



Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027

I GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE

Documento di lavoro

Versione del 7 agosto 2020

mur.segretriap@miur.it

Questo documento di lavoro riflette lo stato di avanzamento dei gruppi di lavoro di esperti nominati dal Ministero dell'Università e della Ricerca. Si tratta di un documento che non è stato approvato formalmente. Le opinioni espresse sono le opinioni preliminari degli esperti e non possono essere considerate come indicanti una posizione ufficiale. La funzione del documento è fare da base per la consultazione pubblica, a seguito della quale sarà soggetto a modifiche per arrivare alla definizione conclusiva dei Grandi Ambiti di Ricerca e Innovazione, che saranno inclusi nel Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027.



Ministero dell'Università e della Ricerca

DOCUMENTO DI LAVORO



I GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE E I RELATIVI AMBITI TEMATICI..... 7

1. SALUTE.....8

1.1 TEMI GENERALI8

Articolazione 1. Prima infanzia, malattie rare e medicina della riproduzione.....9

Articolazione 2. Patogenesi, diagnosi, sorveglianza e terapia delle infezioni, comprese le infezioni emergenti.....9

Articolazione 3. Implementazione dei sistemi di diagnosi, terapia e follow-up per le malattie non trasmissibili (NCDs) e/o legate all'invecchiamento10

Articolazione 4. Neuroscienze e salute mentale.....10

Articolazione 5. Valutazione dell'impatto dell'ambiente sugli outcomes di patologie acute e cronico-degenerative.....11

Articolazione 6. Sviluppo di strategie per la sostituzione della funzione di organi e tessuti danneggiati11

Articolazione 7. Promozione della salute, prevenzione delle malattie ed accesso al Servizio Sanitario Nazionale (SSN)12

1.2 TECNOLOGIE FARMACEUTICHE E FARMACOLOGICHE.....12

Articolazione 1. Studio delle interazioni fra ospite, agente patogeno e fattori ambientali e comportamentali come con-cause delle malattie infettive.....13

Articolazione 2. Messa a punto di modalità rapide ed innovative per monitorare la presenza di agenti infettivi nei campioni biologici, al fine di avviare terapie precoci, campagne di screening e studi di dinamica epidemiologica14

Articolazione 3. Ricerca di molecole attive su agenti infettivi e sviluppo di anticorpi monoclonali e vaccini14

Articolazione 4. Potenziamento di modelli sperimentali affidabili e predittivi di malattie umane14

Articolazione 5. Identificazione dei determinanti responsabili delle patogenesi delle malattie attualmente incurabili e della variabilità nella risposta individuale ai farmaci15

Articolazione 6. Implementazione del processo di drug discovery.....15

Articolazione 7. Estensione delle esistenti terapie cellulari e messa a punto di nuove terapie basate sulla manipolazione di cellule somatiche16

Articolazione 8. Sviluppo della telemedicina16

1.3 BIOTECNOLOGIE.....16

Articolazione 1. Oncologia17

Articolazione 2. Medicina rigenerativa, trapianti d'organo ed ingegneria dei tessuti.....18

Articolazione 3. Neuroscienze19

Articolazione 4. Interazioni microrganismi-ospite nella salute umana e nelle malattie.....20

Articolazione 5. Biotecnologie microbiche21

1.4 TECNOLOGIE PER LA SALUTE22

Articolazione 1. Digital health: tecnologie digitali e sensoristica per la medicina preventiva, partecipativa e personalizzata e per l'innovazione dei servizi sanitari e dell'ingegneria clinica TRL > 4.....22



Articolazione 2. Intelligenza artificiale per la diagnostica di precisione, le terapie personalizzate e per l'innovazione organizzativa e gestionale dei processi sanitari TRL> 3..	23
Articolazione 3. Sistemi di realtà virtuale e aumentata per la simulazione e l'interfacciamento con tecnologie biomedicali (TRL >3).....	23
Articolazione 4. Robotica per la salute e sicurezza 4.0 (TRL >3)	23
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	24
Articolazione 6. Lab-on-chip e biosensoristica per IVDs TRL> 3	24
Articolazione 7. Dispositivi medicali, organi artificiali e tecnologie neuromorfiche per la medicina bionica e rigenerativa.....	24
Articolazione 8. Fisica medica avanzata a supporto della ricerca biologica e della medicina di precisione e personalizzata.....	25
Articolazione 9. Nanotecnologie per la nanomedicina (TRL< 4)	25
Articolazione 10. Bioinformatica e biologia sintetica (TRL<4)	25
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 <i>bio-hybrid human twins</i> (TRL<4)	26
Articolazione 12. Le valutazioni di impatto delle tecnologie e i business model.....	26

2. CULTURA UMANISTICA, CREATIVITÀ, TRASFORMAZIONI SOCIALI, SOCIETÀ DELL'INCLUSIONE27

2.1 PATRIMONIO CULTURALE	27
Articolazione 1. Digitalizzazione dei processi di tutela, conservazione e valorizzazione	28
Articolazione 2. Sbloccare il pieno potenziale delle scienze del patrimonio	28
Articolazione 3. Sviluppo di tecnologie a sostegno del patrimonio diffuso e meno riconosciuto	28
Articolazione 4. Applicazione di nuovi modelli economici per la sostenibilità e la resilienza.....	29
Articolazione 5. Approccio partecipativo al patrimonio culturale	29
2.2 DISCIPLINE STORICO, LETTERARIE E ARTISTICHE	29
Articolazione 1. Discipline umanistiche, democrazia e governance	30
Articolazione 2. Interpretazione del patrimonio culturale materiale e immateriale.....	31
Articolazione 3. Discipline umanistiche, ambiente e sostenibilità.....	32
Articolazione 4. Interpretazione del patrimonio culturale e transizione digitale	32
2.3 ANTICHISTICA	33
Articolazione 1. Ricerca di base sul mondo antico.....	34
Articolazione 2. Sistema integrato di conservazione e gestione dell'informazione sul mondo antico	35
Articolazione 3. Paesaggi culturali: alle origini delle tradizioni.....	35
Articolazione 4. Frontiere e transizioni nel mondo antico.....	36
2.4 CREATIVITÀ, DESIGN E MADE IN ITALY	36
Articolazione 1. Design studies	37
Articolazione 2. Made in Italy / Restart in Italy	38
Articolazione 3. Sostenibilità sistemica di prodotti, processi, servizi	38
Articolazione 4. Design per la qualità della vita e del lavoro	39
Articolazione 5. Territori e valorizzazione del Made in Italy.....	39
Articolazione 6. Le imprese culturali e creative per lo sviluppo locale e la competitività globale	40
2.5 TRASFORMAZIONI SOCIALI E SOCIETÀ DELL'INCLUSIONE	40
Articolazione 1. Demografia: invecchiamento e denatalità.....	41



Articolazione 2. Mobilità e migrazioni	41
Articolazione 3. Disuguaglianze e inclusione	42
Articolazione 4. Nuove identità e processi culturali	42
Articolazione 5. Benessere psico-sociale e qualità della vita	42
Articolazione 6. Welfare urbano, città pubblica e diritti	42
Articolazione 7. Innovazione, democrazia, etica e diritto	43
Articolazione 8. Modelli di sviluppo, competenze e formazione	43
Articolazione 9. Trasformazioni tecnologiche e design centrato sulla persona	43
Articolazione 10. Trasformazioni mediali, comunicative e processi di digitalizzazione	43
Articolazione 11. Metodi innovativi e tecnologie per la ricerca sociale e l'educazione	44
Articolazione 12. Strategie e strumenti per la rigenerazione urbana e il governo del territorio	44
3. SICUREZZA PER I SISTEMI SOCIALI	45
3.1 SICUREZZA DELLE STRUTTURE, INFRASTRUTTURE E RETI	45
Articolazione 1. Analisi e valutazione dei rischi e della resilienza	46
Articolazione 2. Metodi, tecniche e tecnologie per il monitoraggio e la prevenzione dei rischi	47
Articolazione 3. Gestione dei rischi e della resilienza	47
Articolazione 4. Sicurezza e resilienza per la società e lo sviluppo sostenibile	48
3.2 SICUREZZA SISTEMI NATURALI	49
Articolazione 1. Conoscenza di base, processi e modelli	50
Articolazione 2. Monitoraggio dei sistemi naturali	50
Articolazione 3. Strategie multi-rischio per la difesa da eventi naturali	51
Articolazione 4. Governance e gestione dei rischi naturali e degli impatti antropici	51
3.3 CYBERSECURITY	52
Articolazione 1. Intelligence and incident response	53
Articolazione 2. Sicurezza dei sistemi cyber-fisici e delle infrastrutture	53
Articolazione 3. Tecniche e metodologie per la protezione	53
Articolazione 4. Sicurezza dei servizi al cittadino e alle imprese	54
Articolazione 5. Ecosistema della cybersecurity	54
Articolazione 6. Infrastrutture di ricerca per la cybersecurity	55
4. DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO	56
4.1 TRANSIZIONE DIGITALE – I4.0	56
Articolazione 1. Servizi human-centered	56
Articolazione 2. Comunità sostenibili	57
Articolazione 3. Competitività del Paese	57
Articolazione 4. Dispositivi e sistemi eterogenei	58
Articolazione 5. Reti di sistemi intelligenti	59
4.2 HIGH PERFORMANCE COMPUTING E BIG DATA	60
Articolazione 1. Hardware e software a supporto della realizzazione ed evoluzione dei grandi hub HPC&BD europei e nazionali per il calcolo scientifico, la ricerca e la scienza aperta	61
Articolazione 2. Ricerca di base e fondamentale in ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per HPC e big data	61
Articolazione 3. Strutture distribuite e decentralizzate di calcolo e dati, per IoT, I4.0 e applicazioni sociali e di rete	61



Articolazione 4. architettura, ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per la evoluzione dei dati della PA verso sistemi aperti, big data e servizi cloud	62
Articolazione 5. Applicazioni HPC, BD 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	62
4.3 INTELLIGENZA ARTIFICIALE	62
Articolazione 1. Intelligenza Artificiale per l'Intelligenza Artificiale (IA per IA)	64
Articolazione 2. Intelligenza Artificiale per la persona e la salute	64
Articolazione 3. Intelligenza Artificiale per la società	65
Articolazione 4. Intelligenza Artificiale per l'ambiente e le infrastrutture critiche	65
Articolazione 5. Intelligenza Artificiale per la produzione industriale	66
4.4 ROBOTICA	66
Articolazione 1. Robotica in ambiente ostile	67
Articolazione 2. Robotica per Industria 4.0	68
Articolazione 3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture	68
Articolazione 4. Robotica per il settore agro-alimentare	69
Articolazione 5. Robotica per la salute	69
Tecnologie abilitanti	70
4.5 TECNOLOGIE QUANTISTICHE	71
Articolazione 1. Tecnologie quantistiche per computer e simulatori	71
Articolazione 2. Tecnologie quantistiche per la comunicazione	72
Articolazione 3. Tecnologie quantistiche per la sensoristica e la metrologia	72
Articolazione 4. Tecnologie quantistiche per l'efficienza e la sostenibilità energetica	73
Articolazione 5. Infrastrutture di ricerca per le tecnologie quantistiche	74
Articolazione 6. Formazione e capitale umano	74
4.6 INNOVAZIONE PER L'INDUSTRIA MANIFATTURIERA	75
Articolazione 1. Industria circolare, pulita ed efficiente	76
Articolazione 2. Industria inclusiva	77
Articolazione 3. Industria intelligente	77
Articolazione 4. Industria resiliente	78
Articolazione 5. Industria competitiva	78
4.7 AEROSPAZIO	79
Articolazione 1. Velivoli ad ala rotante di nuova generazione	79
Articolazione 2. Riduzione impatto ambientale e incremento del benessere in aeronautica	80
Articolazione 3. Velivoli autonomi	80
Articolazione 4. Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative	80
Articolazione 5. Controllo del traffico aereo	80
Articolazione 6. Volo sub-orbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro	81
Articolazione 7. Osservazione della terra (OT), Telecomunicazioni (TLC) e Navigazione	81
Articolazione 8. Esplorazione ed osservazione dell'universo	81
Articolazione 9. Accesso allo spazio	81
Articolazione 10. Satelliti di nuova generazione	82
Articolazione 11. Esplorazione umana dello spazio	82
5. CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE	83
5.1 MOBILITÀ SOSTENIBILE	83
Articolazione 1. Sistemi di supporto all'analisi e al governo della mobilità	84
Articolazione 2. Infrastrutture per la mobilità accessibili, eco-compatibili, intelligenti e sicure, resilienti, efficienti	84



Articolazione 3. Servizi di mobilità e trasporto	85
Articolazione 4. Reti e veicoli green e clean	85
Articolazione 5. Mobilità automatizzata, connessa e sicura	86
Articolazione Trasversale. Cross-cutting actions	87
5.2 CAMBIAMENTI CLIMATICO, MITIGAZIONE E ADATTAMENTO	88
Articolazione 1. Determinazione delle sorgenti e dei pozzi di agenti clima-alteranti, attribuzione e quantificazione delle cause antropiche	88
Articolazione 2. Comprensione delle interazioni che determinano l'evoluzione e la variabilità del clima	89
Articolazione 3. Miglioramento dei modelli del sistema Terra e riduzione dell'incertezza delle proiezioni	89
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	89
Articolazione 5. Metodi e strumenti di contabilità delle emissioni degli agenti clima-alteranti	89
Articolazione 6. Valutazione della efficacia e della sostenibilità delle misure di mitigazione	90
Articolazione 7. Sviluppo di strategie e azioni per l'attuazione di interventi di adattamento climatico	90
Articolazione 8. Metodi e strumenti per la conoscenza, la misurazione e il monitoraggio delle misure di adattamento climatico	90
Articolazione 9. Formazione e divulgazione scientifica sul cambiamento climatico	91
5.3 ENERGETICA INDUSTRIALE	91
Articolazione 1. Generazione di energia da FER, accumuli energetici e reti europee ed intercontinentali	93
Articolazione 2. Reti intelligenti, flessibili, integrate, resilienti e digitalizzate per una piena integrazione delle FER	93
Articolazione 3. Decarbonizzazione dell'industria: produzione locale da FER, uso efficiente e sostenibile dell'energia e dei materiali, trasformazione dei vettori energetici	93
Articolazione 4. La catena del valore delle comunità energetiche – verso sistemi energetici decentralizzati	94
Articolazione 5. Il sistema energetico nazionale ed i sistemi di trasporto terrestre, marino ed aereo	94
5.4 ENERGETICA AMBIENTALE	94
Articolazione 1. Edifici, storage, ed interazione con energy communities e smart energy grid	95
Articolazione 2. Rigenerazione e de-carbonizzazione del patrimonio edilizio	96
Articolazione 3. Impianti di climatizzazione, indoor air quality e comfort	96
Articolazione 4. Occupant behaviour: models and impacts	97
Articolazione 5. Better data and models for optimizing the building performance	98
6. PRODOTTI ALIMENTARI, BIOECONOMIA, RISORSE NATURALI, AGRICOLTURA, AMBIENTE	100
6.1 GREEN TECHNOLOGIES	100
Articolazione 1. Biochemicals, bioprodotto e processi chimici sostenibili in sinergia con biofuels, bioenergy e agro-energie	101
Articolazione 2. Strategie per una gestione multiplatforma dell'energia elettrica da fonte rinnovabile, basata su stoccaggio e/o conversione in prodotti ad elevato valore aggiunto	101
Articolazione 3. Prevenzione della contaminazione del suolo e delle acque	102



Articolazione 4. Riduzione dei rifiuti e della domanda di critical raw materials tramite approcci di disassembling e materials Recovery, Remanufacturing e refurbishing.....	102
Articolazione 5. Industrial Symbiosis, co-located assets.....	102
Articolazione 6. “A fair benchmarking”: sviluppo e diffusione dei metodi della Ecologia Industriale per una corretta valutazione comparativa tra tecnologie green e consolidate	103
6.2 TECNOLOGIE ALIMENTARI	103
Articolazione 1. Sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti	103
Articolazione 2. Autenticità e integrità del sistema alimentare	104
Articolazione 3. Valorizzazione del microbioma nei sistemi produttivi agroalimentari	104
Articolazione 4. Alimentazione sana e sostenibile.....	105
Articolazione 5. Fonti proteiche alternative e loro utilizzo nelle tecnologie alimentari.....	105
Articolazione 6. Tendenze emergenti nelle tecnologie alimentari ed efficientamento dei processi di trasformazione.....	105
6.3 BIOINDUSTRIA PER LA BIOECONOMIA.....	106
Articolazione 1. Valorizzazione multifunzionale delle produzioni forestali	107
Articolazione 2. Bio-industria circolare.....	108
Articolazione 3. Recupero e valorizzazione di scarti e prodotti organici a fine vita, per la rigenerazione dei suoli e la protezione dell’ambiente.....	108
Articolazione 4. Modelli di business innovativi per la moderna bioeconomia	109
6.4 CONOSCENZA E GESTIONE SOSTENIBILE DEI SISTEMI AGRICOLI E FORESTALI.....	110
Articolazione 1. Miglioramento sostenibile delle produzioni primarie	110
Articolazione 2. Sicurezza e qualità delle produzioni primarie	111
Articolazione 3. Integrazione fra agricoltura a destinazione alimentare e non alimentare	111
Articolazione 4. Attività agricola e forestale a protezione dell’ambiente e delle risorse naturali.....	112
Articolazione 5. Sistemi agricoli e forestali per la salvaguardia e la valorizzazione del territorio	112
Articolazione 6. Analisi e valutazioni socio-economiche dei sistemi produttivi agrari.....	113
6.5 CONOSCENZA, INNOVAZIONE TECNOLOGICA E GESTIONE SOSTENIBILE DEGLI ECOSISTEMI MARINI.....	113
Articolazione 1. Conoscenza degli ecosistemi marini e della fascia costiera (TRL < 6)	114
Articolazione 2. Tecnologie industriali e digitali per la navigazione e la gestione sostenibile delle operazioni in mare (TRL > 2)	114
Articolazione 3. Innovazione infrastrutturale per lo sviluppo di una nuova economia sostenibile legata al mare (TRL > 3)	115
Articolazione 4. Nuovi modelli per la valorizzazione sostenibile delle risorse marine (TRL > 4)	115
Articolazione 5. Strumenti osservativi per la conoscenza dell'ecosistema marino e costiero (TRL > 3)	115
Articolazione 6. Costruzione di modelli di gestione basati sull'approccio ecosistemico TRL > 3	116
Alta formazione	116



I GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE E I RELATIVI AMBITI TEMATICI

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, e sono sufficientemente ampi da ricomprendere gli ambiti di intervento sia dei dodici Cluster Tecnologici Nazionali avviati dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca sia i Centri di Competenza 4.0 lanciati dal Ministero dello Sviluppo Economico.

I sei Grandi Ambiti di Ricerca e Innovazione sono declinati a loro volta in Ambiti Tematici (sottogruppi) che il nuovo Ministero dell'Università e della Ricerca ha individuato in coerenza con le specificità del contesto nazionale e con quanto messo in evidenza durante le interlocuzioni con gli altri Ministeri.

Per la declinazione dei contenuti dei sei Grandi Ambiti di Ricerca e Innovazione sono stati chiamati circa 240 esperti provenienti dal mondo dell'Università e degli Enti Pubblici di Ricerca, organizzati in 28 gruppi di lavoro, uno per ogni Ambito Tematico (AT).

A ciascun gruppo di lavoro, guidato da un coordinatore, è stato chiesto di fare un'analisi critica del contesto di riferimento del corrispettivo Ambito Tematico per tutta la filiera, dalla ricerca fondamentale all'applicazione. Il risultato è riportato nelle introduzioni ai singoli Ambiti Tematici ed è seguito dalla declinazione in Articolazioni di ricerca.

L'individuazione delle Articolazioni, assimilabili a delle linee di ricerca, 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*.

Di seguito è riportato lo schema dei Grandi Ambiti di Ricerca e Innovazioni e dei relativi Ambiti Tematici.

PROGRAMMA NAZIONALE PER LA RICERCA 2021-2027 I GRANDI AMBITI DI RICERCA E INNOVAZIONE E I RELATIVI AMBITI TEMATICI					
SALUTE	CULTURA UMANISTICA, CREATIVITÀ, TRASFORMAZIONI SOCIALI, SOCIETÀ DELL'INCLUSIONE	SICUREZZA PER I SISTEMI SOCIALI	INFORMATICA, INDUSTRIA, AEROSPAZIO	CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE	TECNOLOGIE SOSTENIBILI, AGROALIMENTARE, RISORSE NATURALI E AMBIENTALI
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	Cambiamenti climatici, mitigazione e adattamento	Tecnologie alimentari
Bioteologie	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		



1. SALUTE

1.1 Temi generali

“Salute e benessere” è, come è 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 di prevenzione, diagnosi e cura e, infine, la ricerca scientifica e tecnologica che hanno 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. Il quadro è ancora più complesso per la pandemia del **SARS-CoV-2** in quanto è ipotizzabile un aumento dei tassi di mortalità per malattie trasmissibili e non trasmissibili, materne, neonatali, dell’adulto e dell’anziano.

Questo scenario richiederà al Servizio Sanitario Nazionale modelli di assistenza multidisciplinari e agli Enti di ricerca una strategia unitaria e multisettoriale di **promozione della salute**, di **prevenzione primaria e secondaria delle patologie**, di **identificazione di nuovi meccanismi molecolari**, di **gestione dell’Aging Society**, di **garanzia per l’accesso alle migliori cure disponibili**, liberando il potenziale dell’**innovazione**. E’, quindi, una sfida che la sanità dovrà affrontare per raggiungere gli obiettivi delle Nazioni Unite, ad esempio, ridurre 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), le malattie mentali e le disuguaglianze, entro il 2030. Il contesto nel quale la ricerca biomedica si dovrà confrontare è, tuttavia, in evoluzione con il tentativo di personalizzare il più possibile prevenzione, predizione, diagnosi e cura in base al singolo paziente. Il prototipo del paziente che il clinico sempre di più si troverà di fronte è affetto da più patologie concomitanti con la necessità di individuare e sperimentare nuovi modelli di gestione della cronicità e comorbidità (fisiche e mentali), favorendo l’adozione di un approccio multidisciplinare, l’inserimento del concetto di “**medicina di genere**”, indispensabile a garantire ad ogni persona, maschio o femmina, la cura migliore, rispettando le differenze e rafforzando ulteriormente il concetto di “centralità del paziente” e di “**medicina personalizzata**”. Per esempio, va considerata l’idea che si debba passare dal semplice concetto di “malattia” a “disease trajectories/**traiettorie di malattie**” (modello di Soren Brunak, Danimarca), in cui si tende a integrare i modelli di progressione di malattia, la comorbidità e la loro relazione con gli eventi di trattamento. E’, quindi, una priorità assoluta costruire un **Programma Nazionale della Ricerca** in grado di **mantenere la buona salute** il più a lungo possibile e **prevenire e migliorare la gestione delle patologie ad elevato impatto epidemiologico e clinico**. La ricerca biomedica si troverà di fronte a nuove sfide per consolidare, raffinare e rendere sostenibili obiettivi e traguardi, prima impensabili, legati ai 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**; la necessità di **velocizzare lo sviluppo e la produzione in larga scala e ridurre i costi della messa in commercio di nuovi farmaci**; lo sfruttamento delle **potenzialità dei sistemi informativi, degli strumenti digitali e della telemedicina** per migliorare 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, per favorire un capillare ed omogeneo utilizzo del fascicolo sanitario



elettronico sul territorio nazionale; la condivisione delle risorse valorizzando l'accesso alle **Infrastrutture di ricerca, il cui sostegno e potenziamento sono indispensabili per la piena realizzazione del programma**. E' 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 della Ricerca** deve essere **condiviso, trasversale ed 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, ingegneristiche, ambientali, economiche, umane e sociali**.

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

Priorità di ricerca: La identificazione di marcatori e target molecolari per la cura delle malattie della prima infanzia di origine sconosciuta, delle malattie rare, delle neoplasie anche attraverso lo sviluppo di modelli non clinici rappresentativi e di potenziale applicazione su larga scala e di tecnologie sanitarie innovative. La formazione di reti, registri e bio-banche. 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. Studi sull'impatto delle nuove tecnologie digitali sullo sviluppo neurocognitivo nell'infanzia e nell'adolescenza per identificare i fattori di rischio e sviluppare di possibili strategie di intervento/prevenzione.

Impatto atteso: L'attività di ricerca che sarà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti: Horizon Europe 1 (HE1) e HE3 Diagnostica pre-natale e diagnosi precoce di patologie dell'infanzia e di malattie rare a etologia sconosciuta; HE5 e HE6 Nuove tecniche di riproduzione assistita e diagnosi genetica pre-impianto; HE2 e HE3 Gestione della salute riproduttiva e ridurre le disparità dovute a fattori economico-sociali o culturali; HE5 Nuove Tecniche di riproduzione assistita; HE5 e HE6 Nuove tecnologie a supporto dell'Oncofertilità e la preservazione della fertilità (congelamento di gameti e di tessuto ovarico); HE2 Fattori di rischio di ridotta fertilità per attenuarne l'impatto su fertilità e salute; HE1 Meccanismi fisiopatologici e neuro cognitivi alla base delle nuove dipendenze legate all'uso della rete in particolare di bambini e adolescenti e relative strategie di intervento

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

Priorità di ricerca: La 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 germi multi-resistenti - è oggi prioritaria in una società sempre più anziana, fragile e mobile. Essenziale è la attenzione alla interfaccia uomo-animale, che favorisce la emergenza di microrganismi ricombinanti con potenziale pandemico che a sua volta richiede lo sviluppo di sistemi di sorveglianza sofisticati e sensibili con orizzonte sovranazionale.

Impatto atteso: L'attività di ricerca che sarà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti: HE1 e HE3 Patogenesi, meccanismi molecolari e determinanti biologici e sociali alla base della suscettibilità alle infezioni, inclusi modelli preclinici di studio; HE5 Terapie anti-infettive ed innovative e sviluppare nuovi vaccini, comprese le infezioni neglette; HE1, HE3 e HE5 Epidemiologia delle infezioni farmaco-resistenti (MDRO) e nuovi approcci preventivi e terapeutici; HE3 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; HE5 e HE6 Tecniche di Intelligenza Artificiale per la realizzazione di modelli predittivi della emergenza di agenti a potenziale pandemico; HE3 Meccanismi patogenetici e le 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; HE3 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; HE5 e HE6 Uso del plasma e suoi derivati (immunoglobuline iperimmuni) nella



terapia dell'infezione da SARS-CoV-2 e da altri patogeni; HE3 Possibile spettro delle sequele a lungo termine della infezione da SARS-CoV-2 e del suo impatto sanitario sui bisogni di cura

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

Priorità di ricerca: Le NCDs non trasmissibili rappresentano un baluardo 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 ed alimentare che comporta un "iperlavoro metabolico" dei vari organi e tessuti (ad esempio, cardiovascolare, respiratorio, sistema nervoso, fegato, tessuto adiposo, etc.). 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 le caratterizza queste condizioni rappresenta sia un elemento patogenetico comune, ma anche uno spunto per l'attività di ricerca di marker precoci di patogenesi, di diagnosi e di follow-up.

Impatto atteso: L'attività di ricerca che sarà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti: HE3 Fisiopatologia delle NCDs su base infiammatoria e cronico-degenerativa (malattie cardiovascolari, oncologiche, respiratorie, neuroinfiammatorie, autoimmunitarie, endocrino-metaboliche, diabete, obesità, gastro-intestinali, etc.); HE3 Promozione della Medicina di Precisione; HE5 Nuovi marcatori per la diagnosi e come targets di terapia per le malattie legate all'invecchiamento; HE5 Modelli predittivi per lo studio dei sistemi complessi (analisi computazionali di NCDs); HE5 Sistemi analitici per Omics e big-data; HE3 e HE5 Nuovi biomarcatori per la diagnosi precoce delle NCDs e del danno d'organo o per la loro classificazione includendo una prospettiva di genere; HE1 e HE3 Cluster di patologia e di danno d'organo, loro distribuzione, fattori di rischio e meccanismi eziopatogenetici; HE3, HE4 e HE5 Pannelli multi-omics per la diagnosi molecolare, indirizzare scelte terapeutiche, per il follow-up e il monitoraggio della terapia in una prospettiva di Medicina Personalizzata; HE5 Sistemi di monitoraggio remoto per la gestione e la riabilitazione adattata e per l'aderenza diagnostico-terapeutica; HE5 Sviluppo di Banche di tessuti e fluidi biologici corredate di dati clinici di pazienti affetti da NCDs; HE5 Sviluppo di Banche di tessuti animali e di modelli preclinici di malattia; HE3 Metodiche in vivo aderenti alle 3R per la valutazione simultanea di danno multi-organo e facilitando accesso alle infrastrutture di ricerca esistenti; HE3 Differenze biologiche di genere nella costruzione di modelli pre-clinici o nelle ricerche in silico (cellule, organoidi, animali); HE5 Modelli ex-vivo di sistemi complessi quali organoidi e modelli 3D; HE3 e HE4 Progetti di ricerca clinica basati sulla real world evidence e "patient centric" per la verifica dell'efficacia e della costo-efficacia degli interventi; HE5 Modelli per la caratterizzazione del ruolo del microbioma intestinale e ruolo nella fisiopatologia delle NCDs; HE5 Modelli animali basati sul cross-talk interaction con comorbidità; HE5 Nuovi bersagli molecolari per lo sviluppo di farmaci mirati nelle NCDs; HE5 Nuove sonde molecolari per tecniche diagnostiche.

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 SNC 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. Sviluppo di metodologie diagnostiche e target o strategie terapeutiche per le malattie neurodegenerative, neuroinfiammatorie e psichiatriche. Applicazione dell'IA per la diagnostica e classificazione e stratificazione delle malattie del SNC con particolare riferimento alle malattie neurodegenerative e mentali.

Impatto atteso: L'attività di ricerca che sarà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti: HE1, HE2 e HE3 Meccanismi neuro cognitivi e fisiopatologici centrali e relative influenze dei fattori di rischio biologici e ambientali e dello stile di vita su patologie neurodegenerative e dei disturbi mentali; HE5 e HE6 Nuove metodologie e markers predittivi per diagnosi, follow-up e terapia; HE3 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; HE5 e HE6



Tecniche di IA ed in particolare di Machine Learning per l'analisi di Big Data nelle malattie neurodegenerative e nei disturbi psichiatrici.

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

Priorità di ricerca: La valutazione dell'impatto delle condizioni socio-economiche, delle fonti di inquinamento chimico e fisico e degli interferenti endocrini sullo sviluppo e/o sulla progressione delle patologie cronico-degenerative, infiammatorie, neoplastiche endocrino-metaboliche e andrologiche ed infettive. La valutazione del ruolo tossico/farmacologico sullo sviluppo delle infezioni, in particolare di quelle sostenute da nuovi virus e da organismi multi-resistenti alla terapia antibiotica (MDRO), attesa l'esperienza drammatica della recente pandemia da SARS-CoV-2 e le previsioni sulla mortalità legate ad infezioni da organismi multi-resistenti alla terapia antibiotica. La valutazione del ruolo delle alterazioni dello stato nutrizionale, obesità e 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 che sarà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti: HE1, HE2 e HE3 Interferenti endocrini, tossico/farmacologici e dell'inquinamento sulle patologie croniche degenerative ed infettive, in particolare quelle sostenute da MDRO, compresa la riduzione della fertilità che contribuisce al bilancio demografico attuale; HE1, HE2 e HE3 Impatto dello stato nutrizionale, del livello di attività fisica e delle fonti di inquinamento chimico e fisico sullo sviluppo/progressione delle patologie cronico-degenerative, infiammatorie, neoplastiche e infettive.

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

Priorità di ricerca: In tema di medicina dei trapianti: (i) il trapianto di cellule ematopoietiche in pazienti oncologici dopo chemioterapia ad alte dosi e/o radioterapia; (ii) l'allograpianto di cellule ematopoietiche nel trattamento di leucemie, linfomi refrattari e mielomi; (iii) 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; (iv) 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; (v) 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. 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, citoarchitettica e funzionale a causa di patologie vascolari, neurodegenerative, metaboliche, traumi o come conseguenza dell'invecchiamento.

Impatto atteso: L'attività di ricerca che sarà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti: HE4 e HE5 Definizione del rigetto acuto e cronico e della *graft versus host disease* nei trapianti d'organo e di cellule staminali emopoietiche allogeniche; HE5 Creazione di modelli cellulari utilizzabili nella medicina rigenerativa (cellule mesenchimali, staminali adulte, metodiche di isolamento automatizzate, protocolli di differenziamento cellulare) e produzione di fattori di crescita e rigenerazione tissutale; HE5 Creazione di



banche di cellule staminali pluripotenti indotte da patologie cronico-degenerative ed eredo-familiari per il drug screening e disease modelling, definizione di protocolli di differenziamento e di editing genetico delle cellule staminali pluripotenti indotte, in vitro, in diversi tipi cellulari quali cardiomiociti, cellule del sistema nervoso, beta-cellule pancreatiche, epatociti, osteociti, condrociti, per riparare il danno d'organo tipico delle malattie non trasmissibili; HE3 e HE5 Definizione e validazione di parametri/modelli prognostici e sviluppo di modelli gestionali in grado di migliorare l'efficacia trapiantologica in termini di referral, mortality/removal while in the waiting list, transplant benefit, QALY, deviazione da expected survival e futility; HE4 Sviluppo di nuove tecniche per la gestione clinica pre e post trapianto.

Articolazione 7. Promozione della salute, prevenzione delle malattie ed accesso al Servizio Sanitario Nazionale (SSN)

Priorità di ricerca: La individuazione e la 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 che sarà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti: HE1, HE2, HE3 e HE4 Accesso alle prestazioni di prevenzione, diagnosi e cura; HE1, HE2 e HE4 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 SSN; HE4 e HE5 Sviluppo di sistemi di telemedicina e riabilitazione con l'obiettivo di ridurre la spesa sanitaria; HE3, HE4 e HE5 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; HE1 Salute mentale e interventi finalizzati a limitare i comportamenti a rischio per ridurre la morbosità-mortalità e suicidi e per aumentare l'aderenza alle cure; HE1 e HE2 Promuovere la salute attraverso ambienti di vita e di lavoro più salutaris, sicuri, inclusivi e sostenibili con piani di prevenzione e monitoraggio anche per affrontare situazioni ad alto impatto emotivo; HE1 e HE2 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 socio-culturali ed economiche; HE1, HE2, HE3 e HE4 Interventi di promozione della salute per il contrasto delle malattie della povertà, anche attraverso progetti clinici e lo studio di modelli sperimentali per la gestione di servizi sanitari dedicati; HE3 e HE4 Programmi di screening, organizzati dal SSN e Regionale, con l'offerta di test di diagnosi precoce efficaci nel ridurre il rischio di ammalarsi; HE2, HE3 e HE4 Medicina delle migrazioni: aspetti sanitari a tutela della salute del migrante e della comunità ospite, aspetti socio-antropologici e accesso alle cure; HE5 Sistemi di Health Technology Assessment per la definizione del valore in termini di costo efficacia delle prestazioni sanitarie aggiunte.

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. L'Italia è terzo paese europeo per quantità della Ricerca negli ultimi 5 anni (fonte: Scopus) e sesto paese europeo (decimo al mondo) per impatto (H-index) della produzione scientifica (fonte: Scimago). Inoltre in Italia è presente una vasta offerta di formazione culturale, anche a livello di dottorati di ricerca, in ambito farmaceutico/farmacologico (Facoltà di Medicina, Farmacia, CTF, Biologia e Biotecnologie), e di poli di eccellenza ospedalieri ed universitari attivi in questi ambiti. Nonostante questo, nel 2020, l'European Innovation Scoreboard ha classificato l'Italia come *moderate innovator*, ben al di sotto del grado di innovazione di Francia, Germania, UK e Olanda (<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/41941/attachments/1/translations/en/renditions/native>). Nel 2016, a fronte di un portfolio di circa 3900 brevetti ad uso sanitario e farmaceutico, sono stati siglati licenze o contratti in media pari a 1,1 per ateneo. Analogamente, nonostante l'elevato numero di spin-off attive 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 dell'incertezza del settore. Nel Paese, **il trasferimento tecnologico necessita di una profonda riforma** finalizzata alla valorizzazione delle scoperte che nascono nei laboratori e negli ospedali, e di risorse *ad hoc* per realizzare *proof-of-concept* e prototipi di interesse per il mercato. Questo *gap* traslazionale potrà essere superato:

- a) introducendo **incentivi e riconoscimenti di carriera** per gli scienziati che generano innovazione, promuovendo una maggiore cultura imprenditoriale negli atenei e negli EPR e semplificando le procedure al fine di favorire un flusso continuo e bidirezionale di informazioni e competenze fra i vari attori della ricerca (partneriati pubblico-privati, e *Innovation Hub* per condivisione, raccolta e gestione dei dati scientifici);
- b) migliorando la **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 World Evidence (RWE, l'evidenza clinica relativa a uso, rischi e benefici di un prodotto medico derivata dall'analisi dei "dati del mondo reale") sconta attualmente in Italia l'eterogeneità della fonte dato, spesso di difficile accesso e non organizzato in database completi e immediatamente fruibili. Lo sviluppo dell'informatizzazione e della standardizzazione delle cartelle cliniche e dei database amministrativi, il censimento e l'integrazione dei registri di malattia diventano dunque indispensabili per una *policy* nazionale robusta per l'accesso e l'utilizzo dei dati sanitari;
- c) promuovendo la **formazione e stabilizzazione di una nuova figura professionale altamente competitiva** a livello nazionale e sovranazionale: il **Tecnologo**, corrispondente alle figure di *staff scientist*, *data manager*, *data analyst*, *facility manager* e *knowledge transfer manager* presenti negli altri paesi europei, che permettano la traslazione delle scoperte al territorio e il funzionamento ottimale (e l'aggiornamento continuo) di laboratori, piattaforme tecnologiche e grandi infrastrutture nazionali di ricerca;
- d) aumentando il **supporto nazionale e la 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;
- e) investendo con bandi specifici nell'**aggregazione di soggetti di elevata qualificazione nazionale ed 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.
- f) riducendo il 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 dall'European Innovation Council (es., *EIC Pathfinder Pilot*, *EIC Accelerator Pilot*) e finalizzate alla **trasformazione dei risultati delle ricerche in prodotti, servizi e modelli di sviluppo di valore commerciale licenziabili a terzi**.

Articolazione 1. Studio delle interazioni fra ospite, agente patogeno e fattori ambientali e comportamentali come con-cause 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. È quindi necessario implementare data-base, aperti all'intera comunità scientifica, di genetica e genomica microbica, contenenti le sequenze virali o batteriche circolanti nei diversi focolai epidemici (interi o porzioni di esse, incluse le eventuali varianti). Per ogni patogeno, è necessario caratterizzare ciclo replicativo, proteine non strutturali a funzione enzimatica, capacità di interazione con (e di elusione del) sistema immunitario sia innato che adattativo, e i fattori comportamentali, ambientali e genetici associati a diverso esito dell'infezione.

Impatto atteso: L'accesso a data-base *open access* 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 *device* diagnostici, terapie e vaccini specifici, con impatto significativo sulla capacità di comprendere meglio i meccanismi di patogenicità di queste malattie, fronteggiare future pandemie (EU3) e promuovere comportamenti più salutari per la prevenzione delle malattie umane (EU1).

Articolazione 2. Messa a punto di modalità rapide ed 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 poter interrompere le connessioni nazionali ed 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 permetteranno di comprendere estensione e durata dell'immunità acquisita verso l'agente infettivo nei pazienti e nei soggetti asintomatici e pauci-sintomatici, consentendo di tracciare la diffusione del patogeno e di intraprendere precocemente strategie terapeutiche o profilattiche. Contribuiranno quindi a contenere e prevenire future pandemie, anche a supporto della medicina dei viaggi e delle migrazioni. Consentiranno infine il monitoraggio istantaneo delle persone in arrivo in aeroporti, stazioni ferroviarie e/o di autobus o anche all'ingresso di locali/ristoranti/negozi/ o altri ambienti dove si possono prevedere assembramenti.

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 (EU5) e per la salute dell'intera popolazione, grazie all'accesso a soluzioni sicure e a basso costo di tipo preventivo (EU4).

Articolazione 3. Ricerca di 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: 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, si veda Articolazione 2). 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 partnership pubblico-private *ad hoc*. E' inoltre 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 (EU4), con particolare attinenza alle malattie infettive, legate alla povertà e neglette (EU3) e al controllo la resistenza microbica.

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 disegno di esperimenti che producano 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 e *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 ad entrambi i sessi.

Impatto atteso: Queste ricerche porteranno a una migliore comprensione della genesi delle malattie (EU3), 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 (EU5) 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

E’ 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 modeling*) per la valutazione della variabilità fenotipica dei singoli individui, allo scopo di: (i) identificare bersagli farmacologici personalizzati su cui effettuare screening di molecole in grado di interferirli, (ii) svelare i fattori che influenzano le risposte farmacologiche individuali, e, (iii) 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 (es., malattie neurodegenerative, cardiovascolari e oncologiche causate da alterazioni degli stessi target o pathway).

Impatto atteso: Queste ricerche avranno impatto sullo sviluppo di marcatori per la diagnosi precoce e la prevenzione delle malattie umane (EU5) e per l’ottimizzazione di soluzioni terapeutiche personalizzate (EU4). Favoriranno inoltre la messa a punto di nuove terapie con molecole classiche e con nuovi farmaci biotecnologici (es., 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 multi-livello, 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 (es, globuli rossi, piastrine o microvescicole extracellulari). Le nuove preparazioni dovranno 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 (EU3), garantiranno lo sfruttamento del potenziale terapeutico di approcci altamente



innovativi (EU5) e sicuri per l'ambiente (EU2) e rafforzeranno la filiera della salute (EU6), 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 (es., uso autologo e allogenico di cellule CAR-T) e delle tecniche di *editing genomico* (si veda anche Articolazione 4) alla pratica clinica, estendendone l'applicazione anche ad altri tipi di cellule somatiche (es: CAR-NK), e 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 che per le malattie rare (EU3), permetteranno l'ottimizzazione di soluzioni terapeutiche personalizzate (EU4) e garantiranno lo sfruttamento del potenziale terapeutico di approcci altamente innovativi (EU5) non convenzionali.

Articolazione 8. Sviluppo della telemedicina

Dovranno essere ottimizzati elaborazione, inter-operabilità con i sistemi aziendali sanitari e gestione delle informazioni provenienti dai biosensori e elettromedicali deputati al tele-monitoraggio sia del paziente in trial farmacologico che del cittadino nel suo contesto comportamentale e ambientale quotidiano, sia a scopi preventivi (per suggerire comportamenti idonei allo stato di salute) che 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 ed ingegneristiche.

Impatto atteso: Queste ricerche sono essenziali per la creazione di una rete ospedaliera virtuale (telemedicina, 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 (EU5), e della promozione di stili di vita e comportamenti virtuosi per la prevenzione delle malattie (EU1).

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 ed 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, necessariamente deve 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 anche 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, in parallelo ad



un forte investimento sulle biotecnologie, si assisterà ad un forte investimento in teorie ed 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 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'interdisciplinarietà 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* ed *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 di positività, esistono almeno tre elementi che dovrebbero spingere verso un potenziamento della filiera scientifica: a) impatto positivo sulla salute pubblica, fornendo soluzioni terapeutiche innovative per malattie ad 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 ed alla riduzione di patologie legate all'invecchiamento. Sebbene permangano delle perplessità sulla convenienza economica, sulle ricadute sociali e sull'efficienza sperimentale, i benefici che derivano dall'implementazione delle tecnologie di *tissue engineering* ed *organ transplantation* sono destinati a cambiare profondamente gli scenari della ricerca biomedica.

Gli approcci biotecnologici offrono un contributo essenziale anche nel campo: i) delle interazioni tra microrganismi ed ospite, che hanno un rilevante impatto sul mantenimento dello stato di salute e nella patogenesi delle malattie infettive e anche di molte malattie non-trasmissibili; ii) dello sviluppo di diagnostici, farmaci e vaccini di nuova generazione; e iii) della salvaguardia dell'ambiente e della produzione eco-compatibile 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.

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 è indispensabile per descrivere scenari di medicina preventiva. I maggiori problemi irrisolti che possono giovare di approcci biotecnologici 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 socio-ambientali.

2. La diagnosi precoce della malattia metastatica, che richiede di comprendere le caratteristiche biologiche di una cellula tumorale con capacità metastatizzanti e come queste si intersecano con l'eterogeneità clonale intratumorale, così come il ruolo del microambiente nel determinare i meccanismi di colonizzazione a distanza. L'obiettivo finale è quello di comprendere chi svilupperà la malattia metastatica in relazione alle caratteristiche biologiche al momento della stadiazione della patologia attraverso la scoperta di biomarcatori. Avanzamenti conoscitivi 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 nuove 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. È propedeutica 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 della messa a punto di 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: i) tecnologie omiche e omiche su singola cellula (genomica, trascrittomica, radiomica, metabolomica, epigenomica, proteomica), ii) sistemi *in vitro* di multiorgano (*multiorgan-on-chip*), iv) modelli animali a basso impatto/costo (*zebrafish/Drosophila/C.elegans*) per *high-throughput screening*, iii) nuovi modelli animali geneticamente modificati per studiare le caratteristiche del microambiente; iv) sviluppo di tecniche di *imaging* multimodale, v) optogenetica, vi) *genome editing*, vii) biopsia liquida (ctDNA; miRNA circolante; vescicole extracellulari di derivazione tumorale), viii) modificazione genetica di cellule del sistema immunitario, ix) nuovi modelli cellulari 3D che permettano di studiare le interazioni stroma-tumore e le caratteristiche delle cellule tumorali, x) diagnostica avanzata basata su approcci nanotecnologici.

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

Impatto atteso: le attività di ricerca biotecnologica in medicina rigenerativa, trapianti d'organo ed 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 ad 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 ed 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 computazionali basati su *neural networks* per applicazioni complesse di *tissue engineering*.

2. Creazione di una banca nazionale di cellule staminali pluripotenti indotte (iPSCs) da patologie cronico-degenerative ed eredo-familiari per il *drug screening* e *disease modelling*. Tecnologie applicabili: a)



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; b) Robotica guidata da AI per la prototipazione rapida di sistemi per la fabbricazione di *scaffold*.

3. Riduzione del *testing* su animali da laboratorio. Principi delle 3 R (replacement, reduction and refinement). Tecnologie applicabili: a) Utilizzo di cellule ingegnerizzate tramite *editing* genetico (es. 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 ed 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 e di intelligenza artificiale (AI) 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: ad oggi le aspettative di prevenzione, diagnosi precoce e cura delle principali patologie neurologiche, in particolare delle malattie neurodegenerative (Alzheimer e Sclerosi Laterale Amiotrofica, ad esempio) sono pressoché completamente disattese. Stesse considerazioni valgono a maggior ragione per i disturbi psichiatrici. Nuovi approcci biotecnologici, quali ad esempio le scienze omiche, le nanotecnologie, le nuove tecnologie di *imaging* e di AI, devono integrarsi con nuovi paradigmi per esplorare ipotesi innovative nel campo delle neuroscienze di base e cliniche. I maggior problemi irrisolti che possono giovare 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, etc...).
2. Creare modelli complessi (ad es. multiorgano) ed in piccoli animali (*C.elegans*, zebrafish, *Drosophila*, etc.) a basso costo ed innovativi (basandosi anche sulle informazioni ottenute in 1), che si prestino ad *high throughput screening* (HTS) per *screening* terapeutici per poi passare a modelli animali superiori (ad es. topi transgenici) innovativi. I risultati ottenuti *in vitro* andrebbero controllati/validati *ex-vivo* in tessuti cerebrali umani.
3. Identificare marcatori e bio-marcatori innovativi nelle patologie neurologiche, psichiatriche e neurodegenerative utilizzando tutte le tecnologie a disposizione (vedi sopra), per consentire una diagnosi anticipata ed identificare nuovi *target* terapeutici, associando metodologie innovative (*lab on a chip*) e di *imaging* avanzato (AI 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 etc.), e proporre modelli di screening a basso costo.
4. Identificare e caratterizzare i meccanismi di comunicazione intercellulare nel SNC dipendenti da vescicole extracellulari (ECVs), esosomi e *nanotubes* in fisiologia ed 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 ed i fattori ambientali (quali alimentazione, esposizione a virus o sostanze tossiche, educazione, stato socio-economico, interazioni sociali) che attraverso meccanismi epigenetici (es. metilazione del DNA, metilazione ed 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 psico-fisico 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 ed innovative (elettroceutica, *gene-editing*, staminali e neurogenesi nell'adulto, sistemi nanovettoriali etc.).

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

Impatto atteso: sviluppare approcci teorici e strumenti biotecnologici innovativi per migliorare la comprensione dei rapporti tra microrganismi ed ospite nel mantenimento dello stato di salute e nella patogenesi delle malattie, e per migliorare 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 sia come agenti di malattie da infezione, e possono svolgere anche un ruolo nella patogenesi e nel decorso di molte malattie non-trasmissibili. Le biotecnologie devono integrarsi con le tecnologie per l'analisi dei *big data*, le scienze cliniche 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 umano 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).
2. Sviluppo di applicazioni diagnostiche e terapeutiche innovative basate su analisi e manipolazione del microbiota.
3. Miglioramento della diagnosi delle infezioni in termini di rapidità, sensibilità ed 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 es. scienze omiche, *single-cell* imaging, microcalorimetria).
4. Potenziamento dei sistemi per il tracciamento su larga scala della diffusione di patogeni infettivi con potenziale epidemico e per la rilevazione precoce di fenomeni di *spillover* a rischio epidemico, in una prospettiva *one-health*, comprensivo di sistemi a basso costo per l'utilizzo sostenibile in contesti a risorse limitate.
5. Sviluppo di strategie antimicrobiche 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.
6. Sviluppo di vaccini innovativi, che migliorino le caratteristiche di quelli attualmente disponibili in termini di efficacia, 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.



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 *pipelines* 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.

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 che 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, ed 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 giovare di approcci biotecnologici 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* ed 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*, etc) 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 microrganismi 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 che come difesa da patogeni limitando quindi l'uso di pesticidi e favorendo la tutela dell'ambiente e della salute dell'uomo.
3. Studio della biodiversità microbica della "Plastisfera" di *habitat* antropizzati e di ecosistemi polari per la salvaguardia del nostro pianeta. Sviluppo di soluzioni eco-compatibili 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 bio-trattamenti 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.
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 con lo scopo di 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 (energia, farmaceutico, alimentare, cosmetico). Individuazione delle risorse (biomasse non in competizione con la catena alimentare e scarti in generale) inesplorate 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.



1.4 Tecnologie per la salute

L'analisi critica del contesto italiano, come emerge dalle analisi SWOT contenute nella scheda estesa, rivela come la ricerca sulle tecnologie per la salute, sia essa di natura fondamentale, traslazione, clinica o sociale/sanitaria, mostri **numerosi punti di forza** ma anche aspetti che richiedono un intervento sistemico ed un investimento rilevante in termini di **visione, progettazione e risorse**. L'Italia dimostra di avere 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. Rimane ancora però sottostimata la necessità di creare una categoria di ricercatori stabili, professionalizzati e competitivi nel contesto internazionale, che garantisca non solo continuità, ma sia anche nelle condizioni di esplorare ambiti di ricerca particolarmente innovativi e ancora acerbi.

Partendo dagli stimoli emersi dall'analisi critica del contesto, il tavolo Tecnologie per la salute 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 **Programmi Quadro Strategici** da attivare nel periodo 21-27 (**HealthTech for Society 5.0** e **"One-Health" Impact Evaluation**) la cui descrizione è contenuta nell'allegato esteso.

Come meglio delineato nel seguito e compiutamente descritto nella scheda estesa, il tavolo Tecnologie per la salute ha individuato 12 filoni di ricerca caratterizzati da livelli di TRL diversi che ritiene rilevanti nel futuro: accanto a sviluppi tecnologici di cui si vede già ora una applicazione clinica (le articolazioni da 1 a 7), sono proposti 4 filoni di ricerca il cui stadio di evoluzione è ancora quello della ricerca fondamentale (le articolazioni da 8 a 11). Conclude la proposta una articolazione trasversale (la 12) dedicata allo sviluppo della ricerca sanitaria. Le articolazioni proposte sono volte a sviluppare ricerca fondamentale, traslazionale, clinica e sociale che è sinergica 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 Programma Quadro Strategico "One-Health" Impact Evaluation che viene proposto da questo tavolo così come è analoga 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.

Quanto di interesse per il **Ministero dell'Interno** (Monitoraggio dei parametri vitali del soccorritore impegnato in attività di soccorso) è ampiamente coperto dall'articolazione 1 focalizzata su tecnologie indossabili e senzienti (smart) di tipo digitale e sensoristico per il monitoraggio dei parametri fisiologici e ambientali di rischio. Le articolazioni 1, 3 e 4 sono invece funzionali agli obiettivi di localizzazione e l'assistenza agli operatori di VVFF (guida alla navigazione in ambienti ad alto rischio, alert di condizione di esposizione a rischi specifici, assistenza motoria e cognitiva per esecuzione di operazioni su cittadini infortunati durante il salvataggio anche con collegamento diretto a distanza con operatori sanitari per salvare vite, ecc.). Nel caso delle indicazioni provenienti dal **Ministero della Difesa**, relative al tema della riabilitazione, della protesica e del reinserimento sociale e lavorativo dei veterani, le articolazioni sinergiche sono quelle relative alla realtà virtuale (3) robotica (4) e dispositivi medicali (7) dove la ricerca è volta alla tutela di soggetti vittime di infortuni e malattie professionali sul lavoro in senso ampio, anche per uso duale.

Articolazione 1. Digital health: 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: Sistemi indossabili per il monitoraggio di parametri fisiologici, di fattori di rischio comportamentali e ambientali; Dispositivi medici senzienti per il monitoraggio dello stato del paziente e delle prestazioni dei dispositivi stessi; Tecnologie ICT per la sanità decentralizzata (home-care e gestione del malato cronico) e per misurare e trasmettere dati, segnali e informazioni sui pazienti, la loro compliance a



trattamenti e piani assistenziali; Utilizzo di tecnologie digitali per la creazione di community of practice di operatori del SSN a supporto dell'introduzione di nuove tecnologie e/o procedure cliniche; Sviluppo di tools digitali per informazione, educazione sanitaria e coinvolgimento di cittadini e pazienti.

Impatto atteso: L'attività di ricerca che verrà sviluppata in questo ambito avrà impatto sui seguenti aspetti:

EU1 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; EU4 e EU6 Miglioramento della qualità della salute pubblica e rafforzamento di un settore industriale innovativo grazie ad una migliorata capacità di introduzione dell'innovazione tra gli operatori e un modello di accompagnamento/formazione/innovazione più capillare ed efficace; EU5 Sviluppo del potenziale dei nuovi strumenti di digital health al fine del miglioramento della cure e della riduzione dell'impatto delle malattie su cittadini e sul SSN.

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"; AI a supporto dei processi clinici (diagnosi, cura e trattamento); AI applicata all'Imaging, e alla radiomica per l'estrazione e predizione di informazioni cliniche predittive; Strumenti di Big Data analytics and Machine Learning per la gestione di dati clinici e dati omici; Strumenti digitali per il supporto alle decisioni cliniche (DSS) e per la predizione degli outcome; Algoritmi di AI a supporto dell'organizzazione e gestione dei servizi sanitari (score di priorità, dimensionamento flessibile delle strutture, monitoraggio eventi sentinella, supporto ad operatori distribuiti sul territorio per la decentralizzazione delle cure); Sviluppo e certificazione di terapie digitali.

Impatto atteso: Le attività di ricerca sviluppate in seno alla presente articolazione potranno impattare sui seguenti aspetti: EU3 Affrontare le malattie e contenere il loro impatto sulla società grazie ad una più approfondita conoscenza delle patologie utilizzando strumenti tecnologici innovativi; EU4 Consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute; EU5 Rendere disponibili a pieno le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile.

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 intra-procedurale.

Impatto atteso: EU4: 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. EU5: Accelerazione dell'adozione di dispositivi medici avanzati per procedure cliniche esistenti o innovative. EU6: 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.

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: EU2: Riduzione del rischio di malattie professionali e infortuni sul lavoro; EU3: Miglioramento degli esiti di cura e del recupero di funzionalità tramite lo sviluppo ed ottimizzazione di procedure cliniche per terapie innovative chirurgiche, interventistiche e riabilitative, anche a domicilio, in strutture ambulatoriali e/o residenziali; EU4: 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.

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 e validazione di sistemi microfluidici per la replicazione di funzioni cellulari specifiche di organi, o di sistemi multi-organo, per valutazioni precliniche innovative atte a ridurre il ricorso alla sperimentazione animale. Tecnologie basate su organ-on-chip per il potenziamento della ricerca pre-clinica finalizzata allo sviluppo di nuovi farmaci per renderne più rapido lo screening su larga scala. Sistemi avanzati per lo studio delle interazioni multiorgano inclusivi di interazioni cellulari atte a simulare la reazione immunitaria e la risposta infiammatoria in vitro. Sviluppo e validazione di Organ-on-chip basati su cellule iPS o su altri modelli di cellule staminali per indagini diagnostiche e simulazioni della risposta farmacologica a livello del singolo paziente.

Impatto atteso: EU4 Utilizzo a livello clinico di indagini innovative per scoprire nuovi meccanismi fisiopatologici e sviluppare nuovi farmaci per una medicina personalizzata. EU5 Sviluppo di tecnologie e conoscenze che possano integrarsi nei sistemi convenzionali di cura. EU6 Miglioramento del potenziale innovativo di industrie del settore biomedicale e del ruolo delle stesse a livello Europeo e mondiale.

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

Priorità di ricerca: Tecnologie di diagnosi in vitro ed 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 ed 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: Le attività di ricerca elencate nella presente articolazione potranno essere di impatto sui seguenti aspetti: EU4 Consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute; EU5 Rendere disponibili a pieno le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile; EU6 Consentire alla ricerca industriale sanitaria di essere innovativa, sostenibile e globalmente competitiva grazie all'acquisizione di tecnologie d'avanguardia.

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

Priorità di ricerca: Dispositivi impiantabili e non, di nuova generazione, con particolare riferimento ai dispositivi intravascolari e alle endoprotesi; sistemi innovativi per la sostituzione della funzione renale, mediante dispositivi efficienti, automatizzati e compatti per permettere la diffusione della dialisi domiciliare; sistemi innovativi per l'assistenza ventricolare in grado di ridurre le complicanze; efficientamento e automazione dei sistemi per l'ossigenazione extracorporea (ECMO); tecnologie neuromorfiche per applicazioni in medicina; tecnologie per la rigenerazione di tessuti complessi in vitro ed in vivo, anche mediante stampa 3D basata su dati anatomici generati dalle immagini cliniche; produzione di modelli fisici mediante additive manufacturing per la pianificazione chirurgica e il training chirurgico.



Impatto atteso: EU4 Applicazioni cliniche innovative e patient-specific; aumento della qualità delle cure mediante tecnologie più efficaci, con riduzione delle complicanze e maggiormente sostenibili; EU5 Tecnologie innovative e nuovi strumenti per un utilizzo più clinicamente efficace e economicamente da parte dei sistemi sanitari e assistenziali; EU6 Sviluppo e validazione di dispositivi medicali in grado di fornire opportunità di crescita industriale per rendere l'Italia autosufficiente dalle importazioni di prodotti tecnologici strategici.

Articolazione 8. Fisica medica avanzata a supporto della ricerca biologica e della medicina di precisione e personalizzata

Priorità di ricerca: Sviluppo di metodi ottici basati su foto/elettro/chemo-luminescenza e utilizzo di nanomateriali otticamente attivi e biocompatibili per la realizzazione di sensori ottici portatili a basso costo per la rivelazione selettiva di target biologici. Laser a cascata quantistica mediante spettroscopia infrarossa per identificare attraverso l'analisi dei tessuti patologie degenerative. Studio dell'evoluzione cellulare con tecniche quantistiche applicate alla ricerca nel settore delle nuove tecnologie per la salute. Sviluppo di tecniche ablative per implementare nuovi modelli che tengano conto delle caratteristiche reali del tessuto tumorale e sviluppare di nuovi protocolli e dispositivi medicali

Impatto atteso: Le attività di ricerca elencate potranno essere di impatto sui seguenti aspetti: EU4 Consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute; EU5 Rendere disponibili a pieno le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile; EU6 Consentire alla ricerca industriale sanitaria di essere innovativa, sostenibile e globalmente competitiva grazie all'acquisizione di tecnologie d'avanguardia.

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 di tessuti e cellule; Nanomateriali utili per la medicina rigenerativa.

Impatto atteso: Le attività di ricerca elencate nella presente articolazione potranno essere di impatto sui seguenti aspetti: EU4 Consentire l'accesso alle tecnologie innovative per la salute mediante soluzioni centrate sulle necessità dei cittadini per mantenere la popolazione in salute; EU5 Rendere disponibili a pieno le soluzioni digitali offerte dalle tecnologie per la salute e migliorare il benessere della società civile; EU6 Consentire alla ricerca industriale sanitaria di essere innovativa, sostenibile e globalmente competitiva grazie all'acquisizione di tecnologie d'avanguardia.

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

Priorità di ricerca: Nuovi algoritmi, metodologie e tecnologie informatiche per l'analisi di dati biologici e la modellazione dei sistemi biologici; 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: EU3. 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. EU5. Potenziamento della innovazione di prodotto in campo farmaceutico e dei processi clinici per la medicina di precisione.



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 bio-materiali che integrino funzionalità sensitive, attuative, computazionali e comunicative e relative tecniche di fabbricazione innovative; Bio-sensoristica, Bio-elettronica e Bio-robotica avanzata; Metodi e tecniche per lo sviluppo di Organoidi; Tecnologie di Bionica estrema per la reingegnerizzazione del corpo umano; Bio-Hybrid Human Twins per la simulazione integrata delle strutture e della fisiologia umana.

Impatto atteso: EU3: Sviluppo e integrazione di approcci diagnostici e terapeutici radicalmente innovativi per la medicina di precisione e personalizzata basati su sistemi bio-ibridi. EU4: Incremento di efficacia e efficienza di procedure cliniche complesse, anche di medicina di emergenza, e che richiedano la riorganizzazione delle strutture e funzioni corporee.

Articolazione 12. Le valutazioni di impatto delle tecnologie e i business model

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 all' HTA, 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" ad includere la valutazione di aspetti quali benessere psico-sociale, diseguaglianze, rischio occupazionale e sostenibilità sociale ed ambientale; Modelli di innovazione tecnologica, di trasferimento tecnologico e di rescue di tecnologie orfane; business model (inclusi user-led innovation, co-production, open innovation);

Impatto atteso: EU3/4: Miglioramento della salute dei cittadini e della qualità delle cure e dei servizi sanitari grazie ad 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); EU5: Sviluppo e impiego da parte dei professionisti della salute di tecnologie efficaci, sostenibili e inclusive grazie a scelte informate ed evidence-based; EU6: 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.



2. Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione

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, in cui hard sciences e humanities interagiscono in modo estremamente produttivo. Esso partecipa 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 e 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, che 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, la salvaguardia, la conservazione, l'interpretazione, la valorizzazione e la trasmissione al futuro del patrimonio 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 di intervento 'Cultural Heritage' è uno dei risultati delle politiche di ricerca proposte a livello europeo dall'Italia e riconosciute: 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 nel senso di condivisione open di tutti i risultati nel dettaglio delle indagini effettuate), digital heritage (ricostruzioni 3D, realtà immersive, digitalizzazione per restauro e fruizione) e scienze umane (storia, archeologia, arte, filosofia: vedi i relativi Ambiti tematici, d'ora in poi AT). 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 cui di particolare rilevanza le infrastrutture di ricerca.

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 ridurre tempi e costi di conservazione e 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. Queste tecnologie 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 agli obiettivi generali del PNR (prevenzione, sicurezza, efficienza energetica...) e massima compatibilità con le ricerche degli altri AT relativi alla Cultura; 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 predisporre 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 gli altri AT Cultura, in particolare con l'articolazione 2 dell'AT "Discipline Storiche Letterarie ed Artistiche" e l'articolazione 1 di "Antichistica") e per la pianificazione e la più efficace riuscita di interventi conservativi; tecniche avanzate (geofisica, remote sensing, imaging iperspettrale...) 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 E-RIHS, European Research Infrastructure on Heritage Science, infrastruttura già in Roadmap ESFRI, 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 riconosciuto

Molto sentita è l'esigenza di delocalizzare, nella direzione di un turismo sostenibile basato sul rispetto e la valorizzazione dei luoghi, dei paesaggi, delle tradizioni e delle 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...). Un luogo è significativo quanto la comunità dei suoi visitatori ed 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 considerati 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 che di fruizione, anche con riferimento ai paesaggi culturali, oggetto di una specifica articolazione dell'AT Antichistica, che opportunamente ne sottolinea l'interpretazione diacronica, e funzionali alle strategie di sviluppo locale (vedi l'AT Creatività, Design, Made in Italy).

Impatto atteso: stimolo all'economia in un processo sostenibile in grado di ripristinare equilibrio economico e sociale, liberando risorse ed 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 (vedi AT 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 degli ecosistemi e dei sistemi energetici intesi come parte del tessuto urbano e del paesaggio (si pensi agli impatti delle fonti rinnovabili di energia). Gli interventi di efficienza energetica, inclusi negli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'ONU, devono garantire la peculiarità della 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.

Impatto atteso: supporto culturale a policy 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'AT 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 un maggiore sviluppo di 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 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.

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 caratterizza le identità individuali, regionali, nazionali e sovranazionali (si vedano anche le riflessioni degli ambiti tematici di Patrimonio culturale e di Antichistica).

La cultura, nei molteplici aspetti sopra indicati, e la ricerca che vi è connessa sono una componente distintiva del nostro paese, con tante declinazioni possibili. La tradizione di studi umanistici è, infatti, 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 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'interlocazione con la ricerca a livello internazionale e, nello specifico, con le linee guida 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 post universitario (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 importantissimo contributo anche propositivo 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 e 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 una 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 e 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 poter tutelare e promuovere il Patrimonio è innanzitutto necessario conoscerlo e comprenderlo, affinché lo stesso non diventi un qualcosa di inerte e prezioso da osservare, ma 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 cui la stimola la sempre crescente attenzione riservata nella progettazione europea al Patrimonio Culturale, non può trascurare, ma deve anzi riaffermare, l'importanza di una tradizione di studi che ha segnato e caratterizzato l'identità 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'ambito tematico delle discipline storico letterarie e artistiche può legarsi al contesto europeo di Horizon Europe (e in particolare alla intervention area Cultural Heritage del cluster "Culture, creativity and inclusive society") proponendo anzi proprio una aperta focalizzazione sul concetto di interpretazione del patrimonio culturale. Tale concetto 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 gli ambiti tematici specificamente dedicati al Patrimonio culturale, alle Discipline antichistiche, ma anche alla Transizione digitale. Per le discipline filologico-letterarie tale concetto 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 imprescindibile per costruire una seria politica di conoscenza, interpretazione, tutela e valorizzazione, da cui discende il ruolo del patrimonio quale 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'interdisciplinarietà. 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 dei piani europei. 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 ri-definiscono 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 inter 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 trans-culturali; 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

Il processo di 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, attraverso rinnovate interpretazioni, di restituire significato e vitalità al cultural heritage
- 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
- 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 alla 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.

2.3 Antichistica

Le discipline antichistiche ricostruiscono attraverso le fonti materiali e testuali lo sviluppo socio-culturale del mondo antico al fine di acquisirne una conoscenza sempre più approfondita, contribuendo così a una migliore comprensione di aspetti fondamentali della vita culturale, socio-politica 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 AT "Discipline storiche, letterarie e artistiche", Analisi critica del contesto di riferimento). 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, per la definizione dello stesso *brand* Italia (si veda anche Analisi critica del contesto di riferimento, in AATT "Creatività, Design e Made in Italy" e "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 archeologiche all'estero contribuiscono in molti contesti al processo di *peace keeping* e alle politiche di cooperazione allo sviluppo.

La ricerca antichistica si declina in ricerche sul terreno, topografiche, archeologiche e 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 e 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. Fondamentali infrastrutture per la ricerca antichistica



continuano a essere le biblioteche e l'accesso a 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 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 AT "Discipline storiche, letterarie e artistiche", Analisi critica del contesto di riferimento).

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 conferisce al settore un significativo valore aggiunto che contribuisce alla nascita di nuovi spazi di indagine e al potenziamento di tradizionali ambiti di ricerca: da un lato si assiste all'incremento dei sistemi *web* o *cloud* nell'ottica della *Open Science*, dall'altro all'evoluzione della sensoristica che promuove una forte innovazione nel campo del telerilevamento e della identificazione automatica di informazioni. Anche la fruizione e la disseminazione dei risultati della ricerca si avvalgono in maniera crescente di strumenti digitali.

Le ricerche relative all'ambito tematico vedono come principali attori enti vigilati dal MUR (atenei e Consiglio Nazionale delle Ricerche), istituti e 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 ancora limitato rispetto a quanto accade in molti contesti esteri l'investimento privato. 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 dei progetti finanziati.

Va in generale perseguito un maggiore coordinamento tra i tanti attori coinvolti come condizione imprescindibile per l'efficacia delle future iniziative di ricerca sul territorio nazionale. Analogamente, la ricerca all'estero dovrebbe godere di maggiore sostegno economico e organizzativo.

Particolare impulso va dato alla costituzione di reti e di poli di aggregazione di competenze; inoltre, adeguate risorse dovranno essere profuse per consentire, grazie agli approcci multi- e inter-disciplinari la necessaria conservazione e condivisione dei dati e delle informazioni. A livello di formazione e di competenze, sarà necessario investire nella costituzione di profili a forte caratterizzazione multi- e interdisciplinare che, alla luce di quanto precedentemente evidenziato, sono sempre più cruciali in tutte le fasi della ricerca in quanto in grado di dialogare con i portatori delle competenze complementari.

Articolazione 1. Ricerca di base sul mondo antico

Nonostante le intense ricerche a carattere topografico, archeologico e storico-epigrafico che si sono finora svolte in Italia e all'estero, è acclarato che solo una percentuale limitatissima del patrimonio storico-archeologico è attualmente nota. La prosecuzione delle attività volte all'individuazione e documentazione del patrimonio storico-archeologico non è solo funzionale allo sviluppo delle conoscenze sul mondo antico e rappresenta il presupposto imprescindibile per quanto proposto anche nelle articolazioni 2, 3 e 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 e 4, e inoltre AT "Discipline storiche letterarie e artistiche" Articolazioni 1 e 2). Queste ricerche dovranno caratterizzarsi per l'impostazione interdisciplinare e per l'utilizzazione di nuove tecnologie digitali (si veda Analisi critica del contesto di riferimento e AT "Patrimonio Culturale" Articolazione 2), con particolare attenzione per l'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 che all'estero, a causa di cambiamenti climatici, eventi catastrofici, antropizzazione e inquinamento.

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 *guidelines*, 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 veda anche AT "High Performance Computing and Big Data", Articolazioni 1 e 5). Contestualmente andranno definiti standard qualitativi riconosciuti dei dati, dei meta-dati e dei para-dati, secondo i principi FAIR (*Findable, Accesible, 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 veda anche AATT "Patrimonio Culturale", Articolazione 1, "Discipline storiche, letterarie e artistiche", Articolazione 4 e in generale "High Performance Computing and Big Data", Articolazioni 2 e 4). Parallelamente, andrà sistematicamente promossa la pubblicazione *open* 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 *open* 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 consapevole, ecologicamente e socialmente sostenibile, e per una valorizzazione dei territori che sia rispettosa delle loro vocazioni e peculiarità (si veda anche AT "Bioindustria per la Bioeconomia", Articolazione 4). Tale ambito di ricerca può così contribuire a dare una nuova centralità a aree oggi emarginate dai principali flussi socio-culturali e economici, sia in Italia che all'estero (si veda anche AATT "Trasformazioni sociali e società dell'inclusione", Articolazioni "Disuguaglianze e inclusione" e "Strategie e strumenti per la rigenerazione urbana e il governo del territorio", e inoltre "Patrimonio Culturale", Articolazioni 3 e 4), nel quadro della definizione di nuovi modelli di sviluppo sostenibile (si veda anche AATT



“Creatività, Design e Made in Italy”, Articolazioni 3 e 5, “Discipline storiche, letterarie e artistiche”, Articolazione 3). Lo studio dei “paesaggi culturali” richiede una forte impronta interdisciplinare (si veda Analisi critica del contesto di riferimento) e l’applicazione di strategie d’indagine basate sull’uso di nuove tecnologie (si vedano le Articolazioni 1 e 2).

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 culturalmente di transizione, 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. Questi sono rappresentati dagli spostamenti di popolazioni, che dalla sua origine hanno caratterizzato la storia della nostra specie, 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 veda anche AATT “Trasformazioni sociali e società dell’inclusione”, Articolazioni “Mobilità e migrazioni”, “Disuguaglianze e inclusione” e “Nuove identità e processi culturali”, e inoltre “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 veda anche AATT “Patrimonio Culturale”, Articolazione 5, “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 (si veda Analisi critica del contesto di riferimento) e l’applicazione di strategie e metodi d’indagine basati sull’uso di nuove tecnologie (si vedano ancora le Articolazioni 1 e 2).

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 socio-culturali legate alla globalizzazione.

2.4 Creatività, design e made in Italy

All’interno del grande ambito “Cultura Umanistica, Creatività, Trasformazioni Sociali, Società dell’Inclusione” del PNR, l’ambito tematico *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 pillar 2 e 3 di Horizon Europe, raccoglie le sfide del sistema economico e produttivo dell’Italia. Un sistema 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 che culturali del nostro territorio; 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 culturale, mostrando un potenziale di crescita rilevante ma ancora non del tutto espresso, da valorizzare attraverso logiche e strategie integrate ed una forte connessione tra ricerca, territori ed imprese, capitale umano. I fattori che di fatto costituiscono l’architettura dell’economia del Made in Italy, ne sono,



allo stesso tempo la 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, ed 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; allo stesso tempo ha accelerato 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 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, del progetto degli artefatti e dei servizi per la qualità della vita e del pianeta. Attraverso le sue metodiche e l’attitudine al progetto collaborativo trasforma la complessità del contemporaneo continuamente in nuovi sensi, in nuove direzioni dell’innovazione, grazie alla sua natura fondamentalmente 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 ed 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 ad un confronto continuo che amplia i suoi ambiti di ricerca e applicazione. Attraverso la ricerca fondamentale il design affronta continuamente 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, supporta metodologicamente l’attività progettuale come processo di conoscenza; attraverso la ricerca applicata ed industriale 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 al 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 la 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, ed 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 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 sue indagini alle frontiere della conoscenza e 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 centered*, finalizzato ad acquisire nuove conoscenze, a comprendere, sperimentare e governare la complessità dei processi, 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 centered*, partecipativa e collaborativa; studi storici, socio-culturali, tecnologici ed economici riferiti all'impatto del design sull'evoluzione e sul sistema produttivo e sociale; ruolo del design in relazione all'evoluzione dei servizi; 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: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16.

Impatto atteso: creazione di nuove conoscenze riferite al ruolo del design nell'innovazione delle filiere produttive e della società; promozione della diffusione della conoscenza, 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 socio-economiche, di genere e di capitale culturale.

Articolazione 2. Made in Italy / Restart in Italy

Obiettivi: Delineare un sistema culturale, creativo e produttivo aperto ed inclusivo attraverso la promozione di modelli collaborativi e connessi, di infrastrutture di ricerca trasversali ed 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 socio-economiche ed ambientali, richiede azioni integrate e trasversali a supporto della resilienza, dell'innovazione *human centered* e della completa transizione al digitale, inclusa la *cyber security* (cfr. Ambito Tematico *Cybersecurity*). Strumenti indispensabili per la ripartenza del Sistema Paese sono la valorizzazione delle potenzialità umane nel rapporto con le macchine, in un'ottica di umanesimo digitale; nuovi modelli imprenditoriali verso l'innovazione collaborativa ed aperta; nuovi modelli di produzione e distribuzione (tecnologie digitali e sperimentazioni di intelligenza artificiale verso produzioni *customer based*); 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 (es. *pay per use*); nuovi modelli e approcci di design per il *digital manufacturing*; sperimentazioni ed azioni volte all'implementazione, alla tutela ed allo sfruttamento della proprietà intellettuale; innovazione nella formazione e nell'aggiornamento delle competenze tecnologiche del capitale umano; nuovi modelli organizzativi e gestionali nei processi di produzione manifatturiera e di erogazione di servizi, anche con riferimento all'organizzazione del lavoro in presenza ed in remoto. Sustainable Development Goals associati: 4, 5, 8, 9, 10, e 16.

Impatto atteso: accesso inclusivo alle nuove tecnologie, al mondo del lavoro ed alla formazione continua; sviluppo responsabile e rispondente ai grandi cambiamenti sociali, etici ed economici in atto; sperimentazione ed implementazione di nuovi modelli produttivi collaborativi ed inclusivi per il miglioramento della qualità e della 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, stakeholders 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: nuovi paradigmi economici inclusivi; design per la sostenibilità ambientale dei prodotti, processi e servizi; nuovi modelli produttivi sistemici e circolari; produzione etica e socialmente responsabile; strumenti, metodi e processi per l'economia circolare e per nuovi comportamenti di consumo responsabile. Sustainable Development Goals associati: 3, 5, 6, 7, 8, 12 e 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 policy per il life-improvement, la salute ed il benessere delle persone, la qualità dei servizi pubblici, l'inclusività e l'innovazione sociale.

Le trasformazioni sociali ed ambientali contemporanee evidenziano la necessità di sviluppare nuove policy e pratiche di gestione del sistema pubblico e privato, volte all'individuazione ed alla sperimentazione di modelli gestionali 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'AT *Trasformazioni sociali e società dell'inclusione*). Le linee di ricerca da promuovere comprendono: modelli e approcci per l'accessibilità ed usabilità dei servizi pubblici, *interface* e *interaction design* a supporto della trasformazione digitale della pubblica amministrazione, del superamento delle barriere fisiche, culturali, religiose; nuovi modelli organizzativi per lo sviluppo e la gestione del lavoro digitale nei processi di produzione ed erogazione dei servizi. Sustainable Development Goals associati: 3, 5, 8, 11 e 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; salvaguardare la salute delle persone attraverso la sostenibilità ambientale degli spazi di vita.

Articolazione 5. Territori e valorizzazione del Made in Italy

Obiettivi: Nuovi modelli di sviluppo per valorizzare le diversità del Sistema Paese nei settori dei Patrimoni Culturali, dell'Agroalimentare, dell'Enogastronomia e del Turismo.

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 intangibili sono settori in cui 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: salvaguardia, valorizzazione, storytelling e promozione dei patrimoni culturali del Made in Italy e della Dieta Mediterranea, patrimonio UNESCO; promozione e sviluppo di ecosistemi imprenditoriali per l'innovazione sociale e la valorizzazione del patrimonio culturale; promozione della parità di genere nel Made in Italy; promozione del *Life Long Learning* in educazione alimentare e cultura gastronomica; nuovi paradigmi e politiche per la promozione di *Healthy Food Environments*; design per lo *smart packaging* e *labeling* dei prodotti agroalimentari; prospettive ed innovazioni a sostegno della transizione verso un Made in Italy 100% biologico e sostenibile "from farm to fork"; valorizzazione culturale, sociale, economica e turistica dei paesaggi, delle ecologie e delle identità alimentari; nuovi modelli, processi e prodotti per il turismo culturale e ambientale, consapevole e sostenibile; 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 tutti gli Ambiti Tematici di *Cultura, Creatività,*



Trasformazioni Sociali, società dell'Inclusione. Sustainable Development Goals associati: 3, 4, 8, 5, 8, 10, 11 e 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 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 ed i settori creativi.

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: sperimentare modelli innovativi per la gestione dei diritti di proprietà intellettuale (*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 precarizzate; favorire l'approccio partecipativo degli utenti attraverso processi di co-creazione; valorizzare le diversità culturali, attraverso il coinvolgimento di soggetti sociali e riducendo il divario tra centri dinamici ed aree interne, tra centri storici e periferie; 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 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. Questa articolazione è particolarmente coerente con gli AT *Discipline storico letterarie ed artistiche, Patrimonio culturale e Trasformazioni sociali, società dell'inclusione*. Sustainable Development Goals associati: 5, 8, 9, 10 e 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 ed ambientali ancora inespressi attraverso il lavoro creativo e delle imprese culturali; tutela dei prodotti derivanti dalle attività creative; implementazione del livello tecnologico delle imprese di settore.

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-Covid19: 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. Esse ridefiniscono quadri di opportunità, processi selettivi, rischi di declino in Italia, in Europa e nel mondo.

Trasformazione socio-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 industriale.

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 '900, 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, per esempio, incorporino strutturalmente la responsabilità sociale ed ambientale nelle strategie delle imprese e nei comportamenti del consumo.

Articolazione 1. Demografia: invecchiamento e denatalità

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

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 (es. *big data*, *network* analisi) 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

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 COVID19 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-Covid19.

Articolazione 4. Nuove identità e processi culturali

a) nuove forme dell'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 psico-sociale e qualità della vita

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, nell'ambito delle 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

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; tecnologiche ed energetiche; connettive del verde e delle acque; degli assetti paesaggistici; delle emergenze storico-documentario-architettoniche; di comunità, di gestione condivisa dei beni comuni; di partenariato pubblico-privato; di rivitalizzazione socioeconomico e culturale; per l'abitare; 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

a) costellazioni di attori multi-livello 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 il 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

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 partnership 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 multi-scalari e di sistema, tesi a una nuova ondata di investimenti produttivi e nella formazione in Italia entro il contesto europeo post-Covid19.

Articolazione 9. Trasformazioni tecnologiche e design centrato sulla persona

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 medial, comunicative e processi di digitalizzazione

a) analisi di piattaforme e sistemi medial ibridi con attenzione alla dimensione locale/globale e alle trasformazioni delle industrie culturali classiche in post-medial; 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 (es. volontariato, promozione sociale) e a-sociale o



antisociale (es. *hate speech*, sovversione); d) nuove pratiche di fruizione dei pubblici trans e post-mediali, 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

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 policy e pianificazione e) la co-progettazione e la co-creazioni on-line di ricerche sui temi delle trasformazioni sociali e dell'inclusione

Impatto atteso: le attività andranno a potenziare e 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

a) strategie di rigenerazione urbana e riequilibrio territoriale; programmi strategici e specificità dei territori; b) riforma della legislazione nazionale per governo del territorio e 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.



3. Sicurezza per i sistemi sociali

3.1 Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti

L'Ambito Tematico **AT3.1** è inserito nell'Ambito "Sicurezza per i Sistemi Sociali", corrispondente al **Cluster III "Civil security for Society"** del **Programma Horizon Europe 21-27**, 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 ed antropici. L'AT3.1 intende promuovere attività di ricerca ed innovazione tecnologica che contribuiscano a una efficace implementazione, a livello nazionale, di politiche e direttive internazionali nel campo del **Disaster Risk Management**, tra le quali il "*Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015-2030)*" e lo "*Union Civil Protection Mechanism*". Allo stesso tempo, le attività di ricerca saranno coerenti con il contesto di riferimento generale del PNR21-27, ossia i **Sustainable Development Goals (SDGs)**, le Priorità espresse dalla nuova Commissione Europea e gli Obiettivi della **Politica di Coesione 21-27**. Riguardo quest'ultima, tra i sei Obiettivi di Policy (OP), l'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 nell'OP4 "*Promoting our European way of life*", che li indica tra gli obiettivi principali degli investimenti in ricerca ed innovazione. In questo contesto prioritari per l'Italia saranno investimenti diretti ad incrementare la resilienza ai rischi naturali (sismico, idrogeologico), con particolare attenzione per le infrastrutture critiche ed i 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 formano. Da un lato, i **principali attributi della sicurezza e della resilienza** da considerare sono: (i) vulnerabilità dei sistemi, intrinseca e dovuta a deterioramento; (ii) molteplicità dei pericoli di origine naturale e antropica; (iii) conoscenza imperfetta e/o incompleta (i.e., incertezza) di eventi pericolosi e dei loro impatti; (iv) robustezza e riparabilità/manutenibilità. Dall'altro lato, vanno riconosciute le principali **complessità intrinseche** a strutture, infrastrutture e sistemi a rete, derivanti da: (i) molteplicità ed eterogeneità degli elementi (*hard-cyber-human-ware*) e delle tecnologie; (ii) dipendenze e interdipendenze; (iii) estensione spaziale dei sistemi e delle conseguenze di eventuali disastri, potenzialmente intersettoriali e transnazionali (e.g., effetti domino e a cascata); (iv) evoluzione nel tempo e vita utile residua; (v) limitata disponibilità di risorse economiche per la sicurezza e la resilienza; (vi) comparabilità dei rischi conseguenti a pericoli diversi; (vii) rapida evoluzione tecnologica (e.g., *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 ed 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** ed il **trasferimento tecnologico** (TRL medio-alto), con il coinvolgimento delle pubbliche amministrazioni, delle comunità professionali ed 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, nelle aree scientifiche in cui risultano dominanti paradigmi quali: *smart materials, data science, big data, machine learning, situation awareness, remote metering, fault diagnosis, robotics, IoT, smart city, smart grids*. Fondamentale, sia in fase di progettazione di nuove opere che 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 gli AT "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", "Informatica, Industria, Aerospazio".



In termini generali gli **Impatti Attesi** dell'AT3.1 rientrano tra quelli del Cluster III del programma 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

La sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti richiede un **approccio sistemico**, nella analisi e valutazione dei rischi e della resilienza, per poter essere garantita in fase di progetto, gestita e mantenuta operativa. Vanno considerati i **pericoli multipli, attuali, emergenti e futuri**, di origine sia naturale che antropica, che minacciano la sicurezza delle comunità a causa della vulnerabilità individuale e sistemica di strutture, infrastrutture e reti su scala nazionale e sovra-nazionale. 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 tra loro e che possono portare ad effetti di 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 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 ed altri eventi calamitosi. Pertanto, la valutazione e la gestione della sicurezza del patrimonio edilizio ed infrastrutturale, la difesa e 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 hub**. Ciò richiede un'ottimizzazione degli sforzi economici per programmi di interventi ordinari/straordinari, per i quali risulta cruciale disporre di strumenti per la valutazione rapida dello stato di sicurezza, in particolare dopo eventi calamitosi, 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 sia diretto che 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 (i.e., sistemi di **early warning**) che in alcuni casi possono rappresentare una 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 a 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: sviluppare e rendere disponibili 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 la resilienza.

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 socio-economico in continua evoluzione ed 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 che 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 Direttiva Seveso III). 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. Anche in questo caso, 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" ed "intelligenza artificiale" con quelli 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: (i) tecnologie e sistemi di monitoraggio, *in-situ* e da remoto, (ii) metriche del rischio e della sicurezza, modelli multi-parametrici, (iii) tecniche di *data analysis* applicate a *big data*, e (iv) sistemi e strumenti per l'individuazione di possibili condizioni di criticità di strutture e infrastrutture.

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 che per accumulo del danno. Metodi di progettazione orientati alla sicurezza ed 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 natura naturale o antropica. La valutazione dell'entità della perdita di funzionalità del sistema è oggetto della 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: (i) la **robustezza del sistema** (i.e., la capacità del sistema di sopportare la perturbazione derivante dall'evento dannoso, mitigandone gli effetti di perdita di funzionalità), supportata dalla **ridondanza funzionale** (i.e., la capacità del sistema di continuare a fornire la funzionalità anche avendo subito perdite); (ii) 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, etc.) servite da una serie di sistemi fisici e di servizi, interconnessi e interdipendenti (es., sistema informatico bancario che dipende dall'infrastruttura elettrica), il parametro di qualità/funzionalità è la *lifeline* delle comunità, e la valutazione e progettazione della resilienza devono necessariamente coinvolgere tutti i suddetti sistemi, nel **sistema di sistemi** che compongono. In tale organizzazione sistemica rientrano, quindi, una serie di 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 a 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 alla **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, ed in particolare considerando la elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio ed infrastrutturale, l'applicazione delle ricerche deve sempre più contribuire alla riduzione dei rischi e al miglioramento della resilienza attraverso diverse strategie di prevenzione sia strutturale che non strutturale. Decidere quale strategia sia la migliore, o come vadano opportunamente combinate per ottimizzare la **distribuzione spaziale e temporale delle risorse** in termini benefici/costi, è difficile. Sono necessari studi e ricerche che consentano di definire criteri e metodi per la individuazione della **strategia ottimale**, con un approccio olistico ed interdisciplinare in un **contesto multi-hazard e multi-rischio**. 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 ed un livello di prestazione più elevato possibile in risposta ad eventi poco frequenti ed alto impatto. Vanno sviluppati sistemi *self-healing* che rappresentano una tecnologia promettente per l'incremento della resilienza di infrastrutture e reti.

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 ed 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 innovazione scientifica e tecnologica, 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, come auspicato dal Sendai Framework, promuovendo sempre più **l'informazione, la consapevolezza, la preparazione ed i comportamenti attivi dei cittadini** nel gestire la sicurezza delle persone e dei beni materiali rispetto ai rischi naturali e antropici. 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 obiettivi ineludibili 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 es., 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, stimolando la ricerca per un uso più razionale ed efficiente della risorsa idrica 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 ed 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.

3.2 Sicurezza sistemi naturali

La sicurezza dei sistemi naturali è fortemente interconnessa alle attività antropiche e di conseguenza ai sistemi sociali. Nel decennio 2009-2018 i disastri naturali hanno causato, su scala globale, perdite eccedenti 1.858 miliardi di US\$ (Munich Re, 2019) e la dislocazione di 24 milioni di persone (UNDRR, 2019; Global Risk Report, 2020). L'impatto di eventi naturali sul sistema Terra si manifesta, sia in modo diretto che indiretto, anche con effetti concomitanti che derivano in parte dall'interazione con l'ambiente antropico. La riduzione e gestione dei rischi naturali richiede perciò l'integrazione di competenze multi- e inter-disciplinari 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 alla terza *UN World Conference on Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2015), auspica lo sviluppo di approcci e applicazioni multi-hazard utili sia per il preannuncio che per la rapida stima dell'impatto di un evento. 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 ad 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 trasformano gli hazard in rischi, sia rispetto agli impatti e ai costi socio-economici 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 è mirata anche ad 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 ed impegno (engagement) in analisi di efficacia di programmi di ricerca sul rischio (citizen science). **Elementi prioritari di attenzione** includono opportunità di: (a) favorire sviluppi significativi per la ricerca di base sui processi coinvolti nei singoli fenomeni naturali ed indotti da azioni antropogeniche e sulla identificazione e rappresentazione di eventuali fattori ed eventi preparatori e precursori e sulla loro modellazione; (b) innovare le basi dati, rendendole fruibili ed integrabili con moderni strumenti modellistici, 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 ed 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 multi-rischio 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 socio-economico 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.

Riferimenti: UNDRR (2019) Global assessment report on disaster risk reduction 2019. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 425 pp., ISBN/ISSN/DOI 978-92-1-004180-5; UNDRR (2015) Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 32 pp.

Articolazione 1. Conoscenza di base, processi e modelli

Ricerca e innovazione tecnologica, 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 che di quelli 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, approcci fisicamente basati e tecniche di intelligenza artificiale.

Articolazione 2. Monitoraggio dei sistemi naturali

Ricerca e innovazione tecnologica 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 ed alla loro condivisione (TRL atteso: 4 - 9).

Impatto atteso:

1. Avanzamento nello sviluppo ed 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 multi-scala.



4. Sviluppo di metodologie efficienti per l'analisi e la gestione operativa e razionale di grandi data base ad accessibilità pubblica.
5. Integrazione di piattaforme open access per dataset, risultati scientifici e tecnologici utilizzabili in condivisione con la società civile e come strumento operativo per la governance del multi-rischio e degli impatti antropici.

Articolazione 3. Strategie multi-rischio per la difesa da eventi naturali

Ricerca e innovazione tecnologica per lo sviluppo di metodologie e sistemi per la valutazione quantitativa degli effetti di scenari multi-hazard e multi-rischio 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 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 ed 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

Ricerca 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 policy makers e comunità professionale e scientifica.
2. Metodologie robuste per la valutazione integrata dei costi multipli, diretti ed 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.
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. Coinvolgimento 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.



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, sono possibili risultati di attacchi informatici. Questi suscitano allarme, causano danni all'economia e mettono in pericolo l'incolumità dei cittadini quando colpiscono 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'agro-alimentare, 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 possono orientare l'opinione politica degli elettori, condizionando l'esito di elezioni e processi di governance. È necessario mettere a punto sistemi di difesa, coordinati al 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 però 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, framework 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.

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 allo sviluppo sperimentale, mettendo a sistema strumenti di supporto allo scrutinio tecnologico e coordinando azioni già esistenti. In Italia ci sono poche aziende di medie dimensioni che si occupano di cybersecurity ed è necessario puntare su start-up 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 più attraente lavorare su tematiche di sicurezza informatica e che stimolino una 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 ed 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 alla 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 *cyber crime* e *cyber terrorism*, attraverso uno sforzo multidisciplinare che tenga conto delle componenti socio-economiche 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 così come 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 cyber-fisici 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. 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 qui 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 cyber-fisici* 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 crittografia, al controllo degli accessi, fino all'Intelligenza Artificiale (AI). La Crittografia fornisce strumenti e metodologie per garantire confidenzialità, autenticazione, integrità non-ripudio, e anonimato. In tale ambito è importante la ricerca sulla crittografia in grado di resistere ad attacchi basati sull'uso di computer quantistici che renderebbero vulnerabili schemi crittografici molto diffusi. Vanno inoltre considerate tecniche per la definizione ed 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 fluidità delle tecnologie di accesso mobili e per definire regole di accesso basate sui fattori di rischio anche usando sistemi dell'AI per identificare le minacce in tempo reale. Inoltre, l'uso della biometria offre nuove prospettive finalizzate all'autenticazione, all'identificazione ed alla sorveglianza. Però 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 dell'AI per garantire stabilità e sicurezza nei processi decisionali e nelle strategie di reazione legate al controllo di sistemi critici. La sicurezza dei sistemi critici va anche garantita a livello hardware attraverso l'utilizzo di Trusted Computing Environments che garantiscono riservatezza e integrità di codice e dati, migliorano autenticazione nei dispositivi autonomi dell'IoT e proteggono comunicazioni. Queste soluzioni sono particolarmente importanti per la protezione di dati ed 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 con soggetti privati. Tuttavia, i sistemi attuali non garantiscono un buon livello di controllo dei processi e neppure la possibilità di una verifica trasparente dei dati coinvolti. È pertanto 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 ed uno stimolo per tutti i soggetti coinvolti. Anche la qualità dei servizi sanitari potrebbe beneficiare di piattaforme che facilitino convergenza e accessibilità da remoto in tempo reale e sicuro a dati sanitari, ma, come è emerso nelle discussioni sui sistemi di tracciamento per il Covid-19, 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 disinformazione attraverso le *fake news* e i *deep fake*.

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 anche formali all'interno di framework 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 di adottare strategie di mitigazione del rischio attraverso modelli sempre più 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 contro gli attacchi cyber, perpetrati da organizzazioni criminali sempre più strutturate e articolate, è necessario un eco-sistema cyber nazionale che supporti la realizzazione della politica nazionale di cybersecurity. La struttura portante di questo ecosistema potrebbe 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 possa essere di riferimento anche per il nascente Centro Europeo di competenza industriale, tecnologica e di ricerca sulla cybersecurity. Il Centro Nazionale dovrebbe 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 delle infrastrutture nazionali sicure per la memorizzazione, il calcolo, la certificazione e la comunicazione. Tali infrastrutture potrebbero essere realizzate a partire da quelle che già consorzi quali GARR e CINECA mettono a disposizione e prevedere, tra l'altro, l'attivazione di nuovi servizi, quali una Blockchain Nazionale e degli osservatori per lo studio avanzato di malware e di attacchi organizzati. Esse potrebbero essere accompagnate da una rete nazionale federata di cyber range che, integrando quanto già disponibile in ambito privato, pubblico, militare e governativo, permetta, tramite simulazioni con scenari via via più reali, di sperimentare sul campo avanzate tecniche di difesa.



4. Digitale, industria, aerospazio

4.1 Transizione digitale – i4.0

L'ambito "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'urgenza 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» (EU, *The role of research and innovation in support of Europe's recovery from the Covid-19 crisis*). L'Europa e l'Italia dovranno affrontare la doppia sfida della trasformazione digitale e *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 di questo Ambito del PNR sono stati pertanto strutturati secondo articolazioni strategiche e tecnologiche. Ciò risponde a quanto previsto dal Programma Horizon Europe (2021-2027) che considera le tecnologie digitali sia uno dei poli tematici del Cluster 2 del Programma, nell'ambito del quale il digitale ha margini di azione e di intervento trasversali, sia 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 rafforzamento della *European Research Area* (ERA) e alla razionalizzazione del panorama di strumenti disponibili di finanziamento.

Le articolazioni strategiche sono quindi orientate a sostenere l'innovazione continua, secondo il paradigma dell'*Open Innovation*, valorizzando le potenzialità della transizione digitale sia attraverso i *Sistemi Human-Centered*, che le *Comunità Sostenibili* e la *Competitività del Paese*. Le articolazioni tecnologiche sono riferite a *Dispositivi e Sistemi Eterogenei*, in grado di offrire soluzioni diversificate, adattative e riconfigurabili, e 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 a molti ambiti del PNR, non solo in area ICT. Sono 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, ad elevata qualificazione, pervasivi e quindi altamente strategici, anche nell'ottica di limitare drasticamente la dipendenza tecnologica da Paesi terzi, specialmente in ambiti come Difesa, Telecomunicazioni, Aerospazio e Cybersecurity.

Articolazione 1. Servizi human-centered

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 dalla considerazione delle sue necessità, caratteristiche, abilità di adattamento alla trasformazione. E' necessario potenziare la ricerca sugli **Human-Centered Services**, soprattutto in riferimento alle politiche sociali, al welfare, alla PA, alla giustizia, alla formazione e ai processi industriali. In questo senso, vengono incluse in tale ambito 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 da un lato 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, dall'altro di sostenere lo sviluppo di **tecnologie**



biomedicali, di supporto alla diagnosi e al trattamento delle malattie, e della **telemedicina**, con particolare enfasi alle problematiche 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).

Articolazione 2. Comunità sostenibili

La popolazione europea vive per il 74% in aree urbane. Risulta quindi fondamentale ripensare le città secondo il modello delle **smart city**, per promuovere la creazione di comunità sostenibili e inclusive. Questo necessita dello 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. Lo sviluppo delle **comunità sostenibili**, dipende anche dalla capacità di condividere, validare ed integrare flussi di dati eterogenei provenienti da fonti diverse, come ad esempio IoT, IoP, social media e database commerciali, anche valorizzandoli attraverso modelli inferenziali di social-behaviour analysis. Non da ultimo 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 contract** e lo sviluppo di sistemi intelligenti a supporto di specifici ambiti strategici (**giustizia predittiva**, **smart procurement**, ecc.). Dovranno essere inoltre valorizzati 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 delle esigenze operative e di **formazione**. La ricerca dovrà quindi avanzare secondo approcci **Digital Twins**, basati su sensoristica innovativa, mininvasiva e capillare, per la gestione ottimale di edifici e **infrastrutture intelligenti**, attraverso il monitoraggio permanente dell'integrità strutturale e della funzionalità operativa di fabbricati, strade, ferrovie, porti, aeroporti, ponti, dighe e altre installazioni, nonché 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 poi gestire in modo sostenibile le risorse energetiche delle città, attraverso **Smart Grid** e sistemi di **Intelligent Energy Management**, sostenendo lo sviluppo di politiche **"green"** e la riconversione a fonti rinnovabili. Specifica attenzione va riservata alla definizione di strumenti di valutazione delle migliori opportunità e modalità di utilizzo e capaci di garantire un'attenta analisi degli eventuali rischi legati ad un uso non corretto. Per far fronte a questi bisogni, la ricerca dei prossimi anni andrebbe orientata verso lo sviluppo di: **sistemi embedded**, **nuovi sensori e dispositivi**, anche indossabili, basati su **sistemi micro, nano e opto elettro-meccanici**, **tecnologie fotoniche** e nuovi materiali, **biochips** per la realizzazione di laboratori di analisi miniaturizzati (*Lab-on-Chip*), modelli di monitoraggio e controllo per la rappresentazione virtuale di entità e processi, e l'integrazione eterogenea di blocchi funzionali (*chiplet*), **packaging** avanzato e mix elettronica-fotonica per il superamento della legge di Moore nell'ambito dei dispositivi a semiconduttore, dispositivi a basso rumore, dispositivi programmabili sia via software (microprocessori) che via hardware (FPGA, sistemi di accelerazione), convertitori analogico digitali (AD) e digitale-analogici (DA), tutti dotati di connettività wireless per favorire la costruzione di reti.

Articolazione 3. Competitività del Paese

La digitalizzazione del sistema Paese si sviluppa su tre ambiti principali: produzione, PA e alta formazione. La prima comprende industria, trasporti e agricoltura, la PA ha diversi livelli di capillarizzazione tra ministeri e unità locali. La ricerca sulla transizione digitale e sull'i4.0 offre l'opportunità di favorire, attraverso le 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, le tecnologie digitali devono 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 organizzativa 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 (interdisciplinarietà), diversi ambiti di lavoro (intersectorialità) e diversi livelli di attuazione (interistituzionalità). L'uso di *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 a 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 costituisce la chiave per connettere sistemi IoT per controllo critico; sistemi di monitoraggio e diagnosi con realtà virtuale remota e internet tattile diventeranno in questo scenario applicabili in svariati campi tra cui la telemedicina e l'i4.0. La rete 5G sarà abilitante nella cooperazione tra veicoli elettrici 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 permette di implementare sofisticati sistemi di osservazione della Terra attuando programmi di monitoraggio che producano indicatori dinamici utili ai processi di supporto alle decisioni, anche con riferimento al controllo di eventi potenzialmente catastrofici (terremoti, inondazioni, tsunami, incendi, frane, ecc.) anche 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 post-universitaria, 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, quale strumento indispensabile per valorizzare gli investimenti in ricerca e innovazione, assicurando significativi vantaggi competitivi alle aziende detentrici dei brevetti. 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. Sistemi ICT avanzati, anche attraverso modelli e dispositivi innovativi, sono 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.

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 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 iper-frequenza. Cresce inoltre la necessità di aggiungere, a valle di processi convenzionali, fasi di fabbricazione e packaging eterogenei, per interfacciare componenti tradizionali con materiali e dispositivi innovativi (**smart devices**), quali ad esempio metamateriali, materiali bidimensionali, *smart skins*, materiali a conduzione mista ionica-elettronica, polimeri organici e grafene. L'integrazione di dispositivi ottici e fotonici con processori, memorie, *Networks-on-Chips* o elettronica di controllo, anche attraverso uso di software di base specificatamente rivolto alla gestione di reti IoT veloci e sicure, 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)** anche alla base di **biochip e Lab-on-Chip**. Ambiti quali automotive, I4.0 e *Smart Grid* richiedono dispositivi e circuiti elettronici di potenza basati su semiconduttori ad alto *bandgap* 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 inoltre circuiti integrati analogico-digitali ad alta efficienza energetica, nonché circuiti monolitici a microonde ed onde millimetriche a bassa cifra di rumore e antenne attive. Circuiti analogici *low noise* sono necessari nell'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. Questo motiva lo sviluppo di metodologie e strumenti per la progettazione software guidata da modelli, per la configurazione automatica e adattiva, per l'automazione del testing e la correzione. Risulta fondamentale investire 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 e di ricerca rilevanti per il Paese, sono da ritenersi prioritari gli aspetti connessi all'affidabilità di sistemi digitali, componenti elettronici e dispositivi (**device reliability**), in particolare in ambienti ostili e 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 altissima 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 avere le infrastrutture per sperimentare e impiegare nuove tecnologie, per valutarne gli effetti sui prodotti e sui processi, per analizzarne i relativi rischi e per sperimentare le loro potenzialità in ogni ambito di una completa Transizione Digitale. Tali condizioni sono essenziali per completare l'offerta di servizi del Sistema Paese al mondo della ricerca pubblico-privata ed 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.

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 successivi. A tal fine, si rende necessario lo sviluppo di innovativi sistemi di antenne intelligenti, l'ottimizzazione di reti integrate terrestri e satellitari e la 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 di diversa natura, in modo dinamico, efficiente e sostenibile sia dal punto di vista economico che ambientale. Vanno sviluppati 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. Sotto la supervisione di Hypervisor, elementi di rete e terminali devono 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, l'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 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 di nuova generazione. L'infrastruttura di rete dovrà poi garantire adeguata capacità di calcolo locale dei dati e un



livello elevato di sicurezza, anche attraverso approcci di machine learning e tecniche di crittografia basati sui principi della *physical layer security*. Oltre ad una adeguata infrastruttura di rete, la Transizione Digitale deve comprendere grandi centri di calcolo in grado di affrontare le simulazioni di sistemi complessi, fondamentali in settori di ricerca applicata e di base, 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 cloudFPGA, 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.

4.2 High performance computing e big data

I dati e le informazioni disponibili in formato digitale stanno crescendo negli ultimi anni in modo esponenziale, creando nuove e prima inimmaginabili opportunità di conoscenza e di sviluppo economico. Settori chiave della ricerca scientifica, 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 tale 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.

Il programma Orizzonte Europa 2021-2027 esplicitamente assegna ai settori del Calcolo Avanzato e ad Alte Prestazioni (nel seguito HPC) e dei Grandi Sistemi di Dati (nel seguito BD) un ruolo primario per il perseguimento dei seguenti obiettivi: **(o1) Sviluppare una economia basata sui dati, dinamica, attrattiva, sicura e fondata su processi agili di gestione e fruizione dei dati; (o2) Accrescere i livelli di sovranità e indipendenza europei nelle esistenti e nelle future tecnologie emergenti e abilitanti; (o3) Determinare uno sviluppo umano centrico ed etico delle tecnologie digitali e industriali;** sia in o2 che in o3, Orizzonte Europa include obiettivi che noi qui sintetizziamo in: **(o4) 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 obiettivi, sulla base della Strategia Europea per i Dati, i programmi Orizzonte Europa e Europa digitale, insieme ai Fondi strutturali e d'investimento, alimenteranno un Progetto ad alto impatto dedicato a: **(p1) Sviluppo di spazi comuni europei di dati e interconnessione delle infrastrutture cloud.** Il progetto si fonda sulla promozione di investimenti combinati di 4-6 miliardi di EURO e con una prima fase di attuazione prevista per il 2022. In particolare, vengono individuati **spazi comuni** rispettivamente di: **(s1) dati industriali (manufatturieri); (s2) dati per Green Deal; (s3) dati sulla mobilità; (s4) dati sanitari; (s5) dati finanziari; (s6) dati sull'energia; (s7) dati sull'agricoltura; (s8) dati sulla pubblica amministrazione; (s9) dati sulle competenze.** Con riferimento ai grandi processi di innovazione digitale dispiegati e per una presenza attiva su tutto lo scenario europeo sopra delineato per HPC&BD, l'Italia vede la centralità di tale ambito in alcuni strategici obiettivi: **(i1) la realizzazione e l'evoluzione delle grandi infrastrutture europee HPC e BD con hub italiani per il calcolo scientifico e l'analisi di dati; (i2) la 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 Hub Europei; (i3) 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 con un ruolo di primo piano, forte di una tradizione consolidata di conoscenze, competenze e sviluppo negli ambiti dell'HPC, della 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 consente di delineare una strategia di ricerca italiana nel settore HPC&BD che si sviluppi lungo tre direttive : **(r1) 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 (BD); (r2) ricerca in ingegneria, scienze e tecnologie software, hardware e dei dati per componenti, piattaforme e sistemi di HPC&BD; (r3) ricerca finalizzata per applicazioni e soluzioni HPC &BD su specifici obiettivi e/o domini applicativi, inclusa la resilienza anti-pandemica. Tali direttive vengono perseguite attraverso le 5 articolazioni di seguito riportate.

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

Questa articolazione è finalizzata all'evoluzione dei sistemi di HPC & BD 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&Sviluppo (R&D) tecnologico direttamente finalizzati alla prototipazione, al dispiegamento e alla sperimentazione dei Sistemi Exascale, dei Sistemi e Servizi Cloud per la scienza aperta. L'ambito accoglie anche ricerche rivolte allo sviluppo di tecnologie con un impatto diretto sulla costruzione di questi sistemi: modelli e paradigmi di programmazione; ambienti di sviluppo, parallelizzazione, debugging, monitoring ed 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 nell'analisi di contesto, questa articolazione avrà impatto prevalente su quanto definito negli statement **02 e i1** e si colloca negli assi di ricerca strategica etichettati **r2** e **r3**; le ricerche dell'articolazione sono dedicate a risultati con **TRL >=5**

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

Questa articolazione include la ricerca per la produzione di nuova conoscenza e l'evoluzione di quella esistente su tutte le aree tematiche HPC&BD. L'articolazione include le ricerche per nuove metodologie e tecniche di Hw-Sw CoDesign, 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; i fondamenti e la 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 ed integrazione; analisi descrittive, predittive e prescrittive (Analytics). Sono infine inclusi architetture ed ingegneria software per Big Data, Modelli, Architetture e Servizi Cloud per BD, Metodi, Tecniche e Strumenti di Intelligenza Artificiale.

Con riferimento alle classificazioni introdotte nell'analisi di contesto, questa articolazione avrà impatto prevalente su quanto definito negli statement **01,02, i2, i3, p1** e si colloca negli assi di ricerca strategica etichettati **r1** e **r2**; le ricerche dell'articolazione sono dedicate a 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

Questa articolazione è finalizzata alla ricerca, prototipazione e sperimentazione di infrastrutture, componenti e piattaforme distribuite per il calcolo e la gestione dati, integrando le funzionalità delle grosse 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 e territoriale, sociale e umano-centrico, dell'IoT industriale e delle tecnologie I4.0 per l'impresa. Si tratta anche di tecnologie abilitanti l'applicazione e la distribuzione locale di IA. 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 nell'analisi di contesto, questa articolazione avrà impatto prevalente su quanto definito negli statement **O1, O2, O3, i2, p1** e si colloca negli assi di ricerca strategica etichettati **r2 e r3**; le ricerche dell'articolazione sono dedicate a 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 è dedicata alle ricerche per la standardizzazione, la interoperabilità e a la qualità di dati, delle pubbliche amministrazioni, per infrastrutture e piattaforme di dati aperti ad essi dedicate, per sistemi di Big Data aperti con l'uso 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 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 nell'analisi di contesto, questa articolazione avrà impatto prevalente su quanto definito negli statement **O1, O2, O3, p1: s8, i3**, e si colloca negli assi di ricerca strategica etichettati **r2 e r3**; le ricerche dell'articolazione sono dedicate a risultati con **TRL>=5**.

Articolazione 5. Applicazioni HPC, BD 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

Questa articolazione assegna rilevanza primaria alla ricerca per infrastrutture centralizzate, distribuite e decentralizzate che forniscono servizi HPC&BD secondo l'approccio FAIR (findable, accessible, interoperable, reusable) per la comprensione, misurazione, monitoraggio, prevenzione e predizione di fenomeni socio-economici in riferimento sia agli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) che a condizioni critiche e di sfide sistemiche, quali, ad esempio, le pandemie. Essa include altresì: ricerca e sperimentazione di applicazioni e tecnologie HPC&BD 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 d'integrazione di dati di provenienza diversa (sistemi di IoT, di IoP -internet of people e social-, sistemi e dati della PA, altri) per servizi sicuri e ad elevata affidabilità per il cittadino, per comunità e organizzazioni sociali. L'articolazione include piattaforme e servizi cloud di HPC e BD per settori professionali e per PMI sia per servizi generali che 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 settori di produzione di beni e servizi; le ricerche si riferiscono sia ad aree dati di livello locale e regionale che a quelle di livello inter-regionali e nazionali, nonché alla loro interconnessione e/o integrazione nelle aree comuni di dati europee.

Questa articolazione avrà impatto su o1, o2, o3, o4, p1: s1-s9, i3; si colloca in r2 e r3; richiede risultati a **TRL>=4**

4.3 Intelligenza Artificiale

L'Intelligenza Artificiale (IA), grazie ai suoi risultati scientifici straordinari, 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.



In tale direzione, la Comunità Europea [EPSC 2018] 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 12.8 T€, mentre gli ultimi due anni del programma EU Horizon 2020 hanno visto investimenti pari a 1.5 B€ nell'IA; si prevede un incremento negli investimenti nella ricerca sull'IA per il periodo 2021-2027, con almeno 7 B€ dedicati nei programmi Horizon Europe e Digital Europe. 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* ["Strategia Italiana in IA", MISE 2020]. 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 Italiana ["AI for Future Italy" CINI 2020] 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): 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:

a. L'IA è ricerca fondazionale: malgrado la sua lunga storia, l'IA non è una tecnologia assestata, come è testimoniato dagli investimenti pubblici e privati in ricerca fondazionale in tutto il mondo nei diversi temi delle sue anime componenti, e.g., IA simbolica, *machine/deep learning*, pianificazione, sistemi multiagente, elaborazione del linguaggio naturale, visione artificiale, elaborazione intelligente dei flussi di dati provenienti dai sistemi cyber fisici e dall'Internet delle cose (IoT). 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, 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, dall'AIxIA, a CVPL, AICL, GuLP, IEEE CIS, INNS e molte altre e dal collegamento con le reti Europee che lavorano in IA, quali CLAIRE, ELLIS, EuRAI. È necessario un forte investimento ed impegno di tutte le 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.

b. 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 dalla ideazione, le competenze di dominio e quelle informatiche.

c. 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 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 (la fisica, la chimica, la biologia, la 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.

d. 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, i TEF, i Centri di Competenza, i Cluster Tecnologici Nazionali e le iniziative accademiche e degli enti di ricerca sulla terza missione. In quest'ambito, in linea con tutti gli impatti del grande Ambito informatica, industria ed aerospazio, e soprattutto "Competitività ecosistema industria-ricerca", Consolidamento e potenziamento sulle tecnologie digitali ed "economia dei dati" si propongono 5 articolazioni: la prima si rivolge alla IA in quanto disciplina scientifica, focalizzandosi sulla ricerca a medio/lungo termine e sul suo impiego diretto per una futura industria IA Italiana; tre articolazioni, connesse a tutti gli ambiti ed assi del PNR, si rivolgono ai temi trasversali dell'individuo, della Società e dell'ambiente; una 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.

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 in tutte le articolazioni del PNR, e per garantire opportunità di crescita all'industria italiana e un futuro lavorativo alle nuove generazioni.

Ricerca: L'Italia deve compiere uno sforzo importante nella **ricerca fondazionale**. Molti sono i problemi aperti dell'IA, che riguardano le nuove architetture neurali, 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 (es. "Multi-task AI") e che portino verso una accettabilità e trasparenza nell'ottica di "Trustworthy AI", con compromessi tra autonomia e controllo "Human-in-the-loop" e attenzione alla privacy e ai diritti umani [White Paper AI, EU2020]. La ricerca deve rivolgersi anche alla ingegnerizzazione del software in IA nella direzione della standardizzazione, misurabilità ed affidabilità e alla concezione di hardware e sistemi dedicati intelligenti che siano efficienti e sicuri. Le metodologie AI 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 startup 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 per la persona e la salute

L'IA moderna si sta definendo sempre di più come uno strumento rivolto alla persona, sia in termini di capacità aumentate dell'individuo in termini cognitivi e predittivi a supporto delle decisioni e dei comportamenti dei singoli, sia in termini di *Human-AI interaction* sia, infine, per migliorare il benessere, la salute e la vita della persona.

Ricerca: Seguendo la declaratoria europea, l'IA nasce come elemento abilitante nell'interazione con la persona, attraverso la percezione e la comprensione del comportamento, così da costruire una futura intelligenza collaborativa tra l'essere umano e la macchina, sempre mantenendo come obiettivo il



miglioramento della salute e lo stile di vita del cittadino. Nel contempo, la ricerca in IA ha 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, per esempio, nelle immagini medicali) e quelli genotipici, sia a fini diagnostici che prognostici, al fine di creare un *human-digital-twin*, per il monitoraggio della salute, la personalizzazione del consulto digitale e del trattamento. L'IA dovrà essere a supporto del medico, dalla diagnosi, alla cura, sia medica che chirurgica, attraverso sistemi (semi-)autonomi.

Impatto atteso: L'IA ha impatto diretto in tutti i sistemi futuri incentrati sull'individuo, per i sistemi di interazione uomo/robot con i robot sociali, uomo/veicolo, uomo/computer, nei sistemi di intelligenza collaborativa, di *egocentric vision*, nei sistemi di *augmented/virtual reality*. Inoltre, impatta tutto il contesto della medicina e della salute, per bambini, adulti ed anziani, il benessere e la sicurezza individuale, nella casa e nel luogo di lavoro. Sistemi di IA capaci di interagire con l'uomo saranno parte integrante di tutti i sistemi di intrattenimento e dell'accesso personalizzato all'informazione, la nuova generazione di sistemi per l'educazione remota e personalizzata, l'industria della moda, della cosmesi e del Made-in-Italy per i prodotti per l'uomo. E' in linea con gli impatti di Consolidamento e potenziamento sulle tecnologie digitali e di inclusione sociali comuni a tutto il Grande Ambito.

Articolazione 3. 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.

Ricerca: La ricerca si focalizza sui sistemi di raccomandazione, nei modelli di apprendimento, ragionamento e pianificazione, nella ricerca per similarità e il recupero di informazioni, nelle interfacce multi-lingue, nella comprensione documentale testuale e visuale, nei sistemi di simulazione multi-agente per la comprensione di fenomeni sociali.

Impatto atteso: 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 cybersicurezza. Le nuove metodologie di IA si applicano in ambiti sociologici ed 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 *life*, coniugando efficienza e garanzia dei diritti fondamentali. L'impatto è evidente per le *smart cities*, per l'ottimizzazione dei servizi, la pianificazione urbanistica ed 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 la 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 (per esempio) 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 4. Intelligenza Artificiale per l'ambiente e le infrastrutture critiche

Le problematiche di natura ambientale sono, per loro natura, complesse e multifaccettate 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.

Ricerca: L'IA, per definizione [AI for Europe, 2018], costruisce sistemi autonomi e semi-autonomi capaci di percepire l'ambiente ed 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'impatto dell'IA contribuirà alle linee europee dettate dalla nuova presidenza che vede nella *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 e in tutta la catena della nutrizione, della gestione di allevamenti e coltivazioni sostenibili, così come nella gestione e manutenzione delle infrastrutture critiche in un'ottica di trasformazione digitale.

Articolazione 5. Intelligenza Artificiale per la produzione industriale

L'IA è il perno della nuova rivoluzione industriale a completamento dei paradigmi della Industria 4.0 che va 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.

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 twin* 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, dall'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 è a 360°. L'utilizzo dell'IA introduce e miglioramenti significativi nell'ambito della produzione industriale, 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. Questo 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.

4.4 Robotica

Sebbene i robot abbiano avuto origine nella produzione su larga scala, negli ultimi anni si stanno diffondendo in un numero via via crescente di scenari applicativi. Li troviamo nelle fabbriche, negli ospedali, nelle case, nelle scuole, robot che spengono incendi, che creano beni e servizi che fanno guadagnare tempo e che salvano vite: robot sempre più pervasivi e personali.

Al di là dell'impatto crescente 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'InterAzione (IAT)**, ovvero dei metodi e delle tecniche utilizzate nella percezione e nella modifica degli stati fisici delle macchine e degli ambienti a loro circostanti secondo una logica intelligente. La Robotica odierna pone questioni fondamentali che interrogano le ricerche più avanzate di altre discipline: assieme alle scienze della mente umana e alle neuroscienze, studia le interfacce tra macchine e persone; con le scienze della salute e della riabilitazione, indaga l'integrazione bionica tra corpi naturali e artificiali; con le scienze dei materiali e dell'energia, sviluppa nuovi sistemi su scale micro- e nanoscopiche; con la matematica e la scienza del calcolo, studia nuovi meccanismi di apprendimento artificiale che riescano a 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 cinque aree prioritarie o **Articolazioni**: **1. Robotica in ambiente ostile**, **2. Robotica per Industria 4.0**, **3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture**, **4. Robotica per il settore agro-alimentare**, **5. Robotica per la salute**. Per ciascuna di queste aree prioritarie è fondamentale sviluppare adeguate capacità di **autonomia** dei robot che abbiano un impatto sull'efficienza delle applicazioni chiave e che vadano oltre l'attuale stato dell'arte. Di tali aree, la prima è fortemente motivata dall'emergenza sanitaria



dovuta alla **pandemia di CoViD-19**. Le altre quattro aree sono in linea con le priorità individuate in quei cluster del Pillar II del piano strategico di **Horizon Europe (HE)** dove le tecnologie robotiche sono fortemente abilitanti: **Cluster 1. Health, 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) <http://i-rim.it>, 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 per un totale di 120 milioni 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 in questa fase, caratterizzata da una **profonda riconversione produttiva** fondata sulle **nuove esigenze di sicurezza** e sulle **nuove tecnologie**. Si prevede infatti che la Robotica nel PNR potrà avere un **grosso impatto per i grandi ambiti nazionali di ricerca e innovazione**, tra i quali la **digitalizzazione**, le **infrastrutture critiche** e l'**energia pulita**.

Articolazione 1. Robotica in ambiente ostile

L'emergenza sanitaria dovuta alla **pandemia di 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 dei 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. La **risposta ai disastri e alla 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. 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. D'altronde, il numero tuttora altissimo (1218 nel 2018, in aumento nel 2019) del numero di **morti sul lavoro**, e l'ininterrotta elevata prevalenza di **disturbi muscolo-scheletrici** (DMS) tra i lavoratori italiani nonostante la legislazione e le misure di prevenzione in atto, 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 quelle attività che si svolgono in ambienti difficilmente accessibili come lo **spazio** o il fondo degli **oceani**. In questi ambienti esistono anche grandi difficoltà di comunicazione che possono essere risolte dalle funzioni autonome di un robot. La ricerca del prossimo decennio deve essere in grado di sollevare le persone dai rischi degli ambienti di lavoro ostili, in modo che possano far leva sulla propria 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 pericolosi a svolgere compiti a elevata destrezza, devono riuscire a **trasferire le abilità degli**



operatori specializzati negli scenari critici, evitando loro i pericoli e la fatica fisica. Si contribuirà così anche alla perequazione di mansioni e potenzialità tra persone di diverse strutture fisiche.

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 disagiate. I dati di vendita di **robot industriali** in Italia sono ottimi, almeno fino al 2018, quando si sono registrate circa 9.800 unità vendute, con una crescita del 27% rispetto all'anno precedente (fonte SIRI). Il mercato italiano della robotica è il settimo 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, ha raggiunto il valore di 200, contro una media mondiale di 99. Le ragioni del successo della robotica industriale nel mondo e in particolare in Italia sono molteplici: 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; l'aumento della **competitività nel mercato globale** richiede incrementi di produttività, eliminazione e riduzione dei difetti, soluzioni produttive sostenibili; 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. 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) rivestono importanza crescente nella **logistica industriale**. La ricerca si indirizza verso la gestione di flotte di AGV, di AGV con manipolatori a bordo, l'integrazione spinta e intelligente con i MES aziendali e lo sviluppo di AGV 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**. Ciò comporterà una sempre maggiore fusione degli aspetti fisici e digitali della macchina, che diventerà a tutti gli effetti un **sistema cyber-fisico indissolubilmente legato alla sua rappresentazione digitale**, utilizzata per manutenzione predittiva, monitoraggio della produzione e ottimizzazione delle prestazioni. La robotica trarrà anche beneficio dall'evoluzione delle altre tecnologie produttive, in particolare l'**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 deve essere accompagnata da attività di ricerca e trasferimento tecnologico intese a dare compimento alle esigenze di operare in **sicurezza** negli ambienti misti uomo-robot. Gli aspetti di **ergonomia e ausilio all'operatore nella limitazione dell'esposizione al rischio** sull'apparato muscolo-scheletrico sono ancora solo parzialmente esplorati dalla ricerca. Peraltro, l'utilizzo della robotica collaborativa darà nuova linfa all'**artigianato**, contrastando il fenomeno dell'invecchiamento di professionalità specializzate, 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/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, torri di raffinazione, turbine, piattaforme *offshore* (nel 2018 il mercato valeva 7.19 miliardi di dollari), *pipe-rack*, condotti sottomarini (nel



2014 il mercato dei ROV valeva già 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 produzione di energia, sia di propulsione nel settore aeronautico, potranno beneficiare in modo significativo delle soluzioni connesse alla 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, sono altri esempi di possibili applicazioni di tecnologie robotiche mobili, marine e aeree. Recenti studi dimostrano come la sola robotica aerea porterà a una riduzione dei costi di ispezione di piattaforme offshore fino al 90%, di serbatoi di stoccaggio fino al 70% e di torri eoliche fino al 50%. Oltre al comparto industriale, non va dimenticato il settore civile, con la costante e sempre più urgente necessità di fornire soluzioni in grado di effettuare **rilevi e ispezioni di opere civili** in modo obiettivo, ripetibile e certificato, abbattendo i costi e migliorando la qualità, l'attendibilità e la tempestività delle misure. Viadotti, strade, gallerie, metropolitane, treni e reti ferroviarie, tram e reti tramviarie, aerei e aeroporti, navi, come pure beni culturali ed edifici storici, rappresentano ulteriori comparti in cui lo sviluppo di soluzioni robotiche semi-autonome con un elevato livello di specializzazione determinerebbe un cambio di paradigma rispetto agli attuali piani di ispezione programmati in modo statico. Si potrebbero attuare **monitoraggi continui delle infrastrutture critiche** e integrazione con 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, senza la necessità di bonificarli con l'utilizzo di solventi. 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 agro-alimentare

Il settore agro-alimentare 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 di Industria 4.0 e IoT, osservabile in tutte le fasi della produzione. Un prodotto agro-alimentare, per raggiungere l'utente finale, deve subire fasi di coltivazione, 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 sempre maggiore di prodotti agro-alimentari, 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 così come CoViD-19 e la conseguente mancanza di forza lavoro, nonché l'aumento della richiesta di prodotti a km zero, sono sfide tipiche che il settore agro-alimentare si trova ad affrontare e che possono essere superate solo con un **alto livello di automatizzazione e digitalizzazione**. Raggiungere la leadership industriale nelle tecnologie chiave come la robotica, che permette di dare all'intelligenza artificiale un corpo fisico in grado di interagire con l'ambiente, sarà di conseguenza uno degli elementi cruciali per ottenere una **produzione agro-alimentare pulita, neutra dal punto di vista climatico, sostenibile e responsabile**. Secondo l'Osservatorio Smart AgriFood, l'11% delle startup internazionali che operano nel settore sono italiane, dando all'Italia un ruolo importante in questo campo. 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.

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 9.75 miliardi di euro, di cui più del 70% generato dalla domanda pubblica. Incrociando i dati sulla domanda di sanità pubblica e sull'offerta, risulta chiaro come il settore potrebbe trarre grande beneficio da investimenti mirati che portino a risparmi da parte del Servizio Sanitario Nazionale (SSN), nonché a rinforzare un settore produttivo che solo in parte risponde alla domanda nazionale. Se si considerano le aree in cui la spesa pubblica è suddivisa: assistenza sanitaria e riabilitazione, prodotti farmaceutici e apparecchi terapeutici, la *long-term care*, i servizi ausiliari, prevenzione delle malattie e amministrazione, si vede come esse seguano fedelmente il percorso seguito dai pazienti: prevenzione, diagnosi, terapia, convalescenza, riabilitazione e assistenza. Si può quindi pensare a delle azioni mirate in queste aree e permettere alle aziende medicali italiane di entrare in quei settori che non sono ancora presidiati dalle grosse multinazionali estere e di ricavarvi spazi significativi di mercato. In particolare, seguendo il **percorso prevenzione-diagnosi-cura-convalescenza**, si può individuare facilmente dove le **tecnologie robotiche** possono portare un contributo significativo, sia al **miglioramento della qualità della cura**, sia al **risparmio della sanità pubblica**, come negli esempi seguenti. La prevenzione può essere rinforzata utilizzando **dispositivi di telepresenza**, utilizzabili anche in ospedale, per permettere la comunicazione a distanza, il supporto psicologico ai pazienti, e per assisterli senza richiedere l'intervento diretto del personale medico. La diagnosi può essere migliorata introducendo sistemi, sia locali sia a distanza, per effettuare uno **screening più accurato e più esteso 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 ridurre il costo. Un problema rilevante è quello dell'**osservanza delle prescrizioni mediche a casa**; è noto come l'uso incorretto dei farmaci sia un costo elevatissimo per il SSN, sia in termini di salute dei pazienti, sia nel costo diretto dei farmaci. Anche in questo caso, sistemi di telepresenza, specializzati per questa funzione, potrebbero garantire che il paziente segua correttamente le prescrizioni. Infine un **sistema di riabilitazione e monitoraggio domestico** potrebbe permettere ai pazienti cicli di riabilitazione estesi (al limite 7/24) senza doversi recare negli ospedali, riducendo il traffico e l'inquinamento. L'emergenza CoViD-19 ha messo in evidenza due aspetti che non sono presenti nel percorso normale di cura di una persona: la **manca di personale medico** e la necessità di poter offrire i **servizi sanitari mantenendo una distanza di sicurezza dal paziente**. Per affrontare il primo problema, si possono **trasferire le tecnologie della robotica collaborativa industriale al campo medico** e fornire, per esempio, dei servizi di supporto alla sala operatoria, alla movimentazione dei pazienti, all'assistenza in corsia, alla distribuzione dei farmaci, alla disinfezione degli spazi, il collegamento con i familiari remoti. Se queste azioni devono essere condotte in modo sicuro, allora le tecnologie del controllo a distanza usate per operare in ambienti ostili, teleoperazione e robot autonomi, permetteranno di porre una barriera fisica tra il medico e il paziente, evitando rischi di contagio.

Tecnologie abilitanti

Le tecnologie abilitanti cui la ricerca deve focalizzarsi per raggiungere questi obiettivi includono: i) **intuitività e usabilità delle interfacce uomo-robot**, che abilitino l'uso efficace di robot da parte di persone senza formazione specifica; ii) la **integrazione di percezione e intelligenza naturale e artificiale**, che permetta agli operatori di avvalersi delle capacità aumentate dalle macchine senza essere espropriati delle proprie indispensabili capacità cognitive e operative; iii) la capacità di **interazione fisica dei robot con l'ambiente e con le persone** circostanti con **stabilità** e in **sicurezza**; iv) la realizzazione di strumenti fisici per la **manipolazione destra e la locomozione** in ambienti aerei, acquatici, e su suoli di natura diversa e accidentata; v) l'**autonomia energetica** e la **resilienza alle imperfette comunicazioni** nelle situazioni realisticamente incontrate nelle applicazioni sul campo. Lo sviluppo di queste tecnologie andrà a **rafforzare/semplificare il lavoro delle persone** (ambienti ostili, ambiti industriali e civili, medicina, agro-alimentare) e/o **salvare/aumentare dei posti di lavoro** che andrebbero persi (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 aumentato i posti di lavoro, ma



in virtù del fatto che la robotica permette di aumentare la produttività e rendere economiche sul suolo nazionale attività che rimarrebbero altrimenti delocalizzate.

4.5 Tecnologie quantistiche

Le Tecnologie Quantistiche (QT) sono un settore R&D fortemente innovativo con un potenziale d'impatto difficilmente eguagliabile. 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, ...) in 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 hanno la capacità unica di poter condurre alla soluzione di problemi oggi tipicamente catalogati come impossibili, irrisolvibili, 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 tutti i campi della scienza, dall'informatica alla biologia, dalle telecomunicazioni all'ingegneria, alla medicina e all'ambiente. Ci si aspetta che questo porti ad una crescita esponenziale delle potenze di calcolo, permetta di comunicare le informazioni in modalità assolutamente sicura e, ancora, consenta di effettuare misure con precisione estrema. Tali soluzioni sono rese possibili dallo sfruttamento di piattaforme progettate in modo specifico che fanno ricorso a materiali, sistemi ottici ed atomici innovativi. Per la dimensione dell'impatto sociale ed economico, lo sviluppo delle QT richiede un livello di investimento superiore a quello di altre tecnologie. Le proiezioni macroeconomiche prevedono per le QT un impatto significativo sia sul PIL sia sui livelli occupazionali dei paesi sviluppati. 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, con gravi problemi per infrastrutture strategiche e 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, ad 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

Introduzione: Il Calcolo Quantistico rappresenta un cambio radicale dei paradigmi computazionali. I computer ed 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 (TRL 7/8).

Stato dell'arte: A livello mondiale diverse architetture sono perseguite in ambito accademico ed industriale: qubit basati su superconduttori, semiconduttori, ioni intrappolati, fotonica integrata, qubit topologici, spin qubit molecolari, gas degeneri. Il sistema italiano ha una forte competenza sperimentale, teorica e tecnologica in diverse di queste piattaforme: *photonic quantum information processing*, simulazione quantistica con sistemi atomici, sistemi superconduttori, qubit basati su molecole magnetiche.

Obiettivo ed 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 ed 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 d'avanguardia, sia in termini di piccole



e medie imprese (PMI), sia di grandi industrie, in diversi ambiti: circuiti elettronici integrati per il controllo ed il *readout* (TRL 8), fotonica integrata (TRL 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 ulteriormente le piattaforme per computazione e simulazione quantistica in cui l'Italia ha una forte competenza (superconduttori, semiconduttori, molecole magnetiche, fotonica integrata, sistemi atomici), perfezionandone la tecnologia. 2) Dimostrare ed 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

Introduzione: La comunicazione quantistica 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 è la crittografia quantistica, che garantisce una sicurezza inviolabile nello scambio di chiavi di cifra (TRL 9).

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 disponibili in diversi paesi tra cui Europa, Stati Uniti, Cina e Giappone. L'Italia ha contribuito in maniera determinante alla comunicazione quantistica sia a livello accademico che industriale su comunicazione in fibra, in *free-space*, sviluppo di componentistica integrata, protocolli avanzati. **L'Italia è l'unica nazione europea** dotata di una infrastruttura basata su una **dorsale in fibra ottica**, dedicata ad oggi alla diffusione di segnali di sincronizzazione di tempo e frequenza, e in grado di supportare comunicazione quantistica. **L'Italian Quantum Backbone (IQB)**, lunga 1850 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 ed 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 quindi di fare progredire le comunicazioni quantistiche principalmente in tre direzioni: prestazioni, integrazione ed 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

Introduzione: 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 ed accuratezza, con importanti ricadute applicative e commerciali. L'utilizzo di tali sensori migliorerà anche il controllo di precisione di processi industriali complessi, contribuendo quindi agli obiettivi di sostenibilità previsti nel piano europeo *Green New Deal*.



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 €, 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 quindi forti ricadute in cui l'industria nazionale potrà avere un ruolo fortemente competitivo, sia direttamente in tali settori che con ricadute in settori più maturi ma di forte impatto economico, quali l'elettronica, l'energetica, la criogenia ed 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. Impatti rivoluzionari a breve e medio termine sono attesi in campi quali la diagnostica e l'imaging bio-medicali, la geo-localizzazione e la navigazione ad alta precisione, l'osservazione ed 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 va perseguito: 1) 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; 2) l'applicazione in settori di frontiera, ad esempio per la rivelazione di materia oscura o delle onde gravitazionali; 3) lo sviluppo di sistemi integrati e miniaturizzati fotonici, elettronici ed opto-meccanici; 4) lo sviluppo di prototipi basati su sistemi di misura ed *imaging quantum-enhanced*; 5) lo sviluppo di materiali e superfici nano-strutturate e bio-funzionalizzate per prototipi di *lab-on-chip*; 6) 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

Introduzione: Gli aspetti connessi alla sostenibilità e all'efficienza energetica rivestono un ruolo cruciale anche nello sviluppo delle QT. Approcci puramente quantistici offrono infatti enormi possibilità sia nello sviluppo di architetture per minimizzare la richiesta energetica (green ICT), sia nella concezione di nuovi meccanismi di alimentazione.

Stato dell'arte: Le QT per l'energia sono attualmente ad un TRL iniziale (2-3) ma hanno un potenziale rivoluzionario. Sono già state concepite strutture integrate per l'alimentazione (ad es. batterie quantistiche, nanodispositivi per l'estrazione di energia dall'ambiente, etc.); inoltre la manipolazione degli stati quantistici del campo elettromagnetico consente il controllo del trasporto elettronico e delle interazioni molecolari, con risultati che comprendono ad es.: 1) la modifica della termodinamica di reazioni chimiche; 2) l'innalzamento della temperatura critica dei superconduttori; 3) 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.

Obiettivi ed impatto: i) Ripensare i metodi di alimentazione energetica; ii) Superare le limitazioni dei sistemi per la produzione, il trasporto e la conversione dell'energia e migliorare la sostenibilità dei processi industriali (*green new deal*); iii) Rendere disponibili nuove tecnologie che incrementino 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: Sostegno della progettualità e delle infrastrutture necessarie, favorendo nei prossimi anni l'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

Introduzione: 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 ed attualmente in fase avanzata di definizione.

Obiettivo ed impatto: 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 lo Sviluppo Industriale così come tra le diverse QT, all'interno di una strategia europea ben definita.

Strategia: 1) Implementazione di azioni per: i) promuovere le sinergie ed ottimizzare l'uso delle risorse nella creazione delle infrastrutture menzionate sopra; ii) coordinare ed aggregare la partecipazione italiana a progetti di ricerca nell'ambito di *Horizon Europe*; iii) favorire lo sviluppo di tecnologie industriali, iv) elaborare/consigliare strategie/priorità/programmi nazionali; v) partecipare a una futura rete europea di istituti nazionali quantistici; vi) 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) Creazione di un **Italian Quantum Computing and Simulation Hub** che servirà a: i) offrire a strutture di ricerca e aziende l'accesso a computer quantistici integrabili con High Performance Computing classico; ii) perseguire l'indipendenza tecnologica nelle diverse piattaforme (atomi, fotoni, semiconduttori, superconduttori, nanostrutture, molecole magnetiche, etc.); iii) sviluppare algoritmi e protocolli quantistici; iv) 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 ed 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 di **Poli di Fabbricazione Avanzata** per: i) circuiti integrati elettro-ottici, fotonici e ibridi scalabili; ii) dispositivi basati su semiconduttori, superconduttori, nanomagnetici molecolari, sistemi fotonici, atomici ed ibridi per la computazione e la comunicazione quantistica; iii) sensori quantistici miniaturizzati basati su atomi neutri, superconduttori e dispositivi opto-elettro-meccanici; iv) apparati di imaging quantistico; v) interfacce quantistiche in grado di combinare diverse piattaforme; vi) test, validazione e certificazione di apparati QT. La rete dei poli si integrerà con infrastrutture complementari in diversi ambiti (superconduttività, criogenia...).

Articolazione 6. Formazione e capitale umano

Introduzione: 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, ad oggi, siano ancora sostanzialmente i Dipartimenti di Fisica ad offrire corsi in QT, spesso con percorsi ancora non specificamente mirati.

Obiettivi ed impatto: Creare personale altamente specializzato in un settore scientifico avanzato in rapida evoluzione ed in possesso di competenze trasversali. Coinvolgere le realtà industriali nella formazione e nella ricerca accademica.



Strategia: 1) Costruire nuovi curricula di laurea magistrale, con l'apporto anche di competenze esterne per completare l'offerta formativa. 2) Istituire nuovi corsi di laurea magistrale interdipartimentali finalizzati alle QT. 3) Attivare corsi di laurea interateneo e/o in collaborazione con gli altri enti/istituti di ricerca presenti sul territorio. 4) Creare, con il supporto del MUR, nuovi dottorati interateneo e/o in collaborazione con Enti di Ricerca, interdisciplinari ed intersettoriali (coinvolgendo direttamente le realtà industriali emergenti). 5) Incentivare dottorati congiunti internazionali con il supporto del MAECI tramite accordi bilaterali, o integrati nei programmi europei (Marie Curie). 6) Migliorare l'attrattività con investimenti mirati come nei programmi di rientro/ingresso dei "cervelli" e con una attenzione particolare al "matching-funds" per chi intende svolgere/trasferire in Italia le proprie ricerche portando con sé importanti finanziamenti (ERC o progetti di simile rilevanza).

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 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: la percentuale bassa di risorse pubbliche e private destinate alla R&S in rapporto al PIL; la caduta degli investimenti materiali e immateriali delle imprese nell'ultimo decennio; la percentuale bassa di laureati nella società e nelle imprese italiane e la scarsa attività di formazione sulle nuove tecnologie nelle aziende; l'emigrazione di 14 mila ricercatori italiani all'estero in un decennio per la 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; la prevalenza nelle imprese di un orientamento 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, industriali, 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:

1) **Industria circolare, pulita ed efficiente.** In linea con quanto definito nell'European Green Deal: Circular and Climate-neutral Manufacturing e nell'UN Sustainable Development Goals, l'industria manifatturiera dovrà fare progressi sostanziali verso processi produttivi 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 che come utilizzatore dei prodotti e dei servizi a base industriale; le nuove tecnologie 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, e 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, 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, aumentando la produttività dei fattori produttivi, le performance economiche e la propria competitività. Fondamentale sarà l'integrazione di ricerca pubblica (sia di base che 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.

Linee di ricerca: tecnologie, sistemi e modelli di business in grado di accelerare la transizione verso l'economia circolare attraverso 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-scatti e zero-downtime, incluse 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 produttivi (es: processi bio-manifatturieri o *biomachining*); processi a basso impatto ambientale per la produzione di fibre riciclate con una ridotta *carbon footprint* che utilizzino materiale composito contenuti negli scarti di lavorazione o recuperati 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 l'*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 lo stoccaggio e la trasformazione della CO₂ prodotta a livello di fabbrica in biocombustibili; 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; promozione della "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 sia più vicina 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 che sia caratterizzata da elevata conoscenza, produttività, intensità di lavoro, salari e 'qualità sociale', evitando di contribuire ad accrescere le disuguaglianze – di reddito, sociali, di genere e territoriali - del paese.

Linee di ricerca: tecnologie digitali e sistemi sicuri di interazione uomo-macchina a supporto dell'operatore all'interno delle fabbriche; sistemi e interfacce uomo-macchina per sostenere le strategie decisionali ibride tra uomo e sistemi automatici intelligenti (basate ad es. 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 che per l'addestramento di sistemi di intelligenza artificiale basati sull'utilizzo dei dati; progettazione e sviluppo di scenari socio-tecnici per l'integrazione dell'uomo in ambienti produttivi intelligenti, che comprendano i più idonei meccanismi organizzativi e di controllo di sistemi manifatturieri complessi; aumento delle competenze e qualifiche del personale promuovendo una più capillare formazione nelle tecnologie digitali; sviluppo di programmi di formazione che tengano conto dell'impatto di nuove tecnologie nelle 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 quelle digitali, dovranno accrescere le opportunità di accesso, apprendimento, qualificazione del lavoro, e consentire una convergenza verso l'alto di gruppi sociali, evitando di provocare processi di esclusione, dequalificazione, precarizzazione, impoverimento. Aspetto fondamentale sarà il superamento dei 'divari digitali' che impediscono l'accesso dei cittadini e delle imprese alle potenzialità delle nuove tecnologie, una maggior accessibilità alle conoscenze rilevanti sui sistemi digitali, e 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. Fondamentale cogliere le opportunità legate ai sistemi informatici ad architettura distribuita, all'evoluzione delle infrastrutture di telecomunicazioni e degli standard 5G e delle loro successive evoluzioni.

Linee di ricerca: soluzioni e tecnologie digitali a supporto del ciclo di vita del prodotto (dalla progettazione e ingegnerizzazione alla produzione, distribuzione fino alla gestione del post vendita e del fine vita) per una più efficiente gestione del processo produttivo, una migliore gestione delle fasi d'uso del prodotto, e un innalzamento della qualità del prodotto e del servizio al cliente finale; sistemi di produzione e prodotti connessi grazie all'ausilio dell'IA, dell'IoT e della realtà aumentata e virtuale; processi e sistemi di produzione flessibili, personalizzati, scalabili e riconfigurabili grazie alla robotica e l'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 una gestione affidabile e sicura dei processi, dei prodotti-servizi e dei sistemi di produzione; tecniche di modellazione, ottimizzazione e simulazione per una gestione più 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 funzionalizzati, dispositivi e sensori per prodotti connessi e intelligenti.

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 di raggiungere 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-servizi 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.

Linee 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 pandemie (impatti 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, cyber security); adattamento dell'industria di fronte a nuovi scenari politici, economici e tecnologici sia sul breve che sul lungo periodo (strategie per affrontare l'effetto di conflitti o crisi internazionali nell'approvvigionamento energetico e delle materie prime; effetti sul sistema produttivo di nuovi e improvvisi cambiamenti dell'assetto economico mondiale); prevenzione dell'invecchiamento degli impianti e processi produttivi (*aging* e *risk based inspection*, *asset integrity management*, prognostica degli impianti); processo 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 ad eventi dirompenti.

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 imprevedibili 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 di mantenere/raggiungere un ruolo di leadership nelle tecnologie abilitanti. È necessario mirare a salvaguardare e sviluppare una industria manifatturiera competitiva e favorire un'innovazione basata sulla ricerca tecnologica fondamentale in ambito di *Key Enabling Technologies*, a partire dalle filiere ad alto potenziale di innovazione ed elevata propensione al trasferimento tecnologico. Inoltre, è auspicabile un obiettivo di 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.

Linee di ricerca: sviluppo di nuove tecnologie per l'identificazione e 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 PID, 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 ad uno scambio di eccellenza in ambito internazionale con analoghe strutture ed 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 business per una produzione e distribuzione di prodotti e soluzioni prodotto-servizio più vicini a clienti e consumatori finali; 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.

4.7 Aerospazio

La ricerca aerospaziale in Italia vanta una lunga tradizione di eccellenza e la Legge 7/2018 ha riconosciuto al settore alta valenza strategico-politica. L'Italia riesce a coprire, grazie ad un 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, questo PNR 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 sinergie nel contesto internazionale nel quale l'Italia è da sempre un interlocutore attivo e propositivo, e il PNR intende potenziarne la posizione su scala globale. A tal fine, nelle articolazioni sono riportati settori e temi considerati prioritari per i quali è necessaria una visione di lungo periodo al fine incrementare ancora di più la posizione del Paese, facendo leva sull'elevato potenziale della grande industria, delle PMI e delle startup in rete col mondo della ricerca scientifica, creando così occupazione stabile.

Il PNR pone inoltre grande attenzione alla formazione specialistica 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 ad 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 ed inquinamento delle aree urbane. Le attività necessarie al loro sviluppo si articolano in: (1) progettazione di aeromobili a decollo verticale VTOL e a decollo corto STOL multirottore a bassa rumorosità, capaci di essere facilmente governabili in ambienti complessi in presenza di ostacoli; (2) propulsione elettrica o ibrida per veicoli VTOL, STOL; (3) integrazione nel traffico aereo assieme ai droni, governati da sistemi di gestione del traffico aereo a bassa quota in ambienti urbani complessi; (4) sicurezza



e certificabilità di queste architetture innovative con costi limitati; (5) sviluppo di ConOps per UAMV; (6) 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: (1) sistemi di propulsione innovativi essenzialmente basati su fonti elettrochimiche, ibride o full-electric; (2) tecnologie innovative per aumentare l'efficienza e ridurre emissioni; (3) tecnologie che riducono il rumore dei velivoli in decollo/atterraggio; (4) generatori di energia solare e integrazione con sistemi di auto-generazione di energia a bordo; (5) tecnologie per evitare la formazione/rimozione del ghiaccio con sistemi a basso consumo energetico per evitare grosse potenze di picco; (6) materiali e processi produttivi "green" nell'ottica di economia circolare: materiali riciclabili, tecnologie net-shape (es. Additive Manufacturing), sostituzione processi (es. tecniche galvaniche, uso di fluidi dannosi per sghiacciamento); (7) benessere del passeggero (es. riduzione 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'utilizzo di aeromobili semi-autonomi e autonomi supporterà sempre più numerose applicazioni. A tale scopo dovranno maturare tecnologie nelle seguenti aree: (1) sensori per la navigazione autonoma; (2) sistemi di controllo avanzati (adattativi, fault tolerant); (3) sistemi di guida autonoma, (collision avoidance e surveillance); (4) sistemi di navigazione autonoma GNSS-free/resilient; (5) sistemi di comunicazione per i velivoli autonomi; (6) certificazione di sistemi aeronautici autonomi, tecnologie per l'integrazione di velivoli unmanned nello spazio aereo; (7) piattaforme HW/SW ad alte prestazioni per il volo autonomo; (8) manipolazione aerea; (9) volo in formazione e sciami di velivoli autonomi; (10) 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: (1) health and usage monitoring systems per il monitoraggio continuo dello stato di integrità dei componenti per garantire maggior sicurezza e migliore manutenibilità; (2) Self-healing materials per la riparazione in tempo reale dei danni strutturali; (3) Morphing delle strutture per migliorare le prestazioni di volo; (4) Tecniche di energy harvesting tramite l'uso di materiali attivi; (5) Smart composite materials a prestazioni avanzate con inclusione di materiali PZT, PYRO, SMA, FO capaci di sviluppare capacità multi-funzionali integrate; (6) Tecniche innovative di produzione (additive manufacturing), a terra, in orbit e in situ; (7) Materiali per utilizzo in condizioni ambientali estreme (es. temperatura).

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: (1) algoritmi di predizione traiettorie dei velivoli (riduzione rischi di congestione, Collaborative Decision Making, forme avanzate di navigazione es. Continuous descent/climb e 4D navigation); (2) modelli di simulazione per utilizzo in fase strategica (rotte, procedure, impatto aeroporti) e in fase tattica (soluzione delle situazioni critiche), Digital Twins; (3) procedure per rilevare errori umani e suggerire soluzioni di recovery; (4) realtà Aumentata/Virtuale per lo sviluppo di remote towers e di sistemi di supporto alle operazioni in condizioni di scarsa visibilità; (5) data fusion per aumento integrità navigazione satellitare in decollo e atterraggio (sistemi inerziali, misure carrier-phase, 5G); (6) sviluppo di soluzioni See and avoid ibride per sistemi unmanned ed ACAS di velivoli tradizionali; (7) ADS-B per incrementare



l'autonomia dei velivoli (self-separation); (8) Unmanned Traffic Management e interazioni tra ATM ed UTM in prossimità degli aerodromi.

Articolazione 6. Volo sub-orbitale 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: (1) supportare e promuovere la capacità nazionale, sulla base dei risultati di Space

Rider e del programma Nazionale Iperdrone, di accesso allo spazio per la validazione di concetti di missione e lo sviluppo di nuovi payload; (2) sviluppare le Tecnologie abilitanti - Favorire 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.

Articolazione 7. Osservazione della terra (OT), Telecomunicazioni (TLC) e Navigazione

In questi settori l'Italia rappresenta una eccellenza in vari ambiti. È pertanto cruciale: (1) consolidarne il ruolo rafforzando la partecipazione ai programmi europei (Copernicus e Galileo) e valorizzando le iniziative nazionali (COSMO-SkyMed II, PRISMA, SHALOM, PLATINO, Ital-GovSatCom), garantendone anche la continuità in un'ottica evolutiva. È inoltre prioritario lo sviluppo di: (2) sensori innovativi di OT quali iperspettrali ad alta risoluzione, lidar, SAR multi-canale, polarimetrici, geosincroni, distribuiti su costellazioni/formazioni di satelliti; (3) nuove metodologie basate su tecnologie ICT (HPC, AI, IoT, etc.) per l'estrazione di informazioni da dati di OT multi-piattaforma e/o multi-sensore in servizi downstream ad alto valore aggiunto; (4) servizi innovativi e tecniche satellitari (e.g. guida autonoma nei settori automotive/ferroviario/marittimo, applicazioni GNSS-R); (5) componentistica avanzata, miniaturizzata, ad alte prestazioni e costo ridotto per sistemi di OT, TLC e GNSS; (6) tecnologie per nuovi canali di comunicazione (bande Q/V/W per piattaforme VHTS, comunicazioni ottiche e quantistiche).

Articolazione 8. Esplorazione ed 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, etc.). Per migliorare/consolidare la posizione acquisita è necessario: (1) sviluppare strumentazione all'avanguardia; (2) potenziare il contributo nazionale nell'ambito dei programmi ESA in corso (sia obbligatori, Cosmic Vision 2015-2035 – che opzionali, e.g. ExoMars, Hera, etc.) e nell'ambito di collaborazioni con altre agenzie internazionali; (3) creare le opportunità per missioni spaziali nazionali innovative. Di notevole interesse nazionale sono anche: (4) programmi/missioni in ambito SSA: SST/NEO/SWx e difesa planetaria in cui riveste un ruolo strategico l'asset esistente di infrastrutture nazionali di osservazione da Terra; (5) potenziare i Centri Spaziali Nazionali quali e.g. SRT/SDSA, SSDC, CGS, Centro "L. Broglio", ISOC; (6) promuovere missioni robotiche ed umane 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 nell'ottica della riduzione costi, in particolare sulle configurazioni evolutive di Vega e lo sviluppo di mini/micro lanciatori. Obiettivi da perseguire: (1) consolidare la competitività del 'Sistema Vega'; (2) consolidare la leadership nazionale nella propulsione; (3) migliorare in maniera incrementale la capacità di accesso allo spazio 'indipendente' nazionale; (4) supportare il 'Green New Deal' Europeo.



Articolazione 10. Satelliti di nuova generazione

In missioni LEO e per l'esplorazione dello spazio profondo, le attività sono così articolate: (1) aumentare il livello di efficienza ed autonomia dei veicoli spaziali per ridurre l'interazione da terra; (2) incrementare la miniaturizzazione dei sistemi (CubeSat e smallsat); (3) 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, active debris removal, osservazione della Terra (per servizi almost-real-time) e dell'Universo, esperimenti in microgravità, 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; (4) per l'esplorazione dello spazio profondo incrementare la guida autonoma e la possibilità di determinare a bordo l'orbita del veicolo spaziale; (5) sviluppare metodi avanzati di analisi e progetto (es. concurrent engineering, twin models).

Articolazione 11. Esplorazione umana dello spazio

Settore strategico considerate le collaborazioni internazionali (e.g. ESA e NASA). Rilevante per il benessere degli astronauti per lunghi periodi all'interno di stazioni orbitanti e moduli abitabili. Prioritari i seguenti temi: (1) strutture e sperimentazioni di ricerca di base e applicata "life-science" (orbitanti e cislunare); (2) sostenibilità di insediamenti e infrastrutture abitabili in gravità ridotta o microgravità (es. tecnologie per la costruzione in-situ); (3) tecnologie per evitare formazione e proliferazione di agenti patogeni, "ciclo" dell'acqua, dell'aria e sviluppo di coltivazioni vegetali; (4) tecnologie Lab on Chip a basso costo, compatta e per diagnostica a distanza; (5) tecnologie per la protezione dalle radiazioni cosmiche; (6) identificazione "biomarcatori" (affaticamento, stress) di interesse aeronautico per la sicurezza del volo (es. computer vision e intelligenza artificiale); (7) soluzioni per controllo missione e avionica di bordo di futura generazione.



5. Clima, energia, mobilità sostenibile

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, per la qualità della vita, per la competitività industriale, la protezione dell'ambiente nonché le politiche di 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 tre declinazioni della sostenibilità: sociale (bisogni delle persone), ambientale (preservazione e riqualificazione) ed economica (razionalità di spesa, di consumi e sviluppo/competitività industriale).

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, soluzioni e tecnologie innovative.

La crescente sensibilità ambientale spinge ad un cambio di paradigma della mobilità che deve orientarsi verso soluzioni innovative e sempre più sostenibili. La Conferenza di Parigi 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 impegnandosi a mantenere l'aumento della temperatura mondiale al di sotto di 2°C (scenario 2DS) e di proseguire gli sforzi per ridurre l'incremento a 1,5°C (scenario B2DS). 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. Essa inoltre, indirettamente, riduce la dipendenza energetica, crea occupazione e nuove filiere produttive. Infine, sistemi ed infrastrutture di trasporto moderni, efficienti e sicuri determinano economie ed 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, 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*).

Il Piano della 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 piano della ricerca deve supportare 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 del piano sono individuate nelle seguenti articolazioni (vedi fig.1):

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 socio-demografiche ed economiche legate ai comportamenti individuali e collettivi di mobilità. Vanno indagate inoltre le dimensioni valoriali ed 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 ed efficienza degli interventi e sull'integrazione delle misure e degli strumenti di pianificazione territoriale, della mobilità e dei trasporti.

Priorità di ricerca:

- *Travel Behaviour e Modal Choice* (Domanda di Mobilità)
- DSS per la inclusione sociale e territoriale
- DSS per politiche nazionali per la mobilità ed 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, eco-compatibili, 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, sia con riferimento alla costruzione/manutenzione che 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, assicurando 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, 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 delle infrastrutture e *hub* della mobilità
- Salute e resilienza delle reti
- Efficienza e controllo del traffico
- Logistica e trasporto delle merci

Impatti attesi:

- 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 socio-economici e ambientali della mobilità attiva, della micro-mobilità 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 multi-modalità 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 e qualità del trasporto pubblico
- *Sharing mobility*
- Micromobilità, mobilità assistita e mobilità attiva
- MaaS (*Mobility as a Service*)
- Mobilità turistica e turismo della mobilità

Impatti attesi:

- 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 ad 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 e, soprattutto, lo sviluppo di nuovi materiali e tecnologie per l'accumulo di energia. Le nuove tecnologie possono contribuire in maniera significativa alla de-carbonizzazione, 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, ...).

Priorità di ricerca:

- Biocombustibili, *e-fuels* e vettori energetici *green* e *clean*
- Nuovi materiali e nuove tecnologie per batterie ad alta capacità, celle a combustibile, e altri sistemi di accumulo di energia per il settore di mobilità e trasporto
- Metodologie di analisi, co-simulazione e *physical modeling* (MIL, SI, VHIL)
- Metodologie per la gestione ottimale di sistemi multi-energy
- Metodologie di *Life Cycle Management*, SWOT, PESTE 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, off-roads)
- Propulsori e sistemi di propulsione con tecnologia ibrida, elettrica e idrogeno
- Veicoli e reti per la micromobilità e per altre applicazioni speciali
- Tecnologie e sistemi per la gestione e la ricarica rapida 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
- *Testing*, dimostrazione, omologazione, certificazione e pre-industrializzazione prototipi

Impatti attesi:

- Mobilità e trasporto accessibile, sicuri, verdi, puliti e competitivi
- Neutralità climatica, decarbonizzazione e "verso-zero" inquinamento di tutte le tecnologie di mobilità e trasporto (aereo, navale, ferroviario, stradale 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 una industria nazionale dei trasporti innovativa, strategicamente specializzata e resiliente attraverso la creazione di filiere produttive complete, indipendenti e competitive.
- Sviluppo di una nuova economia per nuove opportunità di business ed occupazione

Articolazione 5. Mobilità automatizzata, connessa e sicura

L'introduzione dei veicoli semi-autonomi 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 d'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 per esse sviluppati come elementi attivi per la regolarizzazione dei flussi di traffico urbani e extra-urbani. Attenzione andrà dedicata allo sviluppo di veicoli autonomi non terrestri (aerei o nautici) per la mobilità di persone e il trasporto delle merci. Non andrà 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, sia per risolvere le problematiche connesse con le fasi di non completa automazione, sia per risolvere le condizioni di compresenza nelle correnti di traffico di veicoli automatizzati e manuali.

Particolare attenzione, in questo contesto, rivestono le questioni di Cybersecurity dei sistemi di guida autonoma e connessa e dei sistemi di mobilità ad elevata automazione (Cfr. Sicurezza per i sistemi sociali → Cybersecurity → Articolazione 2).

Priorità di ricerca:

- Tecnologie e soluzioni per la sicurezza attiva e preventiva
- Mobilità a crescente automazione (verso la guida autonoma)
- Ottimizzazione/controllo della mobilità e del deflusso in reti di traffico a crescente automazione e connessione
- Veicoli semi-autonomi 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

Impatti attesi:

- Sviluppo di un sistema di trasporto stradale automatizzato e connesso sicuro e competitivo
- 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
- Incremento della sicurezza dei trasporti, per modalità e tra modalità

Articolazione Trasversale. Cross-cutting actions

Priorità di ricerca:

- Supporto per *Mobility Living Labs* (City Labs)
- Supporto alla creazione di *Joint Research Labs* (messa in rete di laboratori esistenti)
- Istituzione di un dottorato di ricerca nazionale tematico
- Istituzione di una Infrastruttura di Ricerca Nazionale per la mobilità
- Grandi Progetti-Obiettivo Nazionali e trasversali (su modello delle MOIP)
 - diffusione di piattaforme e servizi MaaS in almeno 5 aree metropolitane italiane e 10 territori a vocazione turistica, con utilizzo da parte di almeno il 10% della popolazione interessata
 - progetti per l'accessibilità e l'inclusione delle aree a domanda debole

Impatti attesi:

- Creazione di una comunità scientifica interdisciplinare per la mobilità sostenibile
- Promozione della capacità di produzione di brevetti industriali



- Supporto alla *open-innovation* ed alla creazione di spin-off e start-up
- Competitività globale dell'industria manifatturiera

Figura 1 - Schema sintetico dell'organizzazione del documento



5.2 Cambiamenti climatico, mitigazione e adattamento

La velocità e l'accelerazione con cui il cambiamento climatico si sta verificando 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 suo cambiamento ha sui sistemi fisici, naturali, agricoli, urbani, sociali, economici e della salute. Questo richiede competenze interdisciplinari ed 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 di almeno il 5% l'anno a partire dal 2020/21) e sugli effetti (strategie di adattamento). Il carattere globale del problema conferisce una dimensione internazionale agli interventi ed 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, situato in una delle regioni del globo (il Mediterraneo) dove gli effetti del cambiamento climatico sono, e saranno nei prossimi decenni, tra i più intensi. Tali effetti richiedono attenzione alle caratteristiche geografiche ed economiche del paese e previsioni a carattere locale per 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 scientifica 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, comprendere l'evoluzione del clima ed i processi fisico-chimici, e disegnare modelli avanzati.



Obiettivo: migliorare le osservazioni per comprendere i processi e quantificare pozzi e sorgenti.

Impatti attesi: comprendere i processi che causano le emissioni e l'incidenza del cambiamento climatico sui sistemi biofisici, insediativi e infrastrutturali, sulla salute e sul benessere socio-economico delle comunità; quantificare più accuratamente le sorgenti ed i pozzi degli agenti clima alteranti; migliorare i modelli, per ottenere informazioni più accurate anche alla 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 socio-economico 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.

Impatti attesi: 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 Euro-mediterranea 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. 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.

Impatti attesi: ridurre l'incertezza nelle proiezioni future; migliorare la stima degli impatti e fornire informazioni più accurate ed 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 bio-fisici, 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.

Impatti attesi: 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.



Impatti attesi: 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 de-carbonizzazione 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 suoi usi. Sono necessarie valutazioni sulla reale efficacia della riduzione delle emissioni, e della cattura e stoccaggio degli agenti climateranti, 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.

Impatti attesi: 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 de-carbonizzazione dei sistemi bio-fisici, insediativi/edilizi, infrastrutturali, socio-economici 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 strategie ed attuare interventi per un efficace ed equo adattamento.

Impatti attesi: attuare processi di *downscaling* per la riduzione di vulnerabilità ed esposizione e il 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 eco-distretti 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 ed interventi di adattamento in una prospettiva di una transizione equa.

Impatti attesi: 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 che magistrale, scuole di specializzazione e corsi di dottorato che formino esperti in cambiamento climatico, adattamento e mitigazione. L'inter- trans- e multidisciplinarietà richiedono l'attivazione di corsi di laurea inter-ateneo, in collaborazione con enti di ricerca nazionali ed internazionali.

Obiettivo: attuare processi formativi nel campo del cambiamento climatico, l'adattamento e la mitigazione.

Impatti attesi: 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.

5.3 Energetica industriale

Il contesto generale parte dalla condivisione delle scelte strategiche europee e nazionali che hanno l'obiettivo di pervenire al 2050 ad una pressoché completa **decarbonizzazione** del Paese implementando in parallelo misure per valorizzare i benefici **socio-economici ed 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 ed 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.

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** è evidente negli usi finali di energia. La transizione verso la **mobilità** elettrica costituisce uno strumento essenziale per la decarbonizzazione ed avrà un impatto rilevante a livello sistemico se si tiene conto che la rete elettrica dovrà integrarsi con le infrastrutture di ricarica, che i veicoli elettrici e la rete scambieranno informazioni, e che i veicoli stessi potranno costituire un elemento della rete, fornendo capacità di accumulo e regolazione.

L'evoluzione dei consumi energetici in **ambito industriale** non può 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, risulta 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 ad 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), ed 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 ed integrazioni anche con altre forme di accumulo. I sistemi di accumulo elettrochimico offrono ampi margini di sviluppo, sia in termini tecnologici che 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 una economia circolare.

Le soluzioni delle diverse forme di accumulo di energia dovranno svilupparsi a tutti i livelli (da quello utente a quello di rete), tenendo conto dei servizi richiesti e dell'evolvere del sistema verso soluzioni distribuite, integrate, intelligenti ed 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 ed il controllo della conversione ad alta efficienza e della trasmissione a grande distanza dell'energia elettrica.

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 CO₂ emessa) di **vettori energetici puliti** (Idrogeno, metano, altri vettori gassosi e liquidi); potranno inoltre essere sviluppate nuove infrastrutture locali per la gestione di Idrogeno, biocombustibili e teleriscaldamento. L'utilizzo delle biomasse si integra nell'ambito dei sistemi multi-energia, 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 possono 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 evidenziare le 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'utilizzo 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 fare evolvere il sistema di regolamentazione per favorire le nuove opportunità che nascono dalla ricerca tecnologica.



Articolazione 1. Generazione di energia da FER, accumuli energetici e reti europee ed 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 Euro-Mediterranea.

Impatto atteso:

- Nuove tecnologie, nuovi materiali e componenti per lo sfruttamento delle FER, l'accumulo e la conversione di energia (meccanica, termica, elettrica, chimica).
- Sviluppo di catene nazionali di valore per la produzione ed utilizzo di energia elettrica ed 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 ed 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 ed il sequestro della CO₂ (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 band-gap, smart metering, digitalizzazione).
- Adeguamento ed 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 ed adeguamenti normativi per la produzione ed 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 ed i ricorrenti disastri naturali).

Impatto atteso:

- Nuove tecnologie per la decarbonizzazione: produzione di energia da FER, biocombustibili, poligenerazione e sistemi multi-vettore.
- Riduzione dell'intensità di utilizzo di materiali ed energia negli scenari della NPR mediante l'efficienza energetica, l'elettificazione, la digitalizzazione, la domanda attiva, l'auditing e le BAT.
- Sviluppo di processi chimici e biologici per la produzione low- e zero -carbon di vettori energetici (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,...), 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 socio-economica 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 ed 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 socio-economico, 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 ed incremento della consapevolezza energetica e della partecipazione dei cittadini.
- Sviluppo di Comunità Energetiche in ambito industriale, residenziale e misto e dei PED.

Articolazione 5. Il sistema energetico nazionale ed i sistemi di trasporto terrestre, marino ed 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 ed 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 power train innovativi per mobilità elettrica e ibrida.

5.4 Energetica ambientale

La transizione energetica e la de-carbonizzazione 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 risposta al primo problema è essenzialmente legata alla disponibilità di risorse finanziarie ed 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, produrre 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 community, con cui si intende una gamma di entità che condividono e collaborano nella gestione dell'approvvigionamento, del consumo, mediante l'implementazione di soluzioni tecnologiche per la generazione distribuita di energia, in primis 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 (link a Energetica Industriale).

In sintesi l'incremento dell'efficienza energetica del settore civile non dipende più solo dal miglioramento delle loro caratteristiche intrinseche degli edifici, ma anche da una intelligente (smart) gestione della domanda (demand side management) e dell'autoconsumo, e da un più efficace ed attivo coinvolgimento dei loro occupanti. Ma quanto sopra richiede una migliore conoscenza dell'effettivo comportamento dell'edificio ed una 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 ad una carenza di cultura tecnico/scientifica relativa alle tecniche di analisi dei dati ed 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 con attività di ricerca.

La ricerca scientifica deve Occorre mettere in primo piano il ruolo degli occupanti sia in termini di fruizione che di controllo e gestione ottimizzata dell'ambiente costruito. Infatti, il rispetto dei requisiti di comfort (termo-igrometrico, visivo ed 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 prendere decisioni corrette per la gestione 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 vadano ad impattare su altri aspetti (diritto al sole, mobilità, reti multivettore, comunità energetica).

Articolazione 1. Edifici, storage, ed interazione con energy communities e smart energy grid

Ambiti di ricerca:

- Sviluppare tecnologie fisiche, tecniche gestionali e strumenti normativi finalizzati ad una integrazione ottimale degli edifici nelle reti energetiche multi-verso e multi-energia, 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 sub-urbano in funzione di pervasività e capillarità delle FER convertite in situ (link a Energetica Industriale);
- Sviluppare tecnologie e strumenti, compreso l'uso dell'Internet of Things e dell'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 (link a Mobilità sostenibile);
- Potenziare gli strumenti di supporto per gli operatori del mercato e i consumatori visti come raggruppamento in comunità energetiche urbane o sub-urbane.

Impatto atteso:

- Favorire la stabilità, la resilienza e l'efficienza delle reti di approvvigionamento e di distribuzione dell'energia e gli altri obiettivi connessi alla transizione verso la green economy anche grazie all'ottimizzazione dell'interazione con gli edifici;
- Incrementare la flessibilità nella risposta alle richieste energetiche massimizzando l'integrazione negli edifici di energia rinnovabile ed 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 (link a Energetica Industriale).

Articolazione 2. Rigenerazione e de-carbonizzazione del patrimonio edilizio

Ambiti 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 ed il controllo energetico. si zero o energy plus) nella maggioranza degli edifici esistenti, promuovendo modalità di scambio anche tra edifici di diversa tipologia ed uso;
- Integrazione delle tecnologie per il risparmio e la produzione di energia nell'involucro degli edifici, con attenzione alla riduzione dell'invasività dell'intervento. Tale integrazione potrà considerare, allo scopo di 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 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 della generazione in situ da fonti rinnovabili, con modalità sostenibili, competitive ed a costi contenuti.

Articolazione 3. Impianti di climatizzazione, indoor air quality e comfort

Ambiti di ricerca:



- Progettazione coordinata dei sistemi di climatizzazione e migliore integrazione tra i vari componenti, con particolare riguardo delle 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 (sars-cov 2, legionella, etc.) assicurando nel contempo buoni livelli di efficienza;
- Approfondimenti sulle potenzialità della termo-fluidodinamica 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 elevate;
- Studio dei processi di diffusione di aerosol (e droplet), anche connessi alla movimentazione dell'aria indoor, indotta da impianti HVAC, che possono favorire la diffusione di malattie infettive (es. 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;
- Rivisitazione dei criteri di progettazione dell'impiantistica per la climatizzazione nei sistemi di trasporto, sia pubblici che privati, incluso il trasporto aereo;
- Attenzione al costo energetico dei requisiti impiantistici anche in relazione alle nuove esigenze di contenere i rischi epidemici.

Impatto atteso:

- Migliorare il benessere degli occupanti ed 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 ed il retrofitting degli impianti di climatizzazione;
- Favorire un ruolo attivo dell'utenza, anche attraverso la conoscenza puntuale ed istantanea dei dati di IAQ e dei consumi energetici.

Articolazione 4. Occupant behaviour: models and impacts

Ambiti 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 ed 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, allo scopo di favorire ed 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 come evolve negli edifici l'efficienza energetica, la diffusione delle energie rinnovabili, la digitalizzazione e il funzionamento intelligente degli edifici, 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 pro-attivi da parte degli utenti stessi con l'obiettivo di una gestione consapevole ed 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 optimizing the building performance

Ambiti di ricerca:

- Definizione di sistemi di monitoraggio, supervisione, previsione, controllo ed interazione multilivello, dalla comunità energetica nel suo complesso, allo smart metering e decision making di singolo edificio e singola utenza;
- Sovrapposizione di una rete di ottimizzazione, controllo e gestione alla rete fisica, mediante modelli dinamici di singoli sistemi e meta-modelli della comunità complessa nella sua interezza;
- Sviluppo di specifici ed accurati modelli dinamici dei nodi (anche mediante digitalizzazione BIM dell'ambiente costruito), e meta-modelli e modelli surrogati del sistema complesso (la rete e la comunità), tra loro complementari;
- Sviluppo di opportune regole di associazione, atte ad 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 dovranno essere 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 ed al comportamento degli utenti;
- Indagine sul “performance gap” tra prestazioni previste ed attese e validazione dei modelli di calcolo e verifica delle prestazioni utilizzati nella normativa tecnica;
- Modelli e strumenti per l'ottimizzazione multi-criterio e multi-obiettivo della prestazione complessiva degli edifici sia in fase di progettazione (di nuovi edifici e di interventi di riqualificazione) che di gestione;
- 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 multi-vettore (e.g., 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 (e.g., 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 socio-economiche 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.



6. Prodotti alimentari, bioeconomia, risorse naturali, agricoltura, ambiente

6.1 Green technologies

L'area delle Green Technologies è fortemente trasversale a numerosissimi 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 Primo Piano Strategico del Programma Horizon Europe, le principali direttrici delle Green Technologies possono essere riferite ai Cluster 4, 5 e 6. Specificamente, nell'ambito del Cluster 4 le Green Technologies contribuiscono in modo sostanziale allo sviluppo di una economia industriale sostenibile e circolare. Approfondendo ed ampliando quanto citato nella direttrice 4.1 (Manufacturing Technologies), risultano strategici i concetti di: chimica rigenerativa (che punta alla riqualificazione ed 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- e re-manufacturing (aumento del tempo di vita di prodotti ad elevato valore aggiunto, recupero di risorse critiche, utilizzo in processi secondari,...); riciclo intelligente e refurbishment (ripristino delle funzionalità iniziali tramite interventi a basso costo/basso impatto). La direttrice 4.9 (circular industries) 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). Accanto allo sviluppo di tecnologie dedicate, è in questo contesto 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 direttrice 4.10 (Low Carbon and Clean Industries) fa riferimento all'economia dell'idrogeno (generazione da fonti energetiche rinnovabili, stoccaggio, conversione) e al ciclo della CO₂ (cattura, accumulo e conversione) e più in generale ad una più efficiente gestione del ciclo del carbonio.

Il Cluster 5 è dedicato ad uno 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, atteso avere un impatto importante nel 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 bioprodotto. Come anche indicato negli articolati 2 e 3 della Scheda Sintetica del Gruppo di Bioindustria per la Bioeconomia, 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 ad 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 ed i diversi percorsi di conversione della chimica solare), in particolare di quella resa disponibile da fonti rinnovabili discontinue ed aleatorie, sotto forma di potenziale chimico di combustibili alternativi o convenzionali.

Il cluster 6 fa esplicito riferimento al "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 previste si baseranno sulla integrazione della storica vocazione agricola ed 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 ed i settori agricolo, zootecnico ed 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 anche gestionali partecipative 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 alla attuale situazione che vede una prevalente disponibilità di fonti energetiche rinnovabili al Sud e una richiesta energetica prioritariamente al Nord. Come discusso negli articolati 1 e 2 della scheda Sintetica del Gruppo di Energetica Industriale, l'adeguamento e al 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 ed autorizzativo chiaro e stabile a garanzia degli investimenti pubblici e privati nel settore.

Articolazione 1. Biochemicals, bioprodotto e processi chimici sostenibili in sinergia con biofuels, bioenergy e agro-energie

Impatto atteso (30,37,38): *creare sinergie tra bioenergia, bioprodotto e altri settori industriali attraverso lo sviluppo di bioraffinerie integrate.*

La realizzazione dei principi di "circularità" dell'economia richiede lo sviluppo di una chimica cosiddetta "rigenerativa" che non consuma risorse e non crea rifiuto ma rifinalizza 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/AI, un approccio mirato alla conoscenza, anche predittiva, delle disponibilità e alla valorizzazione di tutte le componenti chimiche complesse direttamente estraibili in loco (in particolare per biomasse di origine agricola) ed avviabili in forma di semilavorati alla produzione di specialty chemicals in centri specializzati (prodotti nutraceutici, cosmetici, ecc.). Il restante materiale carbonioso può essere successivamente valorizzato nella produzione di biocombustibili e BBPs (Bio-Based Products). 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. Accanto alle biomasse, è necessario prevedere strategie di accumulo e conversione (per via foto e/o elettrochimica) della CO₂.

Articolazione 2. Strategie per una gestione multiplatforma dell'energia elettrica da fonte rinnovabile, basata su stoccaggio e/o conversione in prodotti ad elevato valore aggiunto

Impatto atteso (30): *armonizzazione delle tecnologie di accumulo di energia elettrica da fonte rinnovabile tramite una strategia multiplatforma in grado di gestire fluttuazioni tra domanda e offerta; Incremento dell'incidenza dell'elettrificazione in processi chimici sintetici di interesse industriale.*

Occorre prevedere lo sviluppo di un approccio multiplatforma in cui l'adozione delle più sviluppate fra le strategie Power-to-X (elettricità-gas naturale, elettricità-H₂-GN, elettricità-H₂ in sinergia con ri-pompaggio idroelettrico) e una maggiore penetrazione dell'elettrificazione nell'industria chimica (elettrocatalisi e fotoelettrocatalisi in processi bilanciati anodici e catodici in particolare) permettano di complementare il ruolo giocato dalle tecnologie di accumulo più consolidato come batterie e 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,..) e disponibilità di processi chimici e biologici per la produzione low carbon impact di vettori energetici (es, H₂, CH₃OH, DME, CH₄...).

Articolazione 3. Prevenzione della contaminazione del suolo e delle acque

Impatto atteso (33): *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.*

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. Questi ambiziosi obiettivi richiedono lo sviluppo di materiali assorbenti anche nanostrutturati (membrane, criogeli, bead, film, nanoparticelle) sostenibili ed 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 (37): *riduzione dei rifiuti, promozione di una cultura del recupero e rifinalizzazione; riconversione dei siti produttivi dismessi alla produzione di biochemicals e biofuels*

Scarti, eccedenze e rifiuti devono diventare le fonti prevalenti di approvvigionamento dei materiali critici (Urban Mining). Questa visione assume rilevanza particolare nel settore ICT ed in quello della produzione e accumulo di energia elettrica. 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 (37): *ristrutturazione delle filiere produttive e dei modelli logistici mirata a eliminazione degli scarti e cogestione delle risorse; integrazione dei processi sia nell'ambito del sito produttivo sia del distretto agricolo-industriale di riferimento.*

L'attuazione del concetto di "industrial symbiosis" richiede la predisposizione di data-base 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.



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 (29,30): *riposizionamento comparativo delle green Technologies tramite Life Cycle Sustainability Assessment, Environmentally-extended input-output, Mass flow analysis, Industrial and Urban Metabolism.*

L'ecologia industriale esamina sistematicamente ed 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 reimmissione 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.

6.2 Tecnologie alimentari

Il settore alimentare è quello più rilevante in Europa, con circa 44 milioni di posti di lavoro, ed è settore trainante per l'economia italiana, con 538 miliardi 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 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 abitanti entro il 2050), porterà a dover raddoppiare la 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 ulteriore 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, una priorità per la salute pubblica. Le linee strategiche nazionali devono potenziare il sistema agroalimentare, già forte elemento di spinta economica e di sviluppo per l'Italia. 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 che a fini predittivi e di scenario. In questo modo sarà possibile avere a disposizione strumenti decisionali di supporto (*decision support systems*) per rispondere in maniera rapida alle esigenze sia della ricerca di base, sia di quella 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 comporta il rischio di un incremento di contaminanti sia in ambito agricolo e zootecnico (micotossine, fitofarmaci, ecc.) sia nell'industria di trasformazione (sicurezza delle materie prime, dei novel food, dei MOCA 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. Pertanto,



un'infrastruttura nazionale avanzata (piattaforma digitale) collegabile al contesto europeo potrebbe garantire una gestione sistemica della sicurezza alimentare, armonizzando dati, informazioni e conoscenze scientifiche.

Impatto atteso: Protezione della salute, 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) maggiore consapevolezza nelle scelte del consumatore in termini di garanzie sanitarie, nutrizionali e di sostenibilità. (Horizon Europe: 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 scelte informate e consapevoli, minando la sicurezza alimentare (adulterazione per sostituzione, ecc.), 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 on site, e la loro validazione, per l'ottenimento di profili compositivi basati su banche dati di composizione affidabili e robuste nonché di software chemiometrici ed algoritmi per la gestione dei big data, insieme alle nuove tecnologie (blockchain) per la tracciabilità e la corretta informazione al consumatore.

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 nei sistemi alimentari e promuovendo la valorizzazione economica e sociale dei territori. (Horizon Europe: 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-, psico-biotici) in grado di condizionare la funzionalità; c) strategie di prevenzione più efficaci delle patologie umane e animali (anche con l'utilizzo di probiotici/prebiotici), che permettano una 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. (Horizon Europe: 32,34).



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 e 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, piacevole, adeguata, sostenibile e personalizzata (*tailor made food*), anche aggiornando gli aspetti regolatori degli alimenti. Fondamentale è anche la ricerca in ambito sensoriale ed 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 sovrakonsumo; 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). (Horizon Europe: 1, 31, 33, 34).

Articolazione 5. Fonti proteiche alternative 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 l'impatto sul cambiamento climatico e sul consumo delle materie prime, è di particolare interesse l'introduzione di fonti proteiche alternative alla carne: alghe, funghi, piante superiori (p.es. leguminose), 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.

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. (Horizon Europe: 31, 32).

Articolazione 6. Tendenze emergenti nelle tecnologie alimentari ed efficientamento dei processi di trasformazione.

6a) Processi e packaging 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, anche attraverso l'utilizzo di packaging innovativi e mediante atmosfere modificate.

Impatto atteso: Sviluppo sostenibile, equilibrato ed 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 e del packaging post consumo; c) disponibilità di alimenti con una shelf-life adeguata e di ottima qualità, con una più corretta percezione e comunicazione sul fine vita degli imballaggi. (Horizon Europe: 33, 35).

6b) 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 ed 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. (Horizon Europe: 34, 1).

6c) 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 detersivi e sanificanti. (Horizon Europe: 31).

6d) 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, intra- o inter-filiera, in un'ottica di completa circolarità, di integrazione e intersezione tra industria alimentare ed 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. (Horizon Europe: 19, 33, 34, 36).

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 bio-risorse 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.¹ Questo garantisce oggi al paese circa 70 miliardi di fatturato annuo e 330.000 posti di lavoro (1). A ciò si aggiunge l'indotto del legno che conta più di 80.000 aziende, 400.000 addetti e un fatturato annuo di 40 miliardi di euro e quello della cellulosa con 3.800 aziende, oltre 72.000 addetti e un fatturato di circa 22 miliardi 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 miliardi di euro di fatturato e 12 000 posti di lavoro¹. In questo ambito sta diventando prioritario 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 ed 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 multi-prodotto, flessibili, in grado di convertire con un approccio in

¹ <http://cnbbsv.palazzochigi.it/media/1951/bit-italiano-14feb2020.pdf>



cascata dette materie prime nonché la CO₂, 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 detta innovazione, 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 e energia rinnovabile, ad 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.¹ In questi settori sono necessari, infine, ulteriori sforzi in 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

Valorizzazione ed 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 ed 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 ed 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 bioprodotto 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 psico-fisico.

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, allo scopo di 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 (NBS, “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 peri-urbano.

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 C 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: 1) contributo alla neutralità climatica tramite uso di biomateriali (sostituzione di materiali a maggior impronta climatica) e adattamento degli ecosistemi forestali (mantenimento capacità di assorbimento) (31); 2) uso efficiente e circolare delle risorse naturali delle foreste (valorizzazione ed utilizzo a cascata produzioni forestali) (33); 3) innovazioni per la sostenibilità e perpetuità delle produzioni primarie forestali (34); 4) sviluppo equilibrato delle aree rurali, a sostegno degli equilibri globali e “nature based solutions” (35); 5) monitoraggio delle risorse forestali a garanzia della perpetuità (36).



Articolazione 2. Bio-industria circolare

- a) **Valorizzazione della biodiversità terrestre ed acquatica per la produzione sostenibile di bioprodotto.**
L'obiettivo è produrre prodotti bio-based nuovi o innovativi attraverso la valorizzazione integrata delle bio-risorse rinnovabili non alimentari primarie e residuali derivanti dai settori agricolo, forestale e marino, come gli scarti e sottoprodotti dell'industria alimentare ed 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), chimica e dell'ingegneria per produrre innovazione di prodotto nei seguenti settori: nutraceutica, farmaceutica, cosmetica, plastiche, fibre, materiali strutturali, etc. Particolare attenzione va posta nello studio delle potenzialità derivanti dalla bio-risorse marine, sia come fonte di biomasse e biomolecole che 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.
- b) **Sviluppo di bioraffinerie di multi-input e multi-prodotto 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 economico-sociale dei territori, in un contesto globale in veloce evoluzione, anche a causa dei mutamenti normativi e legislativi connessi agli impatti ambientali. La ricerca ed innovazione deve 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 ma 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 (per es. (bio)materiali (bio) polifunzionali, polimeri, farmaci, mangimi, lubrificanti, fertilizzanti e prodotti per agricoltura, nutraceutica, cosmetica e composti chimici in genere, prodotto biobased e biodegradabili in diversi ambienti con attenzione alla chiusura del ciclo del carbonio, alla rigenerazione ed alla preservazione del suolo) potranno alimentare l'industria manifatturiera ed 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 bio-risorse 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 nella ricerca di soluzioni a "basso e multi input" di risorse, sia primarie che secondarie, e 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: 1) Sviluppo di nuovi prodotti ad alto valore aggiunto in termini di neutralità climatica, riducendo le emissioni di gas a effetto serra e migliorando le funzioni di assorbimento e stoccaggio nei sistemi di produzione e negli ecosistemi. (31, 32) 2) Migliore adattamento e gestione della biodiversità e ripristino degli ecosistemi, delle risorse idriche e dei sistemi di produzione, nell'ottica della bioeconomia circolare (32, 33). 3) Migliore comprensione dei cambiamenti comportamentali e socio-economici per approcci innovativi di governance che guidano la sostenibilità ed uno sviluppo equilibrato di rinnovate aree rurali, costiere, periurbane e urbane (35).

Articolazione 3. Recupero e valorizzazione di scarti e prodotti organici a fine vita, per la rigenerazione dei suoli e la protezione dell'ambiente

- a) **Valorizzazione integrata di residui, scarti e sottoprodotti agroalimentari, zootecnici, ittici attraverso nuove catene di valore circolari e connessioni industriali.** Eco-design 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 dalle bio-risorse e dai biomateriali (es. bioplastiche), ma anche dall'anidride carbonica e dai *biowaste* delle città, con la produzione di biometano, composti chimici, compost, etc. creando così sinergie tra le aree rurali ed urbane, in una 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 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 stanno diventando 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 funzionalità dei suoli e il reingresso dei materiali e del carbonio nei cicli biogeochimici con un tempo di turnover compatibile con le attività antropiche.

- b) Nuove soluzioni per la gestione del fine vita dei materiali organici recalcitranti in un'ottica circolare: ecodesign, biodegradazione ed ecotossicità.** E' dimostrato che il problema dell'impatto ambientale dovuto alla dispersione nell'ambiente di materiali organici recalcitranti alla biodegradazione (per es. 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 eco-sistema (per es. mare, suolo, etc.) 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 sia i possibili effetti in termini di eco-tossicità delle componenti di tali materiali (per es. polimeri, microplastiche, monomeri, plastificanti, additivi) ma anche 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 la valorizzazione varie tipologie di prodotti e materiali attualmente considerati una minaccia ambientale (per es. rifiuti plastici, lubrificanti plastificanti).

Impatto atteso: 1) nuove catene di valore, grazie a connessione sia all'interno delle filiere che tra filiere industriali ora scollegate (34, 35) 2) 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 (33, 36); 3) mitigazione della produzione di CO₂, sia per lo smaltimento del rifiuto organico (riduzione di 1,4 kg di CO₂eq per ogni kg di rifiuto organico recuperato biologicamente), sia per la sua maggiore assimilazione del suolo arricchito in carbonio organico (31, 33).

Articolazione 4. Modelli di business innovativi per la moderna bioeconomia

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 multi-stakeholder 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, all'interno di 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 (in primis 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 la crescita sostenibile dell'intero Bacino Mediterraneo.

Impatto atteso: 1) economico, con riferimento a modelli di business circolari e sistemi di governance innovativi (36); 2) ambientale, in termini di contribuzione al con forte orientamento al ripristino e salvaguardia della biodiversità (32), all'eco-efficacia ed eco-efficienza dei sistemi industriali (31, 33); 3) sociale, per valorizzare la salute e sicurezza di cittadini e consumatori (34) e per definire il perimetro dei sistemi socio-economici dei territori su cui la bioeconomia e la bioindustria hanno impatto (35) ambientale e sociale.

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 (es. 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 sia in grado di garantire l'accesso a una fornitura sufficiente di cibo a prezzi accessibili per i cittadini². 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 supportare il Paese nell'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

Impatti attesi: 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 due grandi aree complementari: **1a)** Le **biotecnologie**, per ottenere piante e animali idonei a forme di agricoltura sostenibili applicando tecniche di miglioramento genetico tradizionale e molecolare avanzato, nuove tecnologie genomiche (NGT) e tecnologie per creare nuova variabilità, e caratterizzando la biodiversità esistente, anche in specie selvatiche e affini, per espandere il potenziale produttivo e stabilizzare le produzioni, anche in aree marginali. Piante e animali *climate-ready* dovranno possedere rispettivamente maggiore efficienza di conversione dell'energia e di uso delle risorse, migliore resistenza a patogeni e parassiti, tolleranza e resilienza a stress abiotici multipli, e capacità di adattamento all'ambiente e ai suoi veloci cambiamenti. I tratti utili saranno identificati con studi delle funzioni fisiologiche, metaboliche e cellulari e con analisi della struttura, funzione e regolazione di genomi ed epigenomi di piante e animali secondo una logica di *systems biology*. Lo studio dei rapporti pianta/animale - microorganismi garantirà qualità delle produzioni e benessere, nella logica *One Health*. **1b)** Le **agro-tecnologie** per guidare la trasformazione dei sistemi produttivi. L'innovazione *game-changing* sarà il contributo dell'intelligenza artificiale (IA). Per rilevare e quantificare le interrelazioni tra fattori ambientali, caratteri morfo-anatomici e caratteristiche produttive di piante e animali nella loro variabilità spaziale,

² Comunicazione della Commissione Europea "A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system" (20 maggio 2015)



temporale e genotipica sarà fondamentale la fenotipizzazione *high-throughput* con adeguati sensori e biosensori. IA e bioinformatica per il trattamento di *big data* saranno la base per migliorare l'efficienza d'uso delle risorse, accelerare la selezione di varietà migliorate, elaborare scenari previsionali e sistemi di supporto alle decisioni, e guidare le applicazioni più innovative, fino al vertical farming. Lo studio di relazioni trofiche e simbiotiche consentirà lo sviluppo di nuove tecnologie per aumentare fertilità dei suoli e produttività.

Articolazione 2. Sicurezza e qualità delle produzioni primarie

Impatti attesi: 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 linee strategiche di ricerca riguardano:

2a) Innovazioni nei sistemi agrari per il miglioramento della sicurezza alimentare. Uno degli aspetti più sfidanti è la protezione di colture e animali, conseguibile con: modelli previsionali ed epidemiologici per generare sistemi di allerta, e pianificare la difesa da patogeni e parassiti autoctoni ed alieni (new diseases and new pests); sistemi innovativi di controllo integrato/biologico; conoscenze sul benessere degli animali in allevamento così come la prevenzione del rischio di antibiotico-resistenza. La ricerca dovrà individuare modelli predittivi di diffusione di agrofarmaci e loro prodotti di degradazione nell'ambiente e lungo la catena alimentare e guidare la sostituzione di molecole con tossicità verso organismi non target e ad elevata persistenza, con principi facilmente degradabili e poco persistenti. Adeguati strumenti genetici, biotecnologici ed agro-tecnologici dovranno essere sviluppati per contrastare lo sviluppo di micotossine e microrganismi potenzialmente patogeni negli agroecosistemi e negli allevamenti. Sistemi di tracciabilità molecolare e blockchain saranno da studiare per garantire origine, qualità e sicurezza delle materie prime.

2b) Innovazioni nei sistemi agrari per la qualità funzionale dei prodotti alimentari, finalizzate a: conoscenze genomiche per aumentare la qualità funzionale delle varietà di specie agrarie; valorizzazione dell'agro-biodiversità e diversificazione colturale con l'inserimento di varietà migliorate di colture proteiche; agro-tecnologie per la fortificazione delle produzioni vegetali; nuove formulazioni di ingredienti e mangimi per l'alimentazione animale.

Articolazione 3. Integrazione fra agricoltura a destinazione alimentare e non alimentare

Impatti attesi: promuovere l'economia circolare, attraverso la produzione di bioenergie e agro-energie 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 bio-prodotti, energia e bio-fertilizzanti. La produzione e il recupero di biomasse utili e bio-convertibili sono da considerare un valore aggiunto della produzione agricola.

3a) Produzione di energia e biofertilizzanti. 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 come viene bene articolato in altri ambiti di questo PNR, in particolare quello la green economy. Lo sfruttamento delle biomasse ligno-cellulosiche 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 "agro-energie" in infrastrutture agricole sono alla base del futuro sviluppo di "comunità energetiche rinnovabili" di aziende e piccoli borghi rurali facendo crescere il loro valore ambientale e socio-culturale.

3b) Bioprodotto industriali. Mentre, nel periodo post Covid19, è particolarmente auspicabile 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

Impatti attesi: promuovere la “transizione ecologica” del settore agrario secondo un duplice binario: favorire il riequilibrio ambientale e potenziarne la rigenerazione ecologica. Accompagnare il *Green Deal* europeo sostenendo ricerche che riguardano l'ottimizzazione ecologico-ambientale dei sistemi agrari, impiegando le risorse naturali entro i limiti di disponibilità, rispettandone l'integrità e prevenendone il degrado.

4a) Sistemi agro-forestali ad alta compatibilità ambientale. L'uso degli input agrotecnici non deve originare perturbazioni ambientali attribuibili ai rilasci inquinanti. Quelli clima-alteranti vanno ridotti identificando i sistemi produttivi più consoni in base ai bilanci energetico-emissivi, conseguendo condizioni “*carbon negative*”, per esempio mediante strategie innovative di stoccaggio della sostanza organica nel suolo. Occorre sviluppare indicatori sistemici della qualità del suolo per orientarne la gestione agronomica. Vanno studiate tecniche di recupero dei nutrienti agrari per ridurre le emissioni GHG, salvaguardare la qualità delle acque, dell'aria e del suolo, risparmiare energia fossile. Si deve promuovere l'innovazione nella gestione dell'acqua, delle tecniche di recupero di acque di scarsa qualità per il risparmio della risorsa, la prevenzione della perdita di nutrienti, la valorizzazione della fertilità dei suoli. Occorre valutare le condizioni di sicurezza nell'impiego di effluenti, fanghi e compost da rifiuti, nonché sperimentare tecniche innovative di fitodepurazione delle acque e di biorimedio dei suoli contaminati.

4b) Sistemi agro-forestali ad 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 (es. *mixed farming systems*) consente di promuovere sistemi produttivi ad elevata efficienza, positivo valore naturale, idonei alla protezione degli habitat ed alla conservazione della biodiversità. Lo studio della biodiversità funzionale può fornire informazioni sulle condizioni di stabilità dei sistemi agrari.

Articolazione 5. Sistemi agricoli e forestali per la salvaguardia e la valorizzazione del territorio

Impatti attesi: 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 potenziare i benefici economici, ambientali e sociali derivanti dalla grande varietà territoriale italiana, caratteristica unica e strategica da valorizzare attraverso: **5a)** Studio degli ecosistemi agricoli e forestali dei diversi territori per innovare le tecniche di produzione e in particolare quelle dell'agricoltura biologica e integrata; **5b)** identificazione, caratterizzazione delle risorse genetiche vegetali e animali locali (landraces), per la conservazione per l'utilizzo in diversi settori: dall'agroalimentare, medicinale/salutistico, biotecnologico fino a quello forestale, sia nelle filiere corte, che in quelle tipiche e industriali; **5c)** 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; **5d)** individuazione di indicatori e metodi di misurazione dei servizi ecosistemici resi dalle diverse componenti territoriali e dei prodotti derivanti dalla loro integrazione (es. turismo); **5e)** sviluppo di tecniche/strumenti di telerilevamento e piattaforme tecnologiche per il monitoraggio e la gestione delle risorse e dei sistemi agro-forestali e territoriali, e analisi di big data per individuare indicatori di qualità del paesaggio, interventi di mitigazione e adattamento agli effetti del cambiamento climatico e di prevenzione dei rischi; **5f)** 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 socio-economiche dei sistemi produttivi agrari

Impatti attesi: definizione di azioni/strumenti per il conseguimento della sostenibilità economica, sociale e ambientale delle attività agricole. L'obiettivo di questa articolazione è di individuare le linee di ricerca strategiche per garantire la sostenibilità economica e sociale delle attività agricole: **6a) valutazione del benessere nelle aree rurali** al fine di definire strumenti/azioni per il superamento di situazioni di insoddisfacente qualità della vita; **6b) 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; **6c) 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. **6d) 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.

6.5 Conoscenza, innovazione tecnologica e gestione sostenibile degli ecosistemi marini

In un Paese come l'Italia, con 8000 km di costa ed 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*. 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 (incluso 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 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: **EU1.** Collegamento tra salute ambientale e umana (one health: salute unica); **EU25.** Adattamento e mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini. **EU31.** Contributo alla neutralità climatica attraverso il ‘blue-carbon’. **EU32.** Soluzioni innovative per fermare il declino della biodiversità e per preservare, riabilitare e ripristinare il funzionamento degli ecosistemi marini. **EU33.** 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. **EU36.** Contributo allo sviluppo di nuovi modelli di governo per la sostenibilità attraverso la condivisione di conoscenze, metodologie e dati.

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 riprogettando processi e materiali costruttivi nell’ottica del *life cycle thinking approach*. 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 e gestione sostenibile delle operazioni in mare, in grado di salvaguardare la salute del mare e dell’uomo. Le tecnologie digitali possono integrare i processi industriali con l’ambiente di riferimento in forma più estesa ed attiva, 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 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: **EU19.** Creazione ed 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; **EU26.** 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; **EU29.** Soluzioni tecnologiche avanzate per un sistema di trasporto marittimo competitivo e pulito; **EU30.** Creazione di un sistema di trasporto in mare sicuro ed intelligente mediante le tecnologie digitali e i servizi avanzati di navigazione satellitare.



Articolazione 3. Innovazione infrastrutturale per lo sviluppo di una nuova economia sostenibile legata al mare (TRL > 3)

Priorità di ricerca: Le infrastrutture marittime (e.g.: porti, 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. 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 e alle operazioni di posa in opera e interro delle condotte subacquee (es. processi di gestione delle acque del bacino portuali; studio idrodinamico delle acque interne e costiere), valutando anche i possibili impatti dovuti al cambiamento climatico (es. studio di scenari di esercizio delle condotte subacquee computando anche eventi estremi direttamente connessi ai cambiamenti climatici). 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: **EU13.** Tecniche e sistemi per la progettazione e costruzione di infrastrutture portuali resilienti; **EU16.** Sviluppo di conoscenze e tecnologie per la realizzazione e messa in opera delle condotte sottomarine a basso impatto; **EU25.** 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; **EU32.** Sistemi di monitoraggio in prossimità delle condotte sottomarine dei parametri di natura ecologica per la difesa della biodiversità.

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 CO₂. Questo scenario comporta la necessità di identificare, sulla base di nuove conoscenze, tecniche di esplorazione ed utilizzo innovative che coniughino l'efficacia delle operazioni con la salvaguardia degli ecosistemi marini. La realizzazione di nuove piattaforme e di 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: **EU19.** Tecniche di progettazione e costruzione di piattaforme offshore basate sull'adozione del *life cycle thinking approach*; **EU27.** Sviluppo di tecnologie per la produzione, lo stoccaggio e la distribuzione di energia rinnovabile marina; **EU32.** Processi di dismissione innovativi a basso impatto ambientale basati sui principi dell'economia circolare; **EU33.** Nuove tecnologie e metodi di indagine sostenibili per l'esplorazione e l'estrazione delle risorse dai fondali marini.

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 può 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 dovrà 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.

Impatto atteso: **EU1.**, **EU2.** 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; **EU23.** Sistemi per l'acquisizione e l'elaborazione dati basate su tecnologie e servizi satellitari; **EU31.**, **EU32.** Reti osservative e modelli integrati per acquisire conoscenza sul funzionamento degli ecosistemi e della biodiversità per comprendere come arrestare il processo di degrado e promuovere l'uso sostenibile delle risorse marine; **EU36.** L'osservazione e la conoscenza degli ecosistemi marini e della biodiversità per la realizzazione di modelli di monitoraggio e di governance che garantiscono la sostenibilità marina.

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 ed 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 (EU Reg. 1380/2014, GFCM Mid-term Strategy). La ricerca alieutica deve sviluppare conoscenza di base ed 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 energetici ed 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: **EU32.** 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; **EU33.** Modelli di gestione delle attività di turismo, pesca e acquacoltura basati sui principi dell'economia circolare quali driver di competitività; **EU34.** Conoscenza delle attività di pesca e acquacoltura e delle relative interazioni con il sistema mare per accrescere gli standard qualitativi e di sicurezza della filiera alimentare ad essi connessa; **EU36.** Conoscenze e metodologie per la creazione di modelli di monitoraggio e gestione delle attività di turismo, della pesca ed dell'acquacoltura.

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 (e.g. biologia, ingegneria, economia). Questo 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 dell'European Academy Science Advisory Council si fa riferimento all' "Università del mare" proprio per formare specialisti delle principali discipline in grado di valorizzare le risorse nel 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.



Codice	Claim	Declaratoria
EU1	Staying healthy in a rapidly changing society	Citizens stay healthy in a rapidly changing society thanks to healthier lifestyles and behaviours, healthier environments, improved evidence-based health policies, and more effective solutions for health promotion and disease prevention
EU2	Living and working in a health-promoting environment:	Living and working environments are health-promoting and sustainable thanks to better understanding of environmental, occupational, social and economic determinants of health
EU23	Space services that contribute to climate mitigation and environmental protection, mobility and security	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
EU25	Transition to a climate-neutral society enabled through advanced climate science and responses for climate mitigation and adaptation	Advance climate science and solutions for a climate neutral and resilient society
EU26	Cross-sectoral solutions for decarbonisation	Clean and sustainable transition of the energy and transport sectors towards climate neutrality facilitated by innovative cross-sectoral solutions.
EU27	Develop cost-efficient, net zero-greenhouse gas emissions energy system centred on renewables	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
EU29	Develop low-carbon and competitive transport solutions across all modes	<p>Towards climate-neutral and clean solutions across all transport modes through new technologies solutions while increasing global competitiveness of the EU transport sector.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enable low-carbon, smart, clean and competitive waterborne transport • Reduce the impact of transport on the environment and human health
EU30	Develop seamless, smart, safe, accessible and inclusive mobility systems	<p>Safe, seamless, smart, inclusive and sustainable mobility services developed/ensured thanks to digital technologies and advanced satellite navigation services.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Develop efficient and innovative transport infrastructure • Develop the future transport network and integrated traffic management • Enable multimodal freight logistics and passenger mobility services • Increase transport safety – per mode and across modes
EU31	Improved knowledge and innovations build the	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



	foundations for climate neutrality	and urban areas, where the adaptation to climate change is also fostered
EU32	Halt of biodiversity decline and restoration of ecosystems	Biodiversity decline is halted and ecosystems are preserved and restored on land and at sea through improved knowledge and innovation
EU33	Sustainable and circular management and use of natural resources as well as prevention and removal of pollution	Sustainable and circular management and use of natural resources as well as prevention and removal of pollution are mainstreamed, unlocking the potential of the bioeconomy, 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 system
EU34	Sustainable primary production , food and bio-based systems, which are inclusive, safe and healthy	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
EU36	Establishment and monitoring of governance models enabling sustainability	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

