una valorizzazione più efficiente e a cascata dei prodotti della selvicoltura, favorendo l'uso da opera e in bioedilizia, anche in materiali compositi, e una transizione da lavorati di medio-basso valore usati come fonte di calore ed energia rinnovabile, a una loro dedicata (bio)conversione e raffinazione verso materiali, fibre, composti chimici, e combustibili, ad alto valore aggiunto, di primario interesse per le moderne industrie tessili e della moda, biomedicali, chimiche e dell'energia[103]. In questi settori sono necessari, infine, ulteriori sforzi nella direzione di una maggior integrazione e una più equa distribuzione del valore generato all'interno delle singole filiere, anche attraverso innovativi modelli di business.

Articolazione 1. Valorizzazione multifunzionale delle produzioni forestali

Priorità di ricerca: valorizzazione e utilizzazione delle produzioni forestali e dei servizi multifunzionali delle foreste a scala territoriale per la messa a disposizione sostenibile e con approccio a cascata di biomassa forestale, dei prodotti non-legnosi e derivati dal legno, dei servizi immateriali delle foreste e delle *nature-based solutions*, salvaguardando gli ecosistemi forestali e il suolo.

Le foreste e le altre terre boscate e agroforestali sono fondamentali per gli equilibri del territorio e la mitigazione climatica, garantendo, allo stesso tempo, la fornitura di prodotti e servizi rinnovabili. Per assicurare la transizione sostenibile verso la bioeconomia, la strategia nazionale e il Green Deal europeo assegnano un ruolo fondamentale alle foreste e ai loro prodotti e servizi. In un quadro di sostenibilità, la ricerca deve promuovere la conoscenza, la valutazione e l'utilizzazione del patrimonio forestale per la generazione di bioprodotti a partire dal legno (legname da opera, bioedilizia, biomasse residuali), fibre e prodotti chimici (tessile; adesivi, prodotti preservanti, vernici, cosmetica, farmaceutica e agrochimica da chimica verde; riuso di scarti di lavorazione e integrazione tra biomateriali) e per i servizi "immateriali" dei sistemi forestali, quali salute, turismo, benessere psicofisico.

L'innovazione rispetto al lato "primario" dovrà puntare a metodi di *precision forestry* per la produzione e messa a disposizione di biomassa per le filiere del legno e per la valutazione di altri prodotti e servizi e dovrà sviluppare sistemi di movimentazione e tracciabilità del legname, per garantirne la provenienza sostenibile. Andrà favorito l'utilizzo a cascata del legno, dagli usi strutturali alla valorizzazione degli scarti e delle biomasse residuali, puntando all'efficienza e sostenibilità della conversione finale.

Andranno definite e sviluppate soluzioni di risposta al cambiamento climatico con approcci basati sulla natura (*nature-based solutions*) favorendo la connettività tra sistemi rurali e aree urbane, le infrastrutture verdi e l'uso di alberi e foreste in ambito urbano e periurbano.

La gestione dovrà guardare all'adattamento al cambiamento climatico (risorse genetiche, produzioni vivaistiche, conservazione e migrazione assistita) e all'individuazione di sistemi conservativi più efficienti in termini di immagazzinamento del carbonio nel suolo e aumento del contenuto di sostanza organica per il miglioramento della produttività, della stabilità, del potenziale ecologico e delle potenzialità di mitigazione dei cambiamenti climatici degli ecosistemi forestali.

Impatto atteso[104]: contributo alla neutralità climatica tramite uso di biomateriali (sostituzione di materiali a maggior impronta climatica) e adattamento degli ecosistemi forestali (mantenimento capacità di assorbimento) (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 31); uso efficiente e circolare delle risorse naturali delle foreste (valorizzazione e utilizzo a cascata produzioni forestali) (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 33); innovazioni per la sostenibilità e perpetuità delle produzioni primarie forestali, cfr. Horizon Europe: dichiarazioni di impatto atteso n. 34; sviluppo equilibrato delle aree rurali, a sostegno degli equilibri globali e *nature-based solutions* (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 35); monitoraggio delle risorse forestali a garanzia della perpetuità (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 36).

---

[103] *Ibid.*

[104] In Appendice I è riportata la lista degli impatti attesi in Horizon Europe ai quali si fa riferimento nel testo.

Articolazione 2. Bioindustria circolare

Priorità di ricerca 2.a: valorizzazione della biodiversità terrestre e acquatica per la produzione sostenibile di bioprodotti. L'obiettivo è produrre nuovi o innovativi prodotti *bio-based* attraverso la valorizzazione integrata delle biorisorse rinnovabili non alimentari primarie e residuali derivanti dai settori agricolo, forestale e marino, come gli scarti e sottoprodotti dell'industria alimentare e ittica. Questo nell'ottica della valorizzazione della biodiversità e della conservazione degli equilibri naturali, partendo dalla promozione dell'integrazione delle competenze italiane nei settori delle biotecnologie (industriali, ambientali, agrarie, forestali e marine), della chimica e dell' ingegneria per innovare i prodotti nei seguenti settori: nutraceutica, farmaceutica, cosmetica, plastiche, fibre, materiali strutturali ecc. Particolare attenzione va posta allo studio delle potenzialità derivanti dalle biorisorse marine, sia come fonte di biomasse e biomolecole sia come serbatoio di biodiversità microbica ed enzimatica. I nuovi prodotti *bio-based* dovranno rispondere a criteri di sostenibilità e circolarità, anche grazie ad approcci di ecodesign ed ecotossicità.

Priorità di ricerca 2.b: sviluppo di bioraffinerie multi-input e multiprodotto in aree e di siti industriali in crisi o dismessi. La *bio-based industry* deve fornire nuove soluzioni in grado di mitigare le emergenze ambientali e climatiche in un'ottica di sviluppo e rigenerazione socioeconomica dei territori, in un contesto globale in veloce evoluzione, anche a causa dei mutamenti normativi e legislativi connessi con gli impatti ambientali. La ricerca e l'innovazione devono favorire e promuovere nuovi meccanismi di simbiosi industriale e sinergie fra territori rurali, costieri e urbani sviluppando bioraffinerie di nuova generazione, espressione delle potenzialità dei territori nel rispetto delle specifiche fragilità, cogliendo anche le opportunità derivanti dalla possibile riconversione di aree industriali in crisi o dismesse. I prodotti *bio-based* ottenuti (ad esempio, biomateriali polifunzionali, polimeri, farmaci, mangimi, lubrificanti, fertilizzanti e prodotti per agricoltura, nutraceutica, cosmetica e composti chimici in genere, prodotti biodegradabili in diversi ambienti con attenzione alla chiusura del ciclo del carbonio, alla rigenerazione e alla preservazione del suolo) potranno alimentare l'industria manifatturiera e i comparti del Made in Italy, garantendo, a livello globale, il riconoscimento degli alti standard qualitativi e di sostenibilità dei prodotti italiani, tutelando gli ecosistemi da cui derivano le biorisorse e rigenerare i territori, anche attraverso interventi di riconversione di aree marginali e siti industriali dismessi. L'implementazione di tali strategie dovrà essere supportata dallo sviluppo di criteri specifici per l'analisi del ciclo di vita dei prodotti e dei processi, in sintonia con i mutamenti normativi e l'esigenza della sostenibilità della produzione primaria e di preservazione degli ecosistemi e della biodiversità. A tal riguardo, specifica attenzione verrà posta alla ricerca di soluzioni a "basso e multi-input" di risorse, sia primarie sia secondarie, guidate da approcci *nature-based* realizzabili su diverse scale e che consentano lo sviluppo di nuovi modelli di innovazione e di business con ricadute sulle piccole e medie imprese integrate nei territori.

Impatto atteso: sviluppo di nuovi prodotti ad alto valore aggiunto in termini di neutralità climatica, che riducano le emissioni di gas a effetto serra e migliorino le funzioni di assorbimento e stoccaggio nei sistemi di produzione e negli ecosistemi. (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 31, 32); migliore adattamento e gestione della biodiversità e ripristino degli ecosistemi, delle risorse idriche e dei sistemi di produzione, nell'ottica della bioeconomia circolare (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 32, 33); migliore comprensione dei cambiamenti comportamentali e socioeconomici per approcci innovativi di governance che guidano la sostenibilità e uno sviluppo equilibrato di rinnovate aree rurali, costiere, periurbane e urbane (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 35).

Articolazione 3. Recupero e valorizzazione di scarti e prodotti organici a fine vita, per la rigenerazione dei suoli e la protezione dell'ambiente

Priorità di ricerca 3.a: valorizzazione integrata di residui, scarti e sottoprodotti agroalimentari, zootecnici, ittici attraverso nuove catene di valore circolari e connessioni industriali. Ecodesign per la progettazione e realizzazione di nuovi processi di produzione degli alimenti, finalizzati alla riduzione della generazione di scarti, tesa alla loro totale eliminazione, unitamente alle modalità di valorizzazione degli stessi. Potenziamento della ricerca mirata alla valorizzazione del carbonio rinnovabile derivante non solo dalle biorisorse e dai biomateriali (ad esempio, bioplastiche), ma anche dall'anidride carbonica e dai *biowaste* delle città, con la produzione di biometano, composti chimici, *compost* ecc., creando così sinergie tra le aree rurali e urbane, nella prospettiva di rigenerazione dei territori e ripristino della salute dei suoli. Tra gli obiettivi prioritari, la definizione di protocolli per la descrizione quali e quantitativa delle matrici complesse, come sono spesso quelle derivanti dagli scarti, sia per loro intrinseca eterogeneità sia per la commistione derivante dalla gestione e raccolta. Nella rigenerazione e valorizzazione degli scarti, l'attenzione deve essere dedicata

non solo al carbonio, ma anche ad altri elementi chimici che scarsi o mal distribuiti nel suolo, come fosforo, azoto, zolfo. L'approccio sistemico permetterà di adottare soluzioni innovative quali quelle basate sull'utilizzo del *biochar* e applicazioni *microbiome-based* per l'aumento della fertilità e della funzionalità dei suoli e il reingresso dei materiali e del carbonio nei cicli biogeochimici con un tempo di turnover compatibile con le attività antropiche.

Priorità di ricerca 3.b: nuove soluzioni per la gestione del fine vita dei materiali organici recalcitranti in un'ottica circolare – ecodesign, biodegradazione ed ecotossicità. È dimostrato che il problema dell'impatto ambientale dovuto alla dispersione nell'ambiente di materiali organici recalcitranti alla biodegradazione (ad esempio, nio plastiche, lubrificanti) può essere solo parzialmente risolto da strategie di raccolta e riciclo. Sono necessari studi che forniscano soluzioni efficaci, abbracciando l'intero ciclo di vita del materiale, a partire dal suo design, che dovrà rispondere alle esigenze funzionali del prodotto, fino alla sua "fine vita", con particolare riguardo alla possibilità che tale prodotto venga disperso in un particolare ecosistema (ad esempio, mare, suolo ecc.) o che possa essere recuperato tramite la trasformazione controllata delle sue componenti chimiche in monomeri o composti da riutilizzare secondo una logica di economia circolare. In tal senso vanno studiati i possibili effetti in termini di ecotossicità delle componenti di tali materiali (ad esempio, polimeri, microplastiche, monomeri, plastificanti, additivi) e dovranno essere sviluppate alternative non tossiche. Inoltre, l'esplorazione della biodiversità metabolica e di microorganismi e la caratterizzazione e ingegnerizzazione di enzimi degradativi può fornire, anche attraverso approcci di *synthetic biology*, strumenti biotecnologici per valorizzare diverse tipologie di prodotti e materiali attualmente considerati una minaccia ambientale (ad esempio, rifiuti plastici e lubrificanti plastificanti).

Impatto atteso: nuove catene di valore, grazie alla connessione sia all'interno delle filiere sia tra filiere industriali ora scollegate (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 34, 35); tecnologie atte a realizzare il disaccoppiamento tra crescita e consumo di biorisorse, attraverso nuovi processi di gestione del fine vita dei prodotti, garantendo modelli di *governance* che ne consentano la sostenibilità (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 33, 36); mitigazione della produzione di CO_2, sia per lo smaltimento del rifiuto organico (riduzione di 1,4 kg di CO_2eq per ogni kg di rifiuto organico recuperato biologicamente) sia per la sua maggiore assimilazione del suolo arricchito in carbonio organico. (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 31, 33).

Articolazione 4. Modelli di business innovativi per la moderna bioeconomia

Priorità di ricerca: definizione di modelli di business innovativi a supporto dello sviluppo della bioeconomia. Le potenzialità economiche delle filiere della bioeconomia circolare e della bioindustria sono sempre più evidenti. Per concretizzare tali potenzialità e, allo stesso tempo, promuovere società inclusive, resilienti e rispettose dell'ambiente, è essenziale stimolare l'integrazione fra i soggetti all'interno delle filiere, indurre un approccio relazionale multistakeholder e coinvolgere in modo organico e collaborativo i produttori delle diverse filiere, gli utilizzatori e i territori, in una logica di economia circolare. Per perseguire tali fini sono utili modelli di business innovativi che, in un coerente quadro normativo, siano in grado di: *a*) connettere in maniera organica gli attori delle filiere, anche attraverso soluzioni digitali avanzate; *b*) facilitare relazioni positive con gli stakeholder di filiera (innanzitutto consumatori, opinione pubblica, sistema finanziario, istituzioni locali e nazionali); *c*) consentire attività di governo, gestione, reporting finanziario e non finanziario, controllo di gestione attente, in maniera integrata, agli impatti economici, ambientali e sociali, individuando coerenti standard di riferimento e meccanismi di gestione e misurazione di tali impatti; *d*) promuovere la valorizzazione commerciale dei prodotti delle filiere e l'innovazione organizzativa e tecnologica. Tali modelli di business innovativi dovrebbero mirare a produrre equi tassi di redditività aziendale e ad attirare maggiori finanziamenti privati, valorizzando così le formidabili competenze e tradizioni tipiche delle filiere esistenti e parallelamente contribuendo a costruirne di nuove, in grado di porsi come propulsori dell'innovazione e della crescita sostenibile dell'intero bacino del Mediterraneo.

Impatto atteso: economico, con riferimento a modelli di business circolari e sistemi di governance innovativi (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 36); ambientale, in termini di contribuzione al forte orientamento al ripristino e alla salvaguardia della biodiversità (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 32), alla ecoefficacia e alla ecoefficienza dei sistemi industriali (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 31, 33); sociale, per valorizzare la salute e sicurezza di cittadini e consumatori (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 34) e per definire il perimetro dei sistemi socioeconomici dei territori su cui la bioeconomia e la bioindustria hanno impatto (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 35) ambientale e sociale.

*Il **Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*

5.6.4 Conoscenza e gestione sostenibile dei sistemi agricoli e forestali

Il settore agroalimentare deve sostenere sfide epocali e tutte le stime prevedono l'esigenza di aumentare il cibo prodotto nei prossimi decenni (almeno del 50% a livello globale) per soddisfare i fabbisogni nutritivi della popolazione. Questo richiederà inevitabilmente una nuova "rivoluzione verde", che dovrà essere gestita con l'intensificazione sostenibile delle produzioni per evitare di impattare negativamente sul capitale delle risorse naturali, contribuendo non solo alla loro conservazione, ma anche a renderle più abbondanti e disponibili. Il Green Deal che ispira il nuovo programma quadro di ricerca e sviluppo dell'Unione Europea (Horizon Europe) e i documenti strategici a supporto (ad esempio, *Food 2030*) raccolgono queste sfide. La recente pandemia di COVID-19 ha sottolineato l'importanza di un sistema agroalimentare robusto e resiliente che funzioni in tutte le circostanze e garantisca l'accesso a una fornitura sufficiente di cibo a prezzi accessibili per i cittadini[105]. Per tradurre queste sfide globali in indirizzi che guidino la ricerca italiana nel settore agricolo e forestale è necessario tenere in considerazione le sue specificità geografiche e organizzative, nonché l'evidenza che l'Italia presenta una bilancia commerciale negativa in quasi tutti i comparti del settore agroalimentare. La ricerca dovrà sostenere il Paese nel conseguimento dell'obiettivo strategico di aumentare la capacità di produrre alimenti, promuovendo l'innovazione in coerenza con le caratteristiche dei territori, sviluppando soluzioni e modelli produttivi e gestionali diversificati. Oltre a cercare strumenti per l'ottenimento di produzioni salubri, nutrienti, di qualità, a prezzi accessibili e remunerazione adeguata per i produttori, la ricerca dovrà fare altrettanto per il contenimento degli impatti su ambiente, clima e salute dei consumatori, e per la valorizzazione dei servizi ecosistemici dell'agricoltura.

Articolazione 1. Miglioramento sostenibile delle produzioni primarie

Impatto atteso: produrre di più e meglio, adattando l'agricoltura al cambiamento climatico, preservando e ottimizzando l'uso delle risorse ambientali e biologiche, e contribuendo alla sostenibilità economica e sociale. L'incremento sostenibile delle produzioni primarie è possibile agendo su:

a) miglioramento genetico di piante e animali, esigenza fondamentale di una moderna agricoltura finalizzata a incrementare la potenzialità e l'efficienza produttiva e la sostenibilità dell'ecosistema agricolo;

b) conservazione della biodiversità con obiettivo di valorizzare varietà e razze locali e salvaguardare le risorse genetiche utili a migliorare gli organismi per avere prodotti quantitativamente o qualitativamente migliori o per rendere gli organismi più resilienti;

c) studio del metabolismo e della fisiologia degli organismi che consente di passare dal gene alla proteina e al metabolita prodotto, completando la sequenza di informazioni necessarie per comprendere le basi fondamentali della vita, le potenzialità produttive degli organismi e i meccanismi di adattamento e resistenza alle avversità;

d) fenotipizzazione di piante e animali che, nell'era dell'agricoltura e della zootecnia di precisione, comporta l'uso di tecnologie non-distruttive, biosensori e di tecnologie dell'informazione per integrare dati biologici e osservazioni sugli agroecosistemi e gli allevamenti animali a fini decisionali, con l'obiettivo di ottimizzare le rese, nell'ottica di una sostenibilità avanzata di tipo ambientale, economico e sociale;

e) tecnologie e informatica per il settore primario, indispensabili per mettere in atto processi produttivi efficienti e rispettosi delle risorse ambientali;

[105] COM(2020) 381 final, A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system.

f) resilienza e adattamento al cambiamento climatico per ridurre la vulnerabilità di piante e animali e ottimizzare la funzione che agricoltura e foreste svolgono come agenti di mitigazione delle emissioni;

g) sistemi ad alto controllo ambientale. Si tratta di ambienti confinati, con uso del suolo limitato, ma caratterizzati da strutture/infrastrutture che consentono il controllo delle variabili ambientali, la gestione automatizzata delle operazioni, l'ottenimento di elevate prestazioni produttive per unità di superficie.

Articolazione 2. Sicurezza e qualità delle produzioni primarie

Impatto atteso: riduzione del deficit della bilancia commerciale italiana del settore agroalimentare; miglioramento della dieta e della salute; riduzione dell'impatto ambientale.

La sicurezza alimentare e la qualità degli alimenti dipendono anche dai sistemi agrari che generano le materie prime per il consumo diretto o la trasformazione. Le priorità di ricerca individuate sono tre.

Priorità di ricerca 2.a: difesa integrata nelle produzioni vegetali e animali al fine di preservare il benessere degli organismi di cui ci alimentiamo (piante o animali), degli ecosistemi e dell'uomo stesso (*One Health*). L'intensificazione delle produzioni e del commercio, il rapido cambiamento climatico e la crescente presenza di inquinanti antropogenici sono tra i fattori che concorrono al prevedibile preoccupante incremento di patogeni e fitofagi, reso ancora più serio dall'aumento delle invasioni di specie aliene. Le crescenti limitazioni di legge all'uso di presidi fitosanitari e antibiotici impongono l'urgente ricorso a tecnologie innovative di difesa, che prendano spunto da conoscenze biologiche, epidemiologiche e molecolari di agenti patogeni e specie aliene e/o emergenti.

Priorità di ricerca 2.b: Miglioramento della qualità dei prodotti alimentari, finalizzate a: *a*) approfondire e valorizzare le conoscenze sulle proprietà organolettiche e nutraceutiche delle produzioni vegetali e animali; *b*) valorizzare l'agro-biodiversità e la diversificazione colturale con l'inserimento di colture proteiche; sviluppare agrotecnologie per la fortificazione delle produzioni vegetali; *c*) individuare colture, tecniche di coltivazione e prodotti di origine animale per l'alimentazione di bambini, anziani e persone affette da particolari patologie nuove formulazioni di ingredienti e mangimi per l'alimentazione animale.

Priorità di ricerca 2.c: Sistemi informativi per la valorizzazione della qualità. Saranno da studiare sistemi di tracciabilità molecolare e blockchain per garantire origine, qualità e sicurezza delle materie prime.

Articolazione 3. Integrazione fra agricoltura a destinazione alimentare e non alimentare

Impatto atteso: promuovere l'economia circolare, attraverso la produzione di bioenergie e agroenergie rinnovabili, biomateriali; contribuire alla decarbonizzazione, alla lotta al cambiamento climatico, alla protezione del suolo e dell'ambiente, favorendo la resilienza dei sistemi agricoli e il presidio del territorio.

L'incremento delle produzioni primarie e biomasse in generale è auspicabile non solo a fini alimentari, ma anche per ottenere bioprodotti, energia e biofertilizzanti. La produzione e il recupero di biomasse utili e bioconvertibili sono da considerare un valore aggiunto della produzione agricola.

Priorità di ricerca 3.a: produzione di energia. I sottoprodotti del settore primario, dell'agroindustria e della silvicoltura, rappresentano un rilevante potenziale che può essere valorizzato per produrre energie rinnovabili mediante tecnologie innovative e l'uso di microrganismi. Lo sfruttamento delle biomasse lignocellulosiche è legato in modo rilevante alla meccanizzazione e logistica che richiede un consistente impegno della ricerca e del trasferimento tecnologico. Particolare importanza assume lo sforzo di ottenere genotipi e colture da biomassa anche idonei a terreni marginali. Le agroenergie in infrastrutture agricole sono alla base del futuro sviluppo di "comunità energetiche rinnovabili" di aziende e piccoli borghi rurali, accrescendo il loro valore ambientale e socioculturale.

Priorità di ricerca 3.b: bioprodotti e biofertilizzanti. Mentre è particolarmente auspicabile nel periodo post-COVID-19, l'utilizzo di piante e organismi vegetali come bioreattori per ottenere farmaci e vaccini in grandi quantità e a costi contenuti, le biomasse possono fornire prodotti e materiali innovativi per una pluralità di applicazioni in tanti settori. La ricerca dovrà orientarsi verso genotipi e produzioni agrarie che possano fornire materiali di alto valore aggiunto che, uniti allo sviluppo di tecnologie avanzate, come per esempio la saccarificazione enzimatica o basate sull'uso di lieviti,

siano capaci di trasformare le biomasse e scarti in materiali bioconvertibili, poco costosi e di basso impatto per l'ambiente.

Articolazione 4. Attività agricola e forestale a protezione dell'ambiente e delle risorse naturali

Impatto atteso: promuovere la transizione ecologica del settore agrario secondo un duplice binario di favorire il riequilibrio ambientale e potenziarne la rigenerazione ecologica; accompagnare il Green Deal europeo sostenendo ricerche sull'ottimizzazione ecologico-ambientale dei sistemi agrari, impiegando le risorse naturali entro i limiti di disponibilità, rispettandone l'integrità e prevenendone il degrado.

Priorità di ricerca 4.a: sistemi agroforestali ad alta compatibilità ambientale. L'uso degli input agrotecnici non deve originare perturbazioni ambientali attribuibili ai rilasci inquinanti. Le linee di ricerca riguardano: il miglioramento delle prestazioni emissive di gas ad azione clima-alterante; l'intensificazione sostenibile delle foreste; il miglioramento della gestione dei nutrienti, la gestione sostenibile delle risorse idriche, anche di scarsa qualità; la sperimentazione di tecniche innovative di fitodepurazione delle acque e di biorimedio dei suoli contaminati; la gestione degli allevamenti e dei pascoli per il benessere animale; l'agricoltura d'acqua dolce; lo sviluppo di modelli agroambientali e di strumenti di analisi multi-attributo.

Priorità di ricerca 4.b: sistemi agroforestali a elevata valenza ecologica. La progettazione in chiave ecologica consente di potenziare stabilità e resilienza, massimizzando il flusso dei servizi ecosistemici. L'analisi di modelli innovativi di agricoltura (ad esempio, *mixed farming systems*) consente di promuovere sistemi produttivi a elevata efficienza, positivo valore naturale, idonei alla protezione degli habitat e dalla conservazione della biodiversità. Lo studio della biodiversità funzionale può fornire informazioni sulle condizioni di stabilità dei sistemi agrari ed esaltarne i risultati produttivi.

Priorità di ricerca 4.c: conservazione della qualità dei suoli, ruolo fondamentale per l'uso e la gestione agroforestale sostenibile e per affrontare le grandi sfide globali della sicurezza alimentare, del cambiamento climatico e della scarsità di risorse.

Articolazione 5. Sistemi agricoli e forestali per la salvaguardia e la valorizzazione del territorio

Impatto atteso: incremento della qualità ecologica e del potenziale di produzione di beni e servizi dei diversi territori e riduzione del divario tra aree urbane e rurali, interne e di montagna; arricchimento del registro delle varietà e razze da conservazione; ottimizzazione della gestione territoriale e conservazione del paesaggio.

La ricerca deve sostenere strategie innovative per la protezione dell'ambiente e potenziare i benefici economici, ambientali e sociali derivanti dalla grande varietà territoriale italiana, caratteristica unica e strategica da valorizzare attraverso:

a) tecniche e strumenti di telerilevamento, piattaforme tecnologiche e analisi di big data finalizzate al monitoraggio, alla gestione e alla mitigazione degli effetti del cambiamento climatico per elaborare sistemi di prevenzione dei rischi e per individuare indicatori di qualità di paesaggio;

b) strategie di pianificazione e gestione territoriale per coniugare gli obiettivi di sviluppo degli insediamenti abitativi e produttivi con l'esigenza di limitare il consumo di suolo agricolo, prevenire i dissesti idrogeologici, valorizzare le conoscenze sulla vocazionalità pedologica dei territori;

c) studio degli ecosistemi agricoli e forestali dei diversi territori per innovare le tecniche di produzione in relazione alle specificità;

d) valorizzazione territoriale delle risorse genetiche vegetali e animali locali (*landraces*), per la conservazione e per l'utilizzo in diversi settori: dall'agroalimentare, medicinale/salutistico, biotecnologico fino a quello forestale, sia nelle filiere corte sia in quelle tipiche e industriali;

e) studio degli effetti delle condizioni colturali/di allevamento sulle produzioni, e sviluppo di metodi analitici per la loro caratterizzazione geografica, al fine di valorizzare le produzioni delle differenti aree, incluse quelle interne, montane e collinari e con condizioni pedo-climatiche limitanti, che necessitano inoltre dello sviluppo di soluzioni tecnologiche e di automazione adeguate;

f) individuazione di indicatori e metodi di misurazione dei servizi ecosistemici resi dalle diverse componenti territoriali e dei prodotti derivanti dalla loro integrazione (ad esempio turismo);

g) studi sull'adattabilità di specie vegetali agli ambienti antropizzati ai fini produttivi e utili alla progettazione e alla gestione delle infrastrutture verdi e alla riqualificazione ambientale.

Articolazione 6. Analisi e valutazioni socioeconomiche dei sistemi produttivi agrari

Impatto atteso: definizione di azioni/strumenti per il conseguimento della sostenibilità economica, sociale e ambientale delle attività agricole. L'obiettivo di questa articolazione è individuare le linee di ricerca strategiche per garantire la sostenibilità economica e sociale delle attività agricole:

a) valutazione del benessere nelle aree rurali al fine di definire strumenti/azioni per il superamento di situazioni di insoddisfacente qualità della vita;

b) valutazione delle funzioni non di mercato svolte dall'agricoltura per definire strumenti operativi di politica agraria in grado di permettere attraverso un'equa retribuzione di tali servizi la limitazione dei fenomeni di abbandono e la piena valorizzazione del ruolo socio ambientale delle aziende agricole;

c) studio di approcci bottom-up per le aree rurali più vulnerabili che favoriscano forme di aggregazione sociale ed economica e modelli di cooperazione pubblico-privato-sociale nelle attività economiche e nell'erogazione dei servizi pubblici;

d) miglioramento del valore aggiunto del settore principalmente attraverso lo studio: di strumenti per incentivare la riorganizzazione fondiaria; di nuovi modelli di associazionismo e di crescita professionale in agricoltura; di azioni di miglioramento della *food chain* sia come forme di governance sia come innovazioni tese alla massima efficienza dei canali distributivi; di nuovi modelli di business basati su prodotti innovativi sostenibili e processi produttivi capaci di valorizzare le proprietà funzionali dei prodotti; di nuovi strumenti di gestione del rischio adeguati per le produzioni italiane, caratterizzate da eterogeneità qualitativa e dimensioni dei mercati limitate; dei consumatori per comprenderne la conoscenza/consapevolezza dei/sui prodotti alimentari al fine dello sviluppo di adeguate campagne informative finalizzate alla promozione di un consumo consapevole e sostenibile.

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizioni dell'articolazione 4 di questa area d'intervento.*

*Il **Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*

5.6.5 Conoscenza, innovazione tecnologica e gestione sostenibile degli ecosistemi marini

In un Paese come l'Italia, con 8.000 km di costa e una posizione strategica nel Mediterraneo, la *blue economy* presenta ampi margini di crescita. Tuttavia, non bisogna trascurare le forti pressioni che questa genera sull'ecosistema marino compromettendone il buono stato. Il concetto di "uso sostenibile delle risorse" appare ormai obsoleto e non sufficiente a garantire il corretto funzionamento di ecosistemi essenziali anche al benessere umano. Conoscenza, innovazione tecnologica e gestione sostenibile degli ecosistemi marini rappresentano le aree su cui investire per ridisegnare il concetto di sostenibilità marina che guidi alla creazione di soluzioni funzionali alla protezione e all'integrità degli ecosistemi marini in sintonia con la presenza dell'uomo. La sostenibilità marina si ottiene usufruendo di beni e servizi offerti dall'ambiente in modo da non erodere la biodiversità e non compromettere il funzionamento degli ecosistemi. Ogni iniziativa economica deve obbedire a principi di sostenibilità, basati sull'approccio ecosistemico. La conoscenza della struttura e della funzione dei sistemi naturali è una precondizione al mantenimento della loro integrità, come

richiesto dalla *Marine Strategy Framework Directive*[106]. Questa conoscenza permetterà di disegnare sistemi osservativi per ottenere informazioni che ci permettano di guidare e ridisegnare le attività economiche che insistono direttamente o indirettamente sull'ambiente marino, inclusa la mobilità, la portualità, il turismo, l'industria, la pesca e l'acquacoltura, la produzione di energia, l'estrazione di minerali e altre attività a base terrestre che, attraverso la rete delle acque interne, riversano in mare rifiuti e sostanze inquinanti di origine agricola, industriale e civile. Le sfide a cui la ricerca e l'innovazione devono rispondere per abilitare il nuovo concetto di sostenibilità marina si articolano in 6 ambiti di ricerca: 1. Conoscenza degli ecosistemi marini e della fascia costiera, 2. Tecnologie industriali e digitali per la navigazione e la gestione sostenibile delle operazioni in mare, 3. Innovazione infrastrutturale per lo sviluppo di una nuova economia sostenibile legata al mare, 4. Nuovi modelli per la valorizzazione sostenibile delle risorse marine, 5. Strumenti osservativi per la conoscenza dell'ecosistema marino e costiero, 6. Costruzione di modelli di gestione basati sull'approccio ecosistemico.

Articolazione 1. Conoscenza degli ecosistemi marini e della fascia costiera (TRL < 6)

Priorità di ricerca. Per fornire supporto alle politiche di gestione e conservazione ambientale, la ricerca dovrà colmare lacune conoscitive sui sistemi naturali (ecosistemi) su cui incidono le pressioni antropiche. Le linee di ricerca prioritarie riguardano: comprensione delle relazioni tra biodiversità, funzionamento degli ecosistemi e servizi ecosistemici; identificazione di limiti di resilienza e soglie critiche di transizione verso stati alternativi e collasso degli ecosistemi rispetto a pressioni antropiche multiple (inclusi inquinamento, cambiamento climatico, specie invasive); conservazione, ripristino e riabilitazione degli ecosistemi, inclusa la rimozione di contaminanti e la mitigazione di effetti climatici attraverso "soluzioni naturali" e d'assorbimento di carbonio dei sistemi marini; identificazione di unità ecosistemiche di gestione dell'ambiente marino per la conservazione e la pianificazione spaziale marittima; gestione sostenibile della fascia costiera, con la comprensione della dinamica di erosione della fascia costiera anche alla luce dei cambiamenti climatici per comprendere le connessioni tra ambiente marino e terrestre attraverso l'analisi di impatti antropici da terra. La conoscenza scientifica si tradurrà in politiche gestionali con lo sviluppo di modelli e metodi di sintesi della conoscenza.

Impatto atteso[107]: collegamento tra salute ambientale e umana, approccio *One Health* (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 1); adattamento e mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 25); contributo alla neutralità climatica attraverso il *blue-carbon* (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 31); soluzioni innovative per fermare il declino della biodiversità e per preservare, riabilitare e ripristinare il funzionamento degli ecosistemi marini (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 32); Impulso all'economia circolare attraverso lo sviluppo di nuove metodiche per il monitoraggio e la rimozione di contaminanti e per la gestione e il riutilizzo delle risorse naturali (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 33); contributo allo sviluppo di nuovi modelli di governo per la sostenibilità attraverso la condivisione di conoscenze, metodologie e dati (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 36).

Articolazione 2. Tecnologie industriali e digitali per la navigazione e la gestione sostenibile delle operazioni in mare (TRL > 2)

Priorità di ricerca. Il trasporto marittimo è uno dei principali motori del commercio globale, nonché una delle cause di inquinamento degli ecosistemi naturali; necessita pertanto di trasformarsi in un sistema sicuro e sostenibile. Le attività di ricerca e di innovazione devono intervenire su più livelli partendo dalla costruzione di navi e imbarcazioni green (a ridotto impatto sui diversi comparti ambientali) riprogettando processi e materiali costruttivi nell'ottica del *life cycle thinking approach* e introducendo l'utilizzo di impiantistica per combustibili innovativi. Inoltre, il rapido progresso del settore ICT e delle tecnologie satellitari offre numerose possibilità di attivazione di un percorso continuo e incrementale per una navigazione sempre più autonoma per la gestione sostenibile delle operazioni in mare, in grado di salvaguardare la salute del mare e dell'uomo. Le tecnologie digitali possono integrare in forma più estesa e attiva i

[106] Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive).
[107] In Appendice I è riportata la lista degli impatti attesi in Horizon Europe ai quali si fa riferimento nel testo.

processi industriali con l'ambiente di riferimento, costituendosi come l'estensione nervosa che scambia dati con confini di sistema prima non raggiungibili. Le decisioni di gestione delle operazioni nel rispetto dell'ambiente si avvarranno di sensorizzazione diffusa, simulazione in tempo reale, intelligenza artificiale. Occorre investire nella robotica marina (mezzi cooperanti tra loro e con navi a supporto, relativa sensoristica e algoritmi di controllo, impianti di interfaccia robot-nave) per la gestione in remoto delle operazioni in mare e per l'osservazione degli ecosistemi marini, fornendo nuove funzionalità in diversi scenari applicativi migliorando l'esecuzione delle operazioni e aumentandone il livello di sicurezza.

Impatto atteso: creazione e adozione di processi costruttivi e materiali riciclabili innovativi basati sul concetto di economia circolare e implementazione di soluzioni tecnologiche digitali che contribuiscano alla decarbonizzazione del trasporto marittimo (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 19); tecnologie per l'efficientamento energetico delle imbarcazioni e l'impiego di combustibili alternativi a supporto del processo di transizione del settore dei trasporti verso obiettivi di neutralità climatica e sostenibilità ambientale (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 26); soluzioni tecnologiche avanzate per un sistema di trasporto marittimo competitivo e pulito (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 29); creazione di un sistema di trasporto in mare sicuro e intelligente mediante le tecnologie digitali e i servizi avanzati di navigazione satellitare (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 30).

Articolazione 3. Innovazione infrastrutturale per lo sviluppo di una nuova economia sostenibile legata al mare (TRL > 3)

Priorità di ricerca. Le infrastrutture marittime (ad esempio, porti e relative infrastrutture, condotte sottomarine, scogliere) rappresentano una delle principali fonti di alterazione dell'ecosistema marino. Occorre, quindi, uno sforzo di ricerca orientato al progresso della sostenibilità delle infrastrutture esistenti e al concepimento di nuove infrastrutture green e smart. Acque interne e costiere, emissioni in atmosfera, mobilità e logistica, energia, rifiuti, rumore rappresentano le priorità fondamentali che devono essere attentamente ed efficacemente valutate nella progettazione di strutture green. A tal fine dovranno essere sviluppate conoscenze, processi e innovazioni tecnologiche che garantiscano la buona qualità dell'acqua per gli ecosistemi e la biodiversità in relazione alle stesse attività portuali (ad esempio, infrastrutture necessarie per l'impiego di combustibili alternativi; *microgrid*) e alle operazioni di posa in opera e interro delle condotte subacquee (ad esempio, processi di gestione delle acque del bacino portuali; studio idrodinamico delle acque interne e costiere), valutando anche i possibili impatti dovuti al cambiamento climatico (utilizzo di tecnologie smart per l'ottimizzazione dell'efficienza e della sicurezza di processi portuali e di cantiere). Occorre promuovere lo sviluppo di una *Smart Bay* quale polo nazionale d'eccellenza delle scienze, dell'ingegneria, dell'imprenditoria e dell'alta formazione, che potrà colmare i gap di conoscenza relativi alle dinamiche ambientali e al funzionamento degli ecosistemi marini e delle fasce costiere.

Impatto atteso: tecniche e sistemi per la progettazione e costruzione di infrastrutture portuali resilienti (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 13); sviluppo di conoscenze e tecnologie per la realizzazione e messa in opera delle condotte sottomarine a basso impatto (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 16); sviluppo di un polo tecnologico delle scienze dedicato all'avanzamento delle conoscenze legate al mare e ai problemi della società riguardanti la mitigazione e l'adattamento al clima (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 25); sistemi di monitoraggio in prossimità delle condotte sottomarine dei parametri di natura ecologica per la difesa della biodiversità (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 32).

Articolazione 4. Nuovi modelli per la valorizzazione sostenibile delle risorse marine (TRL > 4)

Priorità di ricerca. I mari e gli oceani racchiudono risorse strategiche ed energie rinnovabili a basse emissioni di CO_2. Questo scenario comporta la necessità di identificare, sulla base di nuove conoscenze, tecniche di esplorazione e utilizzo innovative, che coniughino l'efficacia delle operazioni con la salvaguardia degli ecosistemi marini. La realizzazione di nuove piattaforme e impianti dovrà basarsi sul *life cycle thinking approach* dando vita a nuove tecniche di progettazione che tengano conto della valutazione e della riduzione degli impatti configurabili in fase di dismissione. La ricerca deve insistere sull'identificazione di metodologie per l'esercizio della contabilità naturale e della *life cycle analysis* adatte ai sistemi marini, sull'analisi e valutazione dei servizi ecosistemici e dell'impatto delle attività produttive sugli ecosistemi. Occorre valorizzare l'attuazione di un approccio ecosistemico alla gestione delle risorse marine.

Anche il destino di piattaforme offshore dismesse rappresenta una risorsa importante per attività che siano rispettose dell'ambiente con notevoli benefici per la collettività.

Impatto atteso: tecniche di progettazione e costruzione di piattaforme offshore basate sull'adozione del *life cycle thinking approach* (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 19); sviluppo di tecnologie per la produzione, lo stoccaggio e la distribuzione di energia rinnovabile marina (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 27); processi di dismissione innovativi a basso impatto ambientale basati sui principi dell'economia circolare (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 32); nuove tecnologie e metodi di indagine sostenibili per l'esplorazione e l'estrazione delle risorse dai fondali marini (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 33).

Articolazione 5. Strumenti osservativi per la conoscenza dell'ecosistema marino e costiero (TRL>3)

Priorità di ricerca. La creazione di modelli di gestione sostenibile non deve prescindere da tecniche di rilevamento di dati e sistemi osservativi tecnologicamente avanzati, che considerino le variabili rilevanti per la comprensione della struttura e del funzionamento degli ecosistemi marini e costieri e l'identificazione di alterazioni dovute ad impatti antropici e cambiamenti climatici. Le reti esistenti coprono variabili fisiche, chimiche, biogeochimiche e geologiche che devono essere sviluppate ulteriormente. Le reti devono essere adeguate per rispondere all'esigenza di rilevare variabili che comprendano la biodiversità e il funzionamento degli ecosistemi. L'utilizzo e lo sviluppo di tecnologie in continuo, *in situ* e in remoto dovranno coprire tutte le variabili su tutta la colonna d'acqua. L'adeguamento delle reti osservative richiederà la formazione di esperti di biodiversità e funzionamento degli ecosistemi da affiancare agli esperti di variabili abiotiche. La produzione di modelli integrati basati su approcci olistici permetterà l'identificazione di tendenze a lungo termine e la previsione a breve e medio termine dello stato degli ecosistemi marini, a supporto di sistemi di gestione delle attività e delle emergenze. I sistemi di governance delle reti dovranno garantirne la sostenibilità e la diffusione di tutti i dati in tempo reale secondo il protocollo INSPIRE-FAIR[108].

Impatto atteso: sistemi osservativi marini per acquisire conoscenza e stimolare strategie di sostenibilità che portino a modificare gli stili di vita e i modelli di produzione e consumo verso obiettivi di sostenibilità ambientale, garantendo la salvaguardia dei servizi ecosistemici essenziali alla salute dell'uomo (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 1, 2); sistemi per l'acquisizione e l'elaborazione dati basate su tecnologie e servizi satellitari (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 23); reti osservative e modelli integrati per acquisire conoscenze sul funzionamento degli ecosistemi e della biodiversità e per comprendere come arrestare il processo di degrado e promuovere l'uso sostenibile delle risorse marine (cfr. impatti attesi di Horizon Europe n. 31, 32); l'osservazione e la conoscenza degli ecosistemi marini e della biodiversità per la realizzare di modelli di monitoraggio e di governance che garantiscano la sostenibilità marina (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 36).

Articolazione 6. Costruzione di modelli di gestione basati sull'approccio ecosistemico (TRL > 3)

Priorità di ricerca. Gli effetti negativi generati dallo sfruttamento incontrollato di risorse comuni sono ben noti. Le attività legate al turismo, alla pesca e all'acquacoltura si classificano come tali e, pertanto, è necessario intervenire affinché non rappresentino fonti di rischio per il corretto funzionamento degli ecosistemi marini. Il turismo balneare caratterizzato da una forte stagionalità, con picchi nel periodo estivo e un'elevata concentrazione di turisti nelle zone costiere, richiede la definizione di modelli per mitigare gli impatti ambientali che insistono sulle coste incentivando, al contempo, il turismo anche nelle zone dell'entroterra. Anche le attività di pesca e acquacoltura richiedono nuove modalità di gestione ridisegnate secondo un approccio ecosistemico[109]. La ricerca alieutica deve sviluppare conoscenza di base e innovazione tecnologica finalizzata a ridurre l'impatto, migliorare la conservazione dei prodotti, migliorare la connessione filiera pesca/acquacoltura con il recupero degli scarti e/o con nuove produzioni, ridurre i consumi

[108] DIRECTIVE 2007/2/EC of the EUROPEAN PARLIAMENT and of the COUNCIL of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).
[109] Regulation (EU) No 1380/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on the Common Fisheries Policy, amending Council Regulations (EC) No 1954/2003 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulations (EC) No 2371/2002 and (EC) No 639/2004 and Council Decision 2004/585/EC); GFCM Secretariat (2016), *Mid-term strategy (2017–2020) towards the sustainability of Mediterranean and Black Sea fisheries* (resolution GFCM/40/2016/2).

energetici e operare attivamente nel recupero della spazzatura marina, in un'ottica di economia circolare. L'acquacoltura rappresenta un obiettivo importante per ridurre l'impatto derivante dalla pesca negli ecosistemi naturali. La conoscenza degli ecosistemi in cui si collocano gli impianti, per variabili sia abiotiche sia biologiche, rappresenta un fondamentale obiettivo di ricerca nel settore.

Impatto atteso: accrescere la conoscenza e l'innovazione nella gestione delle attività dei settori del turismo, della pesca e dell'acquacoltura, rispettando il corretto funzionamento della biodiversità e degli ecosistemi in mare (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 32); modelli di gestione delle attività di turismo, pesca e acquacoltura basati sui principi dell'economia circolare quali driver di competitività (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 33); conoscenza delle attività di pesca e acquacoltura e delle relative interazioni con il sistema mare, per migliorare gli standard qualitativi e di sicurezza della filiera alimentare ad essi connessa (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 34); conoscenze e metodologie per la creazione di modelli di monitoraggio e gestione delle attività di turismo, della pesca e dell'acquacoltura (cfr. impatto atteso di Horizon Europe n. 36).

Alta formazione

Lo sviluppo di nuove conoscenze e la progettazione e l'utilizzo di nuove tecnologie a supporto del concetto di sostenibilità marina richiedono la creazione di nuove figure professionali con consolidate conoscenze e competenze in materia di biodiversità e servizi ecosistemici che abbraccino più discipline (ad esempio, biologia, ingegneria, economia). Ciò richiede la progettazione di percorsi di alta formazione multidisciplinari, basati sull'integrazione delle diverse specializzazioni attraverso, ad esempio, strumenti e metodologie per la condivisione delle diverse conoscenze. Nei documenti programmatici europei, quali quello dello *European Accademy Science Advisory Council* si fa riferimento all'Università del mare proprio per formare specialisti delle principali discipline in grado di valorizzare le risorse del mare in un'ottica di sostenibilità. I nuovi profili saranno in grado di identificare le soluzioni di *trade-off* e i parametri su cui intervenire per conservare il capitale naturale e favorire la crescita della *blue economy*.

*Il **Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare** ha fornito contributi per la definizioni delle articolazioni 1-6 di questa area d'intervento.*

*Il **Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali** ha fornito contributi per la definizione delle articolazioni di questa area d'intervento.*

6. I PIANI NAZIONALI

6.1 IL PIANO NAZIONALE PER LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA

6.1.1 Analisi dello stato dell'arte

L'ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*) definisce[110] le Infrastrutture di ricerca (IR) come strutture, risorse e servizi collegati, utilizzati dalla comunità scientifica per condurre ricerche di alta qualità nei rispettivi campi, senza vincolo di appartenenza istituzionale o nazionale.

Simile anche la definizione data dalla Commissione Europea: "Research infrastructure means facilities, resources and related services that are used by the scientific community to conduct top-level research in their respective fields and covers major scientific equipment or sets of instruments; knowledge-based resources such as collections, archives or structures for scientific information; enabling Information and Communications Technology-based infrastructures such as Grid, computing, software and communication, or any other entity of a unique nature essential to achieve excellence in research. Such infrastructures may be 'single-sited' or 'distributed' (an organised network of resources)"[111].

Entrambe le definizioni hanno quale elemento comune – che differenzia le IR da piattaforme tecnologiche, da network di laboratori, da collezione di dati o biblioteche – la particolarità di dare accesso aperto a tutta la comunità scientifica pubblica o privata, accademica o industriale, attraverso pratiche ben identificabili e convalidate.

Nel precedente Programma nazionale per le infrastrutture di ricerca (PNIR)[112], sono state individuate 97 IR riconosciute come tali a seguito di una valutazione interna al MUR. Di queste, 56 sono state definite prioritarie in base a criteri legati al grado di coinvolgimento della comunità scientifica, all'impatto e al livello di maturità, nonché all'eccellenza scientifica.

Dopo 6 anni di funzionamento del PNIR e del Programma europeo Horizon 2020, si possono definire alcuni punti di forza e criticità del sistema così creato e finanziato attraverso il Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca (FOE).

Punti di forza:

- qualità delle nostre IR in ambito internazionale con tasso di successo molto buono nelle azioni di Horizon 2020;
- investimenti a sostegno della partecipazione alle principali Infrastrutture di Ricerca di livello europeo, consentendo alla comunità scientifica nazionale di avere accesso alle IR di punta localizzate in territorio europeo;
- benefici dell'azione di potenziamento delle IR nazionali prioritarie, messa in atto attraverso il Programma operativo nazionale ricerca e innovazione 2014-2020, per un valore di 326 milioni di euro (cfr. avviso di "Potenziamento Infrastrutturale" di cui al D.D. 28 febbraio 2018, n. 424).

Criticità:

- attrattività e riconoscimento non ottimali del ruolo di facilitatore della ricerca delle IR con relativo sottoutilizzo delle stesse;
- scarso coordinamento fra le IR, nonostante il bisogno della ricerca europea e nazionale di un'azione più trasversale agli ambiti di ricerca;

---

[110] http://www.esfri.eu/, consultato il 15/11/2020.
[111] EC DG RTD (2010), *Legal framework for a European Research Infrastructure Consortium – ERIC. Practical Guidelines.* Publications Office of the European Union, Luxembourg.
[112] http://www.ponricerca.gov.it/notizie/2017/pnir/, consultato il 15/11/2020.

- scarsa integrazione delle IR, nonostante nascano nelle comunità scientifiche, in progetti di ricerca e di scambio o mobilità dei ricercatori;
- insufficiente coordinamento dei diversi attori (fra ministeri potenzialmente coinvolti, fra attori pubblici e privati) e delle politiche, nazionali e regionali;
- assenza di garanzia di una stabilità pluriennale del finanziamento, in quanto lo stesso è prevalentemente assicurato con fondi ordinari di funzionamento degli enti e istituzioni di ricerca (FOE), la cui ripartizione è definita attraverso un decreto ministeriale con periodicità annuale;
- assenza di appositi strumenti di finanziamento per le IR a disposizione di altre istituzioni pubbliche di ricerca;
- assenza di un unico processo di valutazione, organico e complessivo, del panorama delle Infrastrutture di Ricerca, che comprenda anche aspetti che vadano oltre la qualità scientifica dell'IR, come ad esempio il loro impatto sulle comunità scientifiche e quello socioeconomico, e che indirizzi il finanziamento delle IR.

6.1.2 Proposte

Le IR sono e devono essere elemento fortemente attrattivo per i ricercatori di tutto il mondo, rappresentando il luogo fisico o virtuale aperto a tutti, per poter condurre ricerche d'avanguardia, sperimentare, crescere e innovare.

Al contempo, le IR devono essere patrimonio della comunità scientifica, che ne riconosce il valore, e del sistema della ricerca nazionale ed europeo, che le organizza e sostiene.

Le azioni principali riguardano:

- la creazione di una rete delle IR e la loro diffusione e conoscenza;
- il rafforzamento delle politiche per l'accesso;
- il riconoscimento delle IR quale strumento per l'attività di ricerca degli ambiti del PNR e per la partecipazione ai partenariati europei (ad esempio, EOSC e EuroHPC);
- il ruolo delle IR nell'innovazione e nei rapporti con l'industria e lo sviluppo di Infrastrutture Tecnologiche (IT);
- l'utilizzo delle IR nell'alta formazione;
- le modalità di finanziamento.

6.1.2.1 La rete delle IR e la loro diffusione

Le Infrastrutture di Ricerca devono seguire un processo dinamico ed essere capaci di adattarsi a nuovi schemi, sostenendo e prevedendo gli sviluppi a breve e medio termine della ricerca.

È, quindi, fondamentale creare nuove reti di IR o modificare e intervenire su IR esistenti, adeguandone gli obiettivi e prevedendo l'impiego di nuove tecnologie che le rendano più adatte a rispondere ai bisogni della ricerca, seguendone l'evoluzione.

La rete delle IR deve permettere, da un lato, di soddisfare i bisogni di ricerca individuati nelle priorità strategiche e negli ambiti di ricerca e innovazione del PNR 2021-27, dall'altra, di perseguire le finalità della ricerca di eccellenza, indicando i bisogni emergenti e sviluppando nuove conoscenze.

A questo scopo, le IR potranno fondersi, o riorientarsi o terminare la loro attività, in sintonia con i programmi nazionali per la ricerca (PNR 2021-27) ed europei (Horizon Europe). In maniera ancora più flessibile potranno, inoltre, fornire servizi combinati fra IR diverse, allo scopo di rispondere a domande di ricerca complesse (si pensi ad esempio all'interazione fra salute, ambiente e alimentazione).

L'attività di divulgazione della esistenza e delle attività delle IR, in quanto patrimonio della comunità scientifica è, inoltre, di fondamentale importanza. Non solo devono essere note e utilizzate al meglio dal mondo della ricerca per competere nelle conquiste della scienza, ma devono anche essere nella disponibilità dei cittadini, affinché possano gradualmente riconoscerle e comprenderne l'utilità.

6.1.2.2 L'accesso

Con l'accesso aperto ai risultati (dati, articoli, standard, procedure, strumenti ecc.) e alle *facilities* dove svolgere e perfezionare la ricerca, le IR si impegnano a svolgere un ruolo rilevante nell'attuazione della strategia sulla scienza aperta promossa dalla Commissione Europea per migliorare la circolazione delle conoscenze e l'innovazione.

L'accesso alle IR rappresenta, anche per il settore privato, un'opportunità unica per utilizzare le migliori tecnologie e competenze esistenti, creare e testare nuovi prodotti e servizi per il mercato, risolvere problemi tecnici suscettibili, diversamente, di rallentare lo sviluppo di attività imprenditoriali innovative e altamente competitive.

È dunque opportuno promuovere un accesso sempre più aperto e sostenibile, nelle tre diverse tipologie:

- accesso virtuale a dati, strumenti e prodotti digitali;
- accesso fisico di persona a laboratori e *facilities*;
- accesso remoto a risorse, strumentazioni e servizi, utilizzando le attrezzature a distanza.

Occorre incentivare e supportare il programma di accesso alle IR attraverso azioni rivolte a favorire:

- progetti che includono le IR nella loro compagine;
- approccio multidisciplinare, interdisciplinare e transdisciplinare;
- accesso di giovani formati o in formazione presso le università e gli enti di ricerca;
- accesso di utenti e ricercatori del settore privato, favorendo altresì la possibilità di implementare servizi *ad hoc* per rispondere a esigenze e fabbisogni;
- sostenibilità dell'accesso, sia dal punto di vista finanziario (con il concorso di fonti diverse e meccanismi di cofinanziamento) che dal punto di vista ambientale (favorendo l'accesso remoto per ridurre l'impronta ecologica delle attività di ricerca).

6.1.2.3 Le IR e la ricerca negli ambiti PNR e nelle *partnership* EOSC e EuroHPC

Oltre che avere un proprio piano di sviluppo, le IR forniscono, dati, *tools* scientifici, metodi di analisi e di processo che permettono il raggiungimento degli obiettivi negli ambiti del PNR: clima, energia e mobilità sostenibile; cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali e società dell'inclusione; digitale, industria e aerospazio; salute; sicurezza per i sistemi sociali; tecnologie sostenibili, agroalimentare, risorse naturali e ambientali, nonché nella ricerca di base.

I servizi forniti dalle diverse IR possono essere rafforzati, estesi e combinati fra loro al fine di affrontare le sfide elencate negli ambiti elencati sopra. Il carattere fortemente multidisciplinare delle IR facilita questo utilizzo, portando le IR verso la più ampia trasversalità.

Gli esempi includono l'accesso a servizi di sorgenti di luce per lo sviluppo di energie alternative, o anche una pipeline dei servizi di diverse infrastrutture a supporto della ricerca su cancro, medicina personalizzata, o anche l'uso di dati socioeconomici per *policymaking*.

Vanno inoltre ricordate le iniziative europee EuroHPC e EOSC, alle quali l'Italia partecipa con un ruolo primario, che sono volte a costituire un'infrastruttura europea per il calcolo scientifico, che permetta ai ricercatori dei diversi ambiti disciplinari di accedere facilmente ai dati prodotti dalle diverse IR e di analizzarli liberamente, rafforzando la competitività della ricerca italiana. EuroHPC porterà infatti l'Italia ad avere nei prossimi anni una macchina *pre-exascale*, uno dei computer per il calcolo parallelo più potenti al mondo. Mentre EOSC (*European Open Science Cloud*) dovrebbe permettere, attraverso lo sviluppo di un *middleware* innovativo, l'accesso ai campioni di dati prodotti dalle diverse comunità e mettere a disposizione dei ricercatori strumenti e servizi per poterli analizzare nel modo più efficace.

6.1.2.4 Il ruolo delle infrastrutture di ricerca nell'innovazione e le infrastrutture tecnologiche

La collaborazione IR – industria è necessaria per innescare il circolo virtuoso dell'innovazione.

Diverse sono le forme di collaborazione tra le IR e il settore industriale, principalmente tre modelli: trasferimento di conoscenze e tecnologico, co-sviluppo e *open innovation*:

- l'industria come **fornitore** (*upstream model*) che costruisce/aggiorna le IR. In questo modello l'industria può anche coprire il ruolo di **partner** delle IR in progetti di co-design e co-sviluppo, in modo da fornire servizi

guidati dal mercato al settore privato stesso. La maggiore criticità e, nel contempo, la sfida che si impone è aumentare la consapevolezza e la conoscenza delle opportunità che le IR offrono all'industria e il loro diretto coinvolgimento nei progetti di ricerca industriale. Le IR possono rappresentare, difatti, un luogo importante per lo svolgimento di ricerche per affrontare le sfide sociali in maniera innovativa (*challenge-driven customised services*).

- L'industria come **utente** (*downstream model*) che sfrutta le specifiche modalità di accesso dedicate e l'apertura a personale qualificato. La maggiore criticità in questo caso è legata al costo del *training*, formazione, mobilità nei programmi di scambio.
- Le IR con un **doppio ruolo** (*open innovation model*), da un lato fornitrici di nuova conoscenza che conduce allo sviluppo di nuova tecnologia, e dall'altro unici banchi di prova delle tecnologie innovative, da confrontare con le più mature tecnologie a supporto della ricerca.

Un grande impatto sull'innovazione è atteso dall'apertura dei dati, frutto della ricerca di eccellenza, ben documentati e supportati da servizi affidabili ed efficaci, processo già avviato nei sistemi *open science* promossi in ambito EOSC.

Vanno considerate inoltre le Infrastrutture Tecnologiche (IT), che sono strutture, strumentazioni e servizi di supporto per lo sviluppo e il test di nuove tecnologie a livelli più alti di TRL (*Technology Readness Level*) per la commercializzazione di nuovi prodotti, processi e servizi. Si tratta di infrastrutture pubbliche o private, i cui utenti sono prevalentemente di tipo industriale e che includono anche le PMI.

Le IR, in alcuni casi, già forniscono servizi assimilabili a quelli offerti dalle IT. Le IR e IT possono essere viste come strumenti complementari nell'intero ciclo ricerca – innovazione a supporto del settore industriale e delle piccole e medie imprese.

Azioni possibili:

- progetti di ricerca industriale che coinvolgano IR e IT (sia di tipo tecnologico *hardware* ma anche per sviluppi verso la transizione digitale);
- dottorati di ricerca industriale e formazione e qualificazioni delle risorse umane;
- allineamento con i programmi europei di innovazione, in particolare Horizon Europe.

6.1.2.5 Le IR nell'alta formazione

Le IR sono strumento ideale per la formazione sul campo, accademica, industriale e professionalizzante.

Le IR o ancor meglio le reti di IR sono le sedi ideali di tirocinio nell'ambito di corsi di dottorato di ricerca tradizionali o industriali, per una serie di motivi: la concentrazione di competenze e strumentazione unica, l'incontro con una comunità scientifica qualificata da anni di ricerca svolta in collaborazione e la loro intrinseca natura internazionale.

Per questi stessi motivi, le IR possono anche essere sede ideale per tirocini di studenti dei corsi di laurea, in particolare magistrale, che possono svolgere qui esperienze pratiche molto importanti e formative, sia per l'acquisizione di conoscenze e competenze, sia per esperienza personale e acquisizione di competenze trasversali (*soft skills*).

Inoltre, le IR sono sede di sviluppo di nuove competenze caratterizzate dalla multidisciplinarietà necessaria al funzionamento delle IR stesse. Questa varietà di competenze origina figure professionali a metà fra quelle del mondo della ricerca e quello dei servizi che troveranno sempre più spazio nel sistema nazionale.

6.1.2.6 Il finanziamento

Occorre creare le condizioni per un'azione a medio-lungo termine e sinergica fra diversi strumenti di finanziamento con i quali far fronte alle necessità finanziarie. Quindi non solo FOE, ma anche fondi di altri ministeri, fondi per la coesione e fondi regionali, e creare sinergia fra fondi pubblici e privati.

6.1.3 Priorità

A seguito di una mappatura svolta dal MUR nel 2020 presso gli enti pubblici di ricerca, le università e le Regioni, sono state raccolte complessivamente circa 200 segnalazioni di iniziative riconducibili a Infrastrutture di Ricerca o, in alcuni

casi, a Infrastrutture Tecnologiche. Tra queste, la maggior parte riguarda il consolidamento di IR già note, e la proposta di nuove partecipazioni italiane a IR già presenti a livello internazionale. Non mancano tuttavia proposte di progetti nuovi, non presenti a livello europeo o internazionale, potenzialmente inquadrabili come IR. Inoltre, si rileva un impegno politico ed economico delle Regioni nel supportare iniziative locali a potenziale sviluppo nazionale e internazionale.

La definizione di priorità nazionali per le IR deve quindi tenere conto del contesto in continua trasformazione e dei criteri di valutazione in parte simili a quelli già adottati da ESFRI e in parte volti a valorizzare proposte progettuali.

I criteri includono quindi:

- eccellenza scientifica;
- impatto socioeconomico;
- analisi critica della storia e delle prospettive;
- completezza delle politiche di accesso;
- relazioni internazionali e rilevanza paneuropea;
- impegno politico e supporto finanziario dei Paesi partecipanti;
- governance, management e gestione delle risorse umane;
- aspetti finanziari.

È importante sottolineare come il processo di monitoraggio e valorizzazione delle IR sia in continuo ammodernamento e che occorra instaurare un monitoraggio costante delle IR e un aggiornamento delle priorità nazionali almeno su base triennale.

6.2 Il Piano nazionale per la scienza aperta

6.2.1 Introduzione

Per "scienza aperta" si intende un nuovo paradigma per la creazione della conoscenza scientifica basato su trasparenza e cooperazione, capace di potenziare la ricerca e l'insegnamento scientifico. Esso promuove la condivisione di conoscenza rimuovendo le barriere create dalle gabbie editoriali e dai rigidi ambiti disciplinari. La scienza aperta accresce l'efficacia della collaborazione e la riproducibilità dei risultati della ricerca, la possibilità di riuso dei dati per nuove analisi anche di tipo interdisciplinare, nonché la fruibilità del sapere scientifico generando fiducia nel pubblico.

Per "accesso aperto" all'informazione scientifica si intende la possibilità di reperire in rete le pubblicazioni scientifiche, i dati e i metadati che li rendono fruibili, e ogni altro risultato della ricerca e dell'insegnamento scientifico, senza costi e senza barriere giuridiche e tecniche.

I principi della scienza aperta sono:

- la conoscenza come bene comune;
- la collaborazione e la solidarietà tra scienziati nonché tra scienziati e cittadini;
- la possibilità per tutti di accedere ai risultati della ricerca scientifica;
- la trasparenza del processo e dei contributi usati per la produzione e la validazione dei risultati scientifici;
- la disponibilità gratuita e con diritti di riuso, in rete, dei risultati della ricerca e dell'insegnamento;
- il rigore scientifico, la riproducibilità dei risultati sperimentali, la discussione critica dei dati, delle informazioni e della conoscenza resi accessibili in rete.

La scienza aperta aumenta il ritorno degli investimenti nella ricerca pubblica e le ricadute sull'intera società attraverso:

- l'accelerazione dei processi conoscitivi e di apprendimento. Il processo di creazione della conoscenza è cumulativo e incrementale. L'accesso gratuito e tempestivo ai risultati della ricerca, i diritti e gli strumenti per il riuso dei risultati della ricerca e della didattica (pubblicazioni, dati, software, licenze) e il sostegno alla collaborazione sono fondamentali per progredire più rapidamente;

- l'espansione degli approcci interdisciplinari e multidisciplinari per affrontare le sfide globali e le *Missions* di Horizon Europe;
- la revisione dei risultati della ricerca tramite processi trasparenti;
- la verificabilità di qualità e integrità della comunicazione scientifica a favore di una società più colta e partecipe;
- l'innovazione basata su tutte le acquisizioni, anche le più recenti, della scienza;
- lo sviluppo equo delle potenzialità di tutti i ricercatori creando uguali opportunità di accesso a pubblicazioni, dati e altri risultati, indipendentemente da nazionalità o appartenenza istituzionale;
- l'allargamento dell'accesso alle risorse didattiche e formative.

L'obiettivo di massimizzare la fruizione delle conoscenze scientifiche da parte dei ricercatori di tutte le discipline, degli operatori economici e sociali, della cittadinanza ispira la visione dello Spazio europeo della ricerca e della società/civiltà della conoscenza. Tale obiettivo si applica a tutta la ricerca finanziata con fondi pubblici.

6.2.2 Contesto

6.2.2.1 L'apertura come paradigma scientifico

La scienza moderna si è affermata grazie a una comunicazione scientifica basata sulla pubblicazione dei risultati mediante la stampa a caratteri mobili. La scelta di pubblicare apre al confronto con platee sempre più vaste di persone istruite (scienziati o semplici cittadini). La revisione e lo scrutinio critico sono resi possibili dalla diffusione e accesso pubblico. La rete, con la sua diffusione in tutte le attività culturali ed economiche, ha un altissimo potenziale come strumento per abilitare processi di ricerca condivisi tra scienziati che possono anche collaborare a distanza sfruttando le tecnologie digitali. A oggi, però, barriere di tipo economico, giuridico e culturale impediscono alla maggioranza di ricercatori e cittadini di accedere in rete al processo e ai risultati della ricerca e alle risorse didattiche. La scienza aperta mediante la rete può abbattere non solo le barriere che separano gli scienziati dei Paesi ricchi da quelli dei Paesi poveri, o che dividono gli scienziati dai cittadini o ancora i docenti dagli studenti, ma anche gli steccati disciplinari. L'evoluzione dei metodi osservativi e sperimentali ad alto flusso di dati pone nuove sfide all'apertura, trasparenza ed efficacia della condivisione delle conoscenze generate da teorie, esperimenti, osservazioni, simulazioni numeriche e scienza computazionale. Il ritmo di produzione di dati è elevatissimo e la loro disponibilità in rete secondo i criteri FAIR (*Findable Accessible Interoperable and Reusable*) creerà la possibilità di accedervi con strumenti innovativi di analisi, anche nel divenire del processo della ricerca, cioè non solo sui prodotti finali, aprendo a nuovi sviluppi di conoscenza anche in chiave multidisciplinare e interdisciplinare.

6.2.2.2 Gli strumenti per l'attuazione della scienza aperta

La scienza aperta deve espandersi in tutte le sue articolazioni. In particolare, deve espandersi sul fronte dell'accesso aperto ai risultati della ricerca, quali ad esempio, pubblicazioni, dati, software e servizi accessibili via web. I dati come tutti i risultati della ricerca devono innanzitutto essere conformi ai criteri FAIR e cioè essere reperibili tempestivamente, accessibili su richiesta, interoperabili e comunque riusabili con le opportune regole, strumenti e risorse. I criteri FAIR sono la base per la fruizione e il riutilizzo di dati di diversa provenienza tematica e metodologica. Fare in modo che la produzione di dati FAIR diventi lo standard di riferimento per i risultati della ricerca finanziata con risorse pubbliche comporta un'innovazione sostanziale nella prassi scientifica sia a livello di produzione dei dati sia a livello della fruizione dei medesimi per elaborare nuove conoscenze. Si tratta di evoluzione delle prassi della ricerca (utilizzo di informazioni esistenti, sviluppo della multidisciplinarietà e della interdisciplinarità, collaborazione formale e informale) validazione e valutazione dei risultati. Essa apre anche nuove prospettive di innovazione tecnologica (acquisizione automatica di dati FAIR ove possibile e sviluppo di servizi digitali per la cura, l'archiviazione, l'accesso, l'analisi e la fruizione di risorse di calcolo). Un esempio virtuoso di uso dei dati si trova attualmente in ambiti tematici, spesso in connessione con le infrastrutture di ricerca, ad esempio, nel campo della astronomia e astrofisica i dati osservativi sono organizzati, da decenni, secondo formati standard internazionali, catalogati e aperti rapidamente all'uso e riuso. È a partire dall'idea di federazione delle soluzioni attualmente più avanzate nella gestione e apertura dei dati, che l'Unione Europea

persegue l'iniziativa *European Open Science Cloud* (EOSC)[113] che si svilupperà nel quadro di un partenariato co-programmato di Horizon Europe e che vede l'Italia in posizione di protagonista. Tale iniziativa risulterà essenziale per lo sviluppo della scienza aperta e dell'accesso aperto.

6.2.2.3 L'impatto della scienza aperta

L'Impatto atteso dall'adozione dei principi della scienza aperta e dall'implementazione dei metodi e strumenti per realizzarla sarà pervasivo di tutti gli aspetti della società (o civiltà) della conoscenza. Il potenziamento della produttività scientifica, oltre alla capacità di combinare grandi quantità di dati di origine diversa, permetterà di svolgere ricerca orientata a missioni che affrontano le sfide del pianeta e della società. Il potenziale impatto sull'innovazione è altresì altissimo, sia per lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi basati sui dati e sulle acquisizioni scientifiche, sia per la competitività delle produzioni di base. L'impatto sulla società e sulla capacità di decisione informata in ambito sociale, economico e politico è ancor più evidente. La difficile esperienza di gestione della pandemia COVID-19 ha messo drammaticamente in evidenza come la raccolta disordinata e la non condivisione tempestiva di tutti i dati epidemiologici e clinici rallenta la loro integrazione con i risultati scientifici sullo studio del virus e del genoma umano, e quindi lo sviluppo di ipotesi robuste per la soluzione o mitigazione del fenomeno.

6.2.3 Struttura e obiettivi

L'obiettivo del Piano nazionale per la scienza aperta è porre le basi per la piena attuazione della scienza aperta in Italia, favorendo la transizione verso un sistema aperto, trasparente, equo, inclusivo, in cui la comunità scientifica si riappropri della comunicazione dei risultati della ricerca, con benefici per la ricerca stessa e per l'intera società.

Il Piano nazionale per la scienza aperta è un elemento essenziale del PNR e rappresenta un complemento al Piano nazionale per le infrastrutture di ricerca. Esso mira a creare le condizioni per la piena partecipazione dell'Italia ai processi europei e internazionali di scienza aperta.

Si tratta di un documento programmatico che:

- concorre all'implementazione della scienza aperta come visione d'insieme con strategie specifiche per i singoli elementi, profondamente interconnessi, che debbono interagire per creare un ecosistema aperto (pubblicazioni, dati, strumenti di analisi, infrastrutture, valutazione, formazione);
- assicura il coordinamento e la sinergia fra tutti gli attori coinvolti, ovvero il MUR, l'ANVUR, le infrastrutture di ricerca, gli enti di ricerca e gli atenei, impegnando gli attori del sistema su obiettivi chiari e misurabili;
- definisce il ruolo che l'Italia deve giocare a livello europeo sul tema della scienza aperta e nel quadro dell'iniziativa EOSC, evidenziando le priorità e le specificità nazionali;
- ottempera a quanto richiesto dalla *Raccomandazione (UE) 2018/790 della Commissione Europea sull'accesso alla comunicazione scientifica e la sua conservazione* in termini di coordinamento e strategia a livello nazionale sulla scienza aperta.

Il Piano nazionale per la scienza aperta si struttura in quattro assi di intervento centrati sulle pubblicazioni scientifiche, sui dati della ricerca scientifica, sulla valutazione della ricerca e sul coinvolgimento dei ricercatori, enti di ricerca, infrastrutture per l'adozione delle pratiche di scienza aperta.

Per ogni asse viene

- presentato l'obiettivo specifico;
- fornita una panoramica sulla situazione attuale;

[113] EOSC (*European Open Science Cloud*) è un ambiente federato, accessibile globalmente, regolato da precise condizioni, in cui ricercatori, innovatori, compagnie private e cittadini possono pubblicare, trovare e riusare dati e strumenti gli uni degli altri per fini di ricerca, innovazione e formazione, https://www.eosc-portal.eu, consultato il 15/11/2020. L'Italia partecipa alla *co-programmed EU partnership* EOSC di Horizon Europe ed è membro fondatore della *EOSC Association AISBL*.

- enunciato il piano di intervento nel breve, medio e lungo periodo, con le azioni e le specifiche responsabilità in capo ai singoli attori coinvolti;
- individuato un sistema di monitoraggio.

Il Piano nazionale verrà aggiornato periodicamente con il coinvolgimento delle comunità di ricerca.

7. LE MISSIONI

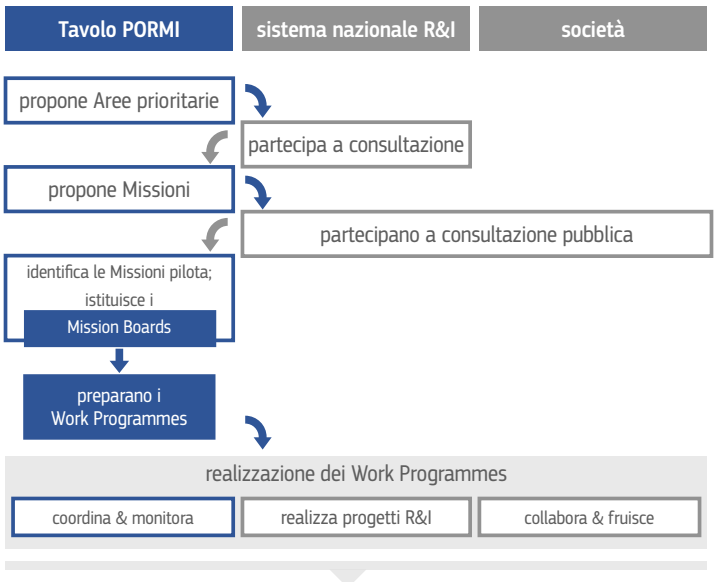
Il risultato della consultazione lanciata nel 2018 dal MUR sulla proposta della Commissione Europea di introdurre le Missioni tra gli approcci della ricerca di Horizon Europe ha, da un lato, confermato la rilevanza, anche per il nostro Paese, delle aree prioritarie individuate dalle *Mission Area* di Horizon Europe essendo numerose, tra le proposte ricevute, quelle che si collocavano perfettamente all'interno di queste cinque aree (cancro; adattamento ai cambiamenti climatici, compresa la trasformazione della società; salute degli oceani, mari costieri e acque interne; città neutre e intelligenti dal punto di vista climatico; salute del suolo e del cibo). Dall'altro ha messo in evidenza alcuni obiettivi nell'ambito delle sfide della società di particolare, se non esclusiva, rilevanza per il nostro Paese, che è urgente affrontare e per le quali è immediato riconoscere la validità dell'approccio *mission-oriented*.

Per attuare con efficacia le politiche *mission-oriented*, il PNR 2021-27 intende istituire un Tavolo di coordinamento delle Politiche ORientate alle MIssioni (PORMI), composto da una selezione di rappresentanti del mondo scientifico, imprenditoriale e della società oltre a rappresentanti MUR e di altri Ministeri tematici.

Il tavolo PORMI avrà una duplice funzione. La prima, di seguire il percorso di istituzione delle *Missions* di Horizon Europe e attivarsi per rendere coordinata ed efficace la partecipazione della nostra comunità scientifica. La seconda, di coordinare le attività necessarie per individuare, lanciare e monitorare le iniziative *mission-oriented* di specifico interesse nazionale nell'ambito del PNR 2021-27, eventualmente complementari, o sinergiche, con quelle europee.

Attraverso appositi gruppi di lavoro tematici il tavolo PORMI, in consultazione con il sistema nazionale della ricerca e tenendo in considerazione i risultati di una consultazione svolta presso la comunità scientifica nel 2018, elaborerà delle proposte di Missioni che saranno sottoposte a una consultazione più ampia che coinvolgerà, oltre al sistema nazionale della ricerca, rappresentanti delle istituzioni e della società. L'obiettivo sarà individuare quelle di maggiore rilevanza e urgenza: Missioni pilota riconosciute come prioritarie tra quelle inizialmente proposte dai gruppi di lavoro, e di coordinare la loro realizzazione attraverso dei veri e propri *Mission Boards*.

A questo proposito, i criteri proposti per la selezione delle *Missions* da lanciare nell'ambito di Horizon Europe potranno rappresentare un utile riferimento, anche se non esclusivo, per la selezione delle iniziative nazionali.



Essendo i temi delle Missioni naturalmente intersettoriali e quindi interdisciplinari, il tavolo PORMI dovrà disporre di uno strumento dedicato, flessibile e con una prospettiva pluriennale per assicurare la necessaria continuità all'azione dei programmi di lavoro. Tale strumento sarà aperto al contributo di diversi ministeri, Regioni, ma anche di fondazioni e altre organizzazioni pubbliche o private e avrà l'obiettivo di perseguire lo sviluppo di nuove idee e soluzioni, coinvolgendo tutte le parti interessate. Dove possibile, e senza comprometterne le finalità, la realizzazione dei programmi di lavoro delle Missioni potrà avvalersi anche degli strumenti e delle risorse già a disposizione del MUR e di altri finanziatori. Si tratterà di orientare l'azione di

questi strumenti attraverso dei bandi specifici e mirati alle necessità del programma di lavoro di quella specifica Missione.

Per quanto detto finora la progettazione della Missione, la definizione del suo programma di lavoro e soprattutto la sua realizzazione dovranno realizzare le condizioni chiave delle MOIP:

- investimenti coordinati;
- introduzione di opportune regole (di mercato) per coinvolgere attivamente il settore privato e il terzo settore anche nella fase di sperimentazione e l'innovazione;
- riconoscimento dell'impatto nella società come indicatore complessivo dell'azione innovatrice delle Missioni considerando, piuttosto che i progressi in un settore specifico, i benefici per la società, l'economia e per il cittadino come utente finale.

8. IL QUADRO DELLE RISORSE DISPONIBILI

Il PNR costituisce la cornice entro la quale si delineano le linee strategiche attraverso cui il sistema Paese sostiene il mondo della ricerca. Le fonti di finanziamento utilizzate a tale scopo sono molteplici e di diversa natura e possono essere aggregate in quattro grandi categorie.

8.1 FONDI DI DIRETTA COMPETENZA DEL MUR

Si tratta di finanziamenti strutturali iscritti nel bilancio del Ministero fra i quali rientrano:

a) il Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca (FOE), stabilito dall'art. 4 del decreto legislativo 31 dicembre 2009, n. 213 (e ss.mm.ii.). Il fondo finanzia le spese di gestione degli enti pubblici vigilati dal MUR e le attività di ricerca ritenute strategiche perché in linea con le priorità di interesse nazionale individuate nel PNR e/o legate allo sviluppo di tecnologie chiave abilitanti;

b) il Fondo di finanziamento ordinario delle università (FFO), istituito con l'art. 5 della legge 24 dicembre 1993, n. 537, e destinato alla copertura delle spese istituzionali, tra cui i costi di personale e di funzionamento;

c) il Fondo integrativo speciale per la ricerca (FISR) che finanzia "specifici interventi di particolare rilevanza strategica, indicati nel PNR";

d) il Fondo per gli investimenti nella ricerca scientifica e tecnologica (FIRST), istituito dall'art. 1, comma 870, della legge 27 dicembre 2006, n. 296, che è destinato a finanziare in particolare interventi a sostegno della ricerca fondamentale (diretti cioè a sostenere l'avanzamento della conoscenza), interventi orientati prevalentemente alla ricerca industriale (orientati cioè a favorire la specializzazione del sistema industriale nazionale), azioni di innovazione sociale, interventi integrati di ricerca, infrastrutturazione, formazione di capitale umano, trasferimento tecnologico e spin-off (finalizzati allo sviluppo dei cluster tecnologici), e progetti di ricerca inseriti in accordi e programmi comunitari e internazionali;

e) Fondi per interventi speciali quali il Programma nazionale di ricerche aerospaziali (PRORA), il Programma nazionale di ricerca in Antartide (PNRA) e il Programma di ricerche in Artico (PRA).

8.2 FONDI STRUTTURALI E DI INVESTIMENTO EUROPEI

I Fondi strutturali e di investimento europei (SIE) rappresentano il principale strumento della politica di investimenti della UE e possono essere definiti fondi indiretti, in quanto la gestione delle risorse è delegata agli Stati membri. Questa forma di gestione concorrente opera, infatti, attraverso un sistema di responsabilità condivisa tra la Commissione

Europea e le autorità centrali e regionali degli Stati membri che concordano uno o più Programmi operativi nei quali sono stabilite le priorità di finanziamento.

Nel rispetto del principio di governance multilivello, caratteristico dell'elaborazione e attuazione della politica di coesione, a partire dal mese di marzo 2019 hanno preso avvio i lavori per la programmazione della politica di coesione in Italia per il periodo 2021-27, con cinque tavoli tematici[114] di confronto partenariale di tutti i soggetti del partenariato istituzionale, economico e sociale del Paese, organizzati a livello nazionale dal Dipartimento per le politiche di coesione della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Gli incontri dei tavoli hanno avuto la finalità di individuare e gradualmente definire il perimetro, le modalità e l'intensità dell'intervento della politica di coesione 2021-27 al fine di addivenire all'*Accordo di Partenariato*, tutt'ora in fase di predisposizione. L'*Accordo di Partenariato* costituirà l'impianto strategico unico che riguarderà i fondi a gestione concorrente a livello nazionale e dovrà definire, inoltre, le modalità di coordinamento tra questi e gli altri strumenti dell'Unione Europea.

In particolare, l'*Accordo di Partenariato* declinerà: *a*) le modalità attraverso le quali l'Italia intende perseguire i cinque Obiettivi Tematici definiti a livello comunitario, indicando anche l'elenco dei Programmi operativi, nazionali e regionali che l'Italia deciderà di proporre per il 2021-2017; *b*) l'ammontare delle risorse disponibili a valere sul Fondo per lo sviluppo e la coesione e sul Fondo di rotazione; *c*) la governance che caratterizzerà la nuova programmazione. A seguito dei ritardi generati dalla pandemia non si conoscono ancora le allocazioni destinate ai vari Obiettivi Tematici e, di conseguenza, a livello nazionale non sono stati definiti quanti e quali Programmi operativi saranno presentati. Per quanto concerne il mondo della ricerca è ipotizzabile pensare che sia presentato un PON incentrato sull'Obiettivo Tematico 1 – Europa più intelligente, coerente con la Strategia nazionale di specializzazione intelligente, che ne rappresenta la condizione abilitante. Con riferimento alla dotazione è auspicabile che il nuovo PON, qualora confermato, possa avere una disponibilità almeno pari alla media delle dotazioni dei PON 2007-2013 e a quella dell'attuale PON Ricerca e Innovazione 2014-2020, pari a 1.200 milioni di euro.

A seguito dell'accordo politico sul nuovo Quadro finanziario pluriennale (QFP) per il periodo 2021-27, raggiunto lo scorso luglio, è in corso l'iter per l'approvazione del complesso pacchetto legislativo che comprende, tra l'altro, il regolamento che stabilisce il QFP. Il percorso, in parte rallentato dalle misure restrittive legate alla diffusione del COVID-19, ha portato all'introduzione di strumenti destinati a fronteggiare la crisi.

Next Generation EU è il programma europeo per la ripresa socioeconomica e il rilancio del mercato unico, che agirà con investimenti urgenti pubblici e privati in maniera mirata. Tra i vari strumenti previsti, contribuiscono alle progettualità del PNR, lo strumento *REACT-EU* e il *Recovery and Resilience Facility* (dispositivo per la ripresa e la resilienza), sui quali sono in corso tavoli di lavoro destinati a orientare le risorse sulle priorità di investimento in grado di far ripartire l'economia.

8.3 Fondi nazionali destinati alla politica di coesione

Nell'ambito della politica di coesione, alle risorse rese disponibili dai Fondi SIE si aggiungono le risorse nazionali stanziate dal Fondo per lo sviluppo e la coesione (FSC) e le risorse del Fondo di rotazione (art. 5 della legge 183/1987).

Il FSC, previsto dal decreto legislativo 31 maggio 2011, n. 88, detta disposizioni in materia di risorse aggiuntive e interventi speciali per la rimozione di squilibri economici e sociali, con la finalità di dare unità programmatica e finanziaria all'insieme degli interventi aggiuntivi al finanziamento nazionale rivolti al riequilibrio economico e sociale tra le diverse aree del Paese, secondo la chiave di riparto 80% nelle aree del Mezzogiorno e 20% in quelle del Centro-

[114] I cinque tavoli sono stati organizzati sulla base degli Obiettivi Tematici definiti dalla CE per il 2021-27:
Obiettivo 1. Europa più intelligente;
Obiettivo 2. Europa più verde;
Obiettivo 3. Europa più connessa;
Obiettivo 4. Europa più sociale;
Obiettivo 5. Europa più vicina ai cittadini.

Nord. Tali risorse sono aggiuntive, ovvero non sostituiscono le spese ordinarie del bilancio dello Stato e degli enti decentrati, in coerenza con l'analogo criterio dell'addizionalità previsto per i fondi SIE. Il Piano Stralcio "Ricerca e Innovazione" utilizza il FSC per interventi specifici.

Per quanto concerne il Fondo di rotazione, lo stesso ha una duplice veste: da un lato, infatti, nel rispetto del principio di addizionalità, assicura alle amministrazioni titolari di Programmi operativi la quota di finanziamento a carico del bilancio dello Stato destinata a coprire il cofinanziamento degli stessi e dall'altro, costituisce la fonte di finanziamento della politica ordinaria convergente. In tale ambito, il MUR gestisce il Programma operativo complementare al PON.

8.4 Programmi europei a gestione diretta

Si tratta di linee di finanziamento gestite direttamente dalla Commissione Europea che, attraverso le sue Direzioni generali o Agenzie esecutive si occupa della pubblicazione delle linee programmatiche e dei bandi, della selezione dei progetti e del loro monitoraggio, erogando i fondi ai beneficiari senza ulteriori passaggi intermedi. Per la programmazione 2021-27 sono previsti i seguenti programmi a gestione diretta: Horizon Europe, InvestEU, Europa digitale, Erasmus+, Europa Creativa, LIFE. In particolare, il Programma quadro per la ricerca e innovazione, Horizon Europe, vede un ruolo attivo del MUR attraverso la nomina dei rappresentanti nazionali italiani nelle configurazioni del Comitato di Programma, chiamati a negoziare a livello europeo le priorità del nostro Paese espresse nel PNR.

8.5 Fondi per il finanziamento degli investimenti e per lo sviluppo infrastrutturale del Paese – settore ricerca

Con le leggi di bilancio 2017, 2018, 2019 e 2020 sono stati disposti significativi stanziamenti pluriennali che coprono un arco temporale fino al 2034 a favore del settore della ricerca. Nello specifico, si fa riferimento ai seguenti fondi:

- Fondo da ripartire per il finanziamento degli investimenti e lo sviluppo infrastrutturale del Paese, di cui all'art. 1 comma 140 della legge 232/2016;
- Fondo da ripartire per il finanziamento degli investimenti e lo sviluppo infrastrutturale del Paese, di cui all'art. 1 comma 1072 della legge 205/2017;
- Fondo finalizzato al rilancio degli investimenti delle amministrazioni centrali dello Stato e allo sviluppo del Paese, di cui all'art. 1 comma 95 della legge 145/2018;
- Fondo per il rilancio degli investimenti delle amministrazioni centrali dello Stato allo sviluppo del Paese, di cui all'art. 1 comma 14 della legge 160/2019.

Le risorse sono state assegnate alle università e agli enti e alle istituzioni pubbliche di ricerca vigilati dal MUR. In particolare, si è trattato di interventi a carattere innovativo, con ampia sostenibilità e forte impatto sociale, di effettiva cantierabilità e con capacità di attivare finanziamenti europei.

La tabella che segue dimostra la distribuzione temporale degli stanziamenti assegnati e mette in evidenza quelli per il periodo 2021-27 coincidente con quello del PNR.

FONDO INFRASTRUTTURALE	SETTORE	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	TOTALE
Comma 140, legge di bilancio 2017	Ricerca	65	115	180	180	180	165	170	115	60	40	-	-	-	-	-	-	-	-	1.270
Comma 1072, legge di bilancio 2018	Ricerca	-	20	46	51	36	37	43	45	52	64,74	81	90	93	99	103	106	109	-	1.075
Comma 95, legge di bilancio 2019	Ricerca	-	-	24	43	83	60	75	60	84	77	74	66	60	49	45	20	3	-	823
Comma 14, legge di bilancio 2020	Ricerca	-	-	-	2	12	14	10	14	28	27	29	27	26	26	29	28	35	95	400
TOTALE PER ANNO		**65**	**135**	**250**	**276**	**311**	**275**	**298**	**233**	**223**	**208,7**	**184**	**182**	**179**	**174**	**177**	**154**	**147**	**95**	**3.568**
COMPLESSIVO SETTENNIO 2021-2027						**1.733**														

** Importi in milioni di euro.*

9. L'ATTUAZIONE: GOVERNANCE, MONITORAGGIO E AGGIORNAMENTO

Con la fase di attuazione del PNR, s'intende dare piena realizzazione ai principi che hanno ispirato il quadro strategico del Programma nazionale per la ricerca 2021-2027, ovvero una maggiore sintonia e un più efficace coordinamento delle politiche di ricerca e innovazione fra i livelli europeo, nazionale e regionale.

Proprio per questo scopo, la durata del Programma nazionale per la ricerca (PNR) abbraccia sette anni, in coerenza con la programmazione europea 2021-27, e prevede aggiornamenti annuali per monitorare l'andamento del programma verificarne i risultati e apportare eventualmente gli opportuni correttivi, da approvare nelle sedi interministeriali di programmazione economica, garantendo la giusta flessibilità nel caso fosse necessario recepire istanze di miglioramento, di maggiore incisività e anche emergenziali, come è stata la circostanza della pandemia da COVID-19.

Inoltre, per accompagnare la definizione, la realizzazione, il monitoraggio e l'aggiornamento degli interventi funzionali al raggiungimento delle finalità del PNR, è necessario rafforzare e dare continuità nel corso dei sette anni di programmazione al dialogo interistituzionale con le amministrazioni centrali e regionali avviato dal MUR per l'identificazione delle priorità e delle tematiche strategiche del PNR 2021-27. Il decreto legislativo 5 giugno 1998, n. 204[115], infatti, individua nel PNR il luogo di sintesi delle azioni in materia di ricerca e innovazione portate avanti dalle amministrazioni dello Stato e delle realtà regionali in funzione delle loro competenze e specificità, sempre nel pieno rispetto del riparto di competenze normative e amministrative definito dal Titolo V della Costituzione nel quadro di una leale collaborazione tra i diversi livelli di governo. La concertazione fra le amministrazioni delle azioni attuative del PNR sarà finalizzata alla realizzazione di azioni coerenti, convergenti e, quando possibile, congiunte, per le quali ciascuna amministrazione gestirà in autonomia gli interventi previsti e le risorse apportate per la parte di propria competenza. Tale pratica consentirà di massimizzare gli investimenti e prevenire il rischio di sovrapposizioni, duplicazioni o, in casi limite, di doppio finanziamento per stesse attività, creando le condizioni per far convergere le azioni su obiettivi condivisi rafforzandone l'impatto.

Parallelamente, l'attuazione del PNR sarà organicamente collegata alle azioni di competenza specifica del MUR, ovvero l'indirizzo, la programmazione e il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica nazionale. L'obiettivo è rafforzare la presenza dei ricercatori italiani nello Spazio europeo della ricerca (SER) e contribuire alle politiche europee, a partire da quelle di ricerca e innovazione, in particolare nei programmi di finanziamento (ad esempio, in Horizon Europe), favorendo il coordinamento tra iniziative nazionali ed europee. La definizione e realizzazione degli interventi terrà anche conto periodicamente di suggerimenti di esperti del settore di riferimento per proporre correttivi e formulare raccomandazioni sulla base dell'esperienza nelle situazioni concrete. Infine, anche durante l'attuazione, sarà stimolata la dialettica propositiva con tutte le componenti del sistema nazionale della ricerca, dalle università agli enti pubblici di ricerca, agli organismi pubblici e privati di ricerca e alle istituzioni del settore, dalle imprese ai singoli ricercatori fino alle parti sociali e ai cittadini. Oltre a questi soggetti, nel panorama degli interlocutori, viene considerato anche il terzo settore, dalle associazioni alle fondazioni fino agli istituti filantropici e alle organizzazioni senza scopo di lucro, che negli anni hanno dato un contributo sempre maggiore nel concorrere secondo le proprie finalità alla promozione e al finanziamento di iniziative di ricerca e innovazione con una forte componente di responsabilità sociale.

Per quanto riguarda in particolare il monitoraggio dell'attuazione del PNR, esso sarà finalizzato alla raccolta dei risultati conseguiti e all'analisi dell'impatto generato dagli interventi di ricerca e innovazione in una visione unitaria e coordinata. A questo scopo, tramite una riflessione dedicata, avvalendosi anche di buone pratiche già in essere, saranno individuati gli indicatori più opportuni (*key performance indicators*) che potranno essere sia specifici per la singola azione sia riferiti a una cornice d'azione più ampia. Il monitoraggio dell'andamento e dell'impatto del PNR saranno anche d'ausilio per supportare, attraverso una logica di *evidence-based policies*, l'aggiornamento annuale del PNR, il miglioramento

[115] Decreto legislativo 5 giugno 1998, n. 204 in materia di "Disposizioni per il coordinamento, la programmazione e la valutazione della politica nazionale relativa alla ricerca scientifica e tecnologica, a norma dell'articolo 11, comma 1, lettera d), della legge 15 marzo 1997, n. 59", pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 151 del 1° luglio 1998.

continuo delle politiche a supporto della ricerca, dell'alta formazione e dell'innovazione, in coerenza con le priorità definite attraverso i documenti di programmazione nazionali e le linee d'indirizzo europee e internazionali.

Quanto infine alla governance, come stabilito dal D.Lgs. 204/1998, al MUR è affidato il compito di tenere le fila delle azioni sopra descritte, garantendone la coerenza con il quadro strategico tracciato dal PNR. Nell'esercitare questa sua funzione di coordinamento, il MUR si adopererà, come ha sempre assicurato, per trovare le soluzioni di governance più adatte, snelle e dinamiche, per promuovere nel settennio la sistematica collaborazione con le amministrazioni dello Stato e delle realtà regionali per l'attuazione, il monitoraggio e l'aggiornamento del PNR, anche attraverso il coinvolgimento dei soggetti portatori di interesse pubblici e privati del sistema nazionale della ricerca.

APPENDICI

APPENDICE I. ELENCO DEGLI IMPATTI ATTESI IN HORIZON EUROPE

Vengono riportati di seguito gli impatti attesi relativi ai *clusters* del *Pillar II* di Horizon Europe.

CLUSTER 1 Health

1. Citizens stay healthy in a rapidly changing society thanks to healthier lifestyles and behaviours, improved evidence-based health policies, and more effective solutions for health promotion and disease prevention.

2. Living and working environments are health-promoting and sustainable thanks to better understanding of environmental, occupational, social and economic determinants of health.

3. Health care providers are able to tackle diseases (infectious diseases, including poverty-related and neglected diseases, non-communicable and rare diseases) and reduce the disease burden effectively thanks to better understanding of diseases and using more effective health technologies.

4. Health care systems provide equal access to innovative, sustainable and high-quality health care thanks to the development and uptake of cost-effective and people-centred solutions, as well as improved evidence-based health policies.

5. Health technologies, new tools and digital solutions are applied effectively thanks to their inclusive, secure and ethical development, delivery and integration in health policies and health and care systems.

6. EU health industry is more innovative, sustainable and globally competitive thanks to improved up-take of breakthrough technologies and innovations.

CLUSTER 2 Culture, Creativity and Inclusive Society

7. Democratic governance is re-invigorated by improving the accountability, transparency and effectiveness of democratic institutions, safeguarding fundamental rights and the rule of law, and tackling multidimensional threats.

8. Trust in democracy is restored through the expansion of active and inclusive citizenship.

9. Better protection of historical sites and monuments, cultural landscapes, museums, archives, as well as languages, customs and traditions is achieved through innovative policies, methodologies and citizens' participation.

10. Better value, access to, protection and sustainability of cultural heritage across Europe is ensured through innovative cultural and creative sectors.

11. Inclusive growth is boosted through evidence based policies for enhancing employment, education, social agenda and tacking inequalities.

12. Social and economic sustainability are strengthened through a better understanding of the social, ethical, political and economic impacts of drivers of change (technology, globalisation, demographics, mobility and migration).

CLUSTER 3 Civil Security for Society

13. Losses from natural, accidental and man-made disasters are reduced through better societal resilience and improved disaster risk management.

14. Legitimate passengers and shipments travel more easily into the EU, while illicit trades, terrorists and other criminals are prevented, thanks to improved border management and maritime security.

15. Crime and terrorism are more effectively tackled thanks to a better understanding of societal factors and the development of cutting-edge capabilities for law enforcement agencies.

16. Resilience and autonomy of physical and digital infrastructures are enhanced and vital societal functions are ensured with the help of modern technologies, as well as better cooperation between stakeholders.

17. Cybersecurity and a secure online environment are increased by effective use of digital technologies supporting protection of data and networks, while respecting privacy and other fundamental rights, and promoting a robust digital infrastructure to counter cyber-attacks.

18. Security threats are more effectively addressed thanks to better cross-cutting knowledge across different areas of security, enhanced implementation of the research and innovation cycle and improved uptake.

CLUSTER 4 Digital, Industry and Space

19. Global leadership in clean and climate-neutral industrial value chains, circular economy and climate-neutral digital systems and infrastructures (networks, data centres) through innovative production and manufacturing processes and their digitisation, new business models, sustainable-by-design advanced materials and technologies enabling the switch to decarbonisation in all major emitting industrial sectors, including green digital technologies.

20. Globally attractive, secure and dynamic data-agile economy by developing and enabling the uptake of the next-generation computing and data technologies and infrastructures, including space infrastructure and data), enabling the European single market for data with the corresponding data spaces; and a trustworthy artificial intelligence ecosystem.

21. Industrial leadership and increased autonomy in key strategic value chains with security of supply in raw materials, achieved through breakthrough technologies in areas of industrial alliances, dynamic industrial innovation ecosystems and advanced solutions for substitution, resource and energy efficiency, effective reuse and recycling and clean primary production of raw materials, including critical raw materials.

22. Sovereignty in digital technologies and in future emerging enabling technologies by strengthening European capacities in key parts of digital and future supply chains, allowing agile responses to urgent needs, and by investing in early discovery and industrial uptake of new technologies.

23. Strategic autonomy in developing, deploying and using global space-based infrastructures, services, applications and data, by reinforcing the EU's independent capacity to access space, and securing the autonomy of supply for critical technologies and equipment.

24. Human-centred and ethical development of digital and industrial technologies ensured through a two-way engagement in the development of technologies, empowering end-users and workers, and supporting social innovation.

CLUSTER 5 Climate, Energy and Mobility

25. Transition to a climate-neutral society enabled through advanced climate science and responses for climate mitigation and adaptation.

26. Clean and sustainable transition of the energy and transport sectors towards climate neutrality facilitated by innovative cross-sectoral solutions.

27. More efficient, clean, secure and competitive energy supply thanks to new solutions for smart grids and energy systems based on more performant renewable energy solutions.

28. Efficient and sustainable use of energy, accessible and safe for all is ensured thanks to a clean energy system and a just transition.

29. Towards climate-neutral and clean solutions across all transport modes through new technologies solutions while increasing global competitiveness of the EU transport sector.

30. Safe, seamless, smart, inclusive and sustainable mobility services developed/ensured thanks to digital technologies and advanced satellite navigation services.

CLUSTER 6 Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment

31. Climate neutrality is built by reducing GHG emissions and enhancing the carbon capture and storage in ecosystems, production systems on land and at sea as well as rural, coastal and urban areas, where the adaptation to climate change is also fostered.

32. Biodiversity decline is halted and ecosystems are preserved and restored on land and at sea through improved knowledge and innovation.

33. Sustainable and circular management and use of natural resources as well as prevention and removal of pollution are mainstreamed, unlocking the potential of the bio economy, boosting competitiveness and guaranteeing healthy soil, freshwater, seas and air for all, through better understanding of planetary boundaries and deployment of innovative technologies and other solutions, notably in primary production, forestry and bio-based systems.

34. Food and nutrition security for all within planetary boundaries is ensured through knowledge and innovations in agriculture, fisheries, aquaculture and food systems, which are sustainable, inclusive, safe and healthy from farm to fork.

35. Rural, coastal, peri-urban and urban areas are developed in a sustainable, balanced and inclusive manner thanks to a better understanding of the behavioural, socio-economic and demographic drivers of change as well as digital, social and community-led innovations.

36. Innovative governance models enabling sustainability are established in collaboration with international partners through enhanced use of new knowledge, tools, foresight, environmental observations as well as digital, modelling and forecasting capabilities.

APPENDICE II. ELENCO DEI 17 OBIETTIVI DI SVILUPPO SOSTENIBILE DELLE NAZIONI UNITE

Viene riportato di seguito l'elenco dei 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile (Sustainable Development Goals – SDGs nell'acronimo inglese) approvati nella risoluzione "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", adottata dall'Assemblea generale delle Nazioni Unite il 25 settembre 2015.

Goal 1. End poverty in all its forms everywhere

Goal 2. End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture

Goal 3. Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages

Goal 4. Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all

Goal 5. Achieve gender equality and empower all women and girls

Goal 6. Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all

Goal 7. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all

Goal 8. Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all

Goal 9. Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation

Goal 10. Reduce inequality within and among countries

Goal 11. Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable

Goal 12. Ensure sustainable consumption and production patterns

Goal 13. Take urgent action to combat climate change and its impacts*

Goal 14. Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development

Goal 15. Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss

Goal 16. Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels

Goal 17. Strengthen the means of implementation and revitalize the Global Partnership for Sustainable Development

APPENDICE III. MATRICE DI CONVERSIONE DEI GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE DEL PNR 2021-27 CON LE POLITICHE MULTILIVELLO

			POLITICHE MULTILIVELLO		
Grandi ambiti di ricerca e innovazione del PNR 2021-27 **Clusters di Horizon Europe** **SDGs**	**Aree della SNSI 2014-20 e rispettivi CTN**	**Centri di competenza ad alta specializzazione**	**Priorità 2021-27 della Commissione Europea**	**Obiettivi della politica di coesione 2021-27**	**Domini per la misurazione del benessere equo e sostenibile (BES)**
1. Salute 1 Health 	Salute	N.A.	A EUROPEAN GREEN DEAL AN ECONOMY THAT WORKS FOR PEOPLE A EUROPE FIT FOR THE DIGITAL AGE A STRONGER EUROPE IN THE WORLD	O1: un'Europa più intelligente O4: un'Europa più sociale O5: un'Europa più vicina ai cittadini *Omogeneità e qualità dei servizi per i cittadini*	1 Salute 11 Innovazione, Ricerca e creatività 12 Qualità dei servizi
2. Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione 2 Culture, Creativity and Inclusive Society	Cultural Heritage Design, Creatività e Made in Italy Smart, Secure and Inclusive Communities	N.A.	AN ECONOMY THAT WORKS FOR PEOPLE A EUROPE FIT FOR THE DIGITAL AGE	O1: un'Europa più intelligente O4: un'Europa più sociale O5: un'Europa più vicina ai cittadini	2 Istruzione e formazione 3 Lavoro e conciliazione tempi di vita

			POLITICHE MULTILIVELLO		
Grandi ambiti di ricerca e innovazione del PNR 2021-27 **Clusters di Horizon Europe** **SDGs**	**Aree della SNSI 2014-20 e rispettivi CTN**	**Centri di competenza ad alta specializzazione**	**Priorità 2021-27 della Commissione Europea**	**Obiettivi della politica di coesione 2021-27**	**Domini per la misurazione del benessere equo e sostenibile (BES)**
			PROTECTING OUR EUROPEAN WAY OF LIFE A NEW PUSH FOR EUROPEAN DEMOCRACY A STRONGER EUROPE IN THE WORLD	*Lavoro di qualità* *Omogeneità e qualità dei servizi per i cittadini* *Cultura veicolo di coesione economica e sociale*	4 Benessere economico 5 Relazioni sociali 6 Politica e istituzioni 8 Benessere soggettivo 9 Paesaggio e patrimonio culturale
3. Sicurezza per i sistemi sociali 3 Civil Security for Society 	Smart, Secure and Inclusive Communities	Cyber 4.0	PROTECTING OUR EUROPEAN WAY OF LIFE A STRONGER EUROPE IN THE WORLD	O1: un'Europa più intelligente O5: un'Europa più vicina ai cittadini	7 Sicurezza
4. Digitale, Industria, Aerospazio 4 Digital, Industry and Space	Aerospazio Fabbrica Intelligente	ARTES 4.0 BI-REX CC Campania Puglia Industry 4.0 Cyber 4.0	A EUROPEAN GREEN DEAL AN ECONOMY THAT WORKS FOR PEOPLE	O1: un'Europa più intelligente O3: un'Europa più connessa	2 Istruzione e formazione 11 Innovazione, Ricerca e creatività 12 Qualità dei servizi

			POLITICHE MULTILIVELLO		
Grandi ambiti di ricerca e innovazione del PNR 2021-27 **Clusters di Horizon Europe** **SDGs**	**Aree della SNSI 2014-20 e rispettivi CTN**	**Centri di competenza ad alta specializzazione**	**Priorità 2021-27 della Commissione Europea**	**Obiettivi della politica di coesione 2021-27**	**Domini per la misurazione del benessere equo e sostenibile (BES)**
	Smart, Secure and Inclusive Communities Tecnologie per gli ambienti di vita	Made in Italy Manufacturing 4.0 SMACT START 4.0	A EUROPE FIT FOR THE DIGITAL AGE A STRONGER EUROPE IN THE WORLD	O4: un'Europa più sociale *Omogeneità e qualità dei servizi per i cittadini* *Cultura veicolo di coesione economica e sociale*	
5. Clima, energia, mobilità sostenibile 5 Climate, Energy and Mobility 	Energia Mobilità sostenibile	N.A.	A EUROPEAN GREEN DEAL AN ECONOMY THAT WORKS FOR PEOPLE A EUROPE FIT FOR THE DIGITAL AGE A STRONGER EUROPE IN THE WORLD	O1: un'Europa più intelligente O2: un'Europa più verde O3: un'Europa più connessa *Territorio e risorse naturali per le generazioni future*	1 Salute 9 Paesaggio e patrimonio culturale 10 Ambiente 12 Qualità dei servizi

			POLITICHE MULTILIVELLO		
Grandi ambiti di ricerca e innovazione del PNR 2021-27 **Clusters di Horizon Europe** **SDGs**	**Aree della SNSI 2014-20 e rispettivi CTN**	**Centri di competenza ad alta specializzazione**	**Priorità 2021-27 della Commissione Europea**	**Obiettivi della politica di coesione 2021-27**	**Domini per la misurazione del benessere equo e sostenibile (BES)**
6 Food, Bioeconomy, Natural Resources Agriculture and Environment 6 Tecnologie sostenibili, agroalimentare, risorse naturali e ambientali 	Agrifood Chimica verde Blue Growth	START 4.0	A EUROPEAN GREEN DEAL A STRONGER EUROPE IN THE WORLD	O1: un'Europa più intelligente O2: un'Europa più verde O5: un'Europa più vicina ai cittadini *Territorio e risorse naturali per le generazioni future*	4 Benessere economico 9 Paesaggio e patrimonio culturale 10 Ambiente