



PNR 2021-2027
Programma nazionale per la ricerca
**GRANDE AMBITO DI RICERCA E INNOVAZIONE:
DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO**

Allegato esteso



Ministero dell'Università e della Ricerca

ESPERTI DEL GRUPPO DI LAVORO 4. DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO

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

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

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

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

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

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

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

Roma, novembre 2020

L'allegato esteso include le riflessioni dei gruppi di lavoro di esperti nominati dal Ministero dell'Università e della Ricerca. Si tratta di un documento di approfondimento che esprime le opinioni degli esperti e che, dunque, non rappresenta una posizione ufficiale.



SOMMARIO

4. DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO	1
Il contesto attuale e gli scenari futuri	1
Gli obiettivi del grande ambito	3
Gli impatti attesi del grande ambito	5
4.1 Transizione digitale - I4.0	6
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	6
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	8
Obiettivi 2021-2027	11
Articolazione 1. Servizi human-centered	12
Articolazione 2. Comunità sostenibili	14
Articolazione 3. Competitività del Paese	17
Articolazione 4. Dispositivi e sistemi eterogenei	22
Articolazione 5. Reti di sistemi intelligenti	25
4.2 High performance computing e big data	29
Il contesto europeo	29
Collocazione nel contesto di Orizzonte Europa	30
Collocazione nel contesto di “Una Strategia Europea per i Dati”	32
Il Rapporto con le Grandi Infrastrutture Europee per HPC&BD	34
Contesto italiano e indirizzi di piano per HPC&BD	36
Infrastrutture Italiane per HPC	37
Innovazione e migrazione I4.0 del sistema produttivo italiano	38
I dati della Pubblica Amministrazione	39
Premesse per un piano sulla ricerca in HPC&BD	41
Tre indirizzi di piano per HPC&BD	42
LE ARTICOLAZIONI DELLA RICERCA	44
Articolazione 1. Ricerca 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	46
Articolazione 2. Ricerca di base in ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per HPC&BD	47
Articolazione 3. Ricerca per strutture distribuite e decentralizzate di calcolo e dati, per Iot, I4.0 e applicazioni sociali e di rete	48
Articolazione 4. Architettura, ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per l’evoluzione dei dati della PA verso sistemi aperti, big data e servizi cloud	49
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	50
4.3 Intelligenza Artificiale	53
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	53
Rilevanza alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	60
Obiettivi 2021-2027	63
Articolazione 1. Intelligenza Artificiale per l’Intelligenza Artificiale (IA per IA)	65
Articolazione 2. Intelligenza Artificiale umano-centrica	70
Articolazione 3. Intelligenza Artificiale per la salute	75
Articolazione 4. Intelligenza Artificiale per la società	78
Articolazione 5. Intelligenza Artificiale per l’ambiente e le infrastrutture critiche	82
Articolazione 6. Intelligenza Artificiale per la produzione industriale	87
4.4 Robotica	94
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	94
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	96
Obiettivi 2021-2027	98



Articolazione 1. Robotica in ambienti ostili e non strutturati	102
Articolazione 2. Robotica per Industria 4.0	106
Articolazione 3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture	110
Articolazione 4. Robotica per il settore agro-alimentare	114
Articolazione 5. Robotica per la salute	116
Articolazione 6. Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi	120
Obiettivi e impatti della robotica nel grande ambito Digitale, Industria e Aerospazio	123
4.5 Tecnologie quantistiche	125
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	125
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	127
Obiettivi 2021-2027	129
Articolazione 1. Tecnologie quantistiche per computer e simulatori	131
Articolazione 2. Tecnologie quantistiche per la comunicazione	135
Articolazione 3. Tecnologie quantistiche per la sensoristica e la metrologia	138
Articolazione 4. Tecnologie quantistiche per l'efficienza e la sostenibilità energetica	142
Articolazione 5. Infrastrutture di ricerca per le tecnologie quantistiche	145
Articolazione 6. Formazione e capitale umano	149
4.6 Innovazione per l'industria manifatturiera	153
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	153
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	155
Obiettivi 2021-2027	157
Articolazione 1. Industria circolare, pulita ed efficiente	158
Articolazione 2. Industria inclusiva	162
Articolazione 3. Industria resiliente	166
Articolazione 4. Industria intelligente	170
Articolazione 5. Industria competitiva	173
4.7 Aerospazio	178
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	178
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	180
Obiettivi 2021-2027	180
Articolazione 1. Velivoli ad ala rotante di nuova generazione	182
Articolazione 2. Riduzione impatto ambientale e incremento del benessere in aeronautica	186
Articolazione 3. Velivoli autonomi	189
Articolazione 4. Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative	192
Articolazione 5. Controllo del traffico aereo	195
Articolazione 6. Volo suborbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro	198
Articolazione 7. Osservazione della terra (OT), telecomunicazioni (TLC) e navigazione	200
Articolazione 8. Esplorazione ed osservazione dell'universo	204
Articolazione 9. Accesso allo spazio	207
Articolazione 10. Satelliti di nuova generazione	210
Articolazione 11. Esplorazione umana dello spazio	212



4. DIGITALE, INDUSTRIA, AEROSPAZIO

Il contesto attuale e gli scenari futuri

Nell'attuale contesto geopolitico, sociale, economico e climatico in continua trasformazione, la ricerca sui grandi temi del grande ambito "Informatica, Industria, Aerospazio" è certamente una delle chiavi fondamentali per disegnare e costruire il domani che vogliamo per le future generazioni. Lo sviluppo della ricerca su questi temi è infatti imprescindibile per poter costruire un'Europa e un'Italia che possano proporsi come **società e comunità più inclusive, resilienti e sostenibili**, offrendo alle imprese gli strumenti necessari a comprendere e affrontare le sfide poste dalla globalizzazione e ai singoli cittadini le opportunità per migliorare gli standard di vita, offrendo loro nuove opportunità lavorative, un migliore welfare, una mobilità più sicura e una serie di nuovi servizi personalizzati nel rispetto di una equità sociale e intergenerazionale.

La transizione verde e la trasformazione digitale sono solo all'inizio. Grandi opportunità ci attendono per posizionare l'intero continente europeo, e a livello regionale anche il nostro Paese, come leader tecnologico e industriale di questa transizione. La visione generale alla base delle politiche e dei relativi investimenti proposti nell'ambito del Cluster 4 del programma Horizon Europe è infatti quella di un'Europa che progetta e sviluppa materiali innovativi, tecnologie competitive e affidabili per un'industria in grado di assumere posizioni di leadership globale in settori chiave, consentendo a produzione e consumo di rispettare i confini del nostro pianeta e massimizzando i benefici per tutte le parti di società nella varietà dei contesti sociali, economici e territoriali. La crisi sanitaria del 2020 ha inoltre ulteriormente dimostrato la necessità di rafforzare la base industriale europea, migliorandone la capacità di ripresa e la flessibilità sia in termini di materiali e tecnologie che di filiere per ridurre le dipendenze dell'UE dai Paesi terzi.

La nostra è un'epoca di grandi opportunità che sono anche il risultato dei significativi progressi raggiunti nel campo delle tecnologie. La trasformazione digitale della nostra economia e delle nostre società sta rivoluzionando il modo in cui viviamo e lavoriamo e chiama a un processo continuo di innovazione e di formazione delle persone, capace di adattarsi a tempi e a bisogni sempre nuovi. La trasformazione digitale rappresenta, secondo l'Agenda 2030 dell'ONU, l'elemento cruciale per generare processi di sviluppo stabili, duraturi ed efficaci, rendendo possibile la costruzione di un ambiente favorevole allo sviluppo sostenibile. La stessa Agenda, nel considerare le tecnologie, il digitale e l'innovazione fattori abilitanti per il raggiungimento di tutti i *Sustainable Development Goals*, dedica attenzione specifica ad essi con un Obiettivo, il nono "Costruire un'infrastruttura resiliente e promuovere l'innovazione e una industrializzazione equa, responsabile e sostenibile", che sottolinea come gli investimenti in infrastrutture siano essenziali per rafforzare la *capacity building* di molti Paesi, per la definizione di uno sviluppo industriale inclusivo e rispettoso dell'ambiente, per favorire politiche energetiche più efficienti e più verdi. «Senza tecnologia e innovazione non vi sarà industrializzazione e senza industrializzazione non vi sarà sviluppo» (UN, 2015).

Lo sviluppo umano e un'economia al servizio delle persone necessitano di integrare le transizioni digitale e climatica nell'economia sociale europea, in grado di coniugare equità sociale, sostenibilità e crescita economica. Un'Europa pronta per l'era digitale è un'Europa che sfrutta le opportunità che l'era digitale stessa genera, garantendo sicurezza e rispettando l'etica (Orientamenti Politici Commissione Europea 2019-2024). Va specificamente in questa direzione l'indicazione riportata nel documento della Commissione Europea "Una Strategia Europea per i Dati" che, per la costruzione di una economia agile fondata sui dati, esplicitamente invita a 'una nostra strada europea', alternativa a quelle intraprese da Stati Uniti e Cina.

Quanto previsto dall'Agenda 2030 e dal Green Deal della Commissione Europea è stato ampiamente recepito anche dal governo italiano in diversi documenti programmatici: basti citare il documento di Programmazione della politica di coesione 2021 - 2027 elaborato dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri e la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile del Ministero dell'Ambiente, nel quale la transizione digitale e lo sviluppo tecnologico sono considerati



driver e obiettivi strategici per raggiungere quella comune prosperità futura che le Nazioni Unite riconducono alla definizione di un progresso economico, sociale e tecnologico in armonia con la natura. Anche il documento “Proposte per la Strategia Nazionale per l’Intelligenza Artificiale” del Ministero dell’Industria e Sviluppo Economico riflette la necessità di una transizione digitale attraverso tecnologie software ed hardware dell’intelligenza artificiale che siano energeticamente, economicamente e socialmente sostenibili.

Transizione digitale, Big Data e calcolo ad alte prestazioni, tecnologie quantistiche, intelligenza artificiale, industria 4.0, robotica e aerospazio rappresentano settori di intervento e di finanziamento strategici indispensabili per sostenere le ambizioni dell’Europa e dell’Italia.

Non è quindi un caso che essi rappresentino le dimensioni degli ambiti in cui il Grande Ambito “Informatica, Industria, Aerospazio” si declina, le cui articolazioni di ricerca sono riassunte nel prospetto seguente.

AMBITO TEMATICO	ARTICOLAZIONI DI RICERCA
Transizione Digitale - I4.0	<ul style="list-style-type: none"> ● Servizi Human-Centered ● Comunità Sostenibili ● Competitività del Paese ● Dispositivi e Sistemi Eterogenei ● Reti di Sistemi Intelligenti
Tecnologie Quantistiche	<ul style="list-style-type: none"> ● Tecnologie quantistiche per computer e simulatori Tecnologie quantistiche per la comunicazione ● Tecnologie quantistiche per la sensoristica e la metrologia ● Tecnologie quantistiche per l’efficienza e la sostenibilità energetica ● Infrastrutture di ricerca per le tecnologie quantistiche ● Formazione e capitale umano
High Performance Computing e Big Data	<ul style="list-style-type: none"> ● 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. ● Ricerca di base in Ingegneria, Scienze e Tecnologie Informatiche per HPC e Big Data. ● Strutture distribuite e decentralizzate di calcolo e dati, per IoT, I4.0 e applicazioni sociali e di rete. ● Architettura, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Informatiche per la evoluzione dei dati della PA verso sistemi aperti, Big Data e servizi Cloud. ● 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 e europei
Intelligenza Artificiale	<ul style="list-style-type: none"> ● Intelligenza artificiale per l’intelligenza artificiale ● Intelligenza artificiale per l’individuo e la salute ● Intelligenza artificiale per la società ● Intelligenza artificiale per l’ambiente e le infrastrutture critiche ● Intelligenza artificiale per la produzione industriale
Robotica	<ul style="list-style-type: none"> ● Robotica in ambiente ostile ● Robotica per Industria 4.0 ● Robotica per l’ispezione e la manutenzione di infrastrutture ● Robotica per il settore agro-alimentare ● Robotica per la salute



Innovazione per l'Industria Manifatturiera	<ul style="list-style-type: none"> ● Industria circolare, pulita ed efficiente ● Industria inclusiva ● Industria resiliente ● Industria intelligente ● Industria competitiva
Aerospazio	<ul style="list-style-type: none"> ● Velivoli ad ala rotante di nuova generazione ● Riduzione impatto ambientale in aeronautica ● Velivoli autonomi ● Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative ● Controllo del traffico aereo ● Volo suborbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro ● Osservazione della terra (OT), Telecomunicazioni (TLC) e Navigazione ● Esplorazione ed osservazione dell'universo ● Accesso allo spazio ● Satelliti di nuova generazione ● Esplorazione umana dello spazio

Gli obiettivi del grande ambito

Coerentemente con quanto previsto nel Cluster 4 del programma Horizon Europe e in accordo alle priorità di sistema del PNR, sette sono i principali obiettivi derivanti dal sistema di misure a favore della ricerca e dell'innovazione del Grande Ambito "Informatica, Industria, Aerospazio".

OB1: Conseguire una posizione di leadership nell'economia circolare – finalizzato a creare sistemi di economia circolare, catene del valore e infrastrutture digitali pulite e neutrali dal punto di vista ambientale, attraverso innovativi processi di produzione e fabbricazione automatizzati, nuovi modelli di business, strumenti di predizione intelligenti, progettazione sostenibile di materiali e tecnologie che consentano il passaggio alla decarbonizzazione in tutti i principali settori industriali di emissione, comprese le tecnologie digitali verdi, rendendo il nostro Paese meno dipendente dalle importazioni esterne e aumentando la sua capacità di ripresa.

OB2: Raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale – per prevenire, mitigare e rispondere efficacemente a emergenze di natura ambientale, climatica, pandemica o finanziaria, garantendo una maggiore autonomia a livello nazionale nelle principali catene del valore strategiche con sicurezza dell'approvvigionamento di materie prime, promuovendo la costituzione in tempo reale di ecosistemi dinamici di innovazione e produzione industriale. Nello specifico, l'accesso alle materie prime primarie e secondarie, in particolare alle materie prime essenziali, rimarrà un prerequisito fondamentale sia per la sicurezza strategica del Paese sia per una transizione positiva verso un'economia neutrale e circolare.

OB3: Costruire una economia dei dati – con l'obiettivo di sviluppare una economia agile e dinamica, connessa e sicura mediante lo sviluppo e l'adozione di tecnologie e infrastrutture informatiche e di dati avanzate in linea con l'idea di essere parte attiva come sistema Paese di un mercato unico europeo dei dati. A tal fine sono di primaria rilevanza gli impatti da produrre sulla formazione di Aree Comuni di Dati Nazionali e sulla partecipazione italiana alle nove Aree Comuni proposte dalla strategia europea. I dati rappresentano ormai il nuovo carburante dell'economia e una risorsa chiave per affrontare le sfide sociali del Paese (e dell'intero continente europeo), evitando che solo un ridotto numero di aziende *big-tech* possano beneficiare del loro valore. Essi sono infatti la base per lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi, guidando la produttività e l'efficienza in tutti i settori dell'economia. L'economia dei dati necessita di mantenere e fortificare la leadership Italiana sia nella loro gestione sia ancor più nella loro elaborazione, anche in tempo reale, al fine di produrre conoscenza, sviluppare l'industria ICT italiana e fornire strumenti tecnologici autonomi per l'impiego dei dati nell'apprendimento e nella progettazione dei sistemi intelligenti di prossima generazione. Le attività di ricerca e innovazione dovranno in particolare rivolgersi, da un lato, ai dati della pubblica amministrazione, che costituiscono un



patrimonio inestimabile da valorizzare e condurre a piena e pervasiva fruizione sociale e industriale, dall'altro al fabbisogno di infrastrutture di calcolo e sistemi di gestione e analisi dei dati per il sistema produttivo italiano.

OB4: Consolidare e potenziare le tecnologie digitali ed emergenti affidabili – per rafforzare le capacità digitali chiave del Paese, riducendo il divario rispetto agli altri Paesi europei ed extraeuropei, e valorizzando le competenze e le eccellenze scientifiche e tecnologiche in settori chiave. I sistemi di gestione e analisi dei dati, i nuovi calcolatori pre-exascale, l'impiego di soluzioni robotizzate, le soluzioni di intelligenza artificiale affidabili e verificabili, l'implementazione di reti più veloci (5G-6G), nuovi paradigmi di elaborazione dei dati come *edge computing* e *quantum computing* nel rispetto della privacy offrono enormi opportunità per l'industria italiana di ricoprire un ruolo di leadership e di valore all'interno delle catene globali di fornitura digitale. Inoltre, il cambio paradigmatico generato dalle tecnologie quantistiche si esprimerà nei settori dell'informatica quantistica e della simulazione, della sensoristica e della comunicazione, rafforzando la leadership tecnologica in questa area strategica emergente e facendo leva sulle eccellenze consolidate.

OB5: Sostenere inclusione e innovazione sociale – attraverso la progettazione, lo sviluppo e l'utilizzo diffuso delle tecnologie centrate sulla persona, nei suoi diversi ruoli nella società, in quanto individuo, cittadino, lavoratore, educatore. Una transizione verde e digitale non adeguatamente gestita ed equilibrata può determinare forti squilibri ed essere fonte di ulteriori disuguaglianze tra lavoratori, regioni e comunità. Se da un lato l'adozione di nuove tecnologie offre un immenso potenziale per migliorare gli standard di vita, una mobilità più sicura, una migliore assistenza sanitaria, un aumento di produttività ed ergonomia del lavoro mantenendo al contempo un'elevata sicurezza, o la personalizzazione dei servizi pubblici, allo stesso tempo, può presentare forti rischi quali disallineamenti di competenze, divisioni digitali, blocco degli utenti o gravi violazioni della sicurezza o della privacy.

OB6: Raggiungere una posizione di leadership nell'aerospazio – al fine di rafforzare il ruolo strategico, industriale ed economico del nostro Paese nell'aerospazio, sostenendo in prima linea una serie di politiche dell'UE sia su aspetti di ricerca fondamentale, alla base del progresso delle conoscenze, sia sullo sviluppo di nuove tecnologie al fine di ridurre la sua dipendenza da fornitori di tecnologie e servizi extra UE, e consolidarne la posizione di eccellenza nel panorama internazionale. Per raggiungere questi obiettivi occorre puntare su temi prioritari, per i quali è necessaria una visione di lungo periodo, facendo leva sull'elevato potenziale della grande industria, delle PMI e delle startup in rete col mondo della ricerca scientifica, creando così anche occupazione stabile. In parallelo, tenendo conto che la dimensione e gli investimenti dei programmi di ricerca aerospaziale più ambiziosi e complessi necessitano sinergie nel contesto internazionale, questa politica di sviluppo consentirà all'Italia di essere ancora di più un interlocutore attivo e propositivo in ambito UE e mondiale.

OB7: Rafforzare l'ecosistema industria-ricerca e il trasferimento tecnologico – al fine di potenziare la relazione tra mondo della ricerca e della formazione e mondo industriale per affiancare e sostenere in particolare il manifatturiero e le PMI, nella sfida di mantenere/raggiungere un ruolo di leadership nelle tecnologie chiave. Ciò deve avvenire attraverso sfide di ricerca scientifica a lungo termine, e concertata tra i centri di ricerca nazionali, europei ed internazionali anche con finanziamenti pubblici e privati, nei settori emergenti nell'informatica, nell'industria e nelle tecnologie aerospaziali e quantistiche, per mantenere e, se possibile, rafforzare i ruoli di leadership scientifica in settori chiave, creando le premesse per lo sviluppo sostenibile economico e sociale delle prossime generazioni. Risulta quindi imprescindibile il rafforzamento e una maggiore interconnessione dell'ecosistema dell'innovazione (quali per esempio, a livello nazionale, le reti dei Centri di Competenza 4.0 dei Digital Innovation Hub e dei PID e, a livello europeo, le Knowledge and Innovation Communities o la rete di Infrastrutture per le Tecnologie Quantistiche) al fine di supportare le PMI nel processo di transizione digitale. Tutto questo, favorendo la creazione di poli produttivi per l'industria intelligente, valorizzando le attuali infrastrutture di ricerca nazionali in connessione anche con le infrastrutture di ricerca europee, accelerando la nascita di nuove imprese (anche attraverso spin-off condivisi da università, industrie e centri di ricerca), utilizzando piattaforme digitali per la commercializzazione dei prodotti e di tecnologie digitali per la dematerializzazione dei processi gestionali e contabili, potenziando la formazione terziaria avanzata (quali i dottorati a base industriale) e prevedendo specifiche misure per promuovere attività di formazione continua per i lavoratori.



Gli impatti attesi del grande ambito

IMP1: Sviluppo e miglioramento di catene del valore industriali e di infrastrutture digitali pulite e neutrali dal punto di vista ambientale.

IMP2: Raggiungimento di una resilienza sociale, economica ed ambientale e miglioramento della capacità di gestire eventi estremi e inattesi.

IMP3: Posizionamento italiano nell'economia dei dati nel rispetto di *privacy* e *security*.

IMP4: Posizionamento italiano nelle grandi infrastrutture europee per il super-calcolo, le tecnologie quantistiche e la scienza aperta.

IMP5: Affermazione dell'autonomia italiana nelle tecnologie digitali affidabili e *human-centered*.

IMP6: Definizione di una società inclusiva nell'uso delle tecnologie per l'individuo e per lo sviluppo dell'economia, ottimizzandone l'impiego e minimizzandone i rischi.

IMP7: Migliore posizionamento dell'industria aerospaziale nel contesto europeo ed internazionale.

IMP8: Miglioramento delle relazioni industria-università e creazione di un circolo virtuoso di trasferimento di competenze.



4.1 Transizione digitale – I4.0

Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni

L'ambito "Transizione Digitale – i4.0" rappresenta un settore della ricerca nel quale, insieme all'esigenza strettamente tecnologica di sviluppare una più ampia convergenza dei domini dell'informatica, dell'elettronica e delle 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 stanno emergendo con forza a livello individuale, di comunità e di Sistema Paese. La Transizione Digitale è senza dubbio un *driver* fondamentale per lo sviluppo economico e sociale dell'Italia che richiede uno sforzo congiunto e integrato di pubblico e privato, di ricerca fondamentale e applicata, di economia sostenibile ed etica, giurisprudenza e ordinamenti legislativi. Affinché ciò si verifichi, è tuttavia necessario che la ricerca possa essere in grado di intercettare e, ancor più, anticipare i temi e i bisogni emergenti e metterli immediatamente a valore, favorendone il pieno e diffuso sviluppo e la crescita di competitività dell'i4.0. Tutto questo assume maggiore importanza nella situazione attuale, 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*).

Come evidenziato anche in "Shaping Europe's Digital Future", la nuova Strategia per l'Europa Digitale 2020-2025, l'Europa e l'Italia dovranno affrontare la doppia sfida della transizione digitale e *green* se vogliono proporsi come economie moderne, efficienti, competitive: in tale processo le ricerche sul digitale e sull'i4.0 si configurano come alcuni dei principali volani per il raggiungimento dei *Sustainable Development Goals* dell'Agenda 2030. Attraverso l'adozione di modelli di produzione flessibili e interconnessi, oltreché di processi pienamente tracciabili e automatizzati nelle intere filiere produttive di qualsiasi settore, prodotti, servizi e operatori saranno connessi a piattaforme intelligenti in cloud, in grado di ottimizzare i parametri produttivi così come quelli della sicurezza, in coerenza con l'intero sistema logistico-produttivo e i trend di mercato. Sistemi di telecomunicazioni sicuri e ad altissime prestazioni (5G e successivi) e servizi *cloud* sia centralizzati che distribuiti consentiranno la raccolta di informazioni da sensori eterogenei, persone, infrastrutture, dispositivi, prodotti, oggetti, ma anche processi, secondo i paradigmi IoT e IoP, dando vita a modelli di interazione per la società e per l'industria adattativi e personalizzabili, anche in forma automatica, fornendo nuovi servizi digitali di più grande valore aggiunto e consentendo lo sviluppo di nuovi prodotti *on-demand* anche attraverso approcci *just-in-time*.

Gli assi di ricerca di questo Ambito del PNR sono stati pertanto strutturati secondo linee di ricerca strategiche e scientifico-tecnologiche. Ciò risponde a quanto previsto dal Programma Horizon Europe (2021-2027) che considera le tecnologie digitali uno dei poli tematici del Cluster 2 del Programma, nell'ambito del quale il digitale ha margini di azione e di intervento trasversali, ma anche un settore per possibili partenariati europei istituzionalizzati (a norma degli art. 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 di finanziamento disponibili.

Le articolazioni di ricerca strategiche sono quindi orientate a sostenere l'innovazione continua, secondo il paradigma dell'Open Innovation. Le potenzialità della transizione digitale si concretizzano sia attraverso Sistemi Human-Centered sia mediante il rafforzamento di Comunità Sostenibili e della Competitività del Paese. Le articolazioni di ricerca scientifico-tecnologica 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. Le azioni delineate puntano a limitare drasticamente la dipendenza tecnologica da Paesi terzi, specialmente in ambiti strategici come Difesa, Telecomunicazioni, Aerospazio e Cybersecurity.

Affinché la Transizione Digitale possa generare gli effetti auspicati, è indispensabile consentirle di permeare la società e le imprese, le persone e il loro modo di lavorare, la stessa organizzazione aziendale e le relazioni tra differenti stakeholder. La *European Industrial Strategy 2019-2024* sottolinea come la transizione digitale consenta a industria e



PMI di essere proattive, di sostenere la decarbonizzazione dell'economia, di perseguire lo sviluppo sostenibile. Servono, dunque, azioni "abilitanti" da affrontare in una dimensione sistemica che il PNR 2021-2027 dovrà considerare in modo integrato e trasversale rispetto ai diversi Ambiti e che comprendono: lo sviluppo di competenze digitali diffuse (come richiesto, tra l'altro, dalla nuova European Skills Agenda, pubblicata il primo luglio 2020), l'aggiornamento della normativa sui sistemi e servizi digitali per PA e aziende, l'adozione di modelli economici e sociali resilienti e pienamente sostenibili a supporto della transizione digitale e dell'IdO, la standardizzazione di processo e prodotto, aspetti etici e di privacy.

Il piano delle ricerche scientifico-tecnologiche delineato nei punti precedenti vede infatti amplificata la sua efficacia da un programma di attività "di contorno" in ambiti che non sono digitali in senso letterale ma che sono comunque essenziali per tradurre in realtà, secondo il modello "open innovation", lo sviluppo delle idee della ricerca prettamente tecnologica. Il potenziale di profondo cambiamento che le tecnologie hanno nei confronti della società e del mondo produttivo deve essere preparato e perciò analizzato in tutti i suoi multiformi aspetti, che superano la semplice (ma ancora temuta) "sostituzione dell'uomo" in compiti routinari o pericolosi e l'ottimizzazione dei processi produttivi attraverso l'automazione. La pervasività degli algoritmi di intelligenza artificiale o di strumenti di analisi di big data andrà oltre tutto questo e genererà degli scenari completamente nuovi. In considerazione di ciò, già da ora occorre pensare a profondi e molteplici cambiamenti da apportare ai sistemi cui la tecnologia si rivolge: i modelli di business devono essere riconsiderati e, in taluni casi, completamente rivisti rispetto alla realtà attuale; le aziende devono essere supportate in questa trasformazione (si pensi ad esempio, all'impatto dell'introduzione di *blockchain* e *smart contract* nei processi produttivi e nelle interazioni commerciali); le particolarità legate alla localizzazione e al contesto socio-culturale certamente influenzano ma non devono ostacolare la transizione; i processi industriali devono cambiare volto, tenendo al centro oltre la produttività anche temi ineludibili come la sostenibilità ambientale, oltre che economica, e la sicurezza (nel suo duplice significato di *security* e *safety*); i sistemi educativi devono essere adeguati alle esigenze formative poste dalle nuove tecnologie e anche alle sfide che la diffusione incontrollata di ogni tipo di informazione pone al senso critico dei cittadini; i sistemi di governance devono tenere conto della dimensione digitale della cittadinanza e garantire pari opportunità a tutte le persone, comprese quelle fragili o con disabilità, nonché trasparenza e correttezza dei meccanismi democratici e dei meccanismi di gestione dei dati personali.

La sfida che il futuro ci presenta è enormemente impegnativa e richiede una visione olistica in cui tecnologie e fattori socio-economici e culturali viaggiano di pari passo e costruiscono armonicamente questa visione.

La digitalizzazione è già oggi una delle principali leve di competizione a livello mondiale. Il tasso di innovazione e di adozione delle tecnologie rappresenta un fattore critico di successo indispensabile. In un Paese come l'Italia, il cui tessuto economico è prevalentemente costituito da micro e piccole imprese con aree di eccellenza a livello internazionale, questo processo necessita di uno sforzo di sistema per far sì che l'innovazione tecnologica del prodotto si accompagni a meccanismi snelli e competitivi che ne agevolino la valorizzazione sul mercato. Tra l'altro, l'adozione di tecnologie digitali consente già oggi di migliorare i processi di produzione, certificazione, qualificazione, distribuzione e vendita; di migliorare l'efficienza e l'efficacia organizzativa e produttiva interna; di realizzare reti interorganizzative che favoriscono la competitività. Tutto questo, unitamente all'immaterialità dei "beni digitali", può e deve essere un'opportunità anche per la promozione di nuova imprenditorialità tra i giovani e di nuove metodologie cooperative di sviluppo dei prodotti. Queste esigenze implicano già da ora un profondo ripensamento anche dei meccanismi che stanno alla base dell'innovazione, come ad esempio le politiche di protezione della proprietà intellettuale e più in generale della relazione, spesso ancora carente, tra mondo della ricerca e mondo dell'impresa. Per questo motivo, risulta fondamentale promuovere l'armonizzazione tra le politiche della ricerca nella loro concretizzazione sui vari livelli (europeo, nazionale, regionale) e sui diversi settori perché da un lato è sempre più sfumato il confine tra le diverse discipline e dall'altro la soluzione ai problemi complessi che il futuro ci pone richiede sempre di più un'interazione sistematica tra diverse conoscenze e competenze (interdisciplinarietà), diversi ambiti di lavoro (intersectorialità) e diversi livelli di attuazione (interistituzionalità).

È necessario assicurare la transizione verso il digitale mediante una misurazione sistematica dello stato di adozione e dei conseguenti benefici strategico-organizzativi che ne derivano. Ciò avviene attraverso l'adozione di una serie di indicatori tecnologici, economici e di *performance* che consentono un confronto sistematico tra imprese dello stesso settore o di settori affini e di Paesi diversi. Tale indirizzo consente anche di misurare l'efficacia di progetti di ricerca



innovativi e l'applicazione dei risultati che ne derivano. Oltre al Digital Economy and Society Index (DESI) che misura fattori quali Connettività (sviluppo e accesso alla banda larga), Capitale umano (competenze digitali), Uso di internet (attività compiute grazie a Internet), Integrazione delle tecnologie digitali (digitalizzazione delle imprese), Servizi pubblici digitali (digitalizzazione della PA e e-Government) è opportuno che siano sistematicamente definiti e adottati nuovi indici per monitorare con efficacia i fattori abilitanti la transizione.

Come noto, la transizione digitale impatta su molti altri aspetti della realtà, dalle questioni di tipo sociale all'identità culturale, che a loro volta influiscono sulle prospettive e sulle necessità economiche ma non esauriscono in essi il loro significato. Se da un lato la transizione digitale è per sua natura un fenomeno globale, dall'altro questa deve essere guidata in maniera tale da non generare omologazione culturale, ma al contrario, è indispensabile che vengano valorizzate le ricchezze di ciascun Paese, di ogni comunità locale, di ciascuna persona nelle sue specificità (anche di genere).

È ben noto come per l'Italia sia imprescindibile valorizzare la formazione altamente qualificata, gratificare le competenze trasversali e le capacità creative di ognuno. L'Italia deve diventare un Paese attrattivo per i migliori talenti: è questa la chiave di volta della competitività. Contestualmente serve fare in modo che ogni talento, ogni professionalità, possa evolvere e adattarsi al cambiamento vedendo in esso sempre un'opportunità e mai una minaccia. Questo è sicuramente ancor più vero nell'ambito della Transizione Digitale, sicuramente caratterizzato da alta trasversalità e multidisciplinarietà. Lo strumento del Dottorato di Interesse Nazionale, che sta nascendo in questi mesi in Italia, sembra essere un atto iniziale ma fondante di una nuova era nello sviluppo di competenze tecnico-scientifiche di altissimo profilo, necessarie fra gli altri ambiti proprio in questo della Transizione Digitale.

Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

L'accesso limitato alle tecnologie digitali e il loro utilizzo parziale è una delle più importanti criticità italiane che interferisce negativamente su tutte le Aree delle scienze tecnologiche, delle scienze della vita e delle scienze umane. Le analisi sulla diffusione sociale delle tecnologie digitali e sul loro uso per ragioni connesse all'attività lavorativa o formative, nonché l'approfondimento sull'investimento in Ricerca e Sviluppo delle imprese nel settore ICT, mostrano una condizione di debolezza da parte dell'Italia rispetto ad altri paesi europei ed extraeuropei, particolarmente accentuata nelle regioni del sud. I dati del DESI 2020 mostrano livelli di accesso e utilizzo da parte della popolazione e di spesa delle imprese non allineati a quelli di alcune realtà tra cui Regno Unito, Germania e Francia. Questo non può essere sottovalutato, soprattutto in considerazione degli effetti che le tecnologie dell'informazione e della comunicazione producono sull'economia e sulla società nel breve e nel lungo periodo. I fabbisogni di competenze, per di più, evolvono rapidamente, soprattutto in seguito ai profondi cambiamenti dovuti alla digitalizzazione e alla globalizzazione. Con l'introduzione delle tecnologie digitali il 35,5% dei posti di lavoro verrà profondamente trasformato (OCSE, 2020). Per tali ragioni, nel rapporto "Adult Learning in Italy: what role for Training Funds?" pubblicato lo scorso 11 marzo, l'OCSE raccomanda all'Italia di "Equipping workers with ICT skills needed for the digital transformation. All Training Funds could develop a dedicated budget line for technological innovation; and/or give a higher score to training plans that include a technological innovation component (e.g. skills required under Industry 4.0)".

Le politiche industriali e di ricerca sulla Transizione Digitale e l'Industria 4.0 devono necessariamente prendere in considerazione la situazione reale della società italiana e dell'industria, con i suoi indubbi elementi di debolezza ma anche con le sue capacità di adattamento rispetto ai nuovi scenari, e le sue potenzialità. L'esigenza di investire per potenziare il contesto scientifico e innovativo in un'ottica di lungo periodo (quali gli investimenti in risorse umane, in ricerca pubblica effettuata nelle Università e negli Enti di ricerca, la creazione di adeguate infrastrutture) deve essere ponderata con l'accrescimento della capacità delle imprese di capitalizzare tali nuove opportunità oltre che con il rafforzamento delle strutture atte a sostenerle nelle attività innovative, in modo da trasformare concretamente l'attuale modello di specializzazione produttiva. Una attenzione specifica deve inoltre essere rivolta alla pubblica amministrazione, che necessita di essere attrezzata – attraverso l'immissione di nuove competenze, interventi di



formazione e *capacity building* – per promuovere, facilitare, realizzare e accompagnare processi di innovazione tecnologica e sociale del Paese.

La Transizione Digitale gioca un ruolo fondamentale per l'Italia in settori strategici, quali gestione energetica (Smart Grid), Green Economy, Mobilità intelligente, IoT, Industria 4.0, Smart City, sistemi multimediali per applicazioni culturali e creative. Aziende a partecipazione italiana sono presenti nel mercato dei microprocessori, microcontrollori e sensori con quote di rilievo, in particolare nei settori automotive, *health* e mobile, con competenze che possono essere indirizzate a vantaggio del tessuto produttivo a forte vocazione manifatturiera presente in Italia. Considerazioni analoghe si applicano alla fotonica industriale indirizzata alla produzione di laser per macchine utensili.

Lo sviluppo di tali scenari applicativi richiede tuttavia forti investimenti nella ricerca fondamentale e applicata: nelle Tecnologie Digitali, per realizzare sistemi eterogenei complessi in grado di offrire servizi diversificati ad un sempre più variegato e ampio insieme di individui, comunità e sistemi produttivi; nelle Telecomunicazioni, per garantire una maggiore velocità di trasmissione dati, basse latenze, affidabilità elevatissima, sicurezza informatica e capacità di gestire e localizzare un numero elevatissimo di oggetti e persone, nonché lo sviluppo di nuovi servizi multimediali; nell'Elettronica, per lo sviluppo di materiali e dispositivi innovativi, dei relativi processi produttivi, in una prospettiva di efficienza energetica e basso impatto ambientale, ormai fondamentale in molte aree di ricerca.

Per quanto riguarda le Digital Technologies, ispirandosi all'*International Roadmap for Devices and Systems (IRDS)* della IEEE, si possono individuare tre settori chiave: (1) *Cyber Physical Systems*, caratterizzati dall'integrazione tra un sistema fisico e un sistema digitale che lo controlla, (2) *Software Systems*, ovvero sistemi software altamente adattabili, interoperabili, scalabili ed estendibili per la gestione e l'interconnessione di apparati produttivi, di calcolo e di archiviazione, (3) *Sensors and IoT*, che vedono l'utilizzo di sensori evoluti ed eterogenei in tutti i campi della vita sociale e produttiva. Lo sviluppo tecnologico deve favorire la progettazione di sistemi intelligenti, con vincoli sempre più stringenti in termini di prestazioni, riconfigurabilità, affidabilità, ingombri e consumi.

La complessità dei *Cyber Physical Systems* e dei sistemi software motiva lo sviluppo di metodologie e strumenti per la progettazione guidata da modelli, per la configurazione automatica e adattiva, per l'automazione del testing e la correzione dei difetti. Risulta fondamentale investire in nuovi ambienti di condivisione e supporto alla progettazione. La crescita del paradigma IoT, infine, richiede lo sviluppo di nuove soluzioni per la realizzazione e la gestione di reti wireless di sensori e attuatori innovativi e multifunzionali, anche con capacità di *edge computing*, in grado di operare in ambienti ostili, complessi e ad elevata dinamicità.

Gli ambiti applicativi di questi sistemi digitali richiedono la convergenza di telecomunicazioni e tecnologie dell'Informazione in un'unica infrastruttura integrata, che è alla base dello sviluppo dell'ecosistema delle reti 5G e 6G. Ciò richiede lo sviluppo di innovativi sistemi di antenne intelligenti, l'ottimizzazione di reti integrate terrestri e satellitari (anche su onde millimetriche) e la coesistenza, cooperazione e integrazione con altri sistemi di comunicazione radio e ottici. È necessario trasformare le architetture di rete attuali secondo i paradigmi di programmabilità e virtualizzazione delle funzionalità al fine di consentire una più efficiente gestione dei flussi dati e l'adattamento automatico dei parametri di sistema al contesto operativo e alla posizione e profilo degli utenti. Rete e terminali smart dovranno collaborare per fornire le necessarie risorse di calcolo e *storage*, secondo il principio di *multi-access edge computing*. Le suddette applicazioni richiederanno, inoltre, tecniche innovative di elaborazione di segnali eterogenei, anche direttamente sullo strato fisico, assicurando massima efficienza e garanzia di totale sicurezza da attacchi informatici. Il rafforzamento delle posizioni nelle tecnologie di base, dei materiali, dei processi e mezzi di produzione di dispositivi e circuiti è un elemento strategico per il futuro sviluppo tecnologico ed economico, italiano ed europeo.

Particolarmente in ambito "More than Moore", cresce la necessità di aggiungere, a valle di processi convenzionali, fasi di fabbricazione e packaging non standard, per integrare materiali e dispositivi innovativi, quali ad esempio materiali a conduzione mista ionica-elettronica e polimeri organici, e circuiti ad alta frequenza per l'industria Telecom 5G e 6G. L'integrazione di dispositivi ottici e fotonici con processori, memorie, Networks-on-Chips o elettronica di controllo è fondamentale sia per superare gli stringenti limiti di banda e consumo, sia per abilitare nuove generazioni di sensori integrati, ottici e in fibra. Ambiti quali automotive, Industria 4.0 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. Lo sviluppo degli ambiti IoT, 5G e 6G richiede inoltre circuiti integrati analogico-digitali ad alta efficienza energetica, nonché circuiti monolitici a microonde ed onde millimetriche a bassa cifra di rumore, convertitori, filtri 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. Va altresì considerato l'enorme potenziale di innovazione dei sensori intelligenti e connessi, anche su substrati flessibili e/o biocompatibili, dei dispositivi MEMS e NEMS, delle nano-antenne e della spintronica.

Per la ricerca e la realizzazione su grande scala di prodotti nei settori industriali rilevanti per l'economia del Paese, sono da ritenersi prioritari gli aspetti connessi all'affidabilità di sistemi digitali, componenti elettronici, in particolare in ambienti ostili e applicazioni critiche (radiazioni, medicale, aerospazio, difesa, centri di elaborazione dati) e quelli relativi ai fenomeni fondamentali alla base del rumore nei processi di conduzione elettrica e alle fluttuazioni dei parametri di processo e delle caratteristiche circuitali.

Per favorire l'allineamento con Horizon Europe, il pilastro *Global Challenges and Industrial Competitiveness* risulta essere tra i più interessanti per tracciare uno sviluppo della Transizione Digitale, stante l'articolazione tematica e l'entità dei finanziamenti previsti. In particolare, tra i Cluster di ricerca in cui si articola il predetto pilastro, l'ambito trova la sua naturale collocazione e svolge un ruolo imprescindibile in quello denominato *Digital and Industry* con centralità specifica nell'*Area of Intervention 'Key digital technologies'* e ha collegamenti importanti con le Aol *Manufacturing technologies* e *Advanced Materials*. L'area gioca inoltre un ruolo chiave nei Cluster *Health and Climate* ed *Energy and Mobility*.

Tra i poli tematici del secondo pilastro sono certamente di piena pertinenza quelli relativi a tecnologie digitali e produttive, materiali innovativi, nano elettronica e nano ingegneria, reti di prossima generazione, IoT e internet tattile, strutture di calcolo ad alte prestazioni, nuovi processi industriali circolari a basse emissioni, tecnologie per veicoli autonomi. Horizon Europe prevede l'introduzione di politiche di ricerca e innovazione basate su missions, con risultati dimostrabili e di chiaro impatto sulla società. Un ruolo importante potrà essere svolto in questo contesto dalle infrastrutture di R&I tra cui gli impianti produttivi pilota, secondo quanto parzialmente delineato dall'iniziativa europea Vanguard (es. Efficient and Sustainable Manufacturing).

L'ambito Transizione Digitale presenta uno strettissimo legame fra pubblico e privato, tra ricerca fondamentale e applicata, fra ricerca accademica e industriale. Esso è ben allineato con i piani della ricerca sopra citati e sostanzialmente matura per adattarsi ai nuovi 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.

Il contesto europeo di RD&I nell'ambito della Transizione Digitale è fortemente caratterizzato dalla presenza della *Joint Undertakings* ECSEL, dedicata a componenti e sistemi elettronici. ECSEL copre l'intera catena del valore "materiali, linee produttive, tecnologie, circuiti e sistemi integrati", coerentemente con la necessità di una visione unitaria delle tecnologie hardware e software. ECSEL coordina finanziamenti di RD&I e la periodica emissione di bandi per progetti e cura un'agenda della ricerca organizzata secondo una matrice di cinque aree applicative e altrettante capacità essenziali, tutte in stretta relazione con i temi dell'area. La nascita di una nuova alleanza sulle *Key Digital Technologies* (KDT) porterà ad un ulteriore allargamento di ECSEL con l'inclusione dei dispositivi per la fotonica, il software ed il calcolo ad alte prestazioni (HPC), realizzando così nuove relazioni con le piattaforme europee Photonics e NESSI. Rafforzare la presenza di tematiche e competenze tipiche della Transizione Digitale è dunque di importanza strategica, considerato l'apporto sinergico che hardware e software devono fornire allo sviluppo di soluzioni innovative in tutti i campi della Ricerca e dell'Industria.

La Transizione Digitale è centrale anche nelle iniziative europee legate al settore manifatturiero. La PPP *Factories of the Future* (FoF) ha presentato varie roadmap che identificano sfide di ricerca e sviluppo come *High performance manufacturing* e *ICT-enabled intelligent manufacturing*, priorità di ricerca come *Digital, virtual and resource-efficient factories*, *Laser-based advanced manufacturing*, *Collaborative and mobile enterprises* e *Interoperable digital manufacturing platforms*. I temi della Transizione Digitale caratterizzano fortemente la roadmap Europea NEREID, che delinea gli sviluppi attesi nei prossimi dieci anni della micro- e nano-elettronica, in particolare quelli più promettenti negli ambiti applicativi e multidisciplinari. In essa, ampio spazio viene dato all'area "More than Moore", che l'Europa persegue come fattore distintivo rispetto ad America ed Estremo Oriente.



La ricerca italiana deve valorizzare e rafforzare il collegamento con ECSEL e il suo successore, oltre che con FoF, NEREID, IRDS e le altre iniziative sopra citate nella versione in cui saranno sviluppate nella programmazione 2021-2027.

Obiettivi 2021-2027

In questa Sezione sono elencati i macro-obiettivi, pienamente coerenti con quelli del Macro Ambito, necessari alla realizzazione di un'efficace Transizione Digitale e allo sviluppo dell'i4.0 nell'orizzonte di questo PNR e fondanti per un consolidamento scientifico, tecnologico, culturale e sociale nel lungo termine. I macro-obiettivi sono divisi in due categorie: Sociali e Strategici e Scientifico/Tecnologici. Il conseguimento di questi macro obiettivi si articola in un insieme di obiettivi più specifici inquadrati nel tema di riferimento di ciascuno dei cinque ambiti considerati, come dettagliato nelle rispettive sottosezioni.

Obiettivi sociali e strategici

- Promozione di una trasformazione digitale della società e dei settori produttivi che sia ecologica, in accordo con il Green Deal europeo, e capace di sostenere l'innovazione continua, secondo il paradigma dell'Open Innovation
- Superamento del Digital Divide sia di natura tecnologica che funzionale
- Sviluppo di soluzioni tecnologiche finalizzate all'estensione dell'accesso ai servizi digitali a tutte le categorie di cittadini, con particolare riferimento alle categorie fragili, alle persone con disabilità, alle persone con meno competenze digitali
- Incentivare la ricerca in collaborazione fra università e enti di ricerca con l'industria mediante strumenti sostenibili (potenziamento del credito d'imposta, flessibilità della quota di cofinanziamento, facilitazione nelle anticipazioni di cassa ecc.), agili e mirati a valorizzare il ruolo di innovation driver della ricerca pubblica, tenendo conto delle relative specificità
- Sviluppo di nuovi modelli di gestione della proprietà intellettuale nell'interazione tra ricerca pubblica e privata, che prevedano un ruolo paritario per la valorizzazione dell'innovatività della ricerca
- Implementazione di strategie per la valorizzazione di un'azione di ricerca trasversale ai settori disciplinari (interdisciplinarietà), agli ambiti di lavoro (intersettorialità) e ai diversi livelli di attuazione (interistituzionalità), anche attraverso la promozione e l'istituzione di Dottorati e Dottorati di Interesse Nazionale sulla tematica della Transizione Digitale
- Drastica limitazione della dipendenza tecnologica da Paesi terzi, specialmente in ambiti strategici come Difesa, Telecomunicazioni, Aerospazio e Cybersecurity
- Adeguamento dei sistemi educativi alle opportunità offerte dalle nuove tecnologie digitali
- Sviluppo di una digital literacy per lo sviluppo di un senso critico del cittadino e di resilienza alla diffusione incontrollata di informazioni artefatte (in linea con la nuova European Skills Agenda, pubblicata il primo luglio 2020)
- Adeguamento dei sistemi di governance alla dimensione digitale della cittadinanza e all'esigenza di garantire pari opportunità, trasparenza e correttezza dei meccanismi democratici e di gestione dei dati personali
- Promozione di servizi per una nuova imprenditorialità tra i giovani e di nuove metodologie cooperative di sviluppo dei prodotti
- Sviluppo di servizi e dispositivi atti a promuovere e valorizzare le unicità delle attività artigianali e artistiche nazionali
- Sviluppo di tecnologie digitali orientate al superamento delle barriere e delle discriminazioni nel mondo della formazione e del lavoro.
- Miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia organizzativa e produttiva interna delle aziende e realizzazione di reti inter-organizzative che favoriscono la competitività
- Sviluppo di nuovi servizi digitali per la valorizzazione del patrimonio culturale del Paese
- Piena realizzazione dei paradigmi "smart" negli ambienti di vita e produttivi (Smart City, Smart Industry, Smart Agriculture)



- Sviluppo di nuovi servizi digitali per rendere il sistema socio-sanitario il più efficiente, economico e capace di rispondere rapidamente alle necessità dei cittadini.

Obiettivi scientifici e tecnologici

- Sviluppo di metodologie e strumenti per la progettazione guidata da modelli, per la configurazione automatica e adattiva, per l'automazione del testing e la correzione dei difetti in sistemi cyber-fisici, software, e IoT
- Integrazione dei sistemi di potenza, di gestione e produzione dell'energia con quelli di elaborazione e controllo con l'ausilio di semiconduttori ad alto band-gap
- Sviluppo di nuove architetture hardware (CPU, FPGA, strutture ibride, memorie) per applicazioni embedded, real-time e HPC
- Sviluppo di human-machine-interface per facilitare l'utilizzo delle tecnologie digitali da parte di tutti i cittadini
- Miglioramento dell'affidabilità di sistemi elettronici complessi operanti in condizioni estreme e in presenza di radiazioni.
- Completamento del processo di transizione delle reti di telecomunicazioni secondo i paradigmi alla base dello sviluppo dell'ecosistema delle reti 5G e 6G, che includono virtualizzazione e programmabilità delle funzionalità di rete, integrazione con processi informatici distribuiti (edge/fog computing), coesistenza, cooperazione e integrazione di reti terrestri e satellitari e altri sistemi di comunicazione radio e ottici, terrestri, acquatici e aerei.
- Sviluppo di antenne di nuova generazione con elaborazione dei segnali sullo strato fisico, basate su meta e nano materiali, anche per l'uso di nuove bande millimetriche e sub-millimetriche
- Sviluppo dell'elettronica basata su polimeri organici per sensori smart e applicazioni di largo consumo a basso impatto ambientale
- Consolidamento e rafforzamento della ricerca fondamentale sul rumore nei fenomeni di conduzione per lo sviluppo di materiali, processi di produzione, dispositivi e circuiti elettronici
- Sviluppo di sensori e dispositivi fotonici integrati e in fibra ottica
- Realizzazione di infrastrutture avanzate per lo sviluppo e la sperimentazione di dispositivi elettronici e sensori con processi d'avanguardia in micro e nanoelettronica.

Articolazione 1. Servizi human-centered

L'individuo è il primo attore e fruitore del cambiamento di paradigma portato dalla digitalizzazione. La strategia del cambiamento non può quindi che partire dalla considerazione delle sue necessità, caratteristiche, abilità di adattamento. È questa la ragione per la quale la persona e i suoi diritti devono essere considerati al centro del processo di transizione digitale, che deve considerare tutti i ruoli che ciascuna persona ricopre nelle varie fasi della vita e promuovere la parità di accesso per tutte e tutti a ciascuna delle opportunità offerte dalla società futura.

La possibilità di accedere ai servizi digitali in modo semplice, sicuro, ed economicamente sostenibile è condizione necessaria per permettere la Transizione Digitale di individui, società civile, imprese, e PA. In questo momento, nel nostro Paese, il Digital Divide risulta ancora essere un ostacolo importante alla diffusione dei servizi digitali sul territorio nazionale e alla loro fruizione. Il fenomeno del Digital Divide assume due aspetti principali: uno tecnologico e l'altro funzionale. Il primo fa riferimento alle carenze nelle infrastrutture di comunicazione e negli strumenti telematici necessari a consentire un efficace accesso ai servizi digitali da parte dell'utenza, anche attraverso lo sviluppo di sistemi e interfacce adattive e personalizzate. La componente funzionale si riferisce alla mancanza delle conoscenze informatiche minime da parte degli individui per poter usufruire dei servizi digitali offerti nel cyberspazio. Una recente indagine dell'Istat, infatti, ha rilevato che il 34% circa delle famiglie non possiede un computer o tablet in casa. Inoltre, il 56% di coloro che non sono connessi a Internet dichiarano che la ragione non è tecnologica, bensì legata a una bassa cultura digitale che si riflette in una scarsa capacità di navigazione o di uso dei dispositivi informatici.



È quindi indispensabile promuovere azioni di ricerca che siano volte a colmare sia i gap tecnologici che culturali, rendendo i servizi digitali accessibili e utilizzabili da tutti, favorendo lo sviluppo di modelli adattivi di human-computer interaction e di sistemi evoluti (es. serious gaming) per il social engaging e per favorire la transizione digitale.

In particolare, la futura generazione dei servizi presenterà la necessità di essere fortemente incentrata sui diversi aspetti della percezione umana. Alcuni esempi includono i servizi legati alla realtà virtuale e a quella aumentata. Infatti, in queste classi di servizi, la misurazione della quality of service tradizionale non è sufficiente a garantire un'esperienza d'uso soddisfacente per l'utente finale, che risulta dalla combinazione di una moltitudine di percezioni e sensazioni, condizionata dalle capacità e dai limiti cognitivi individuali che possono alterare la percezione sulla qualità del servizio offerto. Conseguentemente, il ruolo dell'individuo all'interno delle tecnologie di nuova generazione sta progressivamente aumentando di importanza. In particolare l'approccio human-in-the-loop, che colloca la conoscenza e l'esperienza delle persone al centro dei processi, appare tra i paradigmi maggiormente promettenti.

Inoltre, i cyber physical system potranno realizzare una profonda integrazione delle intenzioni, delle azioni, e degli stati emotivi e psicologici degli utenti che interagiscono con i sensori e gli oggetti intelligenti presenti nel contesto, dando vita non solo a sistemi intuitivi per l'utente medio ma anche ad interi ecosistemi capaci di monitorare l'utente in tutta la sua complessità, valutandone anche il profilo emotivo ed emozionale.

Rispetto agli altri Paesi europei, in Italia il processo di transizione nei settori strategici degli Human-Centered Services sembra procedere con maggiore lentezza, soprattutto in riferimento alle politiche sociali, di welfare, della PA, della giustizia, della formazione e dei processi industriali. Le cause principali sono sì legate a problemi di natura culturale ma soprattutto al fatto che i processi sottostanti non sono stati progettati mettendo al centro la persona. In questo senso, occorre dare nuovo impulso alle ricerche riguardanti l'identità digitale, anche attraverso lo sviluppo di tecnologie biometriche privacy-preserving, tecnologie didattiche (per tutte le fasce d'età, incluso il lifelong learning), servizi alla persona, modelli di e-governance, tecnologie di supporto all'individuo nel mondo del lavoro (facendo particolare attenzione a tutto ciò che può rendere questo ambito realmente inclusivo, con riferimento anche al superamento del gender gap e ai bisogni delle persone con disabilità), tecnologie di edutainment (includendo anche le applicazioni al mondo dello sport) e di fruizione di contenuti culturali (garantendo l'accessibilità dei contenuti e applicazioni a tutti gli utenti comprese le persone fragili o con disabilità).

La transizione digitale è una grande opportunità per affrontare il problema dell'invecchiamento della popolazione. Nel 2050 l'ISTAT prevede che il 34% della popolazione italiana sarà costituita da ultra 65-enni, e che la vita media aumenterà di circa 3 anni per entrambi i generi.

Questo impone di porre specifica attenzione all'educazione digitale della popolazione dalla più tenera età fino alle generazioni più anziane. In questo l'approccio human-centered conduce in modo naturale allo sviluppo di servizi digitali progettati per essere utilizzati da ogni categoria di cittadini (uomini, donne, individui con disabilità), in ogni fase della vita (bambini, adulti, anziani) al fine di aumentare il livello di benessere e di familiarità con la tecnologia, condizione necessaria affinché questa diventi davvero "abilitante".

Un altro punto chiave riguarda la necessità di sostenere lo sviluppo di tecnologie per la salute che abbraccino una prospettiva "human-centered" di supporto alla diagnosi e al trattamento delle malattie ed alla telemedicina, con enfasi in particolare alle problematiche dell'aging e alla medicina di genere e personalizzata (analisi point of care, riabilitazione remota supportata da strumenti tecnologici come robot e/o Multifunctional Sensors per il monitoraggio di parametri biometrici e biologici), resa possibile dallo sviluppo delle tecnologie "omiche", intrinsecamente basate non solo sul progresso delle tecnologie sensoristiche ma anche sulla capacità di trattamento delle grandi moli di dati da esse generati.

Obiettivi

1. Sviluppo di soluzioni tecnologiche finalizzate all'estensione dell'accesso ai servizi digitali a tutte le categorie di cittadini, con particolare riferimento alle categorie fragili, alle persone con disabilità, alle persone con meno competenze digitali.
2. Sviluppo di metodologie per la valutazione dell'esperienza d'uso di servizi digitali (quality of experience) in grado di considerare caratteristiche percettive individuali



3. Sviluppo di metodologie per la promozione dell'approccio human-in-the-loop nella progettazione e realizzazione di sistemi e servizi digitali
4. Sviluppo di modelli di e-governance e identità digitale, con applicazioni privacy-preserving alle politiche sociali, alla PA e alla Giustizia
5. Sviluppo di tecnologie biometriche per l'accesso a servizi personalizzati
6. Sviluppo di tecnologie digitali per una didattica innovativa (in presenza e a distanza) e promozione della loro adozione
7. Sviluppo di tecnologie orientate al superamento delle barriere e delle discriminazioni nel mondo del lavoro.
8. Sviluppo di soluzioni e servizi digitali per la salute centrati sulla persona, orientati al supporto alla diagnosi, al trattamento delle malattie, alla telemedicina e alla medicina personalizzata, con particolare riferimento alle problematiche dell'aging
9. Sviluppo di modelli adattivi di human-computer interaction e di sistemi evoluti (es. serious gaming) per la diffusione della trasformazione digitale e per il social engaging.

Impatti

- Consolidamento e potenziamento delle tecnologie digitali nella società
- Inclusione sociale, centralità dell'individuo e della società
- Miglioramento della fruibilità e dell'accessibilità dei servizi
- Miglioramento della Qualità della vita
- Miglioramento della qualità e della sostenibilità della Sanità

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'articolazione (1) "Servizi Human-Centered" ha importantissime interconnessioni con i Temi della salute e in particolare con l'ambito (5.1.1) Temi generali e (5.1.4) Tecnologie per la salute. È anche legato con l'ambito (5.2.5) Trasformazioni sociali, società dell'inclusione. Alla realizzazione dell'articolazione (1) "Servizi Human-Centered" concorrono aspetti legati agli ambiti (5.3.3) Cybersecurity, (5.4.2) HPC - Big Data, (5.4.3) Intelligenza Artificiale e (5.4.4) Robotica.

Key Performance Indicators

Tra i possibili indicatori di performance si citano a titolo di esempio i seguenti:

- Indicatori Standard (DESI, BES, SDGs ecc.)
- Qualità ed efficienza dei servizi della PA
- Qualità ed efficienza dei servizi sanitari legati alla persona
- Sviluppo di dataset pubblici e software open source nel dominio degli approcci "human-centered".
- Pubblicazioni scientifiche
- Dottorati di Ricerca
- Iniziative imprenditoriali (es. spin-off, start-up innovative).

Articolazione 2. Comunità sostenibili

La popolazione europea vive per il 74% in aree urbane. Risulta quindi fondamentale ripensare le città secondo modelli innovativi che implementino la transizione verso le città digitali, per promuovere la creazione di comunità sostenibili e inclusive. Al contempo occorre pensare ad analoghi modelli di vita e servizi anche per coloro che vivono in comunità più piccole, distribuite nel territorio, con una minore facilità di accesso ai sistemi digitali ma con un ruolo di fondamentale importanza per garantire la tutela fisica e culturale del territorio. La considerazione di queste diverse esigenze e la loro armonizzazione è fondamentale per promuovere la creazione di comunità sostenibili e inclusive, e per avere una reale cura e rispetto del territorio e dell'ambiente.

Questo necessita dello sviluppo di soluzioni e servizi digitali, facili da utilizzare, affidabili 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. Le nuove soluzioni digitali dovranno consentire agli ecosistemi urbani di rispondere in modo intelligente e sostenibile al ciclo di vita sociale, ambientale ed economico dettato dalle nuove esigenze individuali e delle collettività, supportando approcci nuovi e olistici per implementare soluzioni – basate su tecnologie e sistemi IoT - volte alla ottimizzazione del funzionamento delle città in tutti i settori, implementando sistemi di controllo digitali sulla base di strutture sensorizzate ad alta resilienza.

La ricerca dovrà quindi avanzare secondo approcci basati su sensoristica innovativa, mininvasiva e capillare per 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. 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.

Sarà necessario garantire l'accessibilità ai servizi sanitari e socio-sanitari anche mediante soluzioni tecnologiche ad alto rapporto qualità/costo, favorendo soluzioni di medicina preventiva, personalizzata e di precisione. Inoltre, si dovranno sviluppare soluzioni tecnologiche per la valorizzazione del patrimonio culturale e la virtualizzazione immersiva dei beni culturali che ne permette la promozione e la fruibilità turistica anche in remoto e in condizioni critiche, come nel caso di emergenze sanitarie.

Lo sviluppo delle comunità sostenibili dipende anche dalla capacità di condividere, validare ed integrare flussi di dati eterogenei provenienti da fonti diverse, come dispositivi, social media e database commerciali, secondo i paradigmi dell'Internet of Things (IoT) e dell'Internet of People (IoP), anche valorizzandoli attraverso modelli inferenziali di social-behaviour analysis a supporto di piattaforme di Cognitive Smart City. Lo sviluppo di sistemi data-driven e piattaforme avanzate di gestione dei dati avrà un ruolo preponderante nella gestione delle città e degli ecosistemi urbani, garantendo la possibilità, nel rispetto dei vincoli normativi, di sfruttare le potenzialità dei dati che sempre più rappresenteranno una risorsa, il cui valore sarà in continua crescita nel tempo. Vanno quindi potenziate le ricerche sullo sviluppo di piattaforme digitali, sul modello dei "digital twins" in grado di gestire applicazioni cloud, hardware e dispositivi per edge computing, integrazione di sistemi, gestione di rete e connettività, analisi e memorizzazione dei dati, sicurezza, logica di business ecc. Lo sviluppo di software di base e sistemi operativi dedicati alla gestione di tali piattaforme, in grado di supportare applicazioni avanzate che integrano massivamente e in sicurezza flussi di dati provenienti da sensori eterogenei e dispositivi IoT, rappresenta un elemento critico di ricerca indispensabile per sfruttare al meglio il potenziale dei dati digitali, oltre a sviluppare e diffondere soluzioni digitali intelligenti a supporto dei cittadini e dello sviluppo sostenibile e resiliente delle comunità.

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 blockchain e smart contract e lo sviluppo di sistemi intelligenti a supporto di specifici ambiti strategici (giustizia predittiva, smart procurement ecc.). Nel mercato dei dati, lo sviluppo delle tecnologie *blockchain* potrà avere un impatto enorme sulle opportunità di analisi socio-demografiche e degli ecosistemi urbani. Ovviamente ciò porrà con forza il problema della sicurezza dei dati. Infatti la minaccia di falle nella sicurezza informatica e nei protocolli di riservatezza dei dati cresce con l'aumento degli attori in campo e le città dovranno adeguarsi a questa trasformazione attraverso adeguati strumenti tecnologici.

La sostenibilità sociale non può prescindere dalla salvaguardia dell'ambiente e delle risorse naturali. A tal fine, sarà necessario promuovere la Transizione Digitale in settori come l'agricoltura e il monitoraggio ambientale, e nello specifico, in applicazioni quali quella dell'agricoltura di precisione, quella del monitoraggio delle condizioni ambientali su vaste aree, nella gestione più efficiente delle risorse naturali e nella prevenzione di disastri ambientali dovuti ai cambiamenti climatici o azioni antropiche. In questo contesto, l'utilizzo di satelliti, mini satelliti e droni sarà sempre più funzionale all'osservazione della terra e al monitoraggio delle condizioni ambientali al fine di consentire l'acquisizione e aggregazione di dati fisici di diversa natura per ulteriori elaborazioni con tecniche di Big Data e supporto alle decisioni.

Per lo sviluppo delle Comunità Sostenibili sarà fondamentale far convivere sinergicamente ricerca fondamentale e ricerca applicata, superando le barriere culturali presenti tra ricercatori di differenti discipline. L'interdisciplinarietà



dovrà quindi essere sostenuta attraverso la creazione di nuove classi di laurea che si renderanno ad esempio necessarie in ambiti trasversali ad alto valore innovativo e favorendo la creazione di Dottorati di Interesse Nazionale che sviluppino le principali competenze scientifiche e tecnologiche per la Transizione Digitale del Sistema Paese. In relazione alle esigenze di sviluppo di una cultura digitale, appare rilevante intraprendere azioni che includano sia il livello universitario che quello scolastico, che non trascurino l'interazione tra il settore tecnologico e il settore umanistico, quest'ultimo fondamentale per raggiungere la necessaria digital literacy. In particolare, tale interazione permette di saldare le smart technologies (smart cities, smart factories, smart living) con le scienze umane.

Contemporaneamente il sistema formativo dovrebbe curare l'acquisizione di competenze che sono premessa all'occupabilità e all'inclusione sociale. Un approccio inclusivo che tenga conto della prospettiva umanistica sarebbe alla base di un pensiero *disruptive* fondamentale per una cultura digitale creativa e al tempo stesso circolare. È quindi 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.

Dovranno essere inoltre valorizzati nuovi modelli di lavoro, come lo Smart Working attraverso approcci adattivi e intelligenti di Human-Machine-Interaction (HMI), servendosi di strumenti e dispositivi per la Realtà Virtuale e Aumentata (X-Reality) a supporto delle esigenze operative e di formazione, mentre lo sviluppo di media accessibili, immersivi, user-driven dovrà essere approfondito anche attraverso strumenti di valutazione delle migliori modalità di utilizzo delle soluzioni tecnologiche a disposizione e di sistemi di analisi, modellazione e moderazione dei rischi derivanti dall'uso non corretto delle stesse.

Per far fronte a tutte le esigenze delle comunità sostenibili in un paradigma di smart technologies, la ricerca dei prossimi anni andrà orientata verso lo sviluppo di sistemi quali, per esempio, i sistemi embedded, i nuovi sensori e dispositivi, anche indossabili, basati su sistemi micro, nano e opto elettro-meccanici e i nuovi materiali e polimeri organici, biochips per la realizzazione di laboratori di analisi miniaturizzati (Lab-on-Chip). Come già anticipato, sistemi di monitoraggio e controllo digitale ad alta sensorizzazione per la rappresentazione virtuale di entità e processi, sulla base per esempio del paradigma dei Digital Twins, dovranno essere la base delle città del futuro.

Obiettivi

1. Sviluppo di metodologie e tecniche per la condivisione, l'integrazione e la valorizzazione di flussi di dati eterogenei
2. Sviluppo di soluzioni e servizi digitali per la creazione di comunità urbane sostenibili ed inclusive, secondo il paradigma Smart City, che includano tutti i settori, come quelli dei trasporti, dell'assistenza sanitaria, delle infrastrutture, della mobilità sostenibile, dell'energia, del riciclo dei rifiuti, ecc, favorendo la conversione a tecnologie green e la promozione di soluzioni ecocompatibili.
3. Sviluppo di piattaforme per il supporto di servizi Smart City e di software di base e sistemi operativi dedicati alla gestione di tali piattaforme.
4. Sviluppo di sistemi a favore dell'accessibilità dei servizi sanitari e socio-sanitari anche mediante soluzioni tecnologiche ad alto rapporto qualità/costo.
5. Sviluppo di sistemi intelligenti di generazione e distribuzione dell'energia elettrica, favorendo la convergenza di servizi ad alto valore aggiunto
6. Sviluppo di nuovi modelli di fruizione del patrimonio culturale
6. Sviluppo di metodologie per la semplificazione amministrativa in PA e imprese, anche attraverso l'adozione di strumenti quali blockchain e smart contract e lo sviluppo di sistemi intelligenti a supporto di specifici ambiti strategici (giustizia predittiva, smart procurement ecc.).
7. Sviluppo di sistemi integrati per l'osservazione della terra e il monitoraggio delle condizioni ambientali e delle coltivazioni su vaste aree, la gestione efficiente delle risorse naturali e dell'agricoltura, e la prevenzione di disastri ambientali



8. Consolidamento della formazione di alto livello dei dottorati per favorire la capacità di innovare nell'ecosistema produttivo, dei servizi e nella PA
9. Superamento delle barriere culturali tra ricercatori di differenti discipline e valorizzazione di un'azione di ricerca interdisciplinare, anche tramite Dottorati di Interesse Nazionale, capaci di abilitare la Transizione Digitale in ambiti trasversali ad alto valore innovativo
10. Sviluppo di tecnologie a supporto della formazione continua nel mondo del lavoro
11. Sviluppo di tecnologie atte a favorire lo smart working sia in ambito privato sia nella pubblica amministrazione, anche tramite sistemi di X-reality
12. Sviluppo di media accessibili e di sistemi di analisi, modellazione e moderazione dei rischi derivanti dal loro utilizzo, anche non corretto.

Impatti

1. Potenziamento delle tecnologie digitali per lo sviluppo sostenibile e green
2. Sviluppo delle Città Digitali
3. Uso diffuso e sviluppo dell'economia dei dati
4. Semplificazione Amministrativa PA e Imprese
5. Nuovi modelli di lavoro e Sviluppo di tecnologie per lo smart working
6. Sistemi di osservazione della Terra per l'analisi integrata delle risorse e la gestione ottimizzata delle calamità

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'articolazione (2) "Comunità Sostenibili" fornisce un supporto imprescindibile all' Ambito (5.2.5) Trasformazioni sociali, società dell'inclusione. La sostenibilità presenta declinazioni che la collegano agli Ambiti Salute, (5.3.2) Sicurezza sistemi naturali, (5.5.4) Energetica ambientale, (5.5.1) Mobilità sostenibile e (5.5.2) Cambiamenti climatici e adattamento. Questa articolazione individua inoltre le principali tecnologie da sviluppare, collegandola all'Ambito (5.4.6) Innovazione per l'industria manifatturiera. Alla realizzazione dell'articolazione (2) "Comunità Sostenibili" concorrono aspetti legati agli ambiti (5.3.3) Cybersecurity, (5.4.2) HPC - Big Data, (5.4.3) Intelligenza Artificiale e (5.4.4) Robotica.

Key Performance Indicators

Tra i possibili indicatori di performance si citano a titolo di esempio i seguenti:

- Indicatori Standard (DESI, BES, SDGs ecc.)
- Qualità ed efficienza dei servizi della PA
- Qualità ed efficienza dei servizi legati alle città digitali del futuro (mobilità sostenibile, sanità, energia, rifiuti ecc.)
- Qualità ed efficienza dei servizi legati all'osservazione della Terra
- Aumento della fiducia sociale nelle tecnologie informatiche
- Coinvolgimento delle comunità nei processi di sviluppo sostenibile e green
- Sviluppo di Open Data e software open source.
- Pubblicazioni scientifiche
- Dottorati di Ricerca
- Iniziative imprenditoriali (es. spin-off, start-up innovative).

Articolazione 3. Competitività del Paese

La competitività del sistema Paese si gioca 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. L'alta formazione è rappresentata dai vari livelli di dottorato e master.

La ricerca sulla transizione digitale e sull'ia.o 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 complementarietà 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 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. Si possono così rafforzare reti interorganizzative per assicurare un'interazione sistematica tra diverse competenze (interdisciplinarietà), diversi ambiti di lavoro (intersettorialità) 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-6G 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 delle reti 5G-6G 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*.

Le reti 5G e 6G saranno abilitanti 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 nonché, attraverso applicazioni specifiche di realtà virtuale (VR), per incentivare il turismo per valorizzare e promuovere il patrimonio culturale del Paese. La continua evoluzione tecnologica legata alla connettività wireless richiederà, inoltre, la ricerca di nuove tecniche di valutazione dei livelli di esposizione elettromagnetica, fornendo gli strumenti più opportuni per valutare l'accordo dei livelli espositivi con le linee guida internazionali.

L'integrazione delle reti terrestri con reti satellitari, mini satelliti e droni è alla base della realizzazione di servizi di monitoraggio delle condizioni ambientali, a loro volta essenziali per permettere la pianificazione e la valutazione di azioni atte a preservare il fragile (e già parzialmente compromesso) equilibrio idrogeologico del Paese e l'uso efficiente delle risorse naturali, il cui impatto in termini socio-economici è di primo rilievo.

Il quadro tecnologico permetterà infatti attraverso sistemi avanzati di remote sensing, integrati con sistemi di sensori locali, lo sviluppo di programmi di monitoraggio che producano indicatori dinamici utili ai processi di supporto alle decisioni, anche con riferimento a eventi potenzialmente catastrofici (terremoti, inondazioni, tsunami, incendi, frane,...) al fine di allertare la popolazione in tempo utile (early warning). A questo fine si rende anche necessario disporre di reti di comunicazione veloci, affidabili e sicure per una rapida raccolta e condivisione delle informazioni disponibili (anche in corso d'evento) tra decisori, gestori del rischio e cittadini, favorendo anche soluzioni non-strutturali (Volunteered Geographic Information) e sistemi data-driven di supporto alle decisioni.

Le nuove metodologie e tecniche proprie di una reale Transizione Digitale dovranno poi favorire la competitività del Paese e sostenere la crescita delle medie e piccole imprese, anche a carattere artigianale, allo scopo di incentivare il *Made in Italy* come un sinonimo di originalità, stile, qualità, innovazione.

È di cruciale importanza rafforzare l'ecosistema industria-ricerca in modo che risulti sempre più competitivo nel panorama internazionale. A tal fine occorre incentivare la ricerca in collaborazione fra università e enti di ricerca con l'industria mediante strumenti sostenibili, agili e mirati a valorizzare il ruolo di innovation driver della ricerca pubblica, tenendo conto delle relative specificità. Tra questi è necessario ripristinare e rafforzare una forma di credito d'imposta che risulti efficace per incentivare le PMI a investire in ricerca e innovazione, introdurre sistemi flessibili per la gestione della quota di cofinanziamento, allineare le procedure di finanziamento ai modelli degli strumenti europei nella gestione della cassa, nelle rendicontazioni e nei tempi di valutazione.



I modelli di finanziamento nella collaborazione tra industria e organismi di ricerca (inclusi quelli regionali) devono prevedere anche modalità di partecipazione paritaria, garantendo in ogni caso l'adeguata valorizzazione di tutti i partner nella gestione della proprietà intellettuale generata dalla collaborazione, e incentivarne la protezione attraverso quote di finanziamento dedicate.

È inoltre fondamentale aumentare la percezione dell'importanza del capitale umano che si è formato nella ricerca, come i dottori di ricerca, in quanto questi rappresentano un volano per generare innovazione nelle aziende, e in particolare nelle PMI, e quindi aumentare la produzione di ricchezza e posti di lavoro. A tale scopo sarà necessario investire sull'impatto e sulla trasversalità della ricerca, incrementando le risorse, promuovendo l'interdisciplinarietà e favorendo la valorizzazione del potenziale della ricerca stessa da parte del mondo produttivo.

Il mondo delle start-up tecnologiche deve essere valorizzato e promosso con opportuni sistemi di sostegno strutturato per aiutarle a superare la dimensione critica. Ne deve inoltre essere salvaguardato il potenziale di impatto strategico - anche utilizzando strumenti come il Golden Power - evitando di alimentare un mercato di innovazione a beneficio di grandi aziende straniere.

Fondamentale sarà anche migliorare i meccanismi di tutela della proprietà intellettuale della ricerca pubblica e privata in tutta l'area ICT e del software prodotto anche in contesto open source, per sostenere la progressione dei livelli di TRL. L'IP protection è infatti uno strumento indispensabile per valorizzare gli investimenti in ricerca e innovazione, assicurando significativi vantaggi competitivi alle aziende detentrici dei brevetti e come strumento per ridurre il rischio del sistema bancario, per il quale l'IP potrebbe rappresentare una garanzia rilevante.

Infine, è opportuno prevedere la possibilità di destinare nei progetti di ricerca delle risorse specifiche per la valorizzazione della proprietà intellettuale nonché rafforzare all'interno delle Università e degli Enti di ricerca la presenza di professionalità specificatamente formate per gestire questo aspetto. Le Università e gli Enti di ricerca devono essere messi in grado di valorizzare e difendere anche legalmente il loro patrimonio brevettuale. Risulta anche opportuno promuovere nuovi meccanismi per la tutela e la valorizzazione del software sia in contesti strettamente legati alla commercializzazione dei prodotti (brevetazione e cessione o creazione start-up di profitto ecc.) che ai fini della carriera dei ricercatori (pubblicazione del software in open access repository, assegnazione di DOI, valutazione nella VQR ecc.).

Lo sviluppo di queste aree con le loro enormi ricadute economiche e sociali potrà consentire al nostro Paese di superare la condizione di subalternità tecnologica in tutti quei settori legati al digitale e all'i4.0, rispetto ad altri Paesi europei più avanzati, contribuendo alla formazione di figure professionali specificamente preparate ad affrontare le sfide della tecnologia digitale. Come citato nell'introduzione, dovranno essere favoriti strumenti efficaci per l'alta formazione, come per esempio gli innovativi Dottorati di Interesse Nazionale che per loro stessa struttura portano naturalmente alla formazione di eccellenze scientifiche ed ad un enorme aumento di attrattività per il sistema ricerca e, di riflesso del sistema industriale italiano. Solo così la ricerca scientifica potrà contribuire allo sviluppo di un tessuto industriale nazionale capace, in modo concreto, di capitalizzarne i risultati.

A tale scopo dovranno essere sostenute ricerche sui sistemi embedded, quali componenti vitali in ambiti che spaziano dallo sviluppo di sensori intelligenti ai Digital Twins. In particolare l'importanza crescente del software specifico per sistemi embedded, dovuta alla sua complessità e ai costi, richiede lo sviluppo di nuove metodologie e strumenti specifici di progettazione, sviluppo e gestione, anche attraverso opportuni linguaggi di scripting. Queste ricerche permetteranno di superare i limiti dei software per sistemi embedded, storicamente focalizzati su codice affidabile e mantenibile, con poca enfasi sull'avanzamento dei software per sistemi embedded multiprocessore e sulla sicurezza. Le nuove applicazioni, come ad esempio quelle IoT, introducono infatti nuove problematiche legate alla sicurezza e impongono nuovi requisiti alle applicazioni e alle piattaforme. Non esistono attualmente standard, per hardware e firmware, che siano universalmente adottati, sebbene esistano standard internazionali per la gestione della sicurezza, dell'autenticazione e della crittografia dei dati. Tuttavia, queste tecniche non sempre sono state testate negli ambienti ostili in cui i dispositivi IoT potrebbero trovarsi a funzionare; ciò aprirebbe la possibilità di utilizzare questi sistemi in una molteplicità di ambiti applicativi ad elevato valore, come ad esempio quello della sanità e dell'i4.0, dove i produttori di beni e servizi devono, attraverso l'analisi real-time di big data, ottimizzare la produttività dei sistemi, ridurre gli sprechi, massimizzare i rendimenti e ridurre i tempi di ciclo.



Lo sviluppo di nuovi sensori basati su sistemi micro e nano elettro-meccanici, su tecnologie fotoniche e su nuovi materiali è un altro settore di ricerca di fondamentale importanza per molti aspetti della transizione digitale in ambito sia prettamente industriale sia nel campo del monitoraggio dell'ambiente, delle infrastrutture critiche e delle condizioni di salute dei cittadini. L'evoluzione tecnologica dei veicoli autonomi e l'IoT continueranno a spingere lo sviluppo delle tecnologie di sensing verso un livello superiore, guidando la continua evoluzione delle metodologie di fusione sensoriale. Di pari passo la tecnologia dei dispositivi indossabili con capacità sensoriali e dei visori per realtà aumentata, guiderà lo sviluppo di ambienti di lavoro interattivi in grado sia di raccogliere dati sullo stato di salute del personale sia di ottimizzare e velocizzare l'attività lavorativa stessa attraverso la disponibilità in tempo reale di informazioni.

Le diverse tecnologie per lo sviluppo di lab-on-chip dovranno essere sviluppate partendo dai biochip e realizzando array di sensori molecolari integrati con tecnologia microfluidica pura o combinata, come nei sistemi micro-elettromeccanici (MEMS) e/o nei sistemi micro-opto-elettromeccanici (MOEMS). I biochip/Lab-on-chip potranno sempre più essere utilizzati per applicazioni in campo biomedico e farmacologico, ad esempio nell'analisi di DNA, RNA, proteine e agenti chimici. Lo sviluppo dei biochip favorirà la transizione verso la medicina personalizzata e la point-of-care analysis. Tuttavia, fattori come i costi elevati e l'assenza di standard normativi comuni rappresentano alcuni dei problemi che potranno ritardare la crescita del mercato. Ciò nonostante, i benefici sono tali da suggerire un investimento in ricerca, basti pensare ai prodotti basati su tecnologie organ-on-a-chip che alleggeriranno i problemi esistenti, associati a tempo e costi, nei rispettivi campi di applicazione e potranno rimpiazzare i test su animali e velocizzare la diagnosi di malattie.

Le ricerche dovranno anche affrontare l'avanzamento della tecnologia dei semiconduttori in un ottica More Moore. Nonostante la crescente complessità nella fabbricazione di chip avanzati, la tecnologia di produzione di semiconduttori continua a essere in grado di collocare sempre più transistor su un singolo chip. Ma man mano che le dimensioni si riducono, i costi tendono ad aumentare notevolmente. Di conseguenza, sono rimasti solo pochi attori al mondo che hanno la capacità e l'esperienza per investire nel settore. È quindi indispensabile che il Sistema Paese giochi un ruolo in questo scenario per evitare una irreversibile dipendenza tecnologica in settori chiave della ricerca, dell'industria avanzata e della Difesa. Entro il 2030, la legge di Moore avrà probabilmente raggiunto il limite e i miglioramenti delle prestazioni dei circuiti elettronici a semiconduttore risulteranno da innovazioni nell'architettura dei chip, integrazione eterogenea tramite packaging avanzato e software, nonché dall'avvento di nuove tecnologie di elaborazione. È necessario quindi sin d'ora orientare le ricerche anche verso l'integrazione eterogenea di blocchi funzionali (chiplet), in quanto motore principale nel miglioramento delle prestazioni a livello di sistemi a semiconduttore, generando così nuovi modelli di business.

Obiettivi

1. Promozione di modelli di cloud e manufacturing as a service per i4.0, valorizzando sinergie tra aziende e prototipazione rapida anche attraverso l'additive manufacturing
2. Sviluppo di tecnologie a supporto della produzione e della gestione efficiente e efficace dei processi organizzativi, anche tramite strumenti di promozione del "brand" italiano e di sistemi per favorire l'incontro tra domanda e offerta di competenze, prodotti e servizi
3. Sviluppo di ambienti cooperativi di smart manufacturing per la modellazione, simulazione e virtualizzazione di prodotti
4. Sviluppo di servizi di connettività massiva e a bassa latenza e di sistemi di monitoraggio e diagnosi basati su tecnologie avanzate come la realtà virtuale remota, e l'internet tattile per controllo critico di sistemi
5. Sviluppo delle reti 5G-6G per il supporto a servizi avanzati, inclusa la guida autonoma cooperativa, monitoraggio strutturale, promozione del patrimonio culturale del Paese ecc.
6. Integrazione delle reti terrestri, aeree, e spaziali e sviluppo di sistemi avanzati di monitoraggio per la realizzazione di sistemi per l'osservazione della terra, la salvaguardia dell'equilibrio idrogeologico del territorio, e il controllo di eventi potenzialmente catastrofici
7. Protezione del potenziale di impatto strategico delle start-up e valorizzazione della IP protection in ambito ICT, come strumenti indispensabili per valorizzare gli investimenti in ricerca e innovazione
8. Sviluppo di nuove metodologie e strumenti di progettazione, sviluppo, gestione, e protezione informatica specifici per sistemi embedded e Digital Twins



9. Sviluppo di nuovi sensori basati su sistemi micro e nano elettro-meccanici, su tecnologie fotoniche e su nuovi materiali, per applicazioni in campo industriale, del monitoraggio ambientale, delle infrastrutture critiche e delle condizioni di salute dei cittadini
10. Sviluppo di dispositivi indossabili con capacità sensoriali e visori per realtà aumentata per lo sviluppo di ambienti lavoro e di formazione interattivi, nonché per la promozione dei beni artistici e architettonici
11. Sviluppo di "lab-on-chip" basati su array di sensori molecolari e sulla microfluidica pura o combinata con sistemi micro-elettromeccanici (MEMS) e/o sistemi micro-opto-elettromeccanici (MOEMS)
12. Sviluppo di tecniche di integrazione eterogenea di blocchi funzionali (chiplet) tramite packaging avanzato, software, e nuove tecniche di elaborazione per il miglioramento delle prestazioni a livello di sistemi a semiconduttore
13. Mantenimento della presenza italiana nel settore dei dispositivi elettronici, a livello di ricerca fondamentale, applicata e della loro produzione industriale

Impatti

1. Potenziamento dell'ecosistema industriale mediante sistemi di cloud as a service per i4.0
2. Aumento della proattività dell'ecosistema industriale mediante sistemi intelligenti di manufacturing per i4.0
3. Aumento della resilienza dell'ecosistema industriale mediante innovazione dei processi organizzativi
4. Consolidamento e potenziamento della capacità brevettuale
5. Sviluppo delle reti 5G-6G per incrementare la competitività dell'ecosistema industria-ricerca
6. Accrescere leadership nell'aerospazio attraverso integrazione delle reti terrestri, aeree, e spaziali e sviluppo di sistemi avanzati di monitoraggio della Terra
7. Sviluppo di materiali e delle micro e nano tecnologie alla base di sensori eterogenei di nuova generazione
8. Sviluppo di nuove architetture di packaging e di interconnessione ottica
9. Consolidamento della posizione del Sistema Paese nella progettazione, realizzazione e produzione di dispositivi elettronici, con conseguente moderazione della dipendenza tecnologica in settori strategici

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Il tema della digitalizzazione trattato nell'articolazione (3) "Competitività del Paese" si proietta direttamente sugli ambiti Tecnologie per la Salute e Innovazione per l'industria manifatturiera (5.4.6). La digitalizzazione costituisce inoltre una forza motrice delle Trasformazioni sociali e di una vera Società dell'inclusione. I sistemi di monitoraggio del territorio sono alla base dei temi trattati nell'ambito Sicurezza sistemi naturali (5.3.2) e Cambiamenti climatici e adattamento (5.5.2). In ultimo, il tema della moderazione della dipendenza tecnologica in aree strategiche è trasversale a Cybersecurity (5.3.3), HPC - Big Data (5.4.2), Intelligenza Artificiale (5.4.3), Robotica (5.4.4), Innovazione per l'industria manifatturiera (5.4.6), Aerospazio (5.4.7)

Key Performance Indicators

Tra i possibili indicatori di performance si citano a titolo di esempio i seguenti:

- Produttività e resilienza dell'i4.0 e del sistema industriale nazionale.
- Sviluppo soluzioni in cloud
- Avanzamento processi organizzativi
- Sviluppo delle reti 5G-6G
- Sviluppo soluzioni aerospazio
- Percezione della rilevanza dell'IP protection
- Numero/valore Brevetti
- Dottorati di Ricerca
- Iniziative imprenditoriali (es. spin-off, start-up innovative)



Articolazione 4. Dispositivi e sistemi eterogenei

Lo sviluppo di materiali innovativi e la loro integrazione con le tecnologie micro e nanoelettroniche tradizionali costituisce il principale scenario di sviluppo scientifico e tecnologico alla base di una Transizione Digitale pervasiva e ubiqua. Le applicazioni riguardano i principali settori di interesse per l'industria, la mobilità, la salute e una gestione dell'energia efficiente, sostenibile e rinnovabile. I nuovi dispositivi da una parte offrono migliori caratteristiche in termini di dissipazione termica, velocità di commutazione, alte tensioni di alimentazione. Dall'altra introducono un approccio completamente diverso al concetto di elaborazione del segnale, aprendo ad una nuova sintesi tra trattamento digitale dell'informazione e interazione microscopica a livello fondamentale.

I semiconduttori ad alto band gap costituiscono l'elemento fondamentale di un nuovo modello di gestione dell'energia, con applicazioni nei ruoli chiave della sua distribuzione e gestione intelligente. È fondamentale studiare e sviluppare tutte le tecnologie coinvolte nel controllo dei motori elettrici, non solo alla base delle nuove generazioni di veicoli a guida autonoma, ma anche della filiera produttiva della meccanica di precisione che ha profonde radici nella vocazione manifatturiera del Sistema Paese. I dispositivi ad alto band-gap permettono inoltre una Transizione Digitale in tutte quelle applicazioni di potenza in cui le elevate temperature, correnti e tensioni di esercizio avevano precluso una presenza delle tecnologie elettroniche tradizionali. Questi dispositivi costituiscono inoltre uno snodo fondamentale nella produzione di energia rinnovabile, permettendo una gestione intelligente e puntuale di fonti rinnovabili quali fotovoltaico e eolico. Lo sviluppo di una reale Transizione Digitale nel controllo dell'energia passa necessariamente anche attraverso lo sviluppo di nuovi processi produttivi in grado di ibridizzare le soluzioni tecnologiche consolidate nei settori tradizionali con le caratteristiche chimico-fisiche dei nuovi elementi, tra cui quelli a conduzione mista ionico-elettronica fondamentali nei fenomeni di accumulo

Tra i dispositivi che subiranno una profonda rivoluzione vi sono i chip di memoria. Le tecnologie emergenti sfruttano nuovi materiali e fenomeni fisici quantistici, non suscettibili di una trattazione semiclassica. Sebbene queste tecnologie stiano prepotentemente emergendo non sostituiranno a breve le architetture tradizionali come tecnologie di memoria dominanti, ma cattureranno nel medio periodo una parte significativa del mercato. Un doveroso sguardo verso il futuro non può prescindere anche da un'ulteriore frontiera della Transizione Digitale. Il calcolo quantistico (quantum computing) si configura come una disciplina in grado di fornire alternative alla logica e alle architetture tradizionali basate su microprocessori, in grado di affrontare problemi ad oggi ritenuti intrattabili. La tecnologia quantistica apre poi, sebbene su un orizzonte temporale non breve, a potenziali ed interessanti sviluppi in altri ambiti come la crittografia (quantum cryptography), le comunicazioni sia terrestri che satellitari (quantum communications) e l'elaborazione massiva dei segnali (quantum signal processing). La transizione dovrà avvenire in modo graduale, ad esempio con simulatori di sistemi quantistici utilizzati come co-processori nel calcolo tradizionale.

La futura connettività wireless richiede lo sviluppo di nuovi circuiti ad alta frequenza, sia ad onde millimetriche sia sub-millimetriche, che abiliteranno la comunicazione massiva per le versioni successive al 5G e 6G. Le applicazioni saranno trainanti per i nuovi processi di micro e nano-fabbricazione di circuiti radiofrequenza al THz riconfigurabili, per l'uso della spintronica in sistemi a bassissimo consumo e circuiti ibridi analogico-ottico/digitali per nuove tecniche di duplex e forme d'onda per la coesistenza tra wireless communication e radar attivo e passivo. Queste applicazioni portano al limite le capacità dell'attuale tecnologia integrata; la fotonica e l'elaborazione ottica sono settori strategici per superare gli attuali limiti considerati a lungo invalicabili, in termini di banda e dissipazione di potenza. La fotonica in silicio ha, infatti, il potenziale per essere considerata una tecnologia abilitante per l'interconnessione dei dati tra chip in sistemi avanzati integrati realizzati con le più avanzate tecnologie di integrazione eterogenea. La ricerca va quindi indirizzata sempre più verso la riduzione delle dimensioni dei componenti fotonici e l'integrazione eterogenea dei sistemi elettronici avanzati. Il superamento della barriera del THz è oggi affidato alla rivelazione della radiazione luminosa attraverso schiere di nanoantenne integrate su chip, in grado di trasdurre il campo elettrico propagante in un segnale elettrico. Le ricerche più avanzate mostrano una risoluzione temporale del processo di rivelazione dell'ordine dell'attosecondo (10^{-18} s), aprendo la strada allo sfruttamento della banda dei THz nella metrologia di estrema precisione e nella sintesi ottica di frequenza richiesta da applicazioni telecom future. Nella metrologia di precisione rientra anche l'ambito di ricerca su Quantum Sensing, per la misura ad altissima risoluzione di campi elettrici e magnetici.



Dispositivi e sensori basati su materiali di sintesi (metamateriali, materiali bidimensionali e tridimensionali) e polimeri organici partecipano a sviluppare una interpretazione di Transizione Digitale che supera il concetto tradizionale di acquisizione e elaborazione delle informazioni. La propagazione in presenza di metamateriali passivi o attivi riconfigurabili viene orientata verso punti di interesse, permettendo un trattamento elettromagnetico del segnale direttamente sullo strato fisico. Questo permette, tra le altre applicazioni, lo sviluppo di antenne di dimensioni compatte e programmabili, in grado di modificare il loro diagramma di radiazione, e sistemi radio olografici. L'impatto sulle reti di comunicazione wireless può portare ad una completa rivisitazione del concetto di IoT e più in generale delle reti mobili. L'elettronica basata su polimeri organici (elettronica organica) permette lo sviluppo di dispositivi di costo relativamente basso, su grande area e su supporti flessibili e non convenzionali (tra cui tessuti e plastiche). L'interazione wireless con questi dispositivi (si pensi alle tecnologie RFID e derivate) favoriscono una Transizione Digitale in tutte le applicazioni consumer ad ampissima diffusione (etichette intelligenti, tracciamento delle filiere produttive nell'agroalimentare, per citarne alcune) e nel rispetto dell'ambiente. Vanno inoltre studiate le applicazioni più promettenti ai sensori smart, ottenuti funzionalizzando polimeri e realizzando materiali bio-mimetici in modo da permettere analisi quantitative di elementi e composti complessi (dai gas ad enzimi e cellule), di particolare rilievo per realizzare interfacce bioelettroniche di sensing chimico/fisico su un'ampia scala dimensionale, di estremo interesse in biomedicina.

Una maggiore pervasività della Transizione Digitale passa necessariamente attraverso applicazioni in ambienti dinamici, in cui il rapporto segnale/rumore può scendere a livelli tali da abbassare la qualità del servizio reso a valori inaccettabili. È fondamentale quindi investire nello studio dei fenomeni alla base del rumore nei fenomeni di conduzione e di quelle tecnologie di progettazione, processo e realizzazione in grado di moderarne l'impatto e di estendere la dinamica d'uso di dispositivi e reti. Questi aspetti sono anche di grande interesse e trovano larghe applicazioni in tutti i settori della ricerca di base (dal bio-medicale, alle telecomunicazioni, dalla fisica fondamentale allo spazio) e costituiscono un elemento imprescindibile per la caratterizzazione di nuovi materiali e processi produttivi dell'industria elettronica, chimica e farmaceutica.

La Transizione Digitale ha subito una profonda accelerazione con lo sviluppo di modelli CyberPhysical, in cui le classiche funzionalità di controllo si uniscono ad aspetti di realtà aumentata e di virtualizzazione dei processi. Il miglioramento dell'interazione Uomo-Macchina passa attraverso la creazione di Digital Twins, veri e propri Gemelli Digitali in grado di rappresentare in uno spazio digitale e riunire sinergicamente la complessità degli aspetti legati al controllo, alla predizione dei guasti, alla simulazione e ottimizzazione dei work-flow. In tutti questi aspetti, la Transizione Digitale richiede significativi investimenti nelle nuove architetture hardware di calcolo embedded e nello sviluppo di ambienti collaborativi di programmazione in grado di gestire la complessità del codice richiesto. È necessario contribuire agli sviluppi che stanno portando alla creazione di nuovi modelli di CPU e FPGA che mettono a disposizione livelli di parallelismo configurabili dall'utente, in modo da creare la rete di elaborazione la più adatta alla particolare applicazione. Gli ambienti di programmazione devono offrire un ambiente integrato in cui lo sviluppo e la gestione del codice si affianca alla definizione dell'architettura hardware.

La Transizione Digitale deve permettere di padroneggiare tutti gli aspetti di un complesso hardware/software codesign, che, se non affrontato, rischia di mettere il nostro Paese in una forma di dipendenza tecnologica da fattori esterni. Lo sviluppo di CyberPhysical Systems di complessità sempre crescente, applicati in ambienti critici (energia, telecom, supporti vitali, spazio, difesa, cybersecurity) pone anche il problema dell'affidabilità del software e dei componenti elettronici (system and device reliability). In particolare, la tolleranza alle radiazioni si sta ponendo come un fattore limitante in tutta una serie di applicazioni e richiede uno studio dei meccanismi di fallimento e delle relative strategie di moderazione.

Per essere efficace, la Transizione Digitale deve dunque investire in tutte le possibilità offerte dai più diversificati modelli di sviluppo e deve integrare nuove funzionalità con le tecnologie tradizionali alla base dei sistemi di elaborazione e di rete. Le strategie More Moore (maggiore integrazione, maggiore densità) e More than Moore (nuovi materiali, sistemi eterogenei) aprono costantemente nuove prospettive nel campo dei dispositivi, che sono la forza motrice di ogni forma di Transizione Digitale.

Occorre quindi sviluppare infrastrutture avanzate per la progettazione e lo sviluppo di dispositivi elettronici e sensori con processi d'avanguardia. Un'infrastruttura che punti alla convergenza dei più promettenti sviluppi in micro e



nanoelettronica, costituisce un poderoso volano di innovazione e di sperimentazione. Tale infrastruttura trova completa ed estende l'offerta di servizi ad elevato valore aggiunto al mondo della ricerca pubblico-privata ed alle piccole e medie imprese. Gli effetti positivi di questa sinergia sono evidenti in quei Paesi dell'Unione Europea che si sono già dotati di strutture con il medesimo orientamento e che beneficiano in questi settori di un costante vantaggio competitivo a livello produttivo ed industriale. Tali infrastrutture giocano infatti un ruolo chiave per testare le nuove tecnologie, i loro effetti sui prodotti e sui processi, per valutare i relativi rischi e per sperimentare i loro contributi su altri fattori industriali e aziendali. In un nuovo contesto di European Partnership, il Sistema Paese deve puntare a dotarsi di una infrastruttura di micro-/nano-fabbricazione d'avanguardia, integrata con la rete di laboratori esistenti a livello nazionale e internazionale, in grado di offrire alla comunità scientifica e alle aziende la possibilità di sperimentare e sviluppare l'integrazione di nuovi materiali e dispositivi su flussi di processo esistenti.

Per effettuare una Transizione Digitale che veda il Sistema Paese doppiamente protagonista, come soggetto fruitore e come sviluppatore di soluzioni all'avanguardia, è indispensabile investire nella ricerca fondamentale, sviluppando soluzioni verticali (ricerche specialistiche di settore) e orizzontali (ricerche interdisciplinari) ed è fondamentale investire nella creazione di un capitale umano di eccellenza, puntando su una formazione universitaria e post-universitaria di alto livello, favorendo le interazioni tra gli Atenei e gli Enti di Ricerca da una parte e le industrie dall'altra, attraverso lo strumento del Dottorato di Interesse Nazionale o anche altre forme che facilitino lo scambio di competenze e di posizioni con le industrie a più alta vocazione tecnologica, i Centri e i Consorzi. Per portare avanti con successo una ricerca di avanguardia, occorre mettere a sistema tutte le risorse a disposizione e indirizzare la ricerca nei settori strategici di maggior interesse per il Sistema Paese.

Obiettivi

- 1) Promozione della Transizione Digitale in tutte le applicazioni di potenza e di gestione e distribuzione dell'energia con l'impiego di nuovi dispositivi e tecnologie
- 2) Partecipazione alle ricerche applicative e di base sui chip di memoria di nuova generazione basati su nuovi materiali e fenomeni fisici quantistici
- 3) Esplorare l'applicabilità del calcolo quantistico alla Transizione Digitale del prossimo decennio
- 4) Acquisizione e rafforzamento delle competenze nei circuiti RF per onde millimetriche e sub-millimetriche
- 5) Sviluppo dell'integrazione tra fotonica ed elettronica per il superamento degli attuali limiti di banda e dissipazione di potenza
- 6) Sviluppo di antenne di nuova generazione, basate su materiali innovativi (metamateriali, materiali bidimensionali, ...)
- 7) Sviluppo di applicazioni dell'elettronica organica all'elettronica di consumo e ai sensori smart di nuova generazione
- 8) Acquisizione e rafforzamento delle competenze nello studio dei fenomeni alla base del rumore nei fenomeni di conduzione e delle tecnologie e processi per moderarne l'impatto nei dispositivi e nei circuiti elettronici.
- 9) Sviluppare le architetture di CPU e FPGA di nuova generazione per applicazioni ai Cyber Physical Systems, al real-time e al HPC.
- 10) Migliorare l'affidabilità dei sistemi elettronici in ambienti ostili (parametri ambientali, radiazioni)
- 11) Realizzare infrastrutture avanzate per la progettazione e lo sviluppo di dispositivi elettronici e sensori con processi d'avanguardia in micro e nanoelettronica
- 12) Puntare su una formazione universitaria e post-universitaria di alto livello, favorendo le interazioni tra più Atenei, Industrie e Enti di Ricerca, anche attraverso un Dottorato di Interesse Nazionale sui temi hardware e software alla base della Transizione Digitale

Impatti

1. Sviluppo di nuovi Dispositivi e Sistemi Eterogenei, che vedano la convergenza di Informatica, Elettronica e Telecomunicazioni
2. Sviluppo di CPU, FPGA e nuove architetture SW per applicazioni ai Cyber Physical Systems, al real-time al HPC e ad sistemi critici in ambienti ostili
3. Gestione e distribuzione ottimizzata dell'energia



4. Potenziamento dell'ecosistema di ricerca e industriale mediante la realizzazione di infrastrutture avanzate per la progettazione e lo sviluppo di dispositivi elettronici e sensori innovativi
5. Miglioramento dei processi produttivi di materiali innovativi e di sensori organici e basati su trasduttori micro/nano ottici e meccanici
6. Istituzione di nuovi Dottorati di Interesse Nazionale nelle discipline alla base della Transizione Digitale

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'articolazione (4) "Dispositivi e Sistemi Eterogenei" si collega direttamente a più aree del PNR. Lo sviluppo di Cyber Physical Systems costituisce un elemento fondativo dei sistemi di sicurezza delle strutture (5.3.1), Robotica (5.4.4) e Innovazione per l'Industria Manifatturiera (5.4.6), mentre la valutazione dell'impatto Quantum Computing nella Transizione Digitale ha una relazione diretta con i temi di CyberSecurity (5.3.3) e di Tecnologie Quantistiche (5.4.5). Lo sviluppo delle tecnologie basate su materiali ad alto band-gap sono alla base della Transizione Digitale nel campo dell'Energia, con immediate relazioni nelle aree Clima, Energia e Mobilità Sostenibile (5.5) e Green technologies (5.6.1). Tutte le ricerche orientate allo sviluppo di nuove architetture di calcolo (memorie innovative, fotonica, ibridizzazione di CPU e FPGA) costituiscono il patrimonio di conoscenze alla base delle piattaforme di nuova generazione indispensabili agli sviluppi dell'Intelligenza Artificiale (5.4.3) e dell'HPC - Big Data (5.4.2). In tal senso emergono anche interconnessioni con l'ambito (5.3.3) Cybersecurity. Gli studi sull'affidabilità dei componenti elettronici in ambienti ostili e, in particolare, in presenza di radiazioni sono un tema cruciale per l'Aerospazio (5.4.7). L'analisi del rumore dovuto ai fenomeni di conduzione è fondamentale nell'industria dei semiconduttori, ma ha un notevole impatto nel migliorare i limiti strumentali nella strumentazione diagnostica di interesse per le Tecnologie per la Salute (1.4).

Key Performance Indicators

Tra i possibili indicatori di performance si citano a titolo di esempio i seguenti:

- Produttività e resilienza dell'i4.0 e del sistema industriale nazionale.
- Sviluppo soluzioni aerospazio
- Numero/valore Brevetti
- Dottorati di Ricerca
- Iniziative iniziative imprenditoriali (es. spin-off, start-up innovative)

Articolazione 5. Reti di sistemi intelligenti

Le attuali infrastrutture di comunicazione e gli strumenti telematici di accesso ai servizi digitali da parte dell'utenza non sono sempre in grado di offrire servizi di comunicazione adeguati. Questo, assieme alla mancanza delle conoscenze informatiche minime da parte degli individui per poter usufruire appieno dei servizi digitali offerti crea un divario digitale e una marginalizzazione dai vantaggi della società digitale con danni socio-economici e culturali rilevanti. Secondo l'ultima indagine condotta dalla Commissione Europea sull'Indice di digitalizzazione dell'economia e della società (DESI) 2020, nel 2019 l'Italia ha perso due posizioni per quanto riguarda la dimensione del capitale umano con competenze digitali, collocandosi ora all'ultimo posto nell'UE. Il tutto si riflette in un valore dell'indice DESI per l'Italia che la colloca al 25° posto fra i 28 Stati membri dell'UE, con una frazione di utenti Internet di 74% contro l'85% della media Europea. È necessario quindi con urgenza promuovere azioni di ricerca che siano volte a colmare sia i gap tecnologici che culturali, rendendo i servizi digitali accessibili e utilizzabili da chiunque.

Dal punto di vista tecnologico, è necessario garantire accesso a sistemi di comunicazione ad alte prestazioni, sicuri, e sostenibili (sia sul piano economico che ambientale) sull'intero territorio nazionale, incluse zone rurali e montane (ovvero, le cosiddette aree *bianche* e *grigie*). A tal fine, si rende necessario il potenziamento delle reti terrestri, anche per mezzo di innovativi sistemi di antenne intelligenti e l'utilizzo di nuove bande di trasmissione a frequenze millimetriche o submillimetriche. Inoltre, è richiesto lo sviluppo di soluzioni che favoriscano la coesistenza, cooperazione e integrazione con sistemi di comunicazione ottici e altri sistemi radio, anche con nodi capaci di mobilità



autonoma (su terra, acqua, aria o spazio), come aerei/droni o più verosimilmente da sistemi satellitari a bassa quota (p.e., mini-satelliti a grappolo) e veicoli terrestri/acquatici.

Le tecnologie per la connettività a large banda ($>1\text{Gb/s}$ per collegamento) sono necessarie per supportare applicazioni specifiche e strategiche come la connettività critica a bassa latenza e l'internet tattile per la diagnosi e la chirurgia remota, per vari settori industriali e l'entertainment come la virtual reality. Anche nei settori emergenti come i sistemi a guida autonoma (livello 4,5 di autonomia) sono necessari livelli di connettività a larga banda per lo scambio dei dati dai sensori di bordo. Le onde millimetriche e subTHz sono state previste per questi usi specifici e saranno di rilevante importanza i sistemi collimati ad antenne multiple co-locate o coordinate, superfici riflettenti passive o attive e sistemi di ripetizione attivi. L'automotive è trainante per lo sviluppo di sistemi radar coesistenti nei domini spaziali e spettrali con sistemi di comunicazione.

L'eterogeneità dei servizi digitali attuali e futuri, inoltre, si traduce in esigenze di comunicazione diversificate, che richiedono la convergenza funzionale di tecnologie proprie del settore delle telecomunicazioni e dell'elaborazione dell'informazione in un'unica infrastruttura integrata, portando a compimento la visione dell'ecosistema 5G e successive evoluzioni fino al 6G. 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. La progettazione di tali ecosistemi intelligenti permetterà quindi di partizionare (slicing) una stessa infrastruttura di rete, in reti virtuali completamente autonome ed isolate, in grado di soddisfare specifiche esigenze di servizio relative ai diversi ambiti applicativi di interesse.

Nonostante gli attuali sistemi 5G siano in grado di supportare nuovi servizi, come, lo *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) per garantire alti rate, lo *Ultra-Reliable Low Latency Communication* (URLLC) per applicazioni I4.0, e l'accesso massivo per sistemi IoT, ulteriori sviluppi sono necessari per consentire la loro applicazione a contesti più complessi e sfidanti caratterizzati da una proliferazione senza precedenti di nuovi servizi come realtà estesa (XR), che comprendono la realtà potenziata (AR), mista (MR) e virtuale (VR) per la telemedicina, la percezione tattile, connessioni di veicoli con velocità elevata (oltre 500 Km/h), sistemi di *brain-computer interface* (BCI), sistemi olografici e sistemi a connessione autonoma. Queste applicazioni, che presentano requisiti di servizi ancora più spinti di quelli previsti per il 5G, rendono necessario intraprendere un percorso evolutivo verso una versione successiva (6G) dello standard ed una radicale ridefinizione dei servizi attualmente considerati. A questo fine sarà necessario perseguire una confluenza funzionale di approcci tecnologici attuali, con innovative metodologie e tecniche emergenti e portare a compimento una più stretta compenetrazione di metodologie AI in vari domini (trasmissione, processing, data detection ecc.), al fine di migliorare e facilitare la gestione della rete, ridurre i consumi energetici e l'impatto ambientale, e permettere di affrontare efficacemente ogni potenziale nuovo scenario applicativo. Sebbene la definizione del nuovo standard 6G sia previsto per l'anno 2028 con una sua probabile entrata in esercizio nel 2030 si ritengono necessari fin da adesso opportuni interventi a sostegno della ricerca fondamentale ed industriale e formazione di alto livello per consentire al Sistema Paese di poter essere parte attiva e non passiva di questo processo evolutivo.

È inoltre necessario sviluppare metodologie e tecnologie che permettano di sfruttare al meglio il paradigma edge/fog computing, al fine di garantire la scalabilità del sistema, flessibilità nell'uso delle risorse e affidabilità. Sotto la supervisione di Hypervisor, elementi di rete e terminali devono cooperare per fornire le necessarie risorse di calcolo e storage, anche per poter raccogliere e gestire al meglio le informazioni di contesto necessarie all'ottimizzazione dinamica dei sistemi di rete. 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 anche sui principi della physical layer security.

Nell'ambito della computazione real-time remota, ad esempio nelle applicazioni IoT ed Industrial IoT (IIoT) a supporto di sistemi intelligenti per il controllo di un intero processo produttivo (Intelligent Manufacturing Execution System) e per il monitoraggio delle condizioni dei macchinari in funzionamento (conditions monitoring), le tecniche di task offloading rivestiranno un ruolo primario nel perseguimento di una allocazione efficiente delle istanze di computazione richieste dai dispositivi. Infatti, la definizione di nuove strategie di ottimizzazione e quelle più sofisticate di bender decomposition, permetteranno riconfigurazioni su larga scala della rete, necessarie per garantire specifici requisiti di



latenza ogni qualvolta le risorse di computazione non siano localizzate nei dispositivi o su nodi di computazione in prossimità degli utilizzatori finali.

Oltre ad una adeguata infrastruttura di rete di connessione, la Transizione Digitale necessita di grandi centri di calcolo oltre allo sviluppo di sistemi avanzati di simulazione di sistemi complessi, fondamentali in settori di ricerca applicata e di base, tra cui economia, scienze della vita, meteorologia, fisica e chimica. La strategia europea sta portando alla creazione di grandi hub per il calcolo ad alte prestazioni e per la gestione di grandi moli di dati. In Italia è in costruzione un grande sistema pre-exascale che dovrà essere messo in collegamento con una rete di sistemi di più piccola dimensione in grado di garantire, attraverso lo sviluppo di competenze specifiche, una infrastruttura a servizio della ricerca e delle realtà produttive del territorio.

Sul versante dell'hardware, un approccio particolarmente promettente è quello del cloudFPGA, che offre un ambiente programmabile 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.

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, quali microprocessori e FPGA di nuova generazione. Per estendere la Transizione Digitale nel settore dell'IoT anche al controllo di strumentazione e di processi (dai laboratori di ricerca alle industrie) è cruciale investire nell'ibridizzazione di microprocessori e FPGA.

Componente fondamentale di tutti i sistemi descritti è il software necessario sia per l'accesso efficiente alle infrastrutture, sia per l'implementazione delle specifiche applicazioni. La ricerca su modelli e processi di sviluppo del software è quindi un tema essenziale per lo sviluppo di reti e sistemi intelligenti. In particolare la visione "Lean" di produzione e la sua declinazione "Agile" e "DevOps" nello sviluppo software è solitamente un fattore abilitante della trasformazione digitale. Sarà quindi necessario sviluppare nuovi modelli di rappresentazione e costruzione di prodotti e servizi software e dei loro contesti digitali, in particolare con approccio agile, realizzare nuove tecniche model-based e model-driven (MBE e MDE), con particolare riferimento al testing. Sono anche di grande importanza per la trasformazione digitale le ricerche di nuovi approcci IaaS (Infrastructure-as-a-Service), che tra l'altro consente l'ottimizzazione nell'uso delle risorse e la riduzione del consumo energetico, nonché di approcci SaaS (Software-as-a-Service) e PaaS (Platform-as-a-Service), anche per la realizzazione di nuove architetture software di piattaforme organizzative (Enterprise architectures).

Obiettivi

1. Superamento del Digital Divide sull'intero territorio nazionale, incluse zone rurali e montane, fornendo accesso ad alte prestazioni, sicuro, e ad alta velocità ai servizi digitali
2. Potenziamento delle reti mobili, anche tramite nuovi sistemi di antenne intelligenti e nuove bande di trasmissione a frequenze millimetriche o submillimetriche, e metodologie per la coesistenza, cooperazione e integrazione dei sistemi di comunicazione radio e ottici, anche con nodi capaci di mobilità autonoma (ad esempio, droni, satelliti a bassa quota e/o geostazionari)
3. Realizzazione dell'ecosistema 5G e ulteriore potenziamento verso il 6G al fine di supportare servizi di diversa natura (ad esempio, realtà estesa, Internet tattile, interfacce cognitive, comunicazioni veicolari) in modo dinamico, efficiente, economicamente sostenibile, e green, anche grazie ai principi di softwarizzazione e virtualizzazione delle funzionalità di rete e di network slicing
4. Creazione dell'ecosistema di ricerca e industriale per lo sviluppo di sistemi B5G/6G, sub-THz e THz, per il supporto di servizi avanzati e connessioni massive, a bassa latenza e alta affidabilità come sistemi industriali a controllo critico, automotive, X-Reality, telemedicina, internet tattile, *controllo BCI e sistemi olografici ecc.*
5. Sviluppo di soluzioni per il supporto dei paradigmi di edge/fog computing/networking per la scalabilità e la sicurezza del sistema, anche tramite integrazione di sistemi embedded basati su microprocessori e FPGA di nuova generazione



6. Potenziamento della rete di centri HPC come infrastructure-as-a-service, a supporto del mondo produttivo, dei servizi e della ricerca.
7. Sviluppo di nuovi modelli di sviluppo di prodotti e servizi software in particolare con approccio agile; sulle tecniche model-based e model-driven (MBE e MDE).

Impatti

1. Maggiore accesso ai servizi digitali da parte di individui, PA, Imprese
2. Potenziamento delle Reti Mobili
3. Sviluppo dell'i4.0 attraverso la realizzazione dell'ecosistema 5G e l'ulteriore potenziamento verso il 6G
4. Sviluppo soluzioni HW/SW e supporto dei paradigmi di edge/fog computing/networking
5. Sviluppo nuovi modelli IaaS, PaaS, SaaS
6. Maggiore presenza dei centri di HPC in applicazioni scientifiche, tecnologiche, industriali e dedicate alla PA

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Anche l'articolazione (5) "Reti di Sistemi Intelligenti" ha connessioni articolate con molte aree del PNR. Lo sviluppo dell'ecosistema 5G - 6G e di sistemi embedded basati su nuovi paradigmi di CPU e FPGA sono alla base della Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti(5.3.1), Robotica (5.4.4), Innovazione per l'Industria Manifatturiera (5.4.6) e Mobilità sostenibile (5.5.1), L'impatto dei nuovi protocolli di comunicazione si estende anche alle Humanities ed in particolare con l'area Trasformazioni sociali, società dell'inclusione. Vi sono inoltre implicazioni importanti con l'area Tecnologie per la salute legate alle possibilità aperte dalla bassa latenza. Le ricerche dell'articolazione 5 "Reti di Sistemi Intelligenti" sono sinergiche ai temi trattati da (5.4.2) HPC - Big Data e (5.4.3) Intelligenza Artificiale, nonché strettamente connesse a temi dell'ambito (5.3.3) Cybersecurity.

Key Performance Indicators

Tra i possibili indicatori di performance si citano a titolo di esempio i seguenti:

- Indicatori Standard (DESI, BES, SDGs ecc.)
- Qualità ed efficienza reti mobili
- Sviluppo ecosistema 5G e successivi
- Qualità ed efficienza dei servizi per l'i4.0 e la PA
- Numero/valore Brevetti
- Dottorati di Ricerca
- Iniziative iniziative imprenditoriali (es. spin-off, start-up innovative)



4.2 High performance computing e big data

Il presente documento è l'Allegato alla Scheda Sintetica dell'Ambito Tematico "High Performance Computing e Big Data" (HPC&BD) a sua volta collocato nel Grande Ambito di Ricerca e Innovazione "Informatica, Industria, Aerospazio". La sua funzione è esplicativa e di dettaglio rispetto a quanto riportato nella scheda, sia rispetto al quadro contestuale sia rispetto alle articolazioni in essa riportate.

L'Allegato è strutturato in tre parti. Nella prima parte si analizza il contesto europeo in cui si colloca l'ambito tematico. In particolare, viene analizzata la collocazione delle ricerche in HPC&BD in Orizzonte Europa (anche Horizon Europe o HE) 2021-2027 e nello scenario disegnato dal documento della Commissione Europea "Una strategia europea per i dati" (Bruxelles 19-02-2020, COM2020 66 final). Inoltre, viene analizzato il rapporto dell'ambito tematico con il piano europeo per le grandi infrastrutture di calcolo dedicate alla ricerca e alla scienza aperta. In coerenza con tale analisi e sulla base della piena adesione italiana a piani e progetti europei, sono definite 14 aree di impatto dell'ambito tematico.

Nella seconda parte, dopo aver analizzato il fabbisogno di ricerca scientifica e tecnologica in HPC&BD derivante dal contesto italiano, si definiscono per tale ricerca alcuni assetti e gli indirizzi generali che si intendono perseguire col PNR. Oltre ai dati generali di mercato, alla domanda sociale e alla resilienza in condizioni critiche, l'analisi si sofferma anche sul fabbisogno di ricerca in HPC&BD che deriva da tre grandi questioni di interesse nazionale: la vitale evoluzione degli Hub italiani della complessiva rete europea di supercalcolo verso sistemi di classe pre-esascale prima e esascale dopo; la migrazione del nostro sistema produttivo in generale e della nostra industria manifatturiera in particolare, verso Industria 4.0 (I4.0); la valorizzazione e la fruizione massiva, sociale e industriale dello straordinario patrimonio dati della nostra pubblica amministrazione centrale e locale. L'analisi conduce alla definizione di 4 nuove aree di impatto e di 3 tipologie di ricerche.

Nella terza parte, ciascuna delle 5 Articolazioni di ricerca viene ampiamente dettagliata con una più puntuale descrizione delle attività e dei principali filoni di ricerca scientifica e tecnologica coinvolti. Questa parte, infine, si conclude con un quadro sintetico globale del rapporto fra le articolazioni, le tipologie di ricerche in cui ricadono e le aree di impatto su cui insistono.

Il contesto europeo

La società in cui viviamo si va sempre più caratterizzando per la crescita esponenziale dei dati che vengono generati dai sistemi sociali, produttivi e finanziari che, peraltro, sono sempre più definiti e caratterizzati dai dati stessi e dall'uso che ne fanno. In particolare, siamo ormai tutti immersi in un universo di dati digitali continuamente prodotti in volume, varietà e velocità imponenti, e che, con altrettanta velocità, circolano e sono usati nella vita quotidiana delle persone e in ogni settore di attività. In tale quadro, la disponibilità, l'accesso e la capacità di elaborare dati sono fattori decisivi e abilitanti per il benessere sociale e la qualità della vita, per la produzione di buon lavoro, per la crescita economica e per lo sviluppo sostenibile. Si tratta di fattori che ormai delineano una nuova e specializzata forma di divisione digitale che possiamo chiamare 'Data Divide'. Il DACED (Disponibilità, Accesso e Capacità di Elaborazione Dati) si propone come fonte di nuove divisioni, squilibri e disuguaglianze fra grandi aree geografiche, fra i paesi di tali aree, fra zone e settori sociali di tali paesi; non avere adeguati livelli di DACED significa essere condannati a ruoli di subalternità ed emarginazione.

Sul piano mondiale, appare ormai evidente il dispiegarsi di due strategie diverse e competitive. La prima strategia, guidata e attuata dagli Stati Uniti, è fondata sull'affidamento in maniera egemonica del DACED ai settori privati, con il formarsi di grandi concentrazioni di 'proprietà aziendali'. La seconda, guidata e attuata dalla Cina, si basa sul controllo e sul governo centralizzato del DACED, sia pure realizzato via grandi imprese ICT. Coerentemente con i propri principi, l'Europa va verso una diversa e autonoma strategia che a un'agile economia fondata sui dati associi garanzie sociali e di impresa, e affermi la centralità dei diritti del cittadino. È un'autonoma e differente *terza via* che vuole garantire e coniugare insieme privacy e uso sociale e produttivo dei dati, sicurezza e accesso agile e aperto, protezione e diffusione, libertà e norme etiche.



L'Italia si trova, contemporaneamente, a dover assicurare un ruolo trainante nella definizione e nel dispiegamento dell'azione europea e a dover promuovere e sviluppare un forte e autonomo sistema di DATED nazionale; ciò significa contribuire alla strategia europea definendo e attuando, in coerenza con essa, *una strategia italiana per i dati*.

La divisione fondata sui dati si articola lungo tre assi fondamentali: la divisione strutturale, quella infrastrutturale e infine quella applicativa. La prima è legata alla conoscenza e alla evoluzione delle conoscenze su tutto il ciclo di vita dei dati e sui processi che lo caratterizzano. La seconda è legata alla messa a punto, all'esercizio e all'evoluzione delle infrastrutture tecnologiche per la gestione di grandi sistemi di dati e degli associati sistemi di calcolo. La terza è legata alla capacità di usare conoscenza, dati e infrastrutture per lo sviluppo di applicazioni e specializzazioni nelle attività sociali e produttive. In nessuno di tali assi è pensabile di articolare una strategia europea e italiana senza un avanzato e competitivo sistema di ricerca, che sia capace di alimentare e di produrre i risultati originali e inediti richiesti dalla nostra terza via ai dati. Condizione necessaria, anche se non sufficiente, per l'esistenza stessa di tale sistema è il potenziamento e lo sviluppo della ricerca nazionale nelle scienze e nella ingegneria dei Grandi sistemi di Dati (Big Data o anche BD) e del Calcolo ad Alte Prestazioni (High Performance Computing o anche HPC). Sul piano europeo, tale esigenza trova la sua più autorevole conferma sia nel programma *'Orizzonte Europa'* che si va configurando per il periodo 2021-2027, sia in quello definito dal documento della Commissione Europea denominato *'Una strategia europea per i dati'*, sia, infine, nei progetti e nei piani per lo sviluppo delle grandi infrastrutture di calcolo (*European High Performance Computing Joint Undertaking – EUROHPC JU*) e dei sistemi di dati e servizi cloud per le scienze aperte (*European Open Science Cloud – EOSC*).

Collocazione nel contesto di Orizzonte Europa

La Commissione Europea ha posto il tema dei Big Data al centro degli obiettivi del programma Orizzonte Europa (Horizon Europe, nel seguito HE) 2021-2027. L'assunto poggia esplicitamente su due fondamentali questioni: (i) si evolverà verso una economia basata sui dati, ovvero un sistema economico che attribuisce un ruolo centrale alle attività di generazione, trasformazione e consumo di informazioni in formato digitale; (ii) per l'Europa è insieme strategica e critica la costruzione di "mercati dei dati digitali", piattaforme che consentano di facilitare lo scambio e la condivisione di dati, garantendo l'autonomia dell'Unione e il rispetto delle normative che proteggono i diritti dei cittadini. È su queste basi che HE 2021-2027 ha deciso di investire con decisione su sistemi e analisi ultra-efficienti di Big Data (BD) e sulla costituzione ed evoluzione delle infrastrutture computazionali necessarie (HPC).

In particolare, in Orizzonte Europa, l'ambito tematico HPC&BD è una delle aree di intervento del Cluster 4 "Digitale, Industria e Spazio", che ha l'obiettivo di far avanzare le tecnologie digitali e dello spazio, fondamentali per la trasformazione dell'economia e della società, sostenere la digitalizzazione dell'industria europea, contribuire ad assicurarne la leadership globale e l'autonomia in termini di tecnologie e risorse. La principale aspettativa è nell'intenso sviluppo di attività che contribuiranno a far crescere un'industria a basse emissioni di carbonio, circolare e pulita, rispettosa del pianeta, e favoriranno la creazione di posti di lavoro di qualità e il coinvolgimento di tutta la società nell'uso consapevole delle tecnologie. In tal modo il cluster contribuirà ad affrontare le sfide che l'industria europea ha davanti, come la dipendenza dall'importazione di tecnologie chiave e di materie prime, la scarsità di risorse, compresa l'energia, il disallineamento di competenze e le considerazioni etiche fondamentali relative al progresso tecnologico.

Al fine di una puntuale delimitazione e messa a fuoco del contesto di riferimento HE, vale la pena di considerare che nel programma 2021-2027 vengono definite 10 Aree di Intervento Strategico (KSO) e 36 Impatti Attesi. Alle KSO sono poi associate le Aree di Intervento, ovvero i comparti scientifici e tecnologici chiamati a produrre gli Impatti Attesi.

Per quanto riguarda "Digitale, Industria e Spazio" le KSO di riferimento sono le seguenti tre:

- KSO 3: Trasformare l'industria dell'UE per un'economia pulita, più bio-based, neutrale dal punto di vista climatico, circolare e competitiva;
- KSO 5: Assicurare la leadership industriale globale dell'UE e l'autonomia strategica nelle tecnologie chiave;
- KSO 8: Dare forma alla tecnologia e all'innovazione in una direzione che funzioni per le persone e la società.



Come si è detto, HPC&BD è una delle Aree di Intervento previste per il Cluster 4, che in particolare sono: Tecnologie manifatturiere; Tecnologie digitali; Tecnologie abilitanti emergenti; Nuovi Materiali; Intelligenza artificiale e robotica; Internet di nuova generazione; High performance computing e Big Data; Industrie circolari; Industrie a basso contenuto di carbonio e pulite; Spazio, inclusa l’osservazione della terra.

Per quanto riguarda gli Impatti Attesi, quelli su cui incide il Cluster 4 sono in totale 5 e su 3 di essi è chiamata a contribuire l’Area di Intervento HPC&BD e più in particolare:

20. *Un’economia basata su dati che sia dinamica, affidabile, e attrattiva* a livello globale, favorendo lo sviluppo e l’adozione di tecnologie e infrastrutture innovative per il calcolo e i dati, abilitando il mercato unico Europeo dei dati articolato in spazi tematici e un ecosistema di intelligenza artificiale degno di fiducia.

22. *Autonomia nelle tecnologie digitali e nelle future tecnologie emergenti*, rafforzando le capacità europee nelle componenti chiave delle catene di fornitura digitali, presenti e future, consentendo risposte flessibili a emergenze, sostenendo la resilienza alle sfide sistemiche come ad esempio le epidemie e investendo nella scoperta scientifica precoce e nella rapida adozione industriale delle nuove tecnologie.

24. *Sviluppo etico centrato sulla persona delle tecnologie digitali e industriali* assicurato dal coinvolgimento di tutti i portatori di interesse nello sviluppo delle tecnologie, dando potere agli utenti finali e ai lavoratori e sostenendo l’innovazione sociale in risposta alle sfide della società, compresa la prevenzione e il controllo delle epidemie, in Europa e oltre.

A completamento del quadro contestuale HE 2021-2027, è necessario precisare che il collegamento tra aree di intervento, impatti e aree strategiche sarà espresso da sezioni del work-programme che per il tema High Performance Computing e Big Data sono le seguenti:

Sezioni	Obiettivo	Impatti
High end computing for Exascale performance and beyond	Assicurare l’autonomia digitale dell’Europa nelle tecnologie per il super-calcolo (hardware e software) e le applicazioni, e sviluppare il primo super-computer Exascale Europeo per il 2026.	a. Centro di gravità dell’impatto 22 “Autonomia nelle tecnologie digitali e nelle future tecnologie emergenti” b. Influyente nell’impatto 20 “Autonomia nelle tecnologie digitali e nelle future tecnologie emergenti”
Data sharing in the common European data space	Rendere l’EU il luogo migliore al mondo in termini di condivisione e riuso di dati nel rispetto delle normative su privacy e sicurezza	a. Centro di gravità dell’impatto 20 “Un’economia basata su dati che sia dinamica, affidabile, e attrattiva a livello globale” b. Influyente nell’impatto 22 “Autonomia nelle tecnologie digitali...” c. Influyente nell’impatto 23 “Sviluppo etico centrato sulla persona.”
Strengthening Europe’s data analytics capacity	Rendere l’EU autonoma nella elaborazione, composizione, modellazione e analisi di tali grandi quantità di dati al fine di amplificare la capacità di comprendere e/o prevedere in modo efficiente l’evoluzione di scenari complessi su cui basare strategie efficaci per le decisioni.	a. Centro di gravità dell’impatto 20 “Un’economia basata su dati che sia dinamica, affidabile, e attrattiva a livello globale”, b. Influyente nell’impatto 22 “Autonomia nelle tecnologie digitali...” c. Influyente nell’impatto 23 “Sviluppo etico centrato sulla persona...”

Con riferimento a tale contesto, il Piano delle PNR 2021-2027, fin dalla sua impostazione, ha chiaramente affermato una propria piena adesione dedicando uno dei 6 Grandi Ambiti di Ricerca e Innovazione specificamente a “Informatica, Industria e Aero-Spazio”, assumendo quindi nel piano nazionale una specifica immagine nazionale del Cluster 4 di HE



2021-2023. Ciò vale poi in modo particolare per HPC&BD, che, nel Grande Ambito sopra citato, è uno dei sette Ambiti Tematici che lo compongono. L'Italia si propone come uno dei principali attori della specificazione e dell'attuazione dei programmi HE 2021-2027 con riferimento ad HPC&BD. Il PNR, da questo punto di vista, pur aggiungendo altri interventi di specifico interesse nazionale, fa proprio tutto quanto previsto dai work-programme sopra indicati, anche dettagliando e specificando le azioni che verranno sviluppate e che direttamente si collocano nell'Area di Intervento HPC&BD di Orizzonte Europa.

In particolare, a conclusione di questa parte dell'analisi di contesto Europeo, in piena aderenza ai sopracitati Impatti 20, 22 e 24 di Orizzonte Europa, si specificano nell'ambito del PNR italiano i seguenti Impatti su cui si intende incidere:

- **(01)** *Sviluppo di una economia basata sui dati, dinamica, attrattiva, sicura e fondata su processi agili di gestione e fruizione dei dati;*
- **(02)** *Crescita dei livelli di sovranità e indipendenza europei nelle tecnologie emergenti e abilitanti;*
- **(03)** *Sviluppo umano centrico ed etico delle tecnologie digitali e industriali;*
- **(04)** *Sviluppo di tecnologie a sostegno delle grandi sfide sociali e sistemiche, come quelle per la prevenzione e la sostenibilità di epidemie e pandemie.*

Collocazione nel contesto di “Una Strategia Europea per i Dati”

La Commissione Europea ha recentemente delineato ‘Una Strategia Europea per i Dati’. Tale decisione scaturisce dalla presa d'atto di almeno tre fattori. Innanzitutto, dal fatto che entro il 2025 si stima che il volume di dati prodotto nel mondo supererà 175 Zettabyte, di cui circa 80 Zettabyte generati dai più di 40 miliardi di dispositivi connessi attraverso la “Internet of Things”. In secondo luogo, dal fatto che, nei prossimi anni, ogni individuo genererà nel ciber spazio una crescente quantità di dati (*dati personali*) relativi alla propria sfera fisica, personale e sociale, o derivanti dai propri comportamenti e interazioni con l'ambiente che lo circonda, con le istituzioni pubbliche o le organizzazioni private. Infine, la ricerca scientifica, l'industria, la pubblica amministrazione e, in generale, le aree prioritarie per lo sviluppo dell'economia e del benessere della società, saranno da un lato fonti sempre più prolifiche di dati (*dati non personali*) e dall'altro sempre più dipendenti dalla loro disponibilità, dalla capacità di conservarli, gestirli, analizzarli e di estrarre da essi conoscenza e valore. In tale quadro, da diversi anni le strategie nazionali dei paesi più industrializzati hanno focalizzato l'attenzione sulla ricerca nell'ambito dei Sistemi di Gestione ed Analisi del Big Data, al fine di coglierne tutte le opportunità. In particolare, come già si è anticipato, di fronte alle due diverse strategie dettate rispettivamente da USA e Cina, la strategia definita dalla Commissione intende delineare una *via europea* per la costruzione di uno spazio dei dati attraverso una particolare attenzione e bilanciamento del flusso e dell'utilizzo dei dati stessi (personale, sociale, pubblico, economico e produttivo) preservandone la sicurezza, la privacy e gli standard etici. In questo modo l'Unione Europea intende esercitare un proprio primato su una parte della “data economy” pari almeno al suo peso economico. Questo obiettivo potrà essere raggiunto attraverso la creazione di uno spazio dei dati comune europeo, sia per quanto riguarda la componente aperta e pubblica sia per quanto riguarda la componente orientata alle imprese e al mercato, dove i dati personali e non personali possono essere raccolti ed elaborati per creare valore, nonché attraverso investimenti in nuove infrastrutture, tecnologie, servizi e competenze.

La *terza via* ai dati si fonderà su principi, norme e azioni europee comuni capaci di garantire che:

- i dati possano essere scambiati all'interno dell'Unione Europea e tra i settori;
- le norme e i valori europei, in particolare la protezione dei dati personali, la legislazione sulla protezione dei consumatori e il diritto della concorrenza, siano pienamente rispettati;
- le regole per l'accesso e l'uso dei dati siano eque, pratiche e chiare e vengano messi in opera meccanismi chiari e affidabili di gestione dei dati, garantendo un approccio aperto ma assertivo ai flussi internazionali di dati, basato su valori europei.

Per quanto riguarda il suo dispiegamento, la strategia europea si basa su quattro pilastri attuativi fondamentali:

- la creazione di un ecosistema per la gestione, l'accesso e l'elaborazione dei dati;



- l'investimento in infrastrutture e servizi cloud sicuri, sia centralizzati sia periferici, strumenti software e meccanismi di gestione;
- lo sviluppo di competenze sia a livello del singolo individuo ("data literacy") sia per la costruzione di nuove opportunità per start-up e PMI;
- la creazione di spazi di dati comuni ed interoperabili nei settori strategici e nei domini di interesse pubblico.

L'Italia non solo aderisce pienamente alla terza via delineata dalla Commissione, ma intende assumere un ruolo trainante e protagonista nella sua articolazione, specificazione ed attuazione. È nell'ambito di tale via e, in ogni caso, in piena compatibilità con essa, che verranno assunte anche le specifiche iniziative nazionali. In particolare, il tema HPC&BD del PNR esplicitato in questo documento, assegna una rilevante importanza al fatto che in aggiunta ai già decisi investimenti strategici della UE nelle nuove tecnologie (finanziamenti per l'edge computing, per il calcolo ad alte prestazioni e quantistico, per i processori a basso consumo, per le reti 6G e per la cybersicurezza), abbia definito, come elemento portante della strategia europea per i dati, l'investimento in un "progetto ad alto impatto su spazi europei di dati e infrastrutture cloud federate". Il progetto è in particolare finalizzato ad architetture, infrastrutture e strumenti per la condivisione e il governo di ecosistemi di dati, alla federazione di infrastrutture cloud e edge e alla loro efficienza energetica. Le previsioni della Commissione sono di un investimento UE di 2 miliardi di euro con la produzione di investimenti combinati globali per 4-6 miliardi di euro e con una prima fase attuativa già nel 2022. Al fine di enfatizzare e incentivare la piena partecipazione italiana a tale progetto, nel PNR italiano relativamente al tema HPC&BD e alle sue articolazioni, nella lista degli impatti attesi sono state previste delle attività di ricerche relative al seguente e specifico punto denominato con lo stesso nome del progetto europeo:

- **(pr) Progetto ad alto impatto: sviluppo di spazi comuni europei di dati e interconnessioni delle infrastrutture cloud.**

La Commissione Europea affida a tale progetto due fondamentali obiettivi pur collegati fra di loro. Uno di essi è quello che prevede di mettere in campo e promuovere investimenti per la creazione di cloud federati attraverso il finanziamento di infrastrutture, strumenti per la condivisione di dati e architetture e meccanismi per la loro gestione. Il principale risultato atteso è lo sviluppo di un ecosistema federato di servizi IaaS, PaaS e SaaS) che soddisfi le esigenze dell'industria europea di sistemi centralizzati (cloud) e distribuiti, fino ai margini della rete (edge), per l'elaborazione dei dati efficiente dal punto di vista energetico, sicura e affidabile e (trustworthy) e con minime latenze. Il progetto coinvolgerà e avrà come beneficiari le aziende europee che si basano su un uso intensivo dei dati per lo sviluppo delle loro attività e coadiuverà tutte le aziende europee e tutta la pubblica amministrazione nella trasformazione digitale

Il secondo obiettivo è definito dalla componente del progetto ad alto impatto relativa gli spazi comuni. Si tratta della decisione, totalmente condivisibile di promuovere una specializzazione trasversale di tali spazi in quei settori e domini di rilevante interesse pubblico e economico in cui l'utilizzo dei dati avrà un impatto sistemico sull'intero ecosistema, oltre che sui cittadini. Questa iniziativa dovrebbe portare alla disponibilità di grandi moli di dati in questi ambiti, assieme agli strumenti tecnici e alle infrastrutture per l'utilizzo e lo scambio di dati e gli opportuni meccanismi di governance. Pur nell'impossibilità di poter utilizzare uno strumento unico per tutti questi ambiti (non esiste una soluzione *one-size-fits-all*), concetti e modelli di governance, paradigmi e pattern progettuali e tecnologici possono essere condivisi e replicati sui diversi settori. Queste piattaforme condivise dovranno essere arricchite, dove opportuno, da legislazione settoriale, standard e protocolli relativi all'utilizzo e condivisione dei dati, e da strumenti tecnici in grado di assicurare interoperabilità. Le differenze tra i diversi settori, oltre che da caratteristiche di dominio, dipendono dal grado di maturità rispetto all'uso delle tecnologie e dalla disponibilità di dati, parametri a estrema variabilità nei diversi settori.

In particolare, la strategia europea propone e sostiene la creazione di nove spazi europei comuni di dati, pur non escludendo di prendere in considerazione eventuali proposte di spazi in altri settori. Alcuni di tali settori si caratterizzano per elevata sensibilità di interesse e coinvolgimento pubblico, (ad esempio quello sanitario), alcuni altri per prevalente interesse economico e produttivo (ad esempio quello industriale e manifatturiero) e rispetto ad essi si possono registrare fra i paesi membri scelte di adesione e investimento differenziate in base alle proprie priorità, allo stato e alla maturità nazionale dei diversi settori. Per l'Italia, pur prevedendo la possibilità che in alcuni settori ci possa essere una adesione e uno sviluppo più lento nei tempi o nell'intensità, tuttavia nel PNR il tema HPC&BD assume che *tutti gli spazi comuni europei di dati proposti dalla Commissione sono di strategico interesse nazionale*. In coerenza con



tale scelta, al fine di invitare all'indispensabile e anzi fondamentale contributo della ricerca italiana per il raggiungimento di tali obiettivi, ciascuno dei nove spazi viene assunto come area di riferimento negli impatti previsti per piani e progetti di ricerca. I nove statement di impatto assunti sono pertanto:

- (s1) Spazio comune europeo dei dati per l'industria e la manifattura;
- (s2) Spazio comune europeo dei dati per il Green Deal;
- (s3) Spazio comune europeo dei dati per la mobilità;
- (s4) Spazio comune europeo dei dati per la salute;
- (s5) Spazio comune europeo dei dati per la finanza;
- (s6) Spazio comune europeo dei dati per l'energia;
- (s7) Spazio comune europeo dei dati per l'agricoltura;
- (s8) Spazio comune europeo dei dati per la pubblica amministrazione;
- (s9) Spazio comune europeo dei dati per le competenze.

È opportuno specificare che, come si preciserà in altra parte del presente allegato, in aggiunta alla realizzazione di questi nove spazi di dati, il PNR per HPC&BD affianca una piena partecipazione italiana all'obiettivo comunitario della European Open Science Cloud (EOSC), per sostenere la ricerca scientifica europea.

La collocazione sopra delineata di HPC&BD nella strategia europea per i dati, vuole delineare un contributo e un ruolo primario per una Europa in cui, in modo sostenibile, si sviluppi una società e una economia basata sui dati più attraente, più sicura e più dinamica nel mondo, migliorando i processi decisionali e le vite di tutti.

Il Rapporto con le Grandi Infrastrutture Europee per HPC&BD

L'analisi del contesto europeo e la collocazione in esso del PNR con riferimento al tema HPC&BD deve necessariamente fare menzione delle iniziative e dei progetti comuni europei per la realizzazione delle grandi infrastrutture di settore e, naturalmente, per il loro potenziamento e la loro evoluzione. Si tratta della progettazione, realizzazione e messa in esercizio di infrastrutture di carattere strategico per l'Unione europea, nelle quali l'Italia è presente ed impegnata in modo rilevante e alle quali *il PNR riconferma l'alto interesse e la piena partecipazione italiana*. A questi obiettivi dovranno peraltro essere indirizzate specifiche articolazioni delle ricerche HPC&BD destinate a garantire i contributi scientifici e tecnologici innovativi a supporto del ciclo di vita di tali infrastrutture. Da tale punto di vista appaiono di straordinaria rilevanza le iniziative denominate EUROHPC JU e EOSC.

L'impresa comune europea per il calcolo ad alte prestazioni (*European High Performance Computing Joint Undertaking – EUROHPC JU*) è un consorzio di entità pubbliche (stati membri dell'UE e paesi affiliati che aderiscono all'impresa comune) e private (tra cui spiccano i consorzi *European Technology Platform for HPC – ETP4HPC* e *Big Data Value Association – BDVA*) che mira a coordinare risorse e sforzi al fine di perseguire il duplice obiettivo di sviluppare una infrastruttura di supercalcolo paneuropea e di offrire supporto alle attività di ricerca e innovazione per l'HPC.

L'impresa comune europea per l'HPC nasce dalla constatazione che la domanda di calcolo dell'industria e della scienza europea nella UE travalica l'offerta computazionale attualmente disponibile. Più specificamente, la UE consuma circa il 29% delle risorse HPC disponibili al mondo ma l'industria UE fornisce solo circa il 5% di tali risorse. Inoltre, la UE non dispone di sufficienti piattaforme di potenza adeguata alle necessità delle applicazioni con maggiori richieste computazionali. Una conseguenza di questo disallineamento tra domanda e offerta è che gli utenti europei di HPC sono spesso costretti a elaborare i propri dati al di fuori della UE, una situazione che crea notevoli problemi di privacy, proprietà e protezione dei dati e dei segreti commerciali. Nonostante l'Italia sia, a Giugno 2020, l'unica nazione EU ad avere due supercomputer nella graduatoria delle prime 10 macchine a livello mondiale (HPCS di ENI al numero 6 e Marconi100 di CINECA al numero 9), nessuno dei supercomputer UE è al momento nella top 5 globale e tutte le macchine europee nella parte alta della classifica si basano su tecnologia non europea. Questa condizione di subalternità comporta per la UE il rischio crescente di essere privata di competenze strategiche e tecnologiche cruciali per l'innovazione e la competitività.



Nell'ambito dello sviluppo di tecnologie (hardware e software), un primo importante risultato atteso da EUROHPC JU è lo sviluppo di una famiglia di processori europei a basso consumo di potenza per il supercalcolo, per le applicazioni Big Data e quelle in settori emergenti (ad esempio i veicoli autonomi) ad alta intensità computazionale. A questo fine, il progetto EPI (European Processor Initiative), iniziato nel Dicembre 2018 con la formazione di un accordo quadro di partenariato (*Framework Partnership Agreement - FPA*) tra 27 partner (di cui 5 italiani) in 10 paesi europei aderenti ad EUROHPC, sta sviluppando la prima generazione di processori e di acceleratori europei a basso consumo basati su architetture ARM e RISC-V, rispettivamente. Un secondo importante obiettivo in ambito infrastrutturale è l'acquisizione di tre piattaforme di super-calcolo pre-exascale (~150PFlops, di cui una, Leonardo, sarà installata a Bologna e dovrebbe figurare tra le 5 macchine più potenti al mondo) e di cinque altre piattaforme peta-scale (~5-10 PFlops). Sono inoltre previsti bandi e finanziamenti tesi a sviluppare un ecosistema di supercalcolo europeo, da un lato stimolando la creazione di una industria europea di tecnologia HPC e dall'altro facilitando l'accesso alle risorse di supercalcolo da parte di un grande numero di utenti istituzionali e privati (incluse le piccole e medie imprese) in svariate aree applicative.

La EUROHPC JU, come dimostrano anche gare e bandi emessi, opera con continuità dal 2019 e ha una finestra iniziale di operatività che si concluderà nel 2026. Si prevede un co-investimento iniziale con gli stati membri di circa 1 miliardo di euro, di cui 486 milioni provengono dai programmi Horizon 2020 e CEF della Commissione Europea. Un contributo addizionale di circa 422 milioni di euro sarà invece contribuito dai partner privati.

La Struttura Europea per la Scienza Aperta (*European Open Science Cloud - EOSC*) si fonda sul lavoro iniziale svolto nel triennio 2018-20 per federare le infrastrutture di dati della ricerca esistenti ed emergenti e guiderà l'implementazione progressiva di una *Web di dati FAIR* (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable), sostenendo così in tutto lo spazio europeo la transizione verso una ricerca più efficiente. La Web di dati FAIR per la scienza è definibile come l'insieme dei servizi che permetteranno ai ricercatori di collaborare nell'immagazzinare, elaborare, ritrovare, accedere e riusare i dati scientifici. Un altro tema ormai consolidato nell'ambito del *Web dei dati* è quello della responsabilità e trasparenza mettendo al centro dell'accesso e gestione dei dati anche gli aspetti etici e legali, va pertanto affiancato a FAIR anche il tema FACT (Fair, Accountable, Confidential and Transparent) in totale coerenza con l'obiettivo strategico di Orizzonte Europa verso lo sviluppo etico centrato sulla persona delle tecnologie digitali.

La Commissione aveva presentato la prima volta la sua visione di EOSC nell'Aprile del 2016. Progetti EOSC finanziati nell'ambito del programma H2020 iniziano già nel Gennaio 2017, con *EOSCPilot*, finanziato con 10 milioni di euro circa per 30 mesi, a cui è poi seguito *EOSC-hub*, finanziato con 30 milioni di euro per 3 anni a partire da Gennaio 2018. Sono anche stati finanziati 3 ulteriori progetti più specificatamente orientati ai dati per un totale di circa 10 milioni di euro. La call *INFRAEOSC-4* ha poi finanziato cluster disciplinari, connessi ad infrastrutture ESFRI, con 5 progetti triennali iniziati fra fine 2018 e primi mesi 2019, che spaziano da Scienze ambientali a Scienze Sociali, Scienze della vita, Astronomia e Particelle, con un finanziamento complessivo di quasi 90 milioni di euro. La successiva call *INFRAEOSC-5* ha finanziato con circa 30 milioni di euro cinque progetti di consolidamento di EOSC in diversi gruppi di nazioni, con durata fra i 30 mesi e 3 anni, iniziati in estate/autunno 2019 e due ulteriori progetti da 10 milioni di euro ciascuno per il supporto alla governance EOSC e per la promozione della cultura dei dati FAIR. Si sono chiuse in giugno 2020 due ulteriori call, *INFRAEOSC-3* e *INFRAEOSC-7* per lo sviluppo delle infrastrutture e servizi EOSC, per un totale di circa 50 milioni di euro aggiuntivi.

A partire da dall'autunno 2018 è stata stabilita una triplice struttura per la Governance della EOSC costituita da un Executive Board (EB) di 8 membri, da un Governance Board (GB), costituito dai rappresentanti degli stati membri e da uno stakeholder forum che rappresenta le diverse comunità coinvolte. EB e GB hanno stabilito le priorità per EOSC e di conseguenza creato i seguenti 6 gruppi di lavoro, che dovranno terminare l'attività entro il 2020:

- *Architecture*: per la definizione del contesto tecnologico necessario ad abilitare e sostenere l'evoluzione della federazione EOSC di sistemi;
- *Fair*: per la implementazione dei principi FAIR tramite la definizione dei requisiti corrispondenti allo sviluppo dei servizi EOSC, al fine di favorire l'interoperabilità interdisciplinare;
- *Landscape*: per la mappatura delle infrastrutture di ricerca esistenti che sono candidate a essere parte della federazione EOSC;



- *Rules of Participation*: per il progetto di regole di partecipazione che definiscano i diritti e gli obblighi che regolano le transazioni EOSC tra utenti, fornitori di servizi e operatori.
- *Sustainability*: per la stesura di un insieme di raccomandazioni per l'implementazione di una federazione EOSC operativa, scalabile e sostenibile dopo il 2020.
- *Skills and Training*: per la messa a punto di un modello per una infrastruttura sostenibile per la formazione che supporti EOSC in tutte le sue fasi e ne faciliti la sua diffusione.

Questa organizzazione di EOSC deve essere sostituita per l'inizio del 2021 (il programma Horizon 2020 scade a fine 2020) con una nuova struttura che governerà la Partnership co-programmata in cui evolverà la EOSC. Siamo, anche in questo caso, di fronte ad una evoluzione che l'Italia ritiene di rilevante interesse e alla quale il PNR sul tema HPC&BD assegna un ruolo primario. La nuova struttura sarà costituita da tre entità: a) la entità legale EOSC, di cui faranno parte tutte le associazioni riconosciute allo scopo dai governi nazionali (*Mandated Organizations*, MO, una per Paese), più altre entità operanti a livello nazionale e sovranazionale; b) la Commissione Europea, c) lo Steering Board, con i rappresentanti diretti dei governi nazionali. Vale la pena di segnalare che fra i documenti fondanti in corso di elaborazione c'è il documento strategico denominato Strategic Research & Innovation Agenda (SRIA) di EOSC. Anche se il contesto italiano sarà trattato nella Parte 2 sembra rilevante anticipare qui la notizia che la MO italiana ICDI (vedi nella Parte 2) il primo luglio scorso ha ricevuto dal Governance Board di EOSC l'importante riconoscimento di essere una delle 4 organizzazioni fondatrici della Entità Legale EOSC, assieme alla MO spagnola CSIC, a GEANT e CAESAR. Risulta evidente che questo ruolo da un lato dimostra la validità dell'impegno fin qui profuso dall'Italia in EOSC e dall'altro apre interessanti prospettive per il futuro.

Contesto italiano e indirizzi di piano per HPC&BD

L'analisi del contesto europeo nel settore del Calcolo ad Alte Prestazioni e dei Big Data porta ad assegnare all'Italia una collocazione e un ruolo che già delineano un campo di rilevante impegno per la ricerca scientifica e tecnologica italiana, con un insieme ben definito di ricadute e impatti attesi. A ciò bisogna tuttavia aggiungere ulteriori elementi di specializzazione e caratterizzazione derivanti da alcune peculiarità del contesto nazionale.

Nel percorso di sviluppo di un'economia fondata sui dati l'Italia è ancora in uno stadio iniziale con la necessità di incrementare rapidamente e in modo consistente l'utilizzo e la domanda di dati, di prodotti e servizi basati sui dati, che pure fanno registrare nel triennio 2017-2020 un importante trend di crescita. Nel 2020, a causa della pandemia e del conseguente lockdown, si prevede che tale trend non subirà una decrescita, anche perché il settore è uno di quelli ad alta resilienza, ma un rallentamento che sarà seguito subito da una decisa ripresa già nel 2021. Nel 2019 il mercato italiano dei Big Data ha per la prima volta sfondato il tetto di 1 miliardo di euro con una crescita del 16.1% (in sintonia con la crescita a due cifre già registrata nel 2017 e 2018). A tale crescita si aggiunge quella che si registra per il Cloud, che nel 2020 sfonderà il tetto dei 3 miliardi di euro e di altri settori a uso intensivo di calcolo e dati (quali IoT, con un mercato di 3,5 miliardi di euro e +18,3% nel 2019, e infine la AI, con un mercato di 215 milioni di euro ma con una crescita del 60%).

In controtendenza all'andamento generale, la domanda di DATED già destinata a crescere e a essere strategicamente incentivata, sta ricevendo una spinta imponente e decisiva proprio dall'esperienza COVID-19 che trasformerà il 2020 in uno spartiacque fra una fase di innovazione moderata e una fase di più accelerata e diffusa innovazione nel settore del calcolo avanzato, dei dati e delle infrastrutture necessarie associate. Non si tratta qui soltanto della ormai generalizzata consapevolezza che queste tecnologie, distribuite in reti di nodi sia nazionali sia territoriali, siano un fattore abilitante primario di Protezione Civile e Sanitaria, un "must" per migliorare le condizioni di vita, curare malattie, fornire previsioni su eventi e impatti ad essi correlati, monitorare i flussi e gli spostamenti della popolazione o l'andamento della malattia anche in ottica di contenimento e prevenzione del contagio. Né ci si può fermare solo all'adozione o estensione del lavoro e delle attività intelligenti e remote nelle attività sociali, istituzionali e di governo, nei servizi pubblici e nelle aziende. Gli aspetti sopra citati stanno già producendo in modo un crescente e irreversibile fabbisogno della disponibilità di accesso e uso di piattaforme e servizi di DATED. È una consapevolezza diffusa anche in Italia che l'importanza dei dati e della loro gestione ed elaborazione è pervasiva e necessita di nuovi paradigmi di produzione di



beni e servizi centrati sui dati nelle istituzioni, nel sociale e nelle imprese. Il caso italiano è paradigmatico dell'esigenza della "terza via" europea ai dati secondo una strategia che metta al centro:

- la qualità dei dati, necessaria per generare conoscenza affidabile;
- le modalità con cui accedere e gestire in sicurezza i dati nello spazio e nel tempo, garantendo in modo particolare la sicurezza e l'indipendenza nazionale ed europea;
- la disponibilità di servizi efficienti e fruibili da tutti gli interessati (individui, ricercatori, pubblica amministrazione, industria);
- la capacità di estrarre conoscenza e creare valore aggiunto nel pieno e primario rispetto di principi normativi ed etici, includendo aspetti di privacy per i dati personali e di proprietà intellettuale per i dati non personali;
- infine, la condivisione e riuso dei dati anche in domini diversi da quelli per cui sono stati raccolti, supportata da infrastrutture per dati aperti diffuse e accessibili.

Nell'articolazione di una via italiana all'economia dei dati come parte integrante della più generale strategia europea, il contesto nazionale pone all'evidenza come nodi fondamentali la necessità di:

- uscire dall'attuale stadio embrionale nella diffusione, nell'uso e nella messa a punto di piattaforme per la condivisione e la interoperabilità dei dati e per il consolidamento di una cultura di scienza ed innovazione basata sui dati verso la realizzazione di Aree Dati Comuni italiane ed europee nei diversi domini di applicazione;
- amplificare in modo straordinario la capacità di estrarre significato e conoscenza dai dati attraverso l'intero patrimonio di strumenti della Data Science (Data Mining, Machine learning, Big Data Analytics, Network Analytics) in collezioni massive a scala crescente soprattutto in settori strategici, quali Sanità, Agricoltura, Industria, Commercio, Mobilità e Trasporti, Finanza ed Economia, Educazione, Ricerca, Turismo, Beni Ambientali e Culturali, Media, Sistemi del welfare e delle politiche sociali e tanto altro;
- potenziare a ogni livello (centralizzato e distribuito) la nostra autonoma capacità di calcolo ad alte prestazioni, garantendo sicuri livelli di dipendenza, assicurando la non obsolescenza del nostro patrimonio e partecipando, con una specifica installazione in Italia, al progetto europeo di supercomputer di nuova generazione (Computing for Exascale Performance);
- accrescere in modo sostanziale la capacità di calcolo e gestione dei dati locali (From cloud to edge computing) in sintonia con lo sviluppo di cloud nazionali e di intermediari capaci di mitigare o mettere in sicurezza il ricorso a cloud globali controllati da entità extra-europee anche favorendo lo sviluppo di nuovi paradigmi per calcolo e la gestione dei dati decentralizzati a livello del singolo cittadino e dei suoi dispositivi.

Tali nodi fondamentali, anche con riferimento a progetti e piani di innovazione del paese già definiti o dispiegati, confermano la centralità, per la ricerca italiana in HPC&BD, la conferma delle aree di impatto già derivate dalla collocazione nazionale nel contesto europeo ma richiedono altresì l'aggiunta di almeno tre altri domini di concreta ricaduta sintetizzati come segue:

- la realizzazione e l'evoluzione delle grandi infrastrutture italiane per il calcolo scientifico e l'analisi di dati;
- la messa a punto delle infrastrutture centralizzate e distribuite di calcolo e dati necessarie alla migrazione del sistema produttivo nazionale verso I4.0
- la valorizzazione, qualificazione e fruizione massiva del patrimonio dati delle PA a fini sociali e produttivi.

Infrastrutture Italiane per HPC

L'Italia possiede un importante patrimonio di infrastrutture HPC prevalentemente al servizio della ricerca scientifica nazionale ed europea e connesse dalla Rete Nazionale del Consorzio GARR. Nodi primari di questa rete sono il CINECA e il CNAF di INFN. I sistemi di supercalcolo del CINECA (82 Enti consorziati, fra cui 68 Università e 9 Enti di Ricerca) offrono servizi a oltre 3000 utenti e nel consorzio opera un apposito Dipartimento HPC che, oltre le applicazioni del dominio scientifico, supporta anche applicazioni industriali. Il CNAF è il centro di supercalcolo di INFN ed è anche di vitale supporto agli esperimenti dell'Acceleratore di Particelle LHC, alla ricerca nel settore della



Fisica ad Alte Energie e delle Astroparticelle. Entrambi i siti sono situati a Bologna e sono connessi con rete a banda 1.2Tbit/s. Ad essi si aggiungono altri sistemi di classe Petascale, come quelli del Centro dell'ENEA di Portici, del Centro di CMCC di Lecce e del Centro di SISSA/ICTP di Trieste, e centri "minori" dell'INAF, NGV e altri enti di ricerca. A questi va aggiunta la struttura Cloud Federata del già citato GARR. È anche opportuno segnalare che altre installazioni significative sono distribuite sul territorio e che la suddetta rete nazionale è complementata da un numero crescente di installazioni di infrastrutture europee, quali il Centro Europeo di Previsione Meteorologica a Medio Termine (ECMWF).

La gestione e il potenziamento di questo patrimonio è di rilevanza strategica per l'Italia e deve evolvere in sinergia con il contesto europeo, sia strategicamente che finanziariamente. In questo quadro si colloca anche il Progetto Leonardo, ovvero l'installazione, la messa in esercizio e la gestione nel tecno-polo di Bologna del più performante calcolatore di classe *pre-exascale*, con una potenza di calcolo superiore ai **250 Petaflops** e nodo primario della rete di supercalcolo europeo. Il 50 per cento della potenza di calcolo erogata da questa macchina sarà a disposizione degli istituti di ricerca, delle università, ma anche delle aziende del nostro paese.

Leonardo costituirà il principale asse portante dell'infrastruttura HPC italiana che, attorno al nodo centrale del polo bolognese CINECA-INFN, dovrà trovare un più avanzato assetto nazionale con un'organizzazione distribuita a rete di infrastrutture di dimensioni ridotte, ma pur sempre significative (Petascale e oltre). Di rilevante interesse è poi l'iniziativa intrapresa per la costituzione del centro di competenza nazionale nel calcolo ad alte prestazioni sulla resilienza ai disastri naturali (HPC₄NDR) promosso da università e enti di ricerca dell'Italia centrale. Alla ricerca scientifica italiana nel settore HPC&BD è affidato il compito di fornire competenze e soluzioni non soltanto nell'architettura, nella stratificazione hardware e software, nei servizi di questa ambiziosa rete di infrastrutture, ma anche di alimentare la piena utilizzazione di questa capacità di calcolo per applicazioni scientifiche, ma anche sociali e industriali.

Per tutte le considerazioni sopra sviluppate viene qui introdotta una specifica e caratterizzante area di impatto così definita:

(i) la realizzazione e l'evoluzione delle grandi infrastrutture europee HPC&BD con hub italiani per il calcolo scientifico e l'analisi di dati.

Innovazione e migrazione I4.0 del sistema produttivo italiano

In Italia è in piena fase di dispiegamento la migrazione verso I4.0 del nostro sistema produttivo, un processo sostenuto dallo specifico "Piano Nazionale I4.0" avviato nel 2017 e rinnovato e sostenuto negli anni successivi dal governo italiano. Siamo sicuramente di fronte a un piano di primaria e strategica rilevanza per il paese che ha nell'industria manifatturiera un asset fra i più importanti in Europa e di enorme valore per il sistema produttivo e l'economia nazionale. La pandemia da COVID-19, che ha provvisoriamente rallentato il processo, non solo non lo fermerà ma lo arricchirà per la diffusa consapevolezza che proprio le tecnologie I4.0 sono uno strumento abilitante per riorganizzazioni e nuovi paradigmi produttivi ad alta resilienza. Anche in questo caso un indicatore dell'entità del fenomeno in atto viene dal mercato dell'Industria 4.0 in Italia che nel 2019 aveva raggiunto un valore di **3,9 miliardi di euro, in crescita del 22%** rispetto all'anno precedente, e quasi triplicato in 4 anni.

Il Piano Nazionale, integrato peraltro sia da leggi, piani e progetti dei governi regionali sia da programmi e iniziative specifiche di associazioni imprenditoriali (come Confindustria e Unioni Industriali, Camere di Commercio e confederazioni di settore, associazioni e federazioni dell'Artigianato), avanza un'esplicita domanda di ricerca e trasferimento tecnologico con caratteristiche non occasionali e temporanee, ma strutturali e permanenti. Alle Università e agli Enti di Ricerca viene infatti chiesto di essere parte integrante e attori primari della Rete Nazionale I4.0 che a oggi è composta da 8 Centri di Competenza, promossi e attivati dal Piano Nazionale, 268 Digital Innovation Hub (DIH) e EDI (Ecosistemi Digitali per Innovazione), 88 Punti Impresa Digitale (PID). I settori della ricerca scientifica chiamati a fornire risultati che impattano sul dispiegamento e sull'alimentazione di questa rete nazionale sono molti, anche in virtù del fatto che caratteristica fondamentale del paradigma I4.0 è la convergenza multidisciplinare di tutti i settori ICT (informatica, telecomunicazioni, elettronica, robotica, automazione e altro) con quelli industriali e più in



generale degli specifici domini produttivi. In tale quadro, gli impatti richiesti al tema HPC& BD non possono essere ricondotti unicamente a quelli già delineati nel contesto europeo. In particolare, l'impatto richiesto travalica quello indicato come **SI** e dedicato alla costruzione dello **Spazio Comune Europeo di Dati Industriali**. La partecipazione a un'autonoma piattaforma di gestione ed analisi dei dati prodotti, condivisi ed usati dall'industria europea è vitale per la competitività internazionale delle nostre imprese (il valore dell'utilizzo di dati industriali nel solo manifatturiero sfiorerà i 1500 miliardi nel 2027). Il sistema italiano deve sostenere l'iniziativa e la partecipazione delle nostre industrie a federazioni di cloud e condivisione dati, come ad esempio Gaia-X (una infrastruttura cloud e dati europea che intende mettere insieme providers di rete, di servizi cloud e di HPC, nonché di sistemi cloud ed edge pensati per settori specifici, sviluppando servizi per trovare, combinare e connettere i servizi dei providers partecipanti in modo da offrire agli utenti un potente ecosistema di facile utilizzo). È d'altra parte necessario supportare scientificamente e tecnologicamente iniziative nazionali per piattaforme dati e cloud industriali sia verticali (di filiera o di dominio applicativo) sia orizzontali (di sistema o ecosistemi produttivi nazionali).

Il Piano Nazionale esplicitamente indica i Big Data fra le tecnologie I4.0 primarie e abilitanti che i Centri di Competenza sono chiamati a supportare e diffondere in ambito industriale. Fra questi centri ben 3 (BIREX, SMOACT e MEDITECH) o sono centrati sui Big Data o esplicitamente li assumono fra gli assi principali della loro missione. Anche l'analisi del già citato andamento del mercato I4.0 rivela che il 75% della spesa globale (circa 3 miliardi di euro su 3,9) è legato alla connettività (IoT Industriale), alla gestione e all'analisi dei dati. Si registra un accentuarsi della tendenza delle aziende italiane a dotarsi di assetti "Data Lake" e di piattaforme dati che consentano una visione integrata del consumatore o la memorizzazione e l'elaborazione di dati provenienti da macchine e sensoristica IoT per dispiegare, monitorare e ottimizzare processi produttivi e manutentivi.

La migrazione I4.0 del sistema produttivo si fonda non solo sul collegamento delle nostre aziende alle aree dati comuni, alle piattaforme e alle federazioni di cloud europei ma anche sulla possibilità di fare analisi avanzata dei dati e sviluppo di soluzioni in azienda e nel luogo dove i dati stessi sono prodotti. La necessità di minimizzare tempi di latenza e produrre decisioni velocemente, unita a problematiche di autonomia, sicurezza e protezione, fanno sì che il luogo ideale per gestire e analizzare la maggior parte dei dati dell'IoT è vicino ai dispositivi che producono e agiscono su tali dati. Ai modelli centralizzati di gestione e analisi di dati, si aggiungono quindi ora modelli distribuiti e decentralizzati (fog e edge computing) fino a reti aziendali mesh di micro data center, in grado di elaborare e memorizzare dati critici localmente, e di trasmettere tutti i dati ricevuti e/o elaborati a un data center centrale, a grandi piattaforme o a repository di cloud storage. Si tratta di nuovi paradigmi e assetti che sono destinati non solo a una capillare diffusione nell'industria manifatturiera (si valuta che già entro il 2022 il 75% dei dati prodotti in azienda sarà raccolto, gestito ed analizzato fuori dai grandi "data center") ma anche a permanente evoluzione e trasferimento tecnologico. Tutto ciò non sarà possibile se la ricerca in HPC&BD non sarà in grado di fornire conoscenze, soluzioni e maturità scientifiche e tecnologiche necessarie per una tale evoluzione.

Per tutte le considerazioni sopra sviluppate viene qui introdotta una specifica e caratterizzante area di impatto così definita:

- **(i2) 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.**

I dati della Pubblica Amministrazione

Uno dei principali patrimoni di dati esistenti in Italia, forse il più importante, è sicuramente quello della Pubblica Amministrazione, in tutte le sue articolazioni nazionali, regionali e locali. Secondo un recente censimento di AGID (Agenzia per l'Italia Digitale), si tratta di un patrimonio gestito da più 11000 "data center" e relativo a più di 22000 pubbliche amministrazioni. È un patrimonio utilizzato quasi esclusivamente per l'espletamento delle funzioni istituzionali e, nella stragrande maggioranza dei casi, per embrionali livelli di analisi e supporto delle decisioni degli enti presso i quali i dati sono raccolti e gestiti. Si tratta invece di dati che sia nel loro complesso sia nelle loro specifiche articolazioni (dalle banche dati di interesse nazionale alle basi di dati locali, e ora anche a dati non strutturati ed eterogenei provenienti da web e reti) costituiscono un giacimento di straordinario valore per l'analisi e la produzione



di servizi innovativi e avanzati al cittadino e alle organizzazioni sociali, e di servizi ad alto valore aggiunto per le imprese e, più in generale, per il sistema produttivo di beni e servizi. Ben oltre la sua funzione istituzionale, si tratta quindi di un patrimonio decisivo per la costruzione di un'economia fondata sui dati e per un suo sviluppo secondo quella che abbiamo chiamato "terza via". La *valorizzazione* di tale patrimonio, anche tramite la costruzione di servizi avanzati di data analytics, come si registra peraltro negli indirizzi strategici e nei piani di agenzie e istituzioni governative, è un obiettivo strategico del paese. Si tratta tuttavia di un patrimonio che pone rilevanti problemi di *qualificazione* sia strutturali (modellazione, classificazione, archiviazione) che infrastrutturali (acquisizione, gestione, governo, calcolo e analisi). Il censimento AGID sopra citato rileva, ad esempio, che solo il 5% del censito è in condizioni di "non obsolescenza". È una qualificazione che richiede standard e modelli di riferimento per la ristrutturazione, reingegnerizzazione, l'integrazione in rete e verso nuovi assetti Big Data e cloud, la convivenza e l'integrazione con dati eterogenei e non strutturati in Laghi di Dati (Data Lake) delle PA. Si tratta anche di patrimoni di dati ad elevata sensibilità che richiedono quindi livelli di *protezione* capaci di garantire i diritti del cittadino, l'interesse e la sicurezza sociale, la sicurezza e l'autonomia nazionale ed europea. Questo bisogno di protezione pone problemi di modelli, architetture, piattaforme e tecnologie con caratteristiche inedite, originali o appositamente adattate e in ogni caso capaci di prevenire e impedire forme di dipendenza occulta o indesiderata da interessi terzi. Tali livelli di protezione vanno tuttavia coniugati garantendo sistemi di dati aperti, di *agile accessibilità*, capaci di alimentare anche servizi cloud e aree dati comuni sui quali costruire servizi di data integration e analytics. Si tratta, più in generale, di predisporre e attuare una *fruizione massiva* di questi dati a fini sociali e produttivi. Uno degli ostacoli fondamentali a una fruizione dei dati, sia da parte degli utilizzatori esterni che da parte delle stesse PA, è quello della scarsa *interoperabilità* che impedisce la combinazione di dati provenienti da fonti diverse e la loro integrazione in servizi sia inter che intra settoriali.

Il raggiungimento degli obiettivi sopra delineati richiede la costruzione nel tempo di un Sistema di Dati con associati Servizi Data-oriented ad altissima complessità che pone alla Scienza e all'Ingegneria Informatica, e in particolare dei Dati, rilevanti sfide progettuali, attuative, di tenuta in esercizio ed evoluzione. Si tratta di un Sistema fatto di sistemi cloud e piattaforme di dati sia centralizzate e nazionali, sia distribuite e locali, che deve poggiare anche su un'adeguata infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni. Allo stato, sono già pilastri di tale sistema gli annunciati obiettivi di dotare la PA Italiana dei seguenti due strumenti centralizzati:

- Piattaforma Digitale Nazionale dei Dati;
- Cloud Nazionale.

Nel primo caso si tratta di uno strumento per agevolare l'accesso ai dati pubblici e far avanzare l'interoperabilità fra i dati di diverse PA; nel secondo caso si tratta di costruire una infrastruttura ad elevata affidabilità, autonoma, sicura e localizzata in Italia per servizi "della e per" la PA.

Gli obiettivi sopra indicati non sono possibili senza un permanente contributo della ricerca scientifica e dell'alta formazione. Bisogna produrre conoscenza e soluzioni per vincere la sfida del Sistema Dati della PA, ma anche per alimentare la conoscenza e la maturità necessaria alla formazione e al permanente aggiornamento dei profili professionali, anche nuovi, necessari alla PA per mettere in esercizio, utilizzare e far evolvere tale sistema.

Nel quadro del contesto nazionale sopra delineato, il PNR chiede alle ricerche che si svilupperanno nell'ambito di HPC&BD, di garantire risultati che abbiano un impatto che non sia riconducibile a quello già definito come **s8** e relativo agli **Spazi Comuni Europei di Dati per la PA**. In tale ambito infatti, l'enfasi della strategia europea è posta su dati giuridici e relativi agli appalti pubblici. Trattasi di Spazi comuni ai quali l'Italia è altamente interessata (essenziali per la trasparenza e la responsabilità della spesa pubblica, per la lotta comune europea alla corruzione, e così via), e che tuttavia non includono gli obiettivi e i piani sopra illustrati per i dati prodotti e usati dalla PA. Per queste considerazioni viene qui introdotta una specifica e caratterizzante area di impatto così definita:

- ***(i3) Valorizzazione, Qualificazione e Protezione, Accessibilità agile e Fruizione Massiva del Patrimonio Dati della PA a fini sociali e produttivi.***



Premesse per un piano sulla ricerca in HPC&BD

Lo sviluppo e l'evoluzione del patrimonio nazionale di calcolo ad alte prestazioni e di sistemi di gestione e analisi dei dati che abbiamo sia pur sommariamente descritto, sono assolutamente indispensabili per gli interessi e il ruolo che l'Italia ha nello sviluppo di una terza via verso un'economia sostenibile e fondata sui dati. Essi sarebbero però irraggiungibili senza il contributo permanente di una ricerca scientifica e tecnologica in HPC&BD al passo coi tempi e anticipatrice di futuro.

Il PNR 2021-2027 intende pianificare un insieme di azioni capaci di garantire tale contributo, ovvero, fermo restando la garanzia della libertà di ricerca nelle università e negli enti, vuole definire un quadro generale e un complesso di strumenti tesi a stimolare e guidare la ricerca in HPC&BD verso gli obiettivi strategici di interesse nazionale ed europeo delineati.

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. Si tratta di una tradizione pluridecennale che affonda le sue radici nei gruppi di ricerca nel calcolo parallelo e nelle basi di dati già attivi negli anni Settanta.

Questo ampio e radicato bacino di ricerca è anche alla base della capillare presenza nell'alta formazione universitaria di corsi e iniziative didattiche specificamente dedicate all'Informatica dei dati e del calcolo ad alte prestazioni. Tali iniziative si sono sviluppate diffusamente nei Corsi di Laurea di Informatica ed Ingegneria Informatica, coprendo tutto il campo disciplinare di settore (hardware, software, architetture e reti); nell'area dei dati, gli storici e internazionalmente noti insediamenti didattici di Basi di Dati dell'Informatica sia di Scienze che di Ingegneria, hanno altresì consentito il recente arricchimento dell'offerta didattica di Informatica con un ampio ventaglio di specifici corsi di laurea in 'Data Science'. Anche se da potenziare ed incentivare, è ampia e di qualità la presenza nei Dottorati di Ricerca, che hanno permesso di alimentare gli insediamenti pubblici e privati della ricerca di settore. Altrettanto rilevante è stata, infine, l'offerta di master universitari per l'approfondimento o l'aggiornamento di competenze su specifici o emergenti argomenti. Tale patrimonio didattico, peraltro, va consolidato con risorse adeguate anche per far fronte allo skill shortage di settore. È uno skill shortage di lunga durata, non soltanto italiano, ma di livello mondiale (il rapporto 2018 del World Economic Forum on Future Jobs mette al primo posto la domanda di Data Analysts e Data Scientist, seguita al quarto posto da quella di Big Data Specialist), e in particolare europeo (la valutazione riportata dalla CE in 'Una strategia Europea per i Dati', relativamente alla UE a 27, è di 496.000 posti vacanti nel solo settore dei BD). Il livello generale di alfabetizzazione ai dati tra la popolazione e nella forza lavoro è basso rispetto alle necessità. Quanto ai profili tecnici e professionali, si registra poi una rapida crescita dell'indice di carenza di Big Data Specialist (secondo l'Osservatorio sulle Competenze Digitali 2019, si tratta di una crescita superiore al 27% annuo negli ultimi 4 anni). A questo bisogna aggiungere poi la rilevante crescita della domanda di alta formazione per la ricerca (Dottorato) proveniente anche dalle aziende accanto a quella di formazione per nuove professionalità necessarie e emergenti (Data Stuart, Data Lake Manager, ...). Si tratta, in conclusione, di un fabbisogno di formazione e alta formazione al quale non sarà possibile fare fronte senza il contributo permanente di una ricerca scientifica capace di fornire le conoscenze necessarie e in permanente evoluzione.

La rilevanza della Ricerca italiana nei settori di HPC&BD e il suo apprezzamento da parte della comunità scientifica internazionale sono dimostrati dalla crescita qualitativa e quantitativa delle pubblicazioni prodotte sia in riviste sia in congressi di fascia alta. Tale trend è peraltro ulteriormente confermato dalla partecipazione di ricercatori e gruppi di ricerca italiani in numerosi progetti nazionali ed europei. Si registrano poi buone pratiche e casi di successo anche con riferimento al trasferimento tecnologico, alla creazione di spin-off e alle ricadute nella società italiana e nel suo sistema produttivo di beni e servizi. Ciò riguarda non solo scienze e ingegneria dei dati, Big Data e cloud, ma anche il calcolo ad alte prestazioni (le cui ricadute esemplari sono in generale meno note, come ad esempio la collaborazione fra CINECA e ENI che ha consentito a quest'ultima di avere un sistema di super-calcolo stimato come il più potente al mondo in ambito industriale). Tuttavia, i casi esemplari che si registrano sono decisamente insufficienti rispetto alla ben più grande offerta potenziale e al fabbisogno nazionale. Appare evidente la necessità di un deciso incremento di ricerche che abbiano, nel nostro paese, sostanziali applicazioni industriali e un reale impatto sulla società.



In Italia, fa fatica a radicarsi in modo capillare la concezione che la qualità della ricerca in HPC&BD si deve caratterizzare non solo per pubblicazioni e riconoscimento di meriti scientifici ma anche per:

- la produzione di soluzioni visionarie e componenti chiave dell'innovazione;
- le ricadute da studi empirici in ambiente reale di produzione di beni e servizi;
- la capacità di essere, per il paese e nel proprio settore, il fornitore privilegiato di conoscenze, competenze, risultati sperimentali e prototipi, frutto della ricerca.

Questo moderato impatto sulla realtà italiana delle nostre pur eccellenti ricerche in HPC&BD è anche legato alla modesta capacità di fare massa critica, con un fenomeno di dispersione di risorse ed energie in ricerche finalizzate unicamente e direttamente alla pubblicazione in sedi di prestigio o in partecipazioni non ben coordinate di gruppi e a volte addirittura di singoli ricercatori a pur importanti progetti nazionali ed europei. In particolare, appare ancora embrionale, malgrado alcune preziose e pregevoli iniziative, la capacità del settore HPC&BD di darsi una organizzazione identitaria di Area Scientifica Nazionale, in grado di superare la naturale distribuzione dei propri ricercatori in piccoli gruppi dentro Dipartimenti e altre strutture ICT accademiche e di ricerca. Bisogna anche aggiungere che i livelli di investimento di aziende ed industrie nella cooperazione con università e enti per il tailoring e la industrializzazione dei risultati della ricerca, appaiono sufficienti solo in pochi settori produttivi. In questa dispersione di risorse ed occasioni bisogna poi evidenziare almeno altre due questioni che, invero, non riguardano solo HPC&BD. La prima è quella della assenza di forme efficaci di rendicontazione scientifica, monitoraggio e valutazione ex post sui progetti di ricerca di cooperazione fra università ed industria, sia a livello nazionale che regionale. Questo fa sì che troppo spesso, a fronte di una pesante attività di rendicontazione burocratica e contabile, si registra una lasca se non scarsa attenzione al raggiungimento degli impatti attesi, alla loro divulgazione e valorizzazione. La seconda è lo scarso coordinamento fra strutture dello Stato (a cominciare dai ministeri) e fra Stato e Regioni in materia di Innovazione e Trasferimento Tecnologico, con particolare riferimento alla domanda di Ricerca che da qui emerge; ciò ha portato spesso, con particolare riferimento alla gestione dei dati e ai Big Data, alla parcellizzazione e alla sovrapposizione degli interventi, riducendo di fatto l'impatto sui sistemi di innovazione nazionali e regionali.

Tre indirizzi di piano per HPC&BD

Il PNR intende promuovere un'efficace politica scientifica nazionale per HPC&BD finalizzata al potenziamento e allo sviluppo delle ricerche di quest'ambito agendo su tre linee:

- a) Potenziamento e Sviluppo;
- b) Coordinamento e Valorizzazione;
- c) Finalizzazione e Procurement Strategico.

Questo è un obiettivo che può essere perseguito chiamando la comunità scientifica di settore ad assolvere ad una doppia missione:

- Ricerca HPC&BD per HPC&BD: essere all'avanguardia nella evoluzione scientifica e tecnologica del calcolo ad alte prestazioni e dei sistemi di gestione e analisi dei dati;
- Ricerca HPC&BD per la domanda: essere al servizio della domanda di ricerca finalizzata e trasferimento tecnologico proveniente da tutti gli altri domini e in particolare dagli ambiti tematici del PNR.

Al di là della specifica domanda di ricerca proveniente da progetti ed iniziative che si svilupperanno in altri ambiti, uno strumento di fondamentale importanza per il perseguimento di tale politica è il lancio di un:

Progetto strategico nazionale

capace di mettere al primo posto gli interessi nazionali, delineare aree, indirizzi e obiettivi strategici di ricerca, mobilitare in un'azione di sistema tutta la comunità scientifica di HPC&BD. È sicuramente di primaria importanza, per il paese e per la ricerca italiana nel suo complesso, che un progetto di tale tipo sia definito e attivato per tutto il settore IT (Tecnologie dell'Informazione). Nell'ambito di tale progetto e ferma restante sinergia e convergenza



multidisciplinare con gli altri settori (in modo specifico quelli IT dell'ambito tematico 'Informatica, Industria e Aerospazio' del presente Piano), dovrebbe trovare piena collocazione un apposito asse dedicato ad HPC&BD.

Un contributo fondamentale sia per il formarsi di una propria identità di Area Scientifica sia per il costituirsi in massa critica, anche nel dispiegamento di un progetto strategico nazionale e della partecipazione alle iniziative europee, è quello della articolazione di:

Una rete razionale dei ricercatori HPC&BD

ovvero di una rete permanente di informazione e comunicazione, di agorà e divulgazione di risultati e buone pratiche, di laboratori di ricerca, di condivisione dei risultati della ricerca, di coordinamento e cooperazione nei progetti di ricerca, di censimento e monitoraggio di attività e risultati, di interfaccia comune nella interlocuzione nazionale ed europea. Si tratta di una Rete non in contrapposizione ma, integrata e in cooperazione con altre e più generali reti del settore Informatico (quali quelle del GII e del GRIN, i raggruppamenti disciplinari dei ricercatori informatici di Scienze ed Ingegneria, e quella del CINI, il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica) o delle ICT (come il CNIT, Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni).

Quella della costituzione in Rete, con particolare riferimento ai sistemi di gestione e analisi dei dati, è peraltro esigenza ben incubata e maturata nel Laboratorio CINI dedicato ai Big Data e attivo dal 2013. Il Laboratorio si compone di **37 Nodi** corrispondenti ad altrettante Università aderenti al CINI e include oltre 300 ricercatori attivi che ricoprono, in un ampio spettro, tutte le tematiche collegate ai Big Data e loro applicazioni. Il potenziamento di tale Laboratorio (in azione, rappresentanza e partecipazione, coordinamento con gruppi e laboratori BD degli Enti di ricerca) costituisce sicuramente un riferimento e comunque una base di partenza della Rete dei Ricercatori BD. Il laboratorio è anche nodo della *Big Data Value association* attiva in H2020 e che sta costituendo una partnership Dati, AI and Robotics per il programma Orizzonte Europa aggregando quindi molte realtà industriali Europee.

L'esigenza di costruire una Rete è altresì fortemente sentita nel settore delle infrastrutture di calcolo ad alte prestazioni; ne è concreta dimostrazione la recente nascita di ICDI (**Italian Computing and Data Infrastructure**), un tavolo di lavoro creato dai rappresentanti di alcune tra le principali Infrastrutture di Ricerca e Infrastrutture Digitali italiane con l'obiettivo di promuovere sinergie a livello nazionale al fine di ottimizzare la partecipazione italiana alle attuali sfide europee in questo settore. Oggi ICDI ha la forma di Protocollo di Intesa sottoscritto da CINECA, CNR, Elettra Sincrotrone, ENEA, GARR, INAF, INFN, INGV, OGS. È auspicabile che tale Protocollo, aperto alla partecipazione di altri enti, sia valorizzato e supportato per la sua evoluzione verso più solide forme organizzative, che si rendono necessarie anche per poter pienamente svolgere il ruolo di "Mandated Organization" che le è stato affidato in EOSC, dove, come indicato nella Parte I di questo documento, sarà una delle 4 organizzazioni fondatrici della nuova entità legale EOSC.

Con riferimento alla tipologia delle ricerche in HPC&BD elicetabili come necessarie dal contesto italiano e dal suo inquadramento nel contesto europeo, appare evidente che si tratta di una ricerca a tutto campo, capace cioè di spaziare su tutti i filoni primari e nei diversi livelli di classificazione e capace anche di produrre risultati ad ogni livello della scala TRL. Tipologia irrinunciabile è sicuramente quella della Ricerca Fondamentale e della Ricerca Visionaria, indispensabili: (a) per arricchire e aggiornare il patrimonio di conoscenze necessarie al sistema dell'Alta Formazione e della stessa Ricerca Scientifica e Tecnologica di settore; e (b) per garantire idee e soluzioni originali ed inedite per un futuro benessere sociale e un vantaggio competitivo per il sistema produttivo. È ovviamente indispensabile la ricerca e la sperimentazione di tecnologie hardware e software per tutti i componenti e per tutti gli strati di infrastrutture HPC, di Sistemi di Gestione ed Analisi dei Dati, di piattaforme e reti, di cloud, fog e edge computing. È su questo fronte che si costruisce la capacità e la maturità del paese per rendere fattibili e soprattutto sostenibili processi di innovazione e lo sviluppo della terza via ad una economia dei dati. Infine, ma non ultima per rilevanza, è chiaramente indispensabile un salto dimensionale nello sviluppo di Ricerca Applicata capace, anche in convergenza multidisciplinare con altri settori, di fornire risultati direttamente orientati allo sviluppo di aree dati comuni europee, alle infrastrutture e ai sistemi cloud necessari. Rientrano fra tali applicazioni quelle relative alla nuova domanda di HPC&BD direttamente o indirettamente indotta dall'emergenza pandemica. Su questa base, nell'ambito tematico 'Informatica, Industria e Aerospazio', il tema HPC&BD assume come assi tipologici di ricerca i seguenti indirizzi:



- **(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.**

È a questi indirizzi che faranno esplicito riferimento le articolazioni di ricerca che nel seguito vengono definite. In particolare, il complesso delle attività previste per ciascuna delle articolazioni esplicitamente ne definiranno la collocazione in uno o più dei tre indirizzi sopra delineati.

LE ARTICOLAZIONI DELLA RICERCA

La struttura delle 5 articolazioni delle ricerche in HPC&BD è stata progettata alla luce delle considerazioni presentate nelle sezioni precedenti, mirando a coprire tutti gli obiettivi e operando su tutte le direttive. Al fine di chiarire anche la maturità tecnologica degli impatti auspicati, per i risultati attesi di ciascuna articolazione si è definito l'intervallo di variazione del Technology Readiness Level (TRL) così come introdotto in HE2020.

L'Articolazione 1 e l'Articolazione 2 sono dedicate ai temi più direttamente collegati al mondo delle architetture ad alte prestazioni e delle tecniche informatiche per la gestione di grandi moli di dati. L'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”**, sintetizzato nelle tabelle in “Hw e Sw per HPC&BD”, ha l'obiettivo di produrre risultati a TRL elevato, con un impatto rapido sul mondo produttivo. L'Articolazione 2 **“Ricerca di base in Ingegneria, Scienze e Tecnologie Informatiche per HPC e Big Data”**, sintetizzato in “Ricerca per HPC&BD”, si focalizza invece su temi di ricerca fondamentale, facendo riferimento quindi alla direttiva (r1) e generando risultati a TRL più basso. La scelta di operare questa separazione ha l'obiettivo di ribadire come entrambe le attività debbano far parte di una strategia di investimento di lungo termine su questo dominio.

L'Articolazione 3 **“Strutture distribuite e decentralizzate di calcolo e dati, per IoT, I4.0 e applicazioni sociali e di rete”** sintetizzato in “Strutture distribuite e decentralizzate”, guarda all'impatto che le architetture distribuite e decentralizzate avranno sullo sviluppo delle soluzioni HPC&BD. Si tratta di un elemento centrale per lo sviluppo delle moderne tecnologie per la gestione di Big Data.

L'Articolazione 4 **“Architettura, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Informatiche per la evoluzione dei dati della PA verso sistemi aperti, Big Data e servizi Cloud”**, sintetizzato in “HPC&BD per la PA”, risponde all'analisi riportata precedentemente sul ruolo critico che avrà lo sviluppo di approcci basati sui dati per l'evoluzione della Pubblica Amministrazione. La grande urgenza di un investimento in questa direzione e i grandi benefici che derivano da investimenti attenti giustificano chiaramente la necessità di dedicare un'articolazione a questo ambito.

Infine, l'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 e europei”**, sintetizzato in “Spazi comuni dei dati”, è dedicata al supporto della strategia europea per lo sviluppo di una economia e società basata sui dati. In questa articolazione si considera lo sviluppo di soluzioni per un'ampia varietà di domini applicativi, coprendo tutti gli spazi comuni europei dei dati.

Si può chiarire la struttura delle 5 articolazioni mostrando il ruolo di ciascuna delle articolazioni rispetto alle dimensioni illustrate precedentemente. Le tabelle mettono in evidenza dove il collegamento tra la singola articolazione e la specifica dimensione è particolarmente significativo. Ciascuna articolazione può contribuire in modo meno diretto anche alle rimanenti dimensioni.

Per quanto riguarda gli obiettivi **01, 02, 03 e 04**, si può individuare questa struttura:



	<i>01</i> <i>Economia</i> <i>basata sui</i> <i>dati</i>	<i>02</i> <i>Sovranità e</i> <i>indipendenza</i>	<i>03</i> <i>Sviluppo</i> <i>umano-</i> <i>centrico</i>	<i>04</i> <i>Sostegno sfide</i> <i>sociali</i>
<i>Art.1 Hw e Sw per HPC&BD</i>		Sì		
<i>Art.2 Ricerca per HPC&BD</i>	Sì	Sì		
<i>Art.3 Strutture distribuite e decentralizzate</i>	Sì	Sì	Sì	
<i>Art.4 HPC&BD per la PA</i>	Sì	Sì	Sì	Sì
<i>Art.5 Spazi comuni dei dati</i>				Sì

Per quanto riguarda la relazione con gli spazi comuni dei dati (Progetto ad alto impatto **pi**; spazi **si-s9**) e gli impatti sull'innovazione (**ii-i3**), si ha questa struttura:

	<i>pi</i> <i>Spazi comuni</i> <i>(si-s9)</i>	<i>ii</i> <i>Grandi</i> <i>infrastrutture</i>	<i>i2</i> <i>Migrazione</i> <i>verso I4.0</i>	<i>i3</i> <i>Patrimonio</i> <i>PA</i>
<i>Art.1 Hw e Sw per HPC&BD</i>	pi	Sì		
<i>Art.2 Ricerca per HPC&BD</i>	pi		Sì	Sì
<i>Art.3 Strutture distribuite e decentralizzate</i>	pi		Sì	
<i>Art.4 HPC&BD per la PA</i>	s8			Sì
<i>Art.5 Spazi comuni dei dati</i>	si-s9			

Per quanto riguarda le direttive dell'attività di ricerca, si definisce questa struttura:

	<i>r1</i> <i>Ricerca di base</i>	<i>r2</i> <i>Ricerca in</i> <i>ingegneria, scienza e</i> <i>tecnologia</i>	<i>r3</i> <i>Ricerca applicata</i>
<i>Art.1 Hw e Sw per HPC&BD</i>		Sì	Sì
<i>Art.2 Ricerca per HPC&BD</i>	Sì	Sì	
<i>Art.3 Strutture distribuite e decentralizzate</i>		Sì	Sì
<i>Art.4 HPC&BD per la PA</i>		Sì	Sì
<i>Art.5 Spazi comuni dei dati</i>		Sì	Sì



Articolazione 1. Ricerca 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 e Post-Exascale con architetture e componenti innovative che superino metodi e tecniche tradizionali di scaling, con forte accelerazione verso efficienza e sostenibilità energetica. In essa sono inclusi progetti di Ricerca e Sviluppo tecnologico (R&D) 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.

Nell'ambito HPC assume un ruolo abilitante l'infrastruttura di supercalcolo cofinanziata dalla EuroHPC Joint Undertaking: in particolare è prevista la realizzazione e installazione di tre supercalcolatori pre-exascale (oltre 150 Petaflop) in Europa nel 2021. Come già riportato, il più potente in questo gruppo di calcolatori sarà installato in Italia (progetto Leonardo) e costituirà la spina dorsale dell'infrastruttura HPC italiana per le sue applicazioni in ambito scientifico, industriale (es. scoperta di nuove molecole per l'industria biofarmaceutica) e in aree strategiche di interesse politico nazionale (energia, ambiente, sicurezza). Inoltre, la presenza di una infrastruttura di calcolo top-10 mondiale consentirà di sviluppare forti competenze in ambito sistemistico sulla gestione delle prestazioni e dell'affidabilità, nonché dei consumi, del raffreddamento e sull'efficientamento energetico complessivo di apparati di calcolo su larga scala, con ampie ricadute sulla realizzazione di sistemi altamente competitivi anche a scala ridotta (dai centri di calcolo aziendali, ai sistemi cloud, agli edge server per applicazioni di internet-of-things). La generazione successiva di macchine post-exascale sarà pianificata a livello europeo su un massimo di due siti. *È pertanto prioritario per il sistema della ricerca nazionale che il PNR, nel capitolo specificamente dedicato alle Infrastrutture di Ricerca, garantisca una forte massa critica attorno al progetto Leonardo.* Spetta a questa articolazione produrre un qualificato contributo scientifico e tecnologico nei settori della implementazione, tenuta in esercizio ed evoluzione di tali infrastrutture. Ed è sempre a questa articolazione che spetta il compito di alimentare l'ecosistema scientifico necessario a guidare il sistema industriale verso un pervasivo utilizzo di tali risorse di calcolo, trasformandole in alto valore aggiunto per le nostre aziende. Infine, quanto si farà in questa articolazione avrà un impatto importante nella possibilità, per il nostro paese, di competere per l'assegnazione di uno dei due siti europei post-exascale nel 2025-27. Ricadono in particolare in questa articolazione ricerche applicative per:

- applicazioni italiane che direttamente contribuiscono ad alimentare e complementare la costruzione della rete di supercalcolo europea e i suoi componenti, anche con riferimento al dispiegamento in esercizio di Leonardo;
- applicazioni italiane che direttamente contribuiscono ad alimentare e complementare la costruzione di infrastrutture scientifiche della Roadmap ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructure).

Questa articolazione ha anche il compito di alimentare ricerche che supportino la progettazione e la realizzazione di sistemi federati multi-tier di data processing e data management, con risorse di calcolo distribuite sul territorio. In particolare, è necessario modellare e connettere, in modo coerente e sinergico, le infrastrutture centralizzate e quelle distribuite e contribuire a decisi avanzamenti con riferimento a interfacce e metodi di accesso, qualità del servizio, tempo di risposta, modularità e flessibilità di configurazione. Per il dispiegamento di Servizi è di notevole rilevanza la ricerca per la definizione e la sperimentazione di standard comuni che garantiscano trasparenza, interoperabilità e integrazione. È ad esempio necessario favorire iniziative di allineamento tra i provider di reti e interconnessioni, di servizi di cloud e di HPC, tramite lo sviluppo di meccanismi per la localizzazione, combinazione e connessione dei servizi dei vari provider coinvolti al fine di fornire un ecosistema di infrastrutture facilmente accessibile all'utente finale.



Con riferimento alle classificazioni introdotte nell'analisi di contesto, questa articolazione avrà impatto prevalente su quanto definito negli statement **02** e **11** 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 in ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per HPC&BD

Questa articolazione include la ricerca per la produzione di nuova conoscenza e l'evoluzione di quella esistente su tutte le aree tematiche HPC&BD. Rispetto all'Articolazione 1, questa articolazione si focalizza sugli aspetti legati alla ricerca fondamentale e a quella cosiddetta 'visionaria' (capace cioè di aprire a nuove esplorazioni e a nuove frontiere applicative) e, naturalmente, con risultati che si posizionano a TRL più bassi.

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 sull'integrazione con tecnologie microelettroniche emergenti (fotonica, circuiti tridimensionali monolitici, nuovi dispositivi logici post-CMOS e memorie non-volatili). Sono inoltre da sviluppare nuovi processori, logiche programmabili e acceleratori hardware ad alta efficienza energetica, integrabili in sistemi HPC e Big Data. È con queste tecnologie, peraltro, che si possono ideare soluzioni nuove e differenzianti in mercati strategici (come, ad esempio, veicoli a guida autonoma, comunicazioni 5G e 6G, industria 4.0, produzione e distribuzione di energie rinnovabili) nei quali il sistema industriale italiano ha presenze di rilievo che devono essere mantenute e rafforzate.

Dal punto di vista software, l'articolazione è dedicata a:

- metodologie, processi, tecnologie e strumenti di scienza e ingegneria informatica per lo sviluppo di applicazioni HPC&BD e inclusive di:
 - fondamenti e caratterizzazione dei Big Data, con particolare riferimento a modelli, metodi e tecniche per la qualità (affidabilità, correttezza, riusabilità, tracciabilità) e la protezione dei dati; paradigmi computazionali; pre-elaborazione dei dati, classificazione semantica, trasformazione e filtraggio; aggregazione e integrazione; analisi descrittive, predittive e prescrittive, incluso metodi che supportano l'interazione persona/macchina con narrative, con visual analytics e con interazioni multimodali;
 - architetture e ingegneria del software per Big Data, modelli, architetture e servizi cloud per Big Data, anche con l'adozione di metodi, tecniche e strumenti di Intelligenza Artificiale. In questa direzione vanno le attività di ricerca per la progettazione, implementazione e testing di processi di data science e di Big Data analytics;
 - paradigmi computazionali HPC per la gestione e l'analisi dei Big Data con lo studio di modelli di alto livello e scalabili per la programmazione di algoritmi e applicazioni di analisi di Big Data che rendano trasparente la complessità delle architetture HPC e affrontino aspetti di data locality, data affinity e limitazione della latenza di comunicazione;
 - metodi matematici e algoritmi per l'uso efficiente dei vari livelli di parallelismo e di gerarchia di memoria presenti nelle architetture emergenti per l'HPC&BD che conducano anche ad approcci innovativi di calcolo per esplicitare il parallelismo nelle operazioni e la località di dati, e a ridurre comunicazioni di dati e sincronizzazioni tra processi di calcolo paralleli;
 - modelli e strumenti software per l'interoperabilità dei dati e degli ambienti software di gestione e analisi dei dati; modelli e processi software per il reengineering, l'adattamento e l'eventuale wrapping di sistemi di dati attivi e legacy, per la loro integrazione, anche in repository di grandi dimensioni, e per la loro migrazione in ambiente di BD analysis.

Sono poi importanti temi di ricerca fondamentale sugli algoritmi di big data analytics:



- scalabilità e accuratezza di algoritmi dedicati alle forme di dati complesse quali grafi, reti complesse, multilivello e temporali, sequenze (ad esempio genoma, reti metaboliche, storie cliniche), testo, immagini e dati multimediali, e serie temporali.
- metadati e necessità di corredare i dati di rappresentazioni articolate e sfruttabili della loro semantica con soluzioni adatte a condizioni di grande variabilità, grande scala e sorgenti eterogenee.
- librerie di software matematico che implementino metodologie robuste e stabili per bilanciare accuratezza ed efficienza nel trattare dimensioni dell'ordine dell'Exascale e utilizzino al meglio i nuovi modelli e gli ambienti di programmazione per l'HPC&BD.
- affidabilità di algoritmi di Big Data analytics ovvero la loro capacità: i) di restituire risultati che siano interpretabili per i vari tipi di utenti che li usano; ii) di scoprire bias e discriminazioni; iii) di essere validabili e sicuri.

Saranno, infine, importanti attività di ricerca fondamentale orientate ad algoritmi di analisi di Big Data capaci di operare in contesto decentrato (ad esempio, piattaforme analitiche distribuite che permettano un approccio “*move the algorithm to the data*”, anche spingendo la decentralizzazione “*at the edge*”, fino ad ecosistemi personali di dati).

Con riferimento alle classificazioni introdotte nell'analisi di contesto, questa articolazione avrà impatto prevalente su quanto definito per lo sviluppo di un'economia basata sui dati e fondata su processi agili di gestione e fruizione dei dati (**01**) e per l'accrescimento dei livelli di sovranità e indipendenza europei nelle tecnologie emergenti e abilitanti (**02**). Inoltre, avrà un impatto significativo sulle azioni strategiche per la migrazione del sistema produttivo nazionale verso I4.0 (**12**) e per la standardizzazione e la valorizzazione del patrimonio dati delle PA con la sua evoluzione verso interoperabilità (**13**). Infine, le attività di ricerca di questa articolazione avranno un impatto significativo per lo sviluppo di spazi comuni europei di dati e interconnessioni delle infrastrutture cloud (**11**). I temi dell'articolazione si collocano negli assi di ricerca strategica etichettati **r1** e **r2**; Le ricerche previste in questa articolazione sono dedicate a risultati con $r < \text{TRL} \leq 5$.

Articolazione 3. Ricerca per 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 di cloud e data center con le capacità di elaborazione locale e in tempo reale (modello fog/edge). L'evoluzione dei dispositivi e delle reti conduce a uno scenario con capacità finemente distribuita di generazione, conservazione ed elaborazione dei dati. Lo sviluppo del mondo IoT aumenta la diffusione di sensori e attuatori connessi in rete in grado di elaborare e memorizzare, così come gli apparati di rete dispongono di risorse computazionali che aumentano la varietà di servizi, andando oltre la gestione della connettività.

Gli scenari applicativi sono molteplici e spaziano dall'ambito domestico a quello pubblico e territoriale, sociale e umano-centrico, con un impatto rilevante nel mondo industriale e delle tecnologie I4.0 per l'impresa e per le filiere d'impresa. Si tratta anche di tecnologie abilitanti l'applicazione e la distribuzione locale di soluzioni di Intelligenza Artificiale.

In molte applicazioni, per ragioni di performance, affidabilità e controllo, diventa critico conservare ed elaborare i dati utilizzando le risorse disponibili ai bordi del sistema (appartengono a questa classe, ad esempio, la gestione di soluzioni twins e sistemi di simulazione industriale), così come per la gestione di alcune elaborazioni l'utilizzo di piattaforme cloud rappresenta l'approccio corretto. L'utilizzo di opportune tecniche crittografiche può mitigare l'esposizione di dati sensibili in un contesto di utilizzo di infrastrutture cloud. La scelta riguardo a dove conservare i dati ed eseguire l'elaborazione, se nel cloud o ai bordi, deve considerare una molteplicità di parametri, che possono variare in modo significativo nel tempo. In generale, quanto maggiore è la necessità di integrare in una singola computazione elementi che provengono da origini diverse, tanto maggiore sarà l'incentivo a utilizzare una infrastruttura cloud. Tanto maggiore è la necessità di offrire prontezza nella risposta e di limitare la diffusione del dato (ad esempio nella sorveglianza o in



campo medico, come mostrato di recente dall'applicazione Immuni), tanto maggiore sarà il beneficio di utilizzare un modello decentralizzato.

Rientrano in questa articolazione la progettazione e la sperimentazione di applicazioni e sistemi per la gestione e l'analisi di dati, ivi incluse infrastrutture di calcolo, per la migrazione I4.0 delle imprese e in particolare finalizzate ad abilitare o integrare le altre applicazioni tecnologiche I4.0 (Industrial IoT, Security, Additive Manufacturing, Deep Learning, Realtà Aumentata, Tecnologie Mobili e Indossabili, Twins e Simulazione Industriale e Intensiva, e tutte le altre)

I molteplici ambiti di indagine che è opportuno sostenere includono:

- ambienti che gestiscano in modo automatico o semi-automatico la creazione di applicazioni. L'obiettivo di lungo termine è rendere trasparente l'utilizzo di un modello centralizzato o distribuito non solo a chi utilizza il servizio, ma anche a chi progetta l'applicazione. Per conseguire questo obiettivo è necessario sviluppare opportune metodologie, associate a modelli in grado di rappresentare le caratteristiche della computazione e i costi associati all'elaborazione e trasmissione dei dati e dei risultati dell'elaborazione. I modelli devono rappresentare varie caratteristiche dei dati, quali il formato, la dimensione, le caratteristiche di confidenzialità e l'eventuale applicazione di tecniche di protezione crittografica a granularità fine;
- strumenti di middleware per la gestione di ecosistemi fog/edge. Questi strumenti devono utilizzare come base dei modelli che descrivono a livello astratto le caratteristiche dei dispositivi, che sono estremamente eterogenei dal punto di vista del profilo hardware e software. Si deve quindi disporre di tecniche in grado di dialogare e comandare questa grande varietà di dispositivi. Il lavoro in questo ambito deve coordinarsi e aiutare le varie iniziative di standardizzazione, con attenzione all'intero ciclo di vita dei sistemi fog/edge;
- integrazione nel modello di sviluppo distribuito e decentralizzato di tecniche di intelligenza artificiale, per il monitoraggio e la gestione di dispositivi IoT distribuiti. I modelli di apprendimento automatico devono essere adattati a un contesto decentralizzato, con la possibilità di decomporre il processo in componenti da gestire a livello centralizzato o ai bordi in base ai requisiti funzionali e non funzionali di ciascun elemento.

Con riferimento alle classificazioni introdotte nell'analisi di contesto, questa articolazione avrà impatto prevalente sullo sviluppo di un'economia basata sui dati (**o1**), accrescerà la sovranità e l'indipendenza europea e nazionale (**o2**) e determinerà uno sviluppo umano-centrico ed etico delle tecnologie digitali (**o3**). Il lavoro in questo ambito faciliterà inoltre lo sviluppo dell'ambito industriale verso il mondo I4.0 (**i2**) e accelererà lo sviluppo degli spazi comuni europei dei dati (**pi**). Per quanto riguarda gli assi di ricerca strategica, si posiziona nell'ambito della ricerca tecnologica e finalizzata ad applicazioni (**r2** e **r3**), con la produzione di risultati attesi con **TRL** >= 5.

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

L'articolazione è dedicata alle ricerche per la standardizzazione, l'interoperabilità e la qualità dei dati delle pubbliche amministrazioni (PA), per la realizzazione di infrastrutture e piattaforme che ne permettano la cura, l'analisi e l'accesso, che forniscono in modo facilitato tutto il repertorio di strumenti della scienza dei dati, incluso tecniche di machine e deep learning e di visual analytics, per sistemi e servizi cloud che ne permettano una agile modalità di fruizione, diminuendo le differenze culturali e digitali. L'organizzazione e le attività delle pubbliche amministrazioni dipendono fortemente dai dati. La loro gestione, accessibilità e condivisione sono elementi chiave per avere una pubblica amministrazione efficiente e per realizzare servizi sempre più avanzati e vicini ai cittadini. In questa direzione è necessario realizzare attività di ricerca che producano soluzioni software a supporto dell'uso di formati standard dei dati della PA, per la condivisione dei dati tra le diverse amministrazioni, la loro interoperabilità e per assicurare una elevata qualità dei dati stessi.

Un aspetto molto rilevante in questo contesto è rappresentato dallo studio, dalla progettazione e dalla implementazione di sistemi e piattaforme di dati aperti che mettano a disposizione della PA, delle imprese e dei cittadini, dati pubblici utili alla realizzazione di servizi più efficienti e alla costruzione di nuovi servizi e di nuove opportunità costruite a partire



dalla disponibilità di Big Data. La realizzazione di queste piattaforme può beneficiare di infrastrutture distribuite e cloud che possono supportare lo storage e la gestione di grandi quantità di dati e ne permettono l'accesso ubiquo e veloce da parte di gestori, sviluppatori e utenti finali secondo il modello "PA Data as a Service". Ulteriori benefici potranno derivare dalla implementazione ed integrazione degli algoritmi di affidabilità per Big Data analytics indicati nell'Articolazione 2.

La disponibilità di soluzioni innovative che integrino dati della pubblica amministrazione e, più in generale, dati aperti, deve essere utilmente sfruttata per definire e sviluppare soluzioni innovative basate su tecniche di Big Data analytics includendo tecniche e applicazioni di data analysis per estrarre dai dati di grande dimensione disponibili, informazioni "nascoste" che possono rappresentare un valore aggiunto significativo per la PA stessa e per i cittadini e le imprese. La realizzazione di attività di ricerca per lo sviluppo di tecniche, metodi e strumenti basati su approcci di Intelligenza Artificiale per analizzare Big Data aperti dovrà permettere di definire servizi avanzati di data analysis anche su sistemi HPC e cloud secondo il modello "Data Analysis as a Service" che può essere realizzato sia a livello "Platform as a Service", sia a livello "Software as a Service". In particolare, riveste importanza la realizzazione di attività di ricerca per la definizione di modelli e sistemi workflow-based orientati ai servizi per la gestione, condivisione e l'analisi distribuita di dati della PA e di dati aperti a servizio delle amministrazioni, delle imprese e dei cittadini.

Le ricerche si estendono alla riservatezza (privacy) dei dati e alla trasparenza degli algoritmi di apprendimento automatico, così come dell'intero processo analitico. 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 per lo sviluppo di un'economia basata sui dati e fondata su processi agili di gestione e fruizione dei dati (**01**); l'accrescimento dei livelli di sovranità e indipendenza europei nelle tecnologie emergenti e abilitanti (**02**) e per favorire lo sviluppo umano centrico ed etico delle tecnologie digitali e industriali (**03**). Inoltre, avrà un impatto significativo per lo sviluppo di spazi comuni europei di dati e di interconnessione delle infrastrutture cloud (**04**), lo sviluppo di uno spazio comune europeo dei dati per la pubblica amministrazione (**05**) e le azioni per la standardizzazione e la valorizzazione del patrimonio dati delle PA con la sua evoluzione verso interoperabilità (**06**). I temi dell'articolazione si collocano negli assi di ricerca strategica etichettati **r2** e **r3**. Le ricerche previste in questa 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 è specificamente e unicamente orientata a:

- analisi,
- progettazione,
- implementazione, e
- sperimentazione in ambiente operativo

di nuove, originali ed inedite applicazioni di HPC&BD che ricadano in ciascuno dei domini applicativi riferiti dai nove spazi comuni europei già citati (industria, green deal, mobilità, sanità, finanza, energia, agricoltura, pubblica amministrazione, competenze). Ad essi si potranno aggiungere applicazioni ricadenti in altri domini di interesse nazionale o regionale (ad esempio, ma non solo, Beni Culturali), o applicazioni che direttamente si collegano alla domanda proveniente da piani e progetti nazionali e ministeriali (mobilità e trasporti, ambiente, sanità e altri). Le applicazioni sopra indicate, in particolare quelle dedicate alla gestione ed analisi di dati e BD, includono l'uso di metodi, tecniche e soluzioni di IA.



L'articolazione assegna anche rilevanza primaria alla ricerca applicata per infrastrutture centralizzate, distribuite e decentralizzate che forniscono servizi HPC&BD secondo l'approccio FAIR e FACT per la comprensione, misurazione, monitoraggio, prevenzione e predizione di fenomeni sia nel campo delle scienze che in quello socioeconomico 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;
- piattaforme e servizi cloud scalabili per Big Data per settori professionali e per PMI, sia per servizi generali che di specifico dominio applicativo;
- modellazione, progettazione e sperimentazioni di piattaforme e componenti (di interfaccia, controllo e governo, di realizzazione servizi) a supporto della costituzione, alimentazione e fruizione di aree comuni di dati, in ogni settore di produzione di beni e servizi; le ricerche si riferiscono sia ad aree dati di livello locale e regionale che a quelle di livello interregionali e nazionali, nonché alla loro interconnessione e/o integrazione nelle aree comuni di dati europee.

Ricadono ancora in tale articolazione applicazioni nuove e originali per la scienza aperta e applicazioni per la fruizione di infrastrutture di super-calcolo in applicazioni sociali e produttive; più in particolare:

- applicazioni italiane che direttamente contribuiscano ad alimentare e complementare la costruzione del Cloud Europeo per la Scienza aperta (EOSC: European Open Science Cloud), sia a livello delle componenti di calcolo che a quelle di interfaccia e governo (acquisizione, gestione, modalità di accesso, sia rispettando i requisiti legali ed etici che facilitando l'uso ad utenti con competenze diverse);
- applicazioni italiane finalizzate alla scienza aperta e che direttamente complementano e usano infrastrutture scientifiche della Roadmap ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructure);
- applicazioni italiane fondate sull'uso delle grandi infrastrutture di super-calcolo (ma anche sull'uso di infrastrutture di ricerca distribuite), finalizzate alla resilienza sociale in condizioni critiche;
- applicazioni italiane fondate sull'uso delle grandi infrastrutture di supercalcolo (ma anche di infrastrutture di ricerca distribuite), finalizzate alle aree dati comuni europee e italiane.

Di particolare e rilevante interesse sono poi applicazioni industriali ad alto valore aggiunto e con le seguenti caratteristiche

- applicazioni italiane di adattamento, tailoring, sperimentazione e trasferimento tecnologico fuori dal mondo scientifico e, in particolare, in aziende pubbliche e private e di ogni dominio produttivo, di soluzioni nate in EOSC e in generale per la scienza aperta;
- applicazioni italiane che direttamente contribuiscano ad abilitare, semplificare e sperimentare l'uso da parte del sistema produttivo italiano delle grandi infrastrutture di super-calcolo, incluso Leonardo, o di infrastrutture di ricerca distribuite;
- applicazioni industriali italiane di qualsiasi dominio produttivo, direttamente finalizzate all'aggiornamento e alla ottimizzazione del ciclo di produzione e fondate sull'uso delle infrastrutture di super-calcolo incluso Leonardo, o di infrastrutture di ricerca distribuite.

Questa articolazione avrà impatto su **01, 02, 03, 04, PI: SI-S9, I3**; si colloca in **R2** e **R3**. Al fine di garantire la natura applicativa e di specifica vicinanza ai domini ma anche di garantire realizzazioni prototipali in laboratorio, si richiedono risultati a **TRL** ≥ 4 .



Commento finale

L'analisi del contesto europeo e nazionale ha mostrato l'importanza di un investimento nell'area HPC&BD. Lo schema di articolazioni proposto ha l'obiettivo di offrire una struttura organica di interventi in grado di coprire tutte le dimensioni che sono state illustrate, ovvero gli obiettivi, gli impatti e le direttive di ricerca.

Le articolazioni non devono essere interpretate come scelte alternative di investimento, da cui scegliere un sottoinsieme in base alle opportunità del momento, bensì come un insieme coordinato di interventi. Operando in modo congiunto su tutti questi fronti, da un lato si è in grado di definire programmi di investimento con una focalizzazione specifica e metriche di successo ben definite, dall'altro si copre l'intero spettro di scenari e tecnologie che contribuiscono allo sviluppo del mondo HPC&BD.

Il complesso degli impatti e degli indirizzi di ricerca definiti ed indicati in precedenza sanciscono chiaramente che, con riferimento agli obiettivi e agli impatti definiti per tutto il Grande Ambito "Informatica, Industria e Aerospazio", l'ambito tematico HPC&BD assume come obiettivi primari:

OB3. Costruire una economia dei dati

OB4. Consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili,

OB7. Rafforzare l'ecosistema industria-ricerca e il trasferimento tecnologico,

e come impatti primari:

IMP3. Posizionamento italiano nella economia dei dati nel rispetto di privacy e security,

IMP4. Posizionamento italiano nelle grandi infrastrutture europee per il super-calcolo e la scienza aperta,

MP5. Affermazione dell'autonomia italiana nelle tecnologie digitali affidabili e *human-centered*,

IMP8. Miglioramento delle relazioni industria-università e creazione di un circolo virtuoso di trasferimento di competenze.

L'Ambito tematico HPC&BD contribuisce inoltre in modo rilevante e diretto agli obiettivi:

OB2. Raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale,

OB5. Sostenere inclusione e innovazione sociale,

e agli impatti:

IMP2. Raggiungimento di una resilienza sociale, economica ed ambientale e miglioramento della capacità di gestire eventi estremi ed inattesi.

IMP6. Definizione di una società inclusiva nell'uso delle tecnologie per l'individuo e per lo sviluppo dell'economia, ottimizzandone l'impiego e minimizzandone i rischi.



4.3 Intelligenza Artificiale

Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni

L'Intelligenza Artificiale (IA) viene da molti considerata la più influente e dirompente rivoluzione tecnologica del XXI secolo, con una forza propulsiva più volte paragonata all'elettricità (EU documento "AI for Europe" 2018), grazie all'impatto sul tessuto produttivo e sociale atteso dall'uso pervasivo delle tecnologie abilitanti. In altri consessi, l'IA viene considerata come il *nucleo della quarta rivoluzione industriale* e definita come un nuovo paradigma computazionale di impatto globale per la società, per l'industria e per l'economia. In questo ambito, l'Europa e l'Italia si impegnano per definire un ecosistema di eccellenza scientifica ed industriale, per una autonomia tecnologica del nostro paese nelle tecnologie abilitanti dei sistemi intelligenti, ed un ecosistema di fiducia per una produzione ed adozione consapevole di sistemi dotati di Intelligenza Artificiale, affinché la tecnologia sia centrata sull'uomo, sui suoi diritti, bisogni e valori.

I *Sistemi Intelligenti*, come convergenza delle diverse tecnologie di Intelligenza Artificiale associate alle complementari Tecnologie dell'Informazione, aprono la strada alla ricerca e allo sviluppo di soluzioni integrate, che a loro volta sono la base indispensabile per la trasformazione digitale, il rilancio dell'economia, la resilienza e la sostenibilità dell'industria italiana, la costruzione di nuove imprese, di un futuro per le nuove generazioni e di inclusione sociale e il miglioramento della qualità della vita nel nostro Paese in un modello di economia circolare.

A. Contesto attuale: Intelligenza Artificiale, la rivoluzione tecnologica del XXI secolo

L'Intelligenza Artificiale è una disciplina propria dell'informatica che si occupa dei sistemi di percezione, apprendimento, ragionamento, interazione, attuazione, e sviluppa meccanismi software e hardware capaci di esprimere comportamenti intelligenti, anche ispirati alla capacità cognitiva umana, con un certo grado di autonomia. Caratterizzata da origini condivise con le scienze cognitive e con la filosofia del pensiero, si posiziona al confine con le neuroscienze, è abilitata e in gran misura fondata sulla matematica e sulla statistica e sviluppa importanti collegamenti con la robotica, la medicina, la giurisprudenza e l'economia.

Intelligenza Artificiale è un termine divenuto popolare che sottende una vasta area tecnologica, un'industria internazionale di enorme portata economica e nuovi paradigmi, soprattutto basati sul *machine learning*, che impattando l'ambiente, l'industria, la società e la persona devono essere progettati in modo efficiente, robusto e coerente con i principi etici e con i valori della nostra società. Per questo l'Europa ha promosso il concetto di Intelligenza Artificiale umano-centrica (*human-centered AI*), per indicarne le finalità – di essere al servizio dell'uomo anche nella sua realizzazione come sistema autonomo – e le necessità di supervisione in fase di progetto e di funzionamento da parte dell'uomo. Vero è che la disciplina scientifica e tecnologica si caratterizza per una costante evoluzione, il cui dominio tecnologico porterà a nuovi scenari, sfide e opportunità economiche in ogni nazione. Solo nell'ultimo decennio la ricerca nell'IA, sviluppata nei centri di ricerca pubblici e privati di tutto il mondo, unitamente alla disponibilità e fruibilità di grandi quantità di dati e all'immensa potenza di calcolo disponibile hanno consentito al settore di raggiungere un livello di maturità avanzato, con lo sviluppo di sistemi e prodotti di particolare pregio e valore, impiegati in tutto il mondo produttivo, dalle grandi aziende internazionali che operano nelle *Information Technologies* (IT d'ora in poi) e sul *Web*, al mondo della finanza, delle industrie manifatturiere, della robotica e delle industrie dei servizi.

A.1 La ricerca in Intelligenza Artificiale in Italia

L'Italia ha una lunga tradizione nella ricerca in Intelligenza Artificiale che la pone ai vertici dell'eccellenza europea e nei primi posti assoluti al mondo sia per quanto riguarda la qualità, ricchezza e numerosità delle pubblicazioni di pregio sia per quanto concerne il derivante impatto. Tradizione che si può far risalire storicamente già al periodo d'oro del Rinascimento, quando scienza, ingegneria e arte ponevano la persona al centro delle loro attenzioni, lasciandoci un'eredità culturale caratterizzata da un inestimabile connotazione interdisciplinare. Non è un caso che il documento MISE 2020 "Proposte per la Strategia Italiana per l'IA", abbia coniato il termine *RenAIssance*, come nuovo rinascimento reso possibile dall'IA, "ispirato dal bisogno di definire un nuovo rapporto tra essere umano e macchina,



nel quale la tecnologia aumenta le capacità umane”. L’Intelligenza Artificiale come disciplina scientifica nasce nel secondo dopoguerra in laboratori americani ed europei. Negli anni ‘70, l’Italia partecipa alle ricerche già agli albori dell’IA operando in due istituti di ricerca prestigiosi: ad Arco Felice con l’Istituto di Cibernetica del CNR, fondato da Eduardo Caianiello (che istituisce nel 1983 il GIRPR - Gruppo Italiano Ricercatori in Pattern Recognition - ora CVPL - Associazione per la Computer Vision, Pattern Recognition and Learning e nel 1989 il SIREN - Società Italiana di Reti Neuroniche), e a Camogli con l’Istituto di Cibernetica e Biofisica, fondato da Antonino Borsellino. A partire da questi primi anni presso varie università e altri istituti del CNR fioriscono numerose attività di ricerca nella IA. Alla fine degli anni ‘70, presso il Politecnico di Milano, Marco Somalvico fonda il “Progetto di Intelligenza Artificiale”, è tra i fondatori di SIRI (“Società italiana di Robotica industriale”) nel 1975 e di AIxIA (“Associazione Italiana per l’Intelligenza Artificiale”) nel 1988. Nel corso degli anni ‘80 e ‘90 vengono anche attivati diversi progetti nazionali sull’IA per conto del MURST e del CNR e i Progetti Finalizzati del CNR, quali Informatica, Robotica e Sistemi Informatici e Calcolo Parallelo, danno un grande impulso alla ricerca in IA in Italia, con congrui finanziamenti all’accademia e all’industria e con consistenti ricadute in termini di brevetti, prototipi industriali e pubblicazioni. Negli ultimi venti anni, l’attività di ricerca in Italia si è strutturata in diversi centri di ricerca e laboratori; l’eccellenza della ricerca italiana, a differenza del mondo americano ed asiatico, è prevalentemente concentrata nelle università e nei centri di ricerca pubblici, ora coordinati dal Laboratorio CINI-AIIS (Artificial Intelligence and Intelligence Systems del Consorzio Interuniversitario Nazionale per l’Informatica) che riunisce 55 nodi italiani con più di 1100 professori e ricercatori strutturati in IA. Come evidenziato nel documento CINI 2020 “*AI for Future Italy*”, la comunità italiana si dimostra eccellenza internazionale in aree quali il *machine learning*, l’elaborazione del linguaggio naturale, la visione artificiale, la rappresentazione della conoscenza, il ragionamento automatico, la robotica cognitiva ed intelligente, l’AI affidabile, gli agenti mobili e i sistemi hardware *AI-embedded* e ad alte prestazioni. Emerge chiaramente come i prodotti della ricerca pongono l’Italia in ogni sotto-disciplina dell’IA sempre tra le prime 10 nazioni al mondo (fonte Scimago 2020); considerando i risultati scientifici classificati come “Artificial Intelligence” nel periodo tra il 1996-2018 l’Italia si posiziona ottava come numero di lavori scientifici e addirittura sesta nel 2018 per le citazioni. Le stesse fonti riportano che il nostro Paese è terzo nel 2019 in Europa dopo UK e Germania (era quarta nel 2018) e seconda solo all’UK (quindi prima nella Comunità Europea) per numero di citazioni. A questi risultati vanno aggiunti i contributi che ricadono nelle diverse sotto aree dell’Intelligenza Artificiale. L’eccellenza scientifica dell’Italia è dimostrata anche dai rapporti CINI-AIIS che riportano più di 20 progetti EU attivi nell’IA nel solo programma H2020; inoltre l’ultima chiamata specifica sui centri di ricerca di eccellenza in IA (ICT-48) ha visto i laboratori italiani essere presenti in tutti e quattro i progetti finanziati e, con la presenza del Lab Nazionale CINI-AIIS, in tre su quattro dei progetti finanziati per la diffusione dei risultati su tutto il territorio italiano. Si sottolinea la presenza di più di 10 destinatari di ERC Grant dal 2018 ad oggi sui temi dell’IA. Si conclude ricordando come l’Italia sia particolarmente attiva a livello apicale nelle associazioni Europee per la IA (ELLIS, CLAIRE, EurAI) e nelle associazioni scientifiche internazionali (come IEEE CIS, ed INNS). Va ricordato anche il grande ruolo di Ricercatori Italiani in consessi internazionali quali l’attuale presidenza del IEEE Computer Society ed AAAI per il prossimo biennio da parte di colleghe italiane operanti nei temi di questo ambito.

Grazie ad una attività continua e ben riconosciuta, negli ultimi anni si sta verificando un cambio di tendenza che inizia a portare investimenti internazionali di ricerca in Italia: grandi aziende come NVIDIA hanno scelto l’Italia per aprire in Europa l’Iniziativa “AI Nation” a supporto della ricerca in IA di tutti i centri nazionali. Anche aziende italiane stanno iniziando ad investire in ricerca in IA, come per la recente costituzione da parte di Leonardo di un nuovo centro di ricerca in Intelligenza Artificiale distribuito sul nostro territorio. L’interesse a collaborare tra aziende ed università in temi di IA è evidenziato anche dall’alto numero di progetti di ricerca industriale. Nel Survey del CINI del 2020, che presenta solo un’immagine parziale di tutta la attività in Italia sulla ricerca applicata in IA, sono stati censiti più di 600 progetti (di cui 270 attivi nel 2020): di questi il 15% sono stati finanziati totalmente da industrie, il 35% dall’UE e da istituzioni internazionali comprendenti anche partner aziendali e il rimanente 50% da istituzioni italiane, regionali e locali. Per finire, va ricordato come anche nell’ambito dell’ultima tornata di progetti di rilevante interesse nazionale PRIN 2017, seppure in assenza di un piano specifico per l’IA, nell’ambito del tema ERC PE6 il 63% dei progetti finanziati avevano temi inerenti all’Intelligenza Artificiale, a riprova della vivacità italiana in questo settore. In un gran numero di ambiti di ricerca, la IA è un *enabling tool* essenziale in studi di assoluta eccellenza, come nei settori della medicina e delle scienze. La IA è stata per esempio il tool più utilizzato negli studi italiani sulla diagnostica e la gestione terapeutica di pazienti affetti da COVID-19, e in quelli che hanno portato alla scoperta del Bosone di Higgs e delle Onde



Gravitazionali e ai relativi premi Nobel. In conclusione, l'Italia ha competenze ed eccellenze scientifiche in IA, sia in campo fondazionale che applicativo, necessarie per un ruolo da protagonista in Europa e nel mondo; questo ruolo potrà essere mantenuto solo con investimenti di rilievo, strutturati e a lungo termine, anche per essere in linea con i simili investimenti di nazioni europee ed extraeuropee.

Le istituzioni italiane sono state tra le prime al mondo a comprendere l'importanza di una strategia sull'IA, a partire dalla task force di AGID con il documento *“Libro bianco dell'Intelligenza Artificiale a servizio del Cittadino”* nel Marzo 2018, dai lavori del Dipartimento per le Informazioni per la Sicurezza della Presidenza del Consiglio dei Ministri che ha supportato la istituzione del Laboratorio CINI-AIIS (si veda la *“Relazione sulla Politica dell'informazione per la Sicurezza”* 2018), per raccordare i centri di ricerca presso le università pubbliche già aderenti al CINI, il CNR, l'Istituto Italiano di Tecnologia e la Fondazione Bruno Kessler, enti riconosciuti di eccellenza nell'Intelligenza Artificiale. Ora il Lab CINI-AIIS raccoglie 55 nodi in Italia, più di 1100 docenti e ricercatori strutturati. Nel Dicembre 2018, il MISE ha costituito il “gruppo di 30 esperti di alto livello in IA” e ha licenziato nel giugno 2020 il documento *“Strategia Italiana in Intelligenza Artificiale”* (d'ora in poi MISE2020). Il MISE ha già definito linee di investimento che indicano specificatamente l'IA come uno dei temi cardine, come – un esempio tra gli altri – i 100 Milioni di Euro stanziati dal Decreto Crescita per sostenere la Trasformazione digitale delle PMI e i prossimi piani di investimento per gli European Digital Innovation Hubs (E-DIH). I temi dell'IA sono al centro delle attività del MID (si veda il documento *“2025: Piano per l'innovazione tecnologica e la digitalizzazione del Paese”* Piano 2025 - d'ora in poi MID2020). I temi di IA sono trattati specificatamente dal Garante per la Protezione dei Dati Personali, che fornisce costanti aggiornamenti su normative comunitarie e nazionali sull'IA e sugli aspetti legali e legati ai diritti. Anche gli altri Ministeri hanno definito linee guida per l'adozione e l'uso dell'IA e il Ministero della Difesa ha redatto un documento per la definizione di temi prioritari. Il Ministero dei Trasporti ha indicato nelle sue linee guida diverse priorità nella sperimentazione dei veicoli autonomi e nell'analisi del comportamento degli utenti che necessita fortemente dell'IA. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha indicato tra le sue priorità la adozione di un approccio umano-centrico all'IA con la necessità di tutela e di salvaguardia degli equilibri naturali e della catena trofica, sottolineando anche i rischi di eccessiva automatizzazione delle scelte algoritmiche. Tutte le considerazioni e linee guida sopra elencate sono state considerate in questo documento. Il MUR ha iniziato da tempo una attività a sostegno e valorizzazione della ricerca in IA sia con i documenti del PNR 2020, preparatori al PNR 2021-27, sia con una prima attività di grande impatto per la costituzione di un Dottorato Nazionale in Intelligenza Artificiale, oltre a sostenere le attività del CINI sull'Intelligenza Artificiale. Tutte le istituzioni italiane sono impegnate nella definizione dei vari aspetti di una strategia nazionale di IA che unisca ricerca, istituzioni ed industria in una sfida tecnologica orientata alla progettazione ed adozione dell'Intelligenza Artificiale e dei Sistemi Intelligenti per il futuro del Paese. Concordemente, anche la comunità italiana dei ricercatori in Intelligenza Artificiale nel Lab CINI-AIIS ha definito alcune linee guida e raccomandazioni nel già citato documento di *“AI for Future Italy”*; Il documento riporta una raccomandazione sulla necessità di grande coordinamento tra istituzioni, ricerca ed industria in IA e cinque raccomandazioni specifiche rivolte alla ricerca che auspicano una ricerca strutturata, investimenti specifici per la ricerca e per la didattica a lungo termine, azioni concordate sia di tipo scientifico che di tipo trasversale per la terza missione in supporto alla trasformazione digitale dell'industria e a supporto delle priorità del Paese.

A.2 Intelligenza Artificiale in Europa e nel mondo

Da molti anni, nessuna altra disciplina scientifica e tecnologica ha suscitato nel mondo tanto interesse strategico per l'economia, l'industria, la difesa e la società, da richiedere la definizione di strategie nazionali e transnazionali, come invece sta accadendo per l'Intelligenza Artificiale. Dal 2018 tutti i Paesi del mondo si sono dotati di una Strategia Nazionale specifica sull'IA, anche a lunghissimo termine: la Cina ha definito un documento programmatico per la Leadership in IA nel 2035; gli Stati Uniti, dalla risoluzione presidenziale del 2019 (*“American AI Initiative”*) presenta su base annua un documento programmatico per gli investimenti in IA così da mantenere la sovranità tecnologica, attraverso i programmi congiunti delle diverse agenzie (es. DARPA, NIST). Simili strategie a lungo termine sono state definite da molti paesi del mondo e da quasi tutti i paesi europei, per informazioni specifiche si vedano le Strategie dei diversi paesi e un'analisi comparata nel documento *“AI for Future Italy”* del Lab CINI AIIS. Dal Luglio 2020 è costituita la *Global Partnership on Artificial Intelligence* (GPAI), in cui l'Italia ed altre nazioni definiscono politiche ed investimenti comuni nel settore. La Comunità Europea, attraverso i lavori del comitato del *Digital Single Market* ha



assunto un ruolo centrale nella definizione di una visione europea dell'Intelligenza Artificiale basata sulla *centralità della persona*, ribadita fin dai primi documenti “*AI for Europe*” e “*Coordinated Plan on Artificial Intelligence*” entrambi siglati da tutti gli stati membri nell'Aprile e Dicembre 2018. Ad essi sono seguiti diversi documenti tra cui si ricorda il documento programmatico “*Libro Bianco sull'Intelligenza Artificiale - Un approccio europeo all'eccellenza e alla fiducia*” (d'ora in poi Libro Bianco sull'IA - EU2020) presentato dalla presidente della Comunità Europea nel Febbraio 2020. Mentre tutti i paesi del mondo concordano sull'esigenza di creare programmi di ricerca specifica per l'IA, la Comunità Europea e l'OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) si caratterizzano per una ricerca orientata verso una “*Trustworthy and Sustainable AI*” (IA affidabile e sostenibile), incentrata sulla persona e sulla società, che vada ad incorporare i valori etici, di rispetto dei diritti umani e dei principi democratici. Questi aspetti sono fondamentali e questo PNR li assimila e li fa propri. I temi suddetti caratterizzeranno tutte le prossime progettualità europee: i temi di “sovranià europea nelle tecnologie digitali ed emergenti” e di “*Human-centered AI*” sono presenti come impatti specifici (#21, #24) nella programmazione di Horizon Europe. L'IA compare come tecnologia dominante in tutti i Cluster di Horizon Europe, ed in particolare nel Cluster 4 dove si definiscono le prossime progettualità per la Innovazione in IA, dati e robotica, per il Green Deal, per il lavoro, per la robotica cognitiva (*Destination 4*) e per una Leadership Europea in IA basata sulla Fiducia, sulla necessità di IA per lo “*human empowerment*” e per le prossime generazioni di intelligenza ed autonomia nei servizi e sistemi (*Destination 6*). Ugualmente nel programma di Digital Europe, il programma europeo per costruire le capacità strategiche digitali dell'Europa, si fa esplicito riferimento all'IA come tema cardine dei nuovi programmi degli *E-Digital Innovation Hubs*. Infine l'Europa licenzierà nel 2020 una specifica Public-Private Partnership in *AI, Data and Robotics*, per uno sviluppo coordinato scientifico ed industriale del tema dell'Intelligenza Artificiale.

B. Motivazioni

Le aspettative legate all'utilizzo pervasivo dell'Intelligenza Artificiale in tutti gli ambiti che caratterizzano la società umana sono enormi, tanto da poterla rivoluzionare profondamente. Appare quindi ovvio che un Paese con ambizioni di crescita e di leadership come l'Italia debba aspirare a essere un attore di primo piano negli aspetti caratterizzanti l'IA, dalla ricerca fondamentale e sua comprensione, al suo utilizzo in ambito applicato alla ricerca in tutte le discipline scientifiche, alla Pubblica Amministrazione, all'economia, alla salute e allo sviluppo industriale.

Perché dunque focalizzare ingenti sforzi del sistema Italia sull'utilizzo pervasivo di tecnologie IA?

1. **Perché l'Italia ha le capacità e le risorse per riuscire a primeggiare nella ricerca in IA;** una grande visibilità e addirittura una predominanza a livello mondiale non è un'opzione remota e, in quanto tale, deve essere perseguita con forza.
2. Perché al di là della dominanza italiana a livello accademico e di ricerca, in questo momento ***i Paesi che primeggiano in IA sul piano economico e industriale sono potenziali competitori dell'Europa***, l'Italia può e deve contribuire incisivamente portando ad un'inversione di questa tendenza con la ricerca fondamentale e il suo trasferimento tecnologico in una forte industria Europea dell'IA.
3. Perché ***l'IA presenta aspetti potenzialmente controversi per le applicazioni***, quali quelli relativi alla credibilità, confidenza, riproducibilità, trasparenza ed equità. L'Italia, se dotata di un'infrastruttura stabile di ricerca e garanzia, con la sua grande tradizione democratica e morale, può fungere da faro nella comprensione e indirizzo di questi aspetti, molto più di quanto le attuali potenze economiche che dominano in IA riescano a garantire.
4. Perché ***l'Italia rischia di perdere competitività a livello globale nelle sue eccellenze produttive se non efficacemente supportate da tecnologie capaci di reggere la sfida con le economie più forti***. Se si considera il numero di startup come un valido termometro sulla competitività futura, la necessità di un cambio di passo è ben evidenziata; ben emerge dai dati statistici del 2018 e 2019 come l'Italia sia in posizione arretrata non solo rispetto ai colossi economici mondiali, ma anche rispetto alle altre nazioni Europee.
5. Perché ***l'Italia ha un sistema digitale di Pubblica Amministrazione non adeguato*** alle necessità dei cittadini e delle realtà produttive; una trasformazione digitale del sistema deve prevedere anche capacità di interpretazione e decisionali che solo l'IA al momento promette.



6. Perché *l'IA ha il potenziale di offrire un miglioramento tangibile del benessere di ogni cittadino*, sia attraverso una più facile e proficua interazione con il sistema della Pubblica Amministrazione, sia attraverso una Sanità di qualità, distribuita sul territorio nazionale e in grado di personalizzare la prevenzione, la diagnosi e la cura delle patologie per tutta la popolazione. Questo miglioramento potrà essere diretto, ma anche, in senso più generale, ottenuto attraverso il miglioramento della condizione economica del Paese.
7. Perché *l'IA ha il potenziale per essere rivoluzionaria anche in altri ambiti in cui l'Italia vanta una posizione di spicco a livello mondiale*. In particolare, la ricerca scientifica di punta in molteplici ambiti (es. analisi climatica ed ambientale, biologia, agricoltura di precisione, fisica delle particelle, astrofisica, astronomia, chimica, scienza ed ingegneria dei materiali), mediante l'analisi di dati raccolti da grandi apparati sperimentali o mediante la simulazione di sistemi complessi, sta progredendo velocemente verso un utilizzo pervasivo di tecniche di IA. Il mantenimento della posizione di eccellenza dell'Italia nella ricerca ha bisogno di una diffusa cultura in tecnologie IA.
8. Perché *una rivoluzione IA in Italia può solo partire dall'educazione di livello superiore e universitario*, sia mediante corsi introduttivi, sia corsi specialistici ad alto livello (dottorati specifici sia a livello fondazionale che applicativo, anche in multipli ambiti) e che permettano una formazione continua di qualità.

Le motivazioni di cui sopra possono riassumersi in 4 aspetti caratterizzanti, che coesistono e rendono unica questa disciplina moderna.

- a. *L'IA è Ricerca Fondazionale*
- b. *l'IA è Ricerca Applicata nell'Industria*
- c. *L'IA è Ricerca applicata alle sfide sociali, dei singoli, della collettività e dell'ambiente*
- d. *L'IA è una Industria*

Che l'IA sia in questo momento storico la punta di diamante della ricerca informatica è indubbio e testimoniato dalle evoluzioni degli ultimi anni. La ricerca fondazionale è prodromica per tutti gli altri aspetti e necessaria, data la velocissima evoluzione dell'ultimo decennio, per la progettazione di sistemi intelligenti innovativi, per il trasferimento di competenze e soluzioni nell'industria, per sviluppare nuovi servizi rivolti alle grandi sfide sociali e dell'ambiente e soprattutto per alimentare una economia nell'industria terziaria IT specializzata in Intelligenza Artificiale, giovane e dinamica, a sua volta necessaria per capitalizzare in tempi brevi i risultati della ricerca.

La IA è una disciplina con forte carattere fondazionale. Per sua natura interseca studi condotti sulle scienze cognitive, con il fine ultimo di interpretare ed emulare le diverse forme dell'intelligenza presenti in natura. Lo studio si è sempre concentrato sui processi coscientemente percepibili e chiaramente descrivibili dagli umani in modo da poterli replicare algoritmicamente nelle macchine. La sua evoluzione storica, nata da un dualismo tra modelli simbolici, basati sulla logica e su modelli di ragionamento automatico, e modelli statistici e connessionisti, passati dall'apprendimento automatico (*Machine Learning*), all'apprendimento basato su reti neurali profonde (*Deep Learning*) ha ormai superato ogni dicotomia. La moderna IA non ha necessariamente come riferimento il ragionamento umano, ma lo supera e lo espande. L'IA moderna supera le limitazioni computazionali dell'essere umano e non necessariamente ne emula i modelli per creare soluzioni nuove, per definire sistemi e macchine intelligenti, capaci di avere un comportamento originale e non convenzionale nella risoluzione di problemi nuovi, senza necessariamente essere antropomorfi.

L'impatto scientifico, culturale e tecnologico dell'IA ai giorni nostri può essere paragonato alla rivoluzione prodotta alla fine dell'800 e nella prima metà del '900 dalle scoperte in Fisica (elettromagnetismo, termodinamica, meccanica quantistica e relatività, solo per citare alcuni esempi) e, come per la Fisica, l'IA richiede strumenti matematici sempre più sofisticati sia per interpretare e giustificare i modelli di apprendimento automatico sia per implementare e rendere efficienti i corrispondenti algoritmi. È quindi naturale l'interazione dell'IA, disciplina che nasce in ambito informatico e ingegneristico, con i settori tradizionali della matematica, quali la logica, l'algebra, la geometria, l'analisi, la probabilità e statistica, la fisica matematica, l'analisi numerica e l'ottimizzazione, il cui interesse per le tematiche dell'IA sta crescendo in modo significativo in questi ultimi anni. L'attuale forte interesse nel settore dell'IA è, in larga parte, dovuto allo straordinario successo di questi metodi per risolvere problemi reali attraverso schemi di apprendimento automatico, che beneficiano dalla disponibilità di grandissime quantità di dati. Dati facilmente acquisibili dal Web, dai grandi apparati della Big Science e dall'esplosione e disponibilità della capacità di calcolo dei sistemi di High



Performance Computing (HPC) e di quelli dedicati (*embedded*). Grazie al coniugio di questi due elementi l'IA è oggi sotto i riflettori, mentre lo sviluppo di librerie software ha reso questa disciplina pervasiva e popolare. Ad esempio, i risultati della visione artificiale ("*computer vision*") e della elaborazione del linguaggio naturale ("*natural language processing o NLP*") sono alla base di numerose giovani startup ed industrie di successo anche in Italia.

A fronte dei successi in termini di efficacia ed accuratezza dei sistemi attuali di IA rimangono aspetti non ben compresi nella loro progettazione, nell'apprendimento e nel loro utilizzo, che hanno una grande valenza e importanza in vista di un più pervasivo utilizzo nella società e che impattano aspetti quali la fiducia, la riproducibilità, la trasparenza, l'equità dei sistemi automatici. *La nostra società non può accettare compromessi su tali temi, anche se a fronte di potenziali vantaggi in ambito economico.* L'IA deve essere centrata sull'essere umano e sui pilastri valoriali della nostra società. Il filone della ricerca volto alla realizzazione di sistemi IA di funzionamento ben compreso e "spiegabile", e come tale "certificabile" in quanto esenti da comportamenti contrari all'etica della società, è essenziale per un'adozione ancora maggiore e pervasiva della tecnologia in **tutti i settori dalle applicazioni per la persona e la società, l'ambiente e l'industria.** La motivazione forte legata alla volontà di progredire nel sapere scientifico si affianca alla motivazione ancor più forte di **permettere il rilancio dell'economia italiana** data la crescita di una nuova generazione di aziende IT. **L'IA è industria:** 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. È strategico per gli anni a venire che l'Italia investa sull'IA, sui giovani e sulle start-up AI che ben si sposano anche con i modelli di "*Green Deal*" definiti a livello comunitario.

Oltre all'aspetto accademico di ricerca fondazionale definito come "IA per IA", l'Italia è all'avanguardia nell'**utilizzo di tecniche IA nella ricerca scientifica di base.** Questo si può evidenziare in un numero talmente grande di ambiti, che una lista qui necessariamente non renderebbe giustizia. Solo per citarne alcuni, vogliamo ricordare come tecniche IA siano alla base di importanti risultati: analisi dati su grandi moli di dati, come quelli raccolti dagli esperimenti di fisica di ultima generazione (collisori, astrofisica, fisica nucleare); matematica (dimostrazioni automatiche, risoluzione numerica di PDE, problemi inversi) e statistica; scienza dei materiali e chimica; biofisica e farmacologia; genetica; scienze dei materiali ed ambiente; a questo si aggiunge la stretta relazione tra **IA e scienze cognitive**, l'utilizzo di tecniche di IA all'avanguardia nelle scienze sociali, **nelle discipline umanistiche, alla base delle *digital humanities*** in linguistica computazionale e nella gestione dei beni culturali. Tra i temi applicativi dell'IA, un posto di rilievo ha senza dubbio **la salute e la medicina, dove soluzioni IA sono utilizzate in misura crescente in diversi ambiti,** caratterizzate dal denominatore comune di fornire un ausilio ai compiti ed alle decisioni che impegnano il personale sanitario nelle attività cliniche e di ricerca. Il successo di queste applicazioni è legato alla integrazione fra le conoscenze e le abilità di due mondi, quello informatico e quello medico, che sono sempre più interconnessi e interdipendenti. Le applicazioni di IA in medicina sono già in avanzata fase di sperimentazione in diversi ambiti: diagnostica per immagini, chirurgia robotica, gestione delle disabilità, assistenza infermieristica, gestione dei processi diagnostici e dei percorsi di cura. Il grande impatto sulla salute che avrà l'IA è dimostrato dal numero di applicazioni approvate o in fase di sviluppo, realizzate da grandi industrie, sia del settore medicale che di quello ingegneristico, e da un numero importante di startup, che si sono sviluppate partendo da un progetto in ambito sanitario. La fase critica sarà quella della implementazione pratica delle applicazioni basate su IA, che dovrà necessariamente passare attraverso un cambiamento nella gestione dei dati conservati nelle strutture sanitarie e da una propositiva evoluzione dell'approccio dei cittadini e del personale sanitario verso l'innovazione portata dalla IA. **Il nostro Paese può giocare un ruolo importante, in ambito europeo ed internazionale, nella realizzazione di strumenti capaci di analizzare ed estrarre conoscenza dai dati sanitari** generati a livello nazionale attraverso una loro innovativa gestione ed utilizzo. A titolo di esempio, possiamo ricordare che, in occasione della emergenza legata alla pandemia da SARS-CoV-2, numerose ricerche cliniche sono state pubblicate grazie all'utilizzo di tecniche di IA per la identificazione precoce dei pazienti affetti da COVID-19, per la stratificazione dei pazienti in base al rischio e per la ottimizzazione delle terapie. Questi studi sono basati sulla integrazione di dati clinici e strumentali, in particolare di diagnostica per immagini, analizzate tramite tecniche di IA. Infine, per il loro **carattere multidisciplinare** le applicazioni degli algoritmi di IA, di *machine learning* e dei sistemi intelligenti sono a diretta applicabilità ovunque nell'industria manifatturiera e robotica, nella industria dei servizi, nel mondo della PA, nel mondo legale e finanziario, solo per citare esempi che poi saranno delineati dalle articolazioni che seguono.



Queste sono le **motivazioni forti per investire in IA** durante tutto il periodo del PNR 2021-2027 in iniziative di ricerca fondazionale, applicativa ed industriale, **per proporre un grande Progetto di Ricerca Nazionale in IA coordinato** – per non disperdere le eccellenze in IA che già operano distribuite sul territorio –, a cui partecipino centri di ricerca pubblici e privati, industrie e startup. Il progetto deve avere obiettivi definiti, azioni chiare e risultati misurabili, per **progettare una infrastruttura stabile di ricerca** che permetta iniziative a lungo termine, che sia attrattiva per i giovani, eviti la dispersione di talenti e investimenti, consenta un rilancio dell'economia e della occupazione.

C. Evoluzioni

L'IA è dunque una disciplina con una forte connotazione metodologica, i cui risultati scientifici hanno portato alla nascita dell'industria IA mondiale che ora è al centro dei principali investimenti nel mondo, sia per le grandi aziende che lavorano sui dati del web (per analisi sociali, motori di ricerca ed *e-commerce*) sia per le aziende che lavorano sui sistemi intelligenti (come ad esempio la guida autonoma per veicoli terrestri e spaziali, la robotica, i sistemi di monitoraggio delle città intelligenti e dell'energia) e che necessitano di servizi intelligenti (come ad esempio la manifattura, la finanza, la medicina). Contestualmente, l'IA è un insieme di tecnologie che necessita di profonde innovazioni, anche derivanti dal classico contesto interdisciplinare in cui si è sviluppata e che è oggetto di frenetica evoluzione nella ricerca e nel suo impiego, con un modello circolare tra domanda ed offerta di soluzioni incentrate sull'IA.

Le previsioni di crescita sono impressionanti ed è per questo che il PNR deve prevedere uno sviluppo di conoscenze, progetti e prototipi a medio e lungo termine che possano cavalcare le diverse direzioni evolutive della tecnologia, per una facile messa a terra in nuove applicazioni. I percorsi di esplorazione sono tanti:

1. Una **evoluzione dei meccanismi di apprendimento automatico**: la *machine learning* e il *deep learning* sono i temi in più grande e costante evoluzione, ad esempio in chiave di apprendimento continuo e predittivo, in presenza di pochi o molti dati, anche incerti e carenti, con modelli e architetture innovative ispirati alle leggi della natura quali, ad esempio quelle neuromorfiche e quantistiche.
2. Una evoluzione metodologica nella direzione di **integrazione tra modelli di apprendimento interpretabili e ragionamento simbolico** per supportare l'accettazione consapevole da esperti di dominio applicativo, migliorare il livello di fiducia nei risultati prodotti da sistemi IA grazie a meccanismi di spiegabilità in scenari a rischio e fornire ai progettisti IA la possibilità di capire ed interpretare i meccanismi decisionali associati ad un responso.
3. Una evoluzione nelle capacità dell'IA relativamente alla **percezione e alla visione artificiale super-umana**. In quest'ambito, la ricerca non ha ancora portato a risultati definitivi, se non in casi puntuali. L'evoluzione dei sistemi di visione va anche nella direzione di operare con percezione aumentata in ambienti ostili con capacità super-umane, di avanzare la visione multisensoriale e da satellite e la visione generativa e immaginativa verso una "intelligenza visuale". Questa potrà essere applicata nei servizi e nei sistemi autonomi quali le nuove generazione di robot autonomi con le loro capacità cognitive, nei veicoli senza conducente, nei sistemi aerospaziali e negli oggetti intelligenti.
4. Una evoluzione nell'**intelligenza testuale e di linguaggio naturale**, nella comprensione del linguaggio per una perfetta interazione uomo-IA e nella interpretazione dei testi anche di carattere complesso, dai testi antichi storici e artistici, ai testi giuridici o scientifici, e nei modelli di generazione dei testi, nonché nei sistemi conversazionali.
5. Una evoluzione **dell'IA verso l'intelligenza collaborativa relativamente all'interfaccia tra persona e sistema cyber fisico, interazione con robot, con macchinari e più in generale con sistemi complessi**, con interfacce collaborative e non, quali quelle abilitate dai dispositivi indossabili (*wearable*) e di interfaccia con il cervello umano (*Brain Computer Interface*), per permettere un potenziamento delle capacità umane (*AI for Human empowering*, in linea con i programmi di Horizon Europe) per utenti e lavoratori.
6. Una evoluzione dell'**intelligenza Artificiale nei sistemi autonomi (embodied) e dedicati (embedded)** caratterizzati dalla compenetrazione tra percezione, apprendimento, ragionamento ed azione, su sistemi hardware dedicati anche in tempo reale.



7. Una evoluzione verso *l'intelligenza creativa* che porti sia a modelli generativi che a meccanismi di esplorazione, quali quelli basati su attenzione e curiosità, a supporto della progettualità e della creatività umana.
8. Una evoluzione dell'*IA distribuita e federata* che porti ad una sinergia tra sistemi sensoriali, anche dell'Internet-of-Things, e i livelli *edge* e *cloud*, *che si occupi di sostenibilità energetica* e che supporti un'economia federata dei dati.
9. Una evoluzione verso un'*intelligenza affidabile e credibile per l'essere umano (Trustworthy AI) basata sulla etica-by-design* e che sia allineata con la moderna percezione di privacy dell'utente. Una IA che sia robusta e difficilmente attaccabile, nonché verificabile nelle prestazioni e nella sua riproducibilità. Questi aspetti sono critici e stringenti per una facile adozione di sistemi di decisione (semi-) autonoma.
10. Una evoluzione *dei componenti di apprendimento e ragionamento per le piattaforme di analisi dei Big Data* che possano essere integrate in piattaforme esistenti o di nuove concezioni al fine di trovare soluzioni efficaci e di **ingegnerizzazione dell'IA**, comprendendo capacità di certificabilità e di testing verso la affidabilità di sistemi di AI-as-a-Service.

L'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale, soprattutto nei suoi modelli di apprendimento, di memoria e di ragionamento è così rapida da essere imprevedibile a lungo termine, si avvale di competenze interdisciplinari ed è spesso frutto di confronti anche con esperti in scienze cognitive e neuroscienze. Sicuramente è prevedibile una evoluzione della ricerca che vada nella direzione di un connubio intelligenza umana-artificiale sia per le soluzioni software ed hardware, sia per quelle *cloud* ed *edge*. L'evoluzione dell'IA come disciplina scientifica è per sua natura senza confini fisici e si avvale dell'intelligenza cooperativa dei centri di ricerca in tutto il mondo. Reti tematiche come quelle nate da associazioni scientifiche internazionali come, per citarne alcune, l'*Association for Computational Linguistics*, la *Computer Vision Foundation*, *EurAI*, *AAAI*, *IAPR*, *INNS*, *IEEE-CIS*, e le europee *ELLIS* e *CLAIRE* sono fondamentali per garantire uno scambio di saperi nelle comunità internazionali. Si auspica che l'Italia investa nella mobilità internazionale di dottorandi, ricercatori e docenti sia in entrata che in uscita per far fiorire anche in Italia l'humus scientifico necessario per i centri di ricerca e ancor più per le industrie del territorio. Si auspicano forti investimenti pubblici e privati che favoriscano l'accesso alle comunità scientifiche e alle manifestazioni, alle industrie IT italiane e alle giovani start-up innovative.

Infine, l'intelligenza Artificiale, nei suoi sistemi, servizi e prodotti è un tassello fondamentale dell'economia circolare e della trasformazione digitale. La sua evoluzione sarà anche dettata dalle applicazioni, dalle esigenze industriali e dalle sfide che la società saprà porre.

Rilevanza alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

La rilevanza dei temi di Intelligenza Artificiale e delle possibili linee di ricerca ad essa collegate sono state già evidenziate nei paragrafi precedenti e saranno ancor meglio esplicitate dalle articolazioni che seguono. **La rilevanza è testimoniata dalla centralità dell'IA in tutti i documenti programmatici internazionali**, in quelli Europei per il prossimo settennio (ed in particolare quelli del *Digital Single Market*, degli *Horizon Europe* e di *Digital Market*) e nei documenti italiani prima rilevati nonché nelle strategie S3 che sono in corso di redazione a livello delle Regioni Italiane. Data la rilevanza del tema si auspica che una strategia ed una **politica specifica sull'Intelligenza Artificiale sia una delle Missioni principe del PNR**, per definizione una **MOIP (Mission Oriented Innovation Policies)** inter-disciplinare che coniughi esperti in informatica ed ingegneria informatica, esperti nelle tecnologie dell'informazione ed esperti di dominio (dalla medicina, alle neuroscienze, alla matematica e alla fisica, alla industria, all'economia e alle scienze umanistiche) ma interessati a sviluppare una ricerca in IA e coinvolga tutte le istituzioni, centri di ricerca pubblici e privati ed industrie. Molte istituzioni hanno già riconosciuto la rilevanza dei temi di IA, strategici per i loro dicasteri. Il MUR, il MISE ed il MID in primis ma anche tutti gli altri Ministeri (uno tra tutti il Ministero della Difesa), la Presidenza del Consiglio dei Ministri tramite il DIS, ed istituzioni specifiche come l'Istituto Superiore di Sanità (che ha iniziato un confronto programmatico con il Lab CINI-AIIS durante l'emergenza COVID), le agenzie Spaziali italiane ed Europee, l'ASI e ESA (che partecipano attivamente ai tavoli IA Europei). La MOIP principe non dovrebbe essere soltanto – seppure fondamentale – quella di impiegare l'IA per la trasformazione digitale di industria e società, quanto quella di



più ampio respiro di avere una Missione IA-Italiana, di porre le basi per una industria IT italiana per la futura occupabilità dei giovani, la competitività internazionale e l'**eliminazione dell'AI-Divide** che rischia di colpire i paesi che non investiranno in queste tecnologie. Una MOIP specifica con una progettualità nazionale di ampia visione e con una possibile strutturazione della rete dei centri di ricerca e dei laboratori di IA e di quelli interdisciplinari, come ad esempio in un Istituto Nazionale in Intelligenza Artificiale, una infrastruttura distribuita e stabile, cofinanziata dalle istituzioni interessate e dall'industria.

IA per la transizione digitale in un ecosistema di eccellenza eticamente sostenibile

La rilevanza dell'Intelligenza Artificiale nel contesto della Transizione Digitale è già stata descritta in dettaglio nel paragrafo 1.2 "Motivazioni". L'IA è la tecnologia fondamentale per la analisi di Big Data, fondamentale per la creazione di un'economia dei dati a livello nazionale ed Europeo, per la "*affermazione della autonomia italiana nelle tecnologie digitali affidabili e human-centered*" che è uno degli impatti centrali di tutto il grande ambito "Informatica, Industria e Aerospazio".

La ricerca e il trasferimento tecnologico in IA si rivolge sicuramente al favorire un ecosistema di eccellenza italiana ed europea, ma non può prescindere da paradigmi di economia circolare e di sostenibilità, che sono i cardini della trasformazione digitale futura. Il termine **sostenibilità** è una parola chiave per la prossima programmazione Europea e anche per l'Italia, declinato in diversi contesti di sostenibilità ambientale (anche nella direzione di economia verde), di sostenibilità economica ed industriale (per la produzione ed i processi produttivi) e di sostenibilità e sviluppo sociale (per fare fronte alle disuguaglianze e soprattutto rispondere nel modo più efficace alla preoccupante crisi sociale dell'ultimo periodo, aggravata dalla pandemia). In questo ambito, è necessario prevedere azioni sia per l'Intelligenza Artificiale per la Sostenibilità (soprattutto nelle articolazioni #A5 ed #A6, #A6) sia per la Sostenibilità dell'Intelligenza Artificiale (articolazione #A1 e #A2). Questo fa eco alla progettualità europea di Horizon Europe declinata anche in progetti a breve-medio termine in tecnologie IA innovative per il *Green Deal*, di modelli di *self-learning* per la ottimizzazione della produzione e di tecnologie IA per supportare la sostenibilità di risorse umane nell'industria, migliorare la condizione dei lavoratori e la loro professionalità (programmi *Digital Emerging*, Cluster 4, HE).

Un ostacolo ad una transizione digitale più pervasiva ed efficiente, mediante l'utilizzo di tecniche IA, è dato dalla scarsa fiducia che alcuni individui nutrono verso sistemi automatici quando questi impattano largamente sulla società, per esempio prendendo decisioni in modo autonomo o contribuendo alla creazione di scenari che poi guidano le scelte della politica. Secondo alcune teorie, essendo le valutazioni e molti modelli creati da sistemi IA non comprensibili o interpretabili, questi costituiscono una sorta di insondabile oracolo, che come tale può essere eterodiretto verso fini diversi da quelli istituzionali. È assolutamente necessario che si elimino incomprensioni e pregiudizi mediante evidenza scientifica, rigorosi risultati tecnologici e mediante una grande attività di formazione ad ogni livello della società. È necessario lavorare nella ricerca, produzione ed adozione di IA per evitare non solo i comportamenti malevoli ed anti-etici ma anche per limitare la disinformazione e la superficialità nell'impiego che potrebbe portare a soluzioni potenzialmente inaffidabili e suscettibili di errori anche disastrosi (si pensi per esempio alla eventualità di scelte terapeutiche o alla gestione delle infrastrutture critiche). Per quanto in larga parte la ricerca fondamentale dei sistemi IA sia già in grado di garantire e di stimare i margini di confidenza dell'errore, una ricerca umano-centrica, volta alla credibilità e interpretabilità (*explainable AI*) e alla riproducibilità delle tecniche IA è essenziale per placare le critiche di tali fasce delle popolazioni, e per consentire l'adozione della tecnologia in ambiti critici e sensibili per la società italiana. Ugualmente è necessaria un'attività coordinata con l'Europa per la certificazione, la valutazione di prestazioni e laddove possibile la standardizzazione. Questo tema viene trattato nell'Articolazioni #A2 ma è fondamentale in tutte le Articolazioni). È inoltre il tema fondamentale di tutta la Destination 6 di Horizon Europe.

IA per la Transizione economica ed industriale

L'Italia è caratterizzata da una forte presenza di grandi aziende manifatturiere, e di produzione del *made in Italy* che richiedono tecnologie IA con impatto anche a breve termine, e che sono attratte dalle potenzialità di una trasformazione digitale verso le tecnologie emergenti, e soprattutto verso l'IA. Questa è indispensabile per la transizione digitale nelle industrie italiane, sia in quelle tradizionalmente forti (settori manifatturieri, della robotica, farmaceutici, del veicolo, industria aerospaziale), sia in quello del *made in Italy* (design, moda, turismo e cibo), sia in settori che hanno



fortemente subito dei fattori congiunturali degli ultimi anni (come i settori della costruzioni e dell'agricoltura) e che dovranno adottare soluzioni intelligenti ed automatizzate per una trasformazione dei modelli produttivi. L'Articolazione #A5 tratta specificatamente i temi di transizione digitale grazie all'IA nell'industria, come quelli indicati prioritari da Confindustria, ad es, i *digital twin*, la personalizzazione produttiva.

Diverse aziende stanno operando per proporsi come leader nella produzione di IA, soprattutto in campi come quelli dei sistemi cyber-fisici intelligenti, della robotica, dell'industria microelettronica per le prossime generazioni di *Edge-AI* e di prodotti in IoT. Similmente, anche le grandi aziende manifatturiere stanno creando divisioni di sviluppo IA per il mercato interno ed esterno. Si assiste ancora ad un panorama *relativamente limitato di industria software nazionale*, che però intende riconvertirsi nella produzione di servizi e soluzioni IA fondamentali per una autonomia nazionale in un settore così strategico come quello dei sistemi intelligenti autonomi e semiautonomi. In particolare, aziende IT che operano nei settori della gestione dei dati, della sicurezza e delle telecomunicazioni stanno aprendo divisioni specializzate in IA e apriranno sempre di più alla collaborazione anche a breve termine con la ricerca di base. In questo ambito, si assiste ad una grande crescita di start-up ed aziende di piccole e medie dimensioni ad elevata tecnologia e in alcuni casi, come quello della comprensione del linguaggio naturale, con punte di leadership mondiale. Per finire, vanno ricordate le aziende del settore dell'Industria Culturale e Creativa, specialmente IT, un asset estremamente importante per la sostenibilità economica dell'Italia che sempre di più si occupa di fornire servizi e sistemi in IA sia a supporto della interazione tra persona e cultura nelle *digital humanities* che per il turismo e per la gestione del patrimonio culturale. Il potenziamento e la crescita dell'Industria IT Italiana nel settore dell'Intelligenza Artificiale è un asset strategico imprescindibile per il nostro Paese. Le Articolazioni #A1 #A2 ed #A6 vadano espressamente nelle direzioni di contribuire con la ricerca all'industria italiana specializzata in IA (azione a medio e lungo termine) e a supportare la trasformazione digitale dell'industria Italiana (azione a breve termine).

IA per la Transizione sociale ed ambientale

Negli ultimi anni è indubbia la priorità dell'interesse pubblico per la gestione ed elaborazione di dati Italiani per affrontare sfide sociali importanti che coinvolgono la società e che possono trovare risposta dalle nuove tecnologie di IA. In tutti i temi strategici per la sostenibilità della nostra società, nelle sfide della salute, della disuguaglianza economica, del progresso scientifico e tecnologico, del mantenimento della democrazia e dei diritti umani, l'IA può avere un impatto fondamentale. Può infatti fornire: soluzioni a supporto degli esperti umani nella cura delle malattie, soluzioni di sistemi intelligenti (anche *embedded* in oggetti e robot) per la interazione con bambini e con anziani e per il benessere del cittadino, può fornire strumenti di analisi e decisionali per il monitoraggio delle infrastrutture critiche, dei servizi a rete, della sostenibilità energetica, dai trasporti alle città intelligenti, nell'efficientamento della pubblica amministrazione, dai dati fiscali a quelli giuridici, nella difesa, nella gestione dell'ambiente e dello spazio, nell'educazione, nel turismo e nella economia dei beni culturali, in una migliore capacità del sistema della ricerca scientifica di progredire. In tutti questi ambiti dove i dati sono necessariamente preziosi, la ricerca in Intelligenza Artificiale, in netta sinergia con la ricerca in HPC e Big Data, può e potrà fornire nuove soluzioni. Un aspetto specifico sarà quello di prevedere un buon equilibrio tra autonomia decisionale e controllo umano per una applicabilità in larga scala di soluzioni IA sulla salvaguardia dei sistemi naturali e della catena trofica, anche per prevenire impatti negativi che potrebbero derivare da meccanismi di "pregiudizio dell'algoritmo" antropocentrico, come sottolineato dalle linee guida del MATTM. Contestualmente il PNR deve prevedere strumenti per l'alta formazione in tecnologie IA (dai sistemi esperti al Machine Learning) per rispondere alle sfide urgenti del Green Deal, anche legate alla perdita della biodiversità (Directive Europee "Nature").

Transizione sociale: l'educazione in IA

La centralità dell'IA per la educazione futura nel nostro paese, sia in termini di "IA per l'educazione" che di "educazione in IA" è, un tema assai condiviso sin dai documenti di Strategia MISE2020 e MID 2020 e di tutti i Ministeri coinvolti, nonché una delle raccomandazioni descritte nel documento CINI-AIIS (§ 1.2). È strategica una comune azione di governo per una politica in grado affrontare la profonda trasformazione che sta pervadendo la nostra società, con particolare riguardo alla capacità di formare figure con competenze digitali, tra le quali l'Intelligenza Artificiale gioca un ruolo di primissimo piano. L'impatto di queste tecnologie sul mondo del lavoro sarà importante, portando alla scomparsa di alcune professioni, alla creazione di nuove e alla riconversione di alcune professioni esistenti. Serve



quindi diffondere a tutti i livelli una cultura più aperta e competente nel digitale e nel sapere scientifico; serve potenziare la formazione specialistica e tecnica (ad esempio l'analisi dei dati e le competenze nelle scienze computazionali) sviluppando al contempo soft skills quali creatività, managerialità, e capacità di risolvere problemi in contesti tecnologicamente sempre più complessi. Serve infine mettere il cittadino e lo studioso italiano nelle condizioni di apprendere prima (mediante piattaforme *IA-enabled* e basi di dati accessibili e di valore, come quelle del mondo della ricerca) ed utilizzare poi in ambiti reali le conoscenze acquisite. Occorre una strategia che sia di qualità, equa ed inclusiva e crei opportunità di apprendimento per tutti prevedendo la sua sfera di influenza lungo l'intero ciclo formativo, dalla Scuola all'Università, dagli Istituti Tecnici Superiori ai corsi di dottorato, nonché il rafforzamento delle strutture di trasferimento tecnologico e il *training on the job*.

Si possono individuare le seguenti linee di intervento che devono essere comuni a tutte le articolazioni sotto definite:

- Rafforzare la presenza nella scuola primaria di laboratori informatici e ludici che prevedano anche la creazione di sistemi artificiali autonomi, per introdurre i bambini al pensiero computazionale e all' IA.
- Aggiornare i programmi scolastici della scuola secondaria, introducendo corsi di informatica e promuovere la connessione virtuosa tra l'ambito umanistico e l'ambito scientifico (ad es. valorizzando la filosofia della scienza e gli strumenti IA per le *digital humanities*).
- Promuovere un aggiornamento dell'Offerta Formativa dei diversi Corsi di Laurea di ambito STEM che prevedano insegnamenti di "Fondamenti di Informatica", "Fondamenti di Intelligenza Artificiale" e di "Machine Learning"
- Consolidare i programmi dei Dottorati Nazionali in IA a lungo termine e creare una rete di Dottorati di Ricerca, anche coinvolgendo il laboratorio CINI sull'IA per mettere a sistema i Corsi di Dottorato di Ricerca erogati da tutte Università per l'approfondimento di argomenti legati all'IA.
- Promuovere un utilizzo di tecnologie IA nella ricerca scientifica, in particolare in quella che deve gestire grandi quantità di dati, con corsi di formazione specifici.
- Prevedere incentivi alle imprese che vogliono investire in innovazione per l'assunzione di dottori di ricerca che abbiano approfondito tematiche di ricerca in IA.
- Supportare l'apprendimento continuo potenziando Competence Center e E-DIH nazionali selezionati su ambiti tecnologici specifici e complementari, con il forte coinvolgimento di poli universitari di eccellenza, degli Enti di Ricerca pubblici e di grandi player industriali privati, in grado di esercitare una funzione di supporto alla sperimentazione e applicazione di soluzioni tecnologiche e di percorsi formativi a favore del tessuto di Piccole e Medie Imprese.
- Intraprendere un'azione di concreto sostegno infrastrutturale allo sviluppo dei sistemi MOOC per la fruizione dell'intera offerta formativa degli atenei ed enti di alta formazione italiani su cui costruire una vera piattaforma innovativa per la "AI nella formazione", anche con il coinvolgimento di piattaforme europee come la *AI on-demand platform* sviluppata dal progetto AL4EU per dimostrare l'efficacia di un paradigma generalizzato e capillare di *AI-as-a-Service* al servizio di imprese e cittadini.

Obiettivi 2021-2027

L'ambito del PNR "Intelligenza Artificiale" si pone due obiettivi ambiziosi a livello Paese:

- **Proporre l'IA come fulcro della sfida informatica del nuovo decennio**, i) per mantenere la leadership italiana nella ricerca in IA, sia per quanto riguarda la ricerca fondazionale ed umano-centrica sia per quanto concerne gli aspetti di ricerca multidisciplinare unitamente alle tecnologie affini (e.g., comunicazioni mobili, produzione industriale, robotica, big data e HPC, cybersicurezza); ii) per far nascere - e rafforzare laddove esistente - l'industria italiana del software, dell'hardware e dei servizi in IA, e iii) per favorire la trasformazione digitale nel breve e medio periodo.
- **Trasformare l'Italia in un Paese di progettazione e sviluppo di tecnologie "IA per tutto"** (AI 4 x) a servizio della trasformazione industriale e sociale: nel breve e medio termine a supporto dell'adozione consapevole delle tecnologie IA, possibilmente certificandone l'affidabilità; nel lungo periodo per consentire e mantenere la sovranità tecnologica in quegli ambiti di eccellenza propri dell'economia italiana.



Obiettivi scientifici e tecnologici: Le linee di evoluzione dell'Intelligenza Artificiale sopra descritte (§ Sez.1.6) vengono tradotte nei seguenti obiettivi scientifici e tecnologici che saranno ripresi nelle cinque articolazioni e sono alla base delle tecnologie abilitanti degli altri ambiti del PNR 2021-2027:

1. la definizione e lo sviluppo di **nuovi meccanismi di apprendimento in sistemi intelligenti** in grado di operare in modo sostenibile su Small e Big Data e su informazioni eterogenee, anche incomplete, appoggiandosi ad architetture di calcolo HPC, ma anche a soluzioni sostenibili su calcolatori tradizionali, e su quelli di nuova generazione quali quelli neuromorfici e quantistici;
2. la definizione e lo sviluppo di metodologie e sistemi per l'**integrazione di modelli di apprendimento e di ragionamento simbolico**, lo sviluppo di modelli matematici che supportino dal punto di vista teorico la validità e l'efficienza dei modelli di apprendimento, anche nell'ottica della interpretabilità e della trasparenza (*explainable AI*);
3. la definizione e lo sviluppo di tecniche e di algoritmi di calcolo numerico e di ottimizzazione per l'**implementazione efficiente degli algoritmi di apprendimento**, funzionali alla disponibilità di risorse di calcolo e supercalcolo e per sfruttare in modo sostenibile le risorse HPC disponibili;
4. la definizione e lo sviluppo di metodologie e sistemi di **percezione, interazione e visione artificiale superumana** nell'ottica di un'integrazione multisensoriale e cognitiva;
5. la definizione e lo sviluppo di metodologie e sistemi di **intelligenza testuale e di linguaggio naturale** nell'ottica di valorizzare il corpus linguistico italiano in tutte le sue declinazioni applicative;
6. la definizione e lo sviluppo di sistemi e soluzioni di **intelligenza collaborativa** per una naturale interazione cyber fisica tra essere umano, robot e macchina;
7. la definizione e lo sviluppo di **sistemi intelligenti autonomi (embodied) e dedicati (embedded)** di nuova generazione caratterizzati da una forte interazione tra software e hardware;
8. la definizione e lo sviluppo di una **nuova intelligenza creativa** sinergica tra quella naturale ed artificiale, che valorizzi le peculiarità creative del nostro paese e del suo made in Italy;
9. la definizione e lo sviluppo di soluzioni di **IA federata e distribuita** verso una ingegneria dell'Intelligenza Artificiale che integri paradigmi IoT con modelli edge e cloud.
10. la creazione di una visione italiana dell'**Intelligenza Artificiale che sia credibile, robusta, affidabile, a servizio dell'essere umano (Trustworthy AI, Human-Centric AI), ed etica by-design**;
11. la creazione di prototipi e **componenti riusabili per applicazioni IA alimentate dai Big Data**, e di linee guida per l'ingegnerizzazione dell'IA in cui i dati della ricerca scientifica vengano utilizzati in dimostratori di ampie dimensioni, che possano essere successivamente proposti e riusati in prodotti industriali.
12. realizzazione di **sistemi Intelligenti in tutti gli ambiti applicativi che coprono la persona, la salute, la società, l'ambiente e le infrastrutture critiche nonché la produzione industriale.**

Obiettivi trasversali per la trasformazione digitale intelligente: Considerando le motivazioni sopra indicate e i punti relativi alla rilevanza alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale (§ Sez.2.1, § Sez.2.4), si suggeriscono alcuni obiettivi trasversali, quali:

- **Evoluzione verso un sistema educativo incentrato sull'IA:** i) in senso temporalmente verticale partendo dalla scuola dell'obbligo, fino ai livelli universitari, post-universitari e di formazione continua e ii) in senso orizzontale che coinvolga non solo discipline informatiche ed ingegneristiche, ma anche le altre discipline STEM, quali la matematica, la fisica e la statistica, economiche, giuridiche ed umanistiche.
- **Supporto alle azioni di regolamentazione, di interpretazione normativa** fino alla certificazione delle soluzioni e prodotti IA, a supporto del Paese, dell'industria italiana e della crescita dell'imprenditoria giovanile.

Azioni Nazionali: Per ottenere questi obiettivi si ritiene strategico attivare i due punti seguenti come Azioni Nazionali:

1. **Realizzazione di un "Progetto Nazionale di Ricerca in IA"** che coniughi elementi fondazionali con elementi di ricerca applicata in stretta collaborazione con i ricercatori di tutte le discipline interessati all'IA, e l'industria italiana per l'avanzamento della ricerca scientifica nell'Intelligenza Artificiale del prossimo decennio e per la creazione di sistemi intelligenti per l'individuo e la salute, la società, l'ambiente e le infrastrutture critiche e la produzione industriale.



2. **Progettazione di un “Istituto Nazionale in Intelligenza Artificiale” (INIA)** che vada a strutturare le azioni e le strategie, a coordinare le attività dei centri pubblici e privati, di centri nazionali e locali esistenti, le grandi infrastrutture digitali e le azioni di trasferimento tecnologico, così da amplificare l’efficacia e l’impatto della ricerca in IA, sia fondazionale sia applicativa, a livello nazionale e rafforzare la posizione dell’Italia a livello internazionale. Come nel secolo scorso l’Italia ebbe la lungimiranza di creare l’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, che ha segnato i successi duraturi della ricerca italiana nella fisica ed in molte tecnologie collegate, così un possibile futuro INIA, per sua natura multi-disciplinare, che colleghi i centri nascenti ed esistenti di ricerca in IA e ricercatori informatici, ricercatori di ogni disciplina interessati allo sviluppo di IA in contesti specifici e le industrie ed istituzioni italiani e, potrà essere la grande sfida di questo secolo del nostro Paese.

Indicatori di Prestazioni o KPI (Key Performance Indicators): gli obiettivi suddetti e le azioni che ne derivano devono poter essere misurati in modo quantitativo e qualitativo attraverso diversi KPI:

1. **KPI scientifico:** numero e qualità di pubblicazioni sia fondazionali, sia applicative a livello internazionale sulle principali riviste scientifiche di settore e convegni di fama consolidata secondo i criteri di valutazione nazionale, numero di workshop e conferenze di settore organizzate in Italia. Numero e qualità di bandi competitivi (quali ERC, Progetti Europei) e progetti finanziati internazionali relativi ai temi di AI e Machine Learning.
2. **KPI scientifico-tecnologico di impatto industriale:** misurabile in termini di brevetti, di sistemi sia software che hardware a TRL elevato sviluppati in modo sinergico con l’industria, di spin-off e startup e di azioni volte all’aumento del PIL grazie all’IA.
3. **KPI di impatto sociale:** misurabile in termini di servizi di azzeramento dello “*AI-Divide*”, della numerosità delle iniziative di educazione in IA (ad. es corsi nella scuola superiore, corsi multidisciplinari, curricula specifici, dottorati in IA), per favorire la trasformazione digitale portando a consapevolezza e competenze nell’IA.
4. **KPI nelle sfide sociali e in ambiti strategici** quali la medicina, l’ambiente sostenibile, le infrastrutture critiche nazionali, i beni culturali e turistici, misurabili nel numero dei progetti e realizzazioni portati a termine con successo, nel loro impatto sulla popolazione italiana e nella inclusione di genere valutata nei comitati di gestione e orientamento della didattica e della ricerca.
5. **KPI di impatto infrastrutturale** sulla creazione di strutture stabili, centri di ricerca, piattaforme tecnologiche e reti di impatto internazionale, nonché nel numero di progetti EU, industriali che coinvolgono l’Italia come partnership.

Alla luce di quanto definito si definiscono **6 articolazioni**: 1. Intelligenza Artificiale per l’Intelligenza Artificiale; 2. Intelligenza Artificiale umano-centrica; 3. Intelligenza artificiale per la salute; 4. Intelligenza Artificiale per la società; 5. Intelligenza Artificiale per l’ambiente e le infrastrutture critiche; 6. Intelligenza Artificiale per la produzione industriale.

Articolazione 1. Intelligenza Artificiale per l’Intelligenza Artificiale (IA per IA)

L’Intelligenza Artificiale, al di là della sua pervasività nell’industria e nella società, è innanzitutto una disciplina informatica di rapidissima evoluzione su cui nel prossimo decennio si concentrano i massimi investimenti pubblici e privati di tutto il mondo. Citando Tomaso Poggio, attualmente il ricercatore italiano di maggiore impatto scientifico in tutta la “Computer Science”, direttore del Center for Biological and Computational Learning e del Center for Brains, Minds, and Machines, entrambi al MIT, USA *“Penso che l’IA rappresenti oggi il più grande problema della scienza e della tecnologia, tra i grandi problemi della scienza come l’origine dell’universo e l’origine della vita, perché se facciamo progressi su di essa saremo in grado di risolvere più facilmente tutti i grandi problemi, comprese le sfide alla nostra società come il riscaldamento globale ecc. Come l’Italia sta comprendendo (si veda il documento “Ai for Future Italy” CINI 2020), la ricerca sull’IA è strategicamente importante per qualsiasi nazione del mondo, a breve e a lungo termine. È di fondamentale importanza rendersi conto che il problema NON è stato risolto e che ci vorrà molto tempo e diversi progressi per arrivarci. Questo significa che l’Italia, con la sua ottima scuola di Machine Learning e di IA, può giocare un ruolo importante nelle prossime scoperte, a condizione che vengano fornite risorse efficaci. Rendersi conto che il problema dell’intelligence NON è stato ancora risolto implica anche che c’è una grande opportunità per l’Italia di*



investire in più ricerca fondamentale. Si investe ancora relativamente poco nella scienza dell'intelligenza - i fondamenti teorici dell'apprendimento automatico e delle neuroscienze computazionali che sono alla base di come il cervello crea l'intelligenza umana. La mia scommessa personale- scrive Poggio- è che il vero progresso nell'IA, nei prossimi 50-100 anni, verterà da scoperte a livello fondamentale, più che un semplice aumento della potenza computazionale”.

Per mantenere l'attuale leadership scientifica internazionale conquistata in decenni di impegno e per permettere un'indipendenza tecnologica nazionale ed europea (si veda Impatto EU23 “Sovranità in tecnologia digitale e nelle future emergenti tecnologie abilitanti”) **l'Italia deve investire nella ricerca fondamentale dell'Intelligenza Artificiale, in quanto disciplina scientifica dell'informatica**, e nella comprensione dei suoi modelli anche collegati ai successi delle neuroscienze, rafforzando le interazioni con le altre discipline fondamentali, quali la matematica e la fisica, poiché dal punto di vista teorico le problematiche poste dell'IA richiedono strumenti matematici sempre più avanzati (quali processi empirici, geometria computazionale, ottimizzazione non-convessa), e dall'altro aprono nuove direzioni di ricerca per la matematica, la statistica e le altre discipline di base, in modo simile a quanto è successo all'inizio del Novecento con lo sviluppo della fisica moderna.

L'Italia deve investire sulla ricerca fondamentale in IA con convinzione, senza indugi, anche mediante azioni quali quella di un grande Progetto di Ricerca Nazionale in Intelligenza Artificiale coordinato, coinvolgendo tutti i ricercatori interessati alle tematiche dell'IA, per incidere con contributi importanti in tutte le articolazioni del PNR, e per garantire opportunità uniche di crescita all'industria italiana e un dovuto futuro lavorativo alle nuove generazioni, e ancor più lungimirante di un Istituto Nazionale in Intelligenza Artificiale. Un ritardo in tale direzione e la mancanza nell'efficacia delle azioni risulterebbero scelte storicamente imperdonabili. L'Italia deve compiere uno sforzo importante nella ricerca fondamentale come unica possibilità per consentire al Paese una duratura indipendenza tecnologica in un settore il cui impatto sociale e economico caratterizzerà il XXI secolo. Citando il “Libro bianco in IA” EU2020, “...l'Europa si trova in una posizione ideale per beneficiare del potenziale dell'IA, non solo in quanto utente, ma anche come creatore e produttore di questa tecnologia... Lo sfruttamento della capacità dell'UE di investire nelle tecnologie e nelle infrastrutture di prossima generazione nonché nelle competenze digitali, accrescerà la sovranità tecnologica dell'Europa nell'ambito delle tecnologie e infrastrutture abilitanti fondamentali per l'economia dei dati.” Questa indipendenza a livello europeo, sarà possibile solo grazie ad un consistente contributo italiano, vista la qualità internazionalmente riconosciuta dei suoi ricercatori, la tradizione e la ricchezza in competenze e prodotti sviluppati e messi a punto nel tempo.

a) Ricerca fondamentale in Intelligenza Artificiale: Nonostante il notevole impatto economico ed industriale attuale, l'IA è una disciplina in una fase giovanile che, come tale, richiede importanti sforzi nella ricerca fondamentale per potersi attestare ulteriormente e consolidare. Per soddisfare gli obiettivi dell'ambito prima definiti, sono necessarie azioni di ricerca che comprendono molti problemi aperti in IA. Essi riguardano -tra l'altro- a) le nuove architetture neurali, il rilassamento delle ipotesi di lavoro del *machine learning* di oggi per ottimizzare efficacia, accuratezza, efficienza ed anche sostenibilità computazionale; b) i modelli matematici per giustificare le prestazioni delle architetture neurali e le relative tecniche di ottimizzazione non-convessa nell'implementazione efficienti su risorse di calcolo diverse (da HPC ad edge); c) i modelli di ragionamento simbolico e la sinergia con modelli sub-simbolici per una IA spiegabile; d) la connessione percezione-ragionamento-azione e nuove soluzioni per la visione artificiale superumana e la comprensione e generazione del linguaggio naturale; e) l'integrazione tra modelli fisici reali e virtuali per superare i limiti percettivi e cognitivi umani; f) la compenetrazione tra Intelligenza Artificiale e biologia, e il collegamento diretto alle ricerche e ai risultati delle neuroscienze, il tutto nel rispetto dei principi etici. Obiettivo di questa articolazione è quindi creare nuovi modelli, strumenti e tecnologie di IA nazionali che oltre ad una eccellenza scientifica abbiano un impatto a breve, medio e lungo termine su tutti gli ambiti del PNR, e promuovano l'industria IT e le aziende Italiane.

b) Intelligenza Artificiale per l'economia dei dati: L'IA è anche uno strumento tecnologico autonomo, nato per elaborare *big data* in modo più efficiente dell'essere umano, anche grazie alle disponibilità di risorse di calcolo e di HPC e capace di lavorare su *small data*, su dati incerti e incompleti o rumorosi. L'IA attuale non è arrivata a completa maturità ed in ogni ambito i margini di miglioramento in termini di accuratezza, replicabilità, robustezza e generalità sono estremamente ampi. Sono necessari algoritmi sempre più sofisticati, modelli efficaci per estrarre conoscenza dai dati siano essi puramente numerici (ad. es. andamenti finanziari, valori sensoriali da dispositivi in IoT, valori strumentali o dati provenienti dal traffico internet), testuali (documenti digitalizzati, legali, provenienti dalle reti sociali),



multimediali come dati grafici, audio e video (ad es. dati climatici, dati web, di monitoraggio della mobilità), e che poi si traducano in librerie e suite software a disposizione dei centri di ricerca, delle start-up e delle PMI e delle industrie nazionali. Per fare questo, la ricerca necessita una fase a priori di lavoro su benchmark, su dati sintetici e su dataset campione, che esulano la specifica applicazione, per produrre a breve termine risultati scientifici concretizzabili poi a medio e lungo termine, seppure nell'orizzonte temporale del PNR 2021-2027, in prototipi e prodotti IA da specializzare nei diversi ambiti applicativi. È quindi necessaria un'attività di grande respiro sulla creazione di dataset validati, che possano essere usati per l'apprendimento di sistemi supervisionati o per la valutazione oggettiva di sistemi self-supervisionati e la creazione di iniziative di ricerca quali *contest, hackathon o datathon* che coinvolgano attori pubblici, privati e nascenti industrie IT, come anche sottolineato nel documento strategico del MISE2020. Questa attività di ricerca multidisciplinare deve essere affiancata da esperti di dominio soprattutto nel momento in cui coinvolgano dati sensibili o potenziali applicazioni ad alto-rischio come ad es. dati riguardanti la salute, la difesa e la pubblica amministrazione, e di criticità per la sostenibilità ambientale e quindi rappresentare un tema di Missione congiunta tra le diverse istituzioni nazionali.

c) Intelligenza Artificiale nei sistemi autonomi: I sistemi autonomi devono essere in grado di sviluppare forme nuove e proprie di apprendimento e ragionamento, anche differenti da quelle umane. È necessario studiare nuovi paradigmi, anche come indicato nella progettazione di Horizon Europe per definire “*next level of intelligence and autonomy*”. È strategico costruire, in Italia, le prossime generazioni di sistemi intelligenti autonomi, capaci di agire nell'ambiente e per l'ambiente: si deve sviluppare la ricerca in IA per veicoli e sistemi mobili autonomi, sistemi di monitoraggio e predizione di eventi, modelli di intelligenza creativa per la progettazione di nuovi prodotti e modelli di esplorazione e pianificazione orientati all'obiettivo, ma anche guidati da curiosità, attenzione ed immaginazione. Questi contesti chiamano ad una ricerca nei modelli formali di progettazione, nei modelli di apprendimento automatico e nei sistemi neurali di nuova generazione, comprendente modelli generativi, modelli avversari, modelli ricorrenti e self-attentivi e di generazioni futura. Dall'altra è necessario mantenere la centralità dell'uomo nel controllo e nella supervisione mantenendo stabile il binomio intelligenza-libertà. La centralità dell'individuo come artefice del proprio destino e con la responsabilità, a volte disattesa, di gestire al meglio ambiente e società deve essere garantita nel mondo delle nuove tecnologie IA che possano essere sicure, comprensibili e controllabili e, quindi, accettabili. La ricerca in IA, soprattutto quando collegata a sistemi autonomi, deve progredire con nuove metodologie che seguano le raccomandazioni dei Cluster Europei 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, nell'ecosistema di eccellenza e fiducia ribadito dal Libro bianco in IA Europeo. In questo ambito si collocano linee di ricerca che da una parte vanno negli strumenti di visualizzazione e di ausilio alla progettazione di sistemi efficaci di apprendimento automatico, dall'altro vadano verso una congiunzione e compenetrazione di modelli di apprendimento e modelli simbolici, per permettere una spiegabilità e comprensione nella fase di progettazione e di adozione di sistemi intelligenti.

d) Ingegnerizzazione dell'Intelligenza Artificiale: La ricerca deve rivolgersi anche alla ingegnerizzazione dell'IA nella direzione: a) della standardizzazione, misurabilità, sicurezza ed affidabilità e, b) alla concezione di sistemi misti software e hardware e sistemi dedicati intelligenti che siano efficaci, efficienti e sicuri. Il primo punto è centrale per la replicabilità ed impiego dell'IA in ambiti industriali e a rischio, e per la creazione di un ecosistema di imprese IT, anche nella dimensione di startup e PMI, che possano entrare su un mercato certificato nazionale ed internazionale. Dovrà, per questo, essere studiato un nuovo paradigma di validazione e certificazione del software in IA, che è ora oggetto di dibattito a livello europeo, non solo per evitare lo strapotere di colossi internazionali lasciando spazio all'imprenditoria locale ma anche per seguire l'evoluzione del software e dell'hardware in modo garantito. Su questo tema serve sicuramente un coordinamento ed una progettazione nazionale che continui nel tempo. Considerando poi che le metodologie IA si stanno dimostrando le migliori soluzioni per estrarre conoscenza da grandi moli di dati, deve essere ripensato il ciclo di vita del prodotto IA che possa sfruttare nell'apprendimento le potenzialità dell'HPC, e in futuro la computazione quantistica, e che possa poi completare la sua produzione in modelli misti che coinvolgono tecnologie *IoT, edge* e dedicate anche nelle nuove tecnologie di computazione neuromorfica. Il secondo punto è fondamentale, soprattutto nel nostro Paese, per sviluppare una industria nazionale di “*edge-AI*”. L'attuale approccio all'IA spesso solo basato sulla centralizzazione e l'elaborazione dei dati in *cloud*, presenta tre importanti criticità che ne intaccano lo sviluppo sostenibile. La prima riguarda la privacy dei dati dell'individuo che viene trasferita/persa in favore degli operatori che possiedono e forniscono le attuali piattaforme di Intelligenza Artificiale. La centralizzazione dei dati



induce una seconda criticità dovuta al consumo energetico, crescente e difficilmente sostenibile nel medio/lungo termine, dei *data center* che ospitano le piattaforme di IA. Una terza criticità riguarda la capacità delle attuali e future infrastrutture di calcolo e comunicazione (ad esempio le architetture HPC e il 5G) di far fronte al crescente volume di dati. Per affrontare queste criticità è vitale sviluppare strumenti e metodi di IA distribuiti e federati che operino anche direttamente sui nodi all'edge della rete. Essi consentiranno la creazione di modelli decentralizzati, limitando lo spostamento di dati verso *data center* remoti, con la conseguente perdita e/o limitazione del controllo su di essi. Le strategie miste edge, cloud e federate sono fondamentali per mantenere la proprietà dei dati, la gestione del diritto alla privacy o alla anonimizzazione dei dati personali, ma nel contempo permetteranno di creare piattaforme nazionali su cui sviluppare modelli di apprendimento e di ragionamento su dati italiani in un compromesso sostenibile tra la salvaguardia delle informazioni personali e il "diritto ad innovare" ribadito nel piano di innovazione 2025 del MID. Questa strategia si collega con sistemi di IA centrati sulla persona, in quanto soluzioni distribuite/federate di IA potrebbero basarsi su piattaforme digitali progettate dal punto di vista dell'individuo (invece che da quello dei data centers), in cui cioè ogni cittadino potrebbe integrare, archiviare ed elaborare in modo riservato e sicuro i propri dati, con meccanismi appropriati per contribuire in modo collaborativo e controllato all'estrazione di conoscenza dai propri dati personali.

e) Strumenti per la ricerca in Intelligenza Artificiale: Il PNR deve progettare e realizzare strumenti per permettere una ricerca fondazionale in Intelligenza Artificiale che sia efficace, duratura, e che mantenga e rafforzi la consolidata leadership scientifica. Per questo sono necessarie diverse azioni, congiunte a livello Paese ed in sinergia tra pubblico e privato che rinforzino: a) *il sistema della ricerca in IA*, aumentando il numero degli operatori della ricerca, professori, ricercatori accademici e dei centri di ricerca in IA, anche supportando programmi *di co-professorship internazionale*; b) *la crescita di giovani talenti* con programmi mirati di dottorati in IA e di scambi internazionali, la loro immissione nell'industria con salari adeguati e la facilitazione per realizzazione di startup; c) *la formazione universitaria*, rafforzando curricula informatica ed ingegneria informatica in IA, in sinergia con le altre discipline scientifiche STEM e la sperimentazione di curricula interdisciplinari; d) *il rafforzamento dei centri di ricerca in IA presenti*, delle infrastrutture di ricerca IA, anche attraverso la progettazione di un futuro Istituto Nazionale di Intelligenza Artificiale; e) *centri di trasferimento tecnologico* di nuova concezione che sinergicamente con quelli esistenti e con l'industria nazionale promuovano la compartecipazione alla ricerca ed il trasferimento tecnologico.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Vista la natura della ricerca -di base- le interconnessioni con tutti gli altri ambiti del PNR è immediata. In particolare è fondamentale per lo sviluppo di tutte le articolazioni del Grande Ambito "Informatica, Industria, Aerospazio": *Transizione digitale, I4.0, HPC e Big Data*, forniscono competenze complementari e necessarie per lo sviluppo di nuove generazioni di algoritmi, soluzioni e sistemi di IA, in primis la disponibilità di risorse di supercalcolo come quelle del CINECA e non solo per l'elaborazione massiccia, e il testing di nuovi modelli di apprendimento e le competenze sui sistemi embedded ed IoT e sui sistemi di comunicazione ad elevate prestazioni che permettono l'uso anche in tempo-reale di dati multimediali. Similmente l'interazione con la *Robotica* è molto stretta in tutti i contesti di "embodied AI" per provare su nuove generazioni di robot, macchine e sistemi autonomi nuovi paradigmi di apprendimento e di ragionamento e per co progettare una IA interattiva e collaborativa. Ci sono stretti contatti con l'*Innovazione per l'industria Manifatturiera* che potrà fruire dei nuovi risultati italiani di soluzioni IA senza dover acquistare ed adottare "scatole nere" di produzione estera e di sorgente non nota. ed anche ha applicabilità in *Tecnologie Quantistiche e in Aerospazio*. Ha interconnessione con il Grande Ambito "Sicurezza per i sistemi sociali" per tutti gli ambiti e soprattutto per *Cybersecurity*.

Obiettivi

Gli obiettivi della articolazione 1 sono coerenti con gli obiettivi di tutto il Grande Ambito "Informatica, industria ed aerospazio" del PNR ed in particolare agli obiettivi: OB2: Raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale; OB3: Costruire un'economia dei dati; OB4: Consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili; OB5: Sostenere inclusione e innovazione sociale; OB7: Rafforzare l'ecosistema industria-ricerca e il trasferimento tecnologico. La ricerca prevista nella presente articolazione, considerando le precedenti assunzioni, ha come obiettivi specifici:



1. **L'attestazione dell'IA come fulcro della sfida informatica del nuovo decennio.** Sviluppare la ricerca fondazionale in IA, nei modelli e nei paradigmi computazionali emergenti per rafforzare e mantenere la leadership italiana nella ricerca scientifica in IA, alla base della trasformazione digitale del Paese.
2. L'ottenimento di **una nuova generazione di sistemi intelligenti autonomi (embodied), dedicati (embedded)** anche dotati di intelligenza collaborativa, federata e distribuita in grado di operare su small e big data, appoggiandosi ad architetture edge/cloud, tradizionali e di nuova generazione.
3. Il raggiungimento di **potenzialità percettive e di visione super-umane e di intelligenza testuale, cognitiva e di linguaggio multi-lingue superiori a quelle umane**, nonché di nuovi strumenti personalizzati di **interazione tra IA/persona/ambiente**, applicabili a breve e lungo termine in ogni contesto applicativo e testabili su benchmark nazionali.
4. La concretizzazione di **nuove forme di intelligenza creativa sinergica tra quella naturale ed artificiale, che valorizzi le peculiarità creative** del nostro Paese, del Design e del suo made in Italy, anche riportate in sistemi artificiali.
5. **La trasformazione dell'Italia in un Paese di progettazione e sviluppo di tecnologie IA.** Obiettivo è sviluppare una ricerca sostenibile e direttamente fruibile e strumenti di ingegnerizzazione dell'Intelligenza Artificiale in collaborazione scientifica e trasferimento tecnologico soprattutto rivolto alle **startup e PMI di stampo IT per la rinascita del comparto industriale IT**. Speciale attenzione sarà rivolta a nuovi modelli di IA orientati alla sostenibilità energetica compatibili con i modelli di produzione IT anche di piccola scala ed adottabili nelle industrie italiane.
6. Il **consolidamento della sovranità tecnologica in quegli ambiti di eccellenza propri dell'economia italiana**: obiettivo è lo **sviluppo di software italiano per la industria** con librerie di apprendimento flessibili, multi-task, generali e specializzabili per ottimizzare la produzione industriale e supportare la creazione di nuovi prodotti che possano lavorare su dati proprietari industriali e dati pubblici anche con modelli federati e su piattaforme edge embedded.

Gli obiettivi sopra riportati più teorici si concretizzeranno a breve termine con risultati a TRL 2-4 per gli auspicati risultati scientifici e a medio-lungo termine ad un TRL elevato TRL 5-8 in stretta collaborazione con le industrie IT attuali e future. A breve termine si prevedono però anche risultati prototipali e librerie software a TRL elevato per quegli strumenti più consolidati che potranno essere trasferite alle startup ed imprese IT capaci a loro volta di creare prodotti per le applicazioni e l'industria. La ricerca di questa articolazione sarà il riferimento per le iniziative pubbliche e private di produzione tecnologica in IA previste dal MISE nella Strategia Italiana di Intelligenza Artificiale.

Impatti

L'impatto di questa articolazione sarà notevole in uno spettro industriale, aziendale, 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, dal settore medico a quello dei servizi al cittadino, dalla gestione ottimale delle infrastrutture critiche alla sostenibilità ambientale. L'impatto di questa articolazione è coerente con quelli indicati nei Cluster Europei ed in particolare nel Cluster 4 "Digital industry and Space", con riferimento specifico a EU#22 "Economia dei dati dinamica, sicura e attrattiva" per le future generazioni di soluzioni IA. Ha anche impatto su: EU#18 "Digital and emerging enabling technology sovereignty", EU#20: "Nella direzione di catene del valore neutre dal punto di vista climatico", per la ricerca in nuovi modelli di IA che siano efficaci ma sostenibili energeticamente; EU#21 "Per la leadership industriale europea in settori strategici" con nuove tecnologie IA direttamente adottabili nella industria; EU#4 "per l'autonomia strategica in sviluppo ed uso di infrastrutture, servizi applicazioni e dati che riguardano lo spazio", fornendo le nuove soluzioni abilitanti. Ha infine impatto indiretto in molti altri impatti sia di tipo sociale che industriale ed economico presenti nelle proposte di Horizon Europe, in linea con il carattere pervasivo ed abilitante delli servizi e dei sistemi di Intelligenza artificiale.

La ricerca nella Articolazione 1 ha una corrispondenza con gli impatti previsti nel Grande Ambito "Informatica, industria ed aerospazio" del PNR ed ha impatti specifici che possono riassumersi in:



1. Mantenere e migliorare la leadership italiana nella ricerca scientifica fondazionale in IA, rafforzando l'interazione tra le discipline informatiche ed ingegneristiche e le altre discipline scientifiche di base, quali la matematica, la fisica e la statistica.
2. Abilitare la produzione di una nuova generazione di sistemi intelligenti autonomi (embodied) e dedicati (embedded) in grado di operare su small e big data eterogenei.
3. Rafforzare la leadership italiana nella ricerca in sistemi intelligenti caratterizzati da potenzialità percettive super-umane e in grado di esporre intelligenza testuale, cognitiva e di linguaggio prossime a -e a supporto di quelle umane anche per la interazione IA/persona.
4. Valorizzare le peculiarità creative del nostro Paese e del suo *made in Italy*.
5. Promuovere l'industria italiana IT a partire dalle startup e dalle PMI ma non solo;
6. Rafforzare la leadership in settori chiave dell'industria italiana, con un nuovo corpus di strumenti e IA "nativi italiani" per la resilienza, l'indipendenza e la sostenibilità economica Paese;
7. Contribuire ad una visione italiana dell'Intelligenza Artificiale che sia credibile, affidabile e basata sulla fiducia, a servizio dell'essere umano, etica-by-design.

Key Performance Indicators

Tutti i KPI descritti nella introduzione dell'Ambito IA sono qui utilizzabili ed in particolare: 1) KPI Scientifico, 2) KPI scientifico-tecnologico di impatto industriale 3) KPI di impatto sociale 5) KPI di impatto infrastrutturale: in specifico:

- **KPI di Eccellenza scientifica**, misurata in termini di numero di pubblicazioni a livello internazionale sulle principali riviste scientifiche di settore e convegni di fama consolidata secondo i criteri di valutazione nazionale, numero di workshop e conferenze di settore organizzate in Italia. Numero di progetti EU, internazionali e nazionali caratterizzati da contributi nella ricerca fondazionale.
- **KPI scientifico-tecnologico di Impatto industriale**, misurato in termini di brevetti, di sistemi sia software che hardware a TRL elevato sviluppati in modo sinergico con l'industria, di spin-off e startup e di azione volte all'aumento del PIL grazie all'IA; Numero dei progetti EU e industriali e realizzazioni portate a termine con successo che contengono al loro interno tecnologie di IA. Numero di startup nazionali incentrate su IA che derivano da dottorati finanziati *ad-hoc* sull'IA.
- **KPI di impatto sociale**: Numero di iniziative di educazione specifica in IA a livello di scuole superiori per formare il pensiero computazionale nell'IA e mitigare l'"IA-divide" e e curricula universitari nonché di Dottorati di Ricerca specifici in informatica ed ingegneria informatica realizzati con l'obiettivo di portare avanti la ricerca scientifica di eccellenza in IA.
- **KPI di Impatto nelle sfide sociali e in ambiti strategici**, quali l'ambiente sostenibile e le infrastrutture critiche nazionali, misurato in base all'impatto dei progetti presentati sulla salvaguardia dell'ambiente e sull'aumento della sicurezza delle infrastrutture critiche;
- **KPI di Impatto infrastrutturale**, misurato in termini di numero di progetti EU, industriali e che coinvolgono l'Italia come partnership, Numero di centri di ricerca, laboratori e infrastrutture censite in IA, anche in collaborazione con il CINI. Realizzazione di un Istituto Nazionale per l'Intelligenza Artificiale e numero di centri collegati. Numero di attività internazionali con centri di ricerca IA accreditati in tutto il mondo.

Articolazione 2. Intelligenza Artificiale umano-centrica

La ricerca in Intelligenza artificiale umano-centrica ha il duplice obiettivo di concentrarsi sullo sviluppo di un'eccellenza nazionale in sistemi di IA per la persona ed i servizi al miglioramento della qualità della vita dell'individuo (IA a servizio dell'essere umano) e di una tecnologia IA antropocentrica basata sulla fiducia, sui valori umani, etici e democratici (IA affidabile per l'essere umano).

I servizi che ruotano attorno alla persona, al suo comportamento e alle sue preferenze sono una delle applicazioni più di successo dell'IA. Questo è l'ambito dove l'IA si è maggiormente sviluppata nell'ultimo decennio, con riferimento ai dati social e sul web, ai sistemi di raccomandazione per la raccomandazione sul web e l'*e-commerce*, per poi espandersi all'ambito dei servizi sull'intrattenimento e lo sport. Similmente oltre ad una analisi off-line sui dati umani, l'IA si sta



rivolgendo sempre di più ai sistemi di cooperazione ed interazione umano-artificiale siano essi fisici che nei mondi virtuali. I temi di analisi e comprensione dei dati sociali sono stati fino ad ora appannaggio soprattutto delle grandi aziende americane ed asiatiche, e devono sempre di più essere riportati al centro delle ricerche e degli sviluppi tecnologici nelle industrie italiane; I temi di interazione persona- Intelligenza artificiale sono invece da sempre di interesse per la ricerca e l'industria italiana, sia nei suoi aspetti teorici che applicativi (ad es. per la interazione uomo-robot, uomo-veicolo, uomo-ambiente) per una interfaccia più umana e per un prossimo paradigma di "Intelligenza Artificiale collaborativa". Obiettivo è che la ricerca verta in una generazione di Intelligenza Artificiale a servizio del genere umano by-design.

L'IA oltre che a servizio della persona deve essere affidabile, ossia degna di fiducia. In stretta concordanza con le linee guida Europee, la ricerca italiana e l'industria deve orientare gli sforzi progettuali verso una Intelligenza Artificiale affidabile by-design (*Trustworthy AI*) intesa sia come attendibile e robusta, comprensibile e trasparente e basata sul rispetto dei valori umani, etici, democratici e di equità. Parafrasando il documento EU "Building Trust in human-centric AI" del 2019 i requisiti fondamentali per la progettazione, realizzazione ed uso di IA affidabile devono essere: la capacità di supervisione umana, la robustezza tecnica, la riservatezza dei dati, la trasparenza, la non discriminazione ed equità, la vocazione verso il benessere sociale e ambientale e la responsabilità. Questi concetti non sono soltanto dichiarazioni di intenti ma sono postulati fondamentali che necessitano uno sviluppo a breve e medio termine di metodologie e tecnologie adeguate sia per definire a priori, in fase di progettazione, la loro osservanza sia per garantire a posteriori il rispetto dei principi etici e valoriali e legali della nostra società.

Nei dettagli, la articolazione di specifica nei punti che seguono.

1) IA per la persona: personalizzazione della interazione persona-IA: Il paradigma imperante fino ad oggi non è stata l'interazione, ma quanto la acquisizione di conoscenza dai dati per fornire servizi di accesso personalizzato all'informazione combinando dati personali e di contesto. Questi modelli vengono adottati di fatto in tutti i sistemi di raccomandazione, di analisi di dati testuali sia *offline*, raccolti sul web sia in *streaming*, ma anche di riconoscimento e di classificazione (si pensi agli strumenti di *pattern recognition* e di visione artificiale o di analisi audio per il suggerimento musicale), sistemi in grande evoluzione grazie soprattutto all'avvento del *deep learning*. A fronte di una ricerca sempre più orientata alla accuratezza e precisione, e fortemente gestita da chi possiede i dati globali, è necessario proporre una nuova via italiana di servizi orientati alla persona, che sia efficace, collaborativa e rispettosa delle diversità e delle peculiarità dell'individuo. Questa articolazione vuole proporre obiettivi ad azioni orientate ad una **nuova generazione di IA per la persona** che sia basata fortemente **sulla personalizzazione, la collaborazione (da parte di esperti e dei singoli), l'interazione cyber-fisica, pervasiva e mediata** dai dati scambiati e che sia orientata al benessere del singolo e soprattutto ad una delle sfide più grandi dell'IA del prossimo decennio ossia l'IA per la salute e la medicina, di cui si tratterà nella articolazione #A3.

Fino ad ora i **sistemi IA personalizzati** hanno avuto lo scopo principale di massimizzare il successo nel prevedere quale informazione vorremmo consumare, per portare l'utente all'interno di una *filter bubble* nella quale la personalizzazione dell'informazione che riceve soddisfa pienamente i bisogni informativi, ma non necessariamente le necessità. Questo fenomeno può portare a problemi sociali, a disinformazione (si pensi al successo di credenza delle *fake news*), a paure ma anche ad inefficienza. Questo vale anche in ambito medico e sanitario dove la mancanza di interazione e di cooperazione fra IA ed esperti spesso vanifica gli sforzi tecnologici. Sono necessari nuovi servizi di IA che siano davvero per il singolo, che favoriscano la crescita della persona, oltre a supportarla nelle sue attività quotidiane, e che permettano la crescita culturale e lo sviluppo del suo pensiero critico. Servono servizi che siano equi, prevenivano fenomeni di pregiudizio presenti nel risultato, sia esso già codificato nei dati o che alimenti i sistemi o dovuto alla natura stessa dell'algoritmo. I dati personali descrivono una persona molto in profondità e, per questo motivo, l'UE si è dotata di un programma per la protezione dei dati al fine prevenirne l'uso fraudolento (volontario o meno). Sono necessari nuovi modelli, anche federati, che non blocchino l'uso dei dati personali, ma che ne forniscano una modalità di uso sicura in ottica europea. In questo contesto, l'*edge-AI* può fare da volano per la nuova generazione di sistemi che siano pensati in un'ottica di *privacy by-design* andando a soddisfare i criteri di privacy differenziale.

Questo vale soprattutto per i sistemi che interagiscono con la persona (nell'intrattenimento, nell'educazione moderna, nella casa e nello sport e nell'ufficio e nella vita quotidiana), per tutti i prossimi **sistemi di Interazione persona-IA**



(*Human-AI interaction*). È necessario un grande sforzo nella ricerca in Italia per una risposta italiana ai sistemi di interazione, che vanno dalle interfacce conversazionali, ai sistemi di generazione del parlato (in italiano) ai *wearable devices* e sistemi di visione indossabili (*egocentric vision*) fino ai sistemi intelligenti di realtà aumentata o virtuale e ai sistemi fisici, come i robot sociali e domestici. Bisogna creare una nuova ricerca e nuovi prototipi di una “IA per l’Individuo” a breve termine (prevedendo risultati a TRL 4-8 anche in pochi anni) e a lungo termine (con TRL che passi da 2-4 a 5-8 durante il PNR), per il benessere, lo stile di vita, considerando le diversità. Bisogna prevedere servizi per specializzati per il genere, comprendendone bisogni ed interessi, per i bambini, seguendone la crescita, per gli anziani e la loro inclusione sociale, non generalizzando in categorie ma ascoltandone i bisogni specifici.

2) L’interazione persona/IA ed Intelligenza cooperativa: Nello sviluppare algoritmi IA non si vuole sostituire l’individuo, ma estenderne le capacità cognitive/decisionali, per potenziare le capacità degli utenti e dei lavoratori, anche attraverso una continua cooperazione tra persone e sistemi intelligenti. Questo vale sia per strumenti di interazione volontaria (come le interfacce conversazionali di cui al punto precedente), sia di interazione non volontaria (come i sistemi di distanziamento sociale in periodo COVID, e di analisi del comportamento umano o di controllo biometrico). Da una parte la sfida è quella di creare una IA sempre più capace di interagire con l’uomo e l’ambiente circostante, e dall’altra di permettere alle persone di interagire sempre più naturalmente con essa. In questo contesto si devono considerare le nuove tecnologie anche per l’*“AI for human empowerment”* definito da Horizon Europe per creare strumenti reattivi, fluidi, trasparenti e intuitivi nell’uso soprattutto per lavoratori e non esperti. In questa direzione si collocano, tra le altre, direzioni di ricerca quali a) l’apprendimento continuo (*continuous learning*), semi-supervisionato e con rinforzo (*reinforcement learning*) su dati che riguardano persone, ambiente e contesto, b) una visione artificiale multi-sensoriale e multi-dimensionale che superi i limiti della visione umana, c) la comprensione del parlato e dei testi per una interazione multi-lingue tra persone e sistemi intelligenti, d) il riconoscimento del comportamento umano in tutte le sue forme, comprese gli aspetti emotivi e pre-intenzionali per una migliore cooperazione cognitiva e cyber fisica e creazione di strumenti empatici di IA d) la creazione di strumenti per esplicitare i meccanismi di ragionamento e di interazione dell’IA per un controllo ed una interazione consapevole anche con la robotica cognitiva e) la modellazione dei meccanismi di gestione dei sistemi autonomi, robotici sociali, mobili nella loro interazione e cooperazione con la persona, f) gli studi sull’intelligenza collettiva e sociale, tra cui nuovi paradigmi di sviluppo di *“Intelligenza Generale”*, intesa come l’integrazione di abilità cognitive multiple per risolvere nuove sfide globali, che permettano in ogni caso la supervisione umana. In questo modo è possibile aprire la strada, di fatto, verso un tipo di *intelligenza cooperativa e collaborativa in cui i confini tra IA ed azioni svolte dalle persone sono sempre meno delineati, pur garantendo sempre la centralità della persona.*

3) Strumenti per una Intelligenza artificiale affidabile: Questa è davvero la sfida per lo sviluppo, l’adozione e la produzione dell’IA del futuro. Con affidabile si intende l’unione di concetti di attendibilità e robustezza (ad esempio ai dati parziali), sia di *“Trustworthy”* ossia di fiducia e trasparente. In linea con le direttive Europee del Cluster 4 nella Destination 6 *“A human centered and ethical development of technologies”* si pone l’accento sulla necessità di sviluppare una ricerca scientifica e fondazionale, ed una prototipazione di servizi e sistemi di capacità di interpretazione del contesto, di gestione dell’incertezza, di capacità predittive e di anticipazione, di pianificazione umano-centrica e di supporto. Gli aspetti strategici di questa nuova teoria di ingegnerizzazione dell’IA devono basarsi su concetti di trasparenza, assenza di pregiudizio (*non-bias*) e di accuratezza tecnica verificabile. Questi aspetti accomunano tutte le tecnologie dell’IA, del machine learning e deep learning, di sistemi basati sulla conoscenza, di sistemi di visione e di interpretazione di linguaggio e di audio, di robotica cognitiva. Saranno sempre più importanti per la progettazione di prossime generazioni di oggetti intelligenti che anche se a basso costo e di larga produzione dovranno mantenere caratteristiche di affidabilità, generalizzazione del contesto (per evitare che un oggetto addestrato in un ambiente possa non funzionare o addirittura essere dannoso in un altro). Saranno considerati aspetti di *adversarial learning* per capire i limiti di robustezza dei sistemi addestrati al fine di garantirne l’uso sicuro. Si aggiungono inoltre tutti gli studi di Ex-AI (Explainable AI), sia attraverso la estrazione automatica di regole interpretabili dall’uomo, sia di modelli di simulazione e visualizzazione e comprensione dei meccanismi di apprendimento e di ragionamento anche al fine ingegneristico di aumentarne la capacità. Costruire le prossime generazioni di sistemi IA basati sulla fiducia e robusti sarà *condicio-sine-qua-non* per la trasformazione digitale e per un loro impatto economico e sociale anche a lungo termine. Ultimo punto non meno importante è lo studio e la realizzazione di sistemi che possano essere robusti ai



principi etici, di democrazia, di salvaguardia dei diritti delle persone e delle diversità di genere, di religione, di opinione, di inclinazione sessuale.

Obiettivi

Gli obiettivi declinati in accordo con gli obiettivi del Grande Ambito: OB2: raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale; OB3: Costruire un'economia dei dati; OB4: consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili; OB5: sostenere inclusione e innovazione sociale. ed OB7: forte collaborazione ricerca/industria. La ricerca prevista nella presente articolazione che riguarda l'IA per la persona, considerando le precedenti assunzioni, ha diversi obiettivi specifici, che potranno trovare compimento in un Progetto di ricerca Nazionale in IA e in azioni specifiche anche con collaborazioni interministeriali. Senza poter essere esaustivi, le proposte sono:

1. Definire nuove **metodologie e servizi basati su IA per la fruizione personalizzata dell'informazione** che tengano in considerazione la crescita personale e intellettuale della persona e la sua interazione con il mondo e la società. Questo ha impatto a breve termine, anche con TRL elevato, su nuovi servizi ingegnerizzati da startup e da una industria IT italiana.
2. Sviluppare **metodologie, servizi di IA a servizio dell'equità nella personalizzazione**, libera da preconcetti e pregiudizi (*bias-free*) e da potenziali diseguità di genere.
3. Definire nuove metodologie e supportare strumenti normativi per favorire la **creazione di sistemi di edge-AI personalizzati** (come oggetti di interazione con la persona nella casa e nel lavoro, robot, sociali, elettrodomestici, oggetti per lo sport) che ruotino attorno alla protezione della privacy, che **limitino la loro invasività a funzionamento on-demand**, forniscono risposte proattive, efficaci ed efficienti, limitando il tempo speso nella interazione col digitale, non cambino stili di vita e tradizioni anche interpretando abitudini e intenzione dei singoli.
4. Creare una **IA consapevole del genere**, oltre che delle abitudini, credenze, intenzioni anche non dichiarate dei singoli, che possa servire servizi specializzati, che interagiscono con la creatività italiana e favoriscano l'industria culturale e creativa rispettando le diversità. Questo potrà anche portare anche ad un avvicinamento femminile alle tecnologie sia nell'uso e soprattutto nello studio e nella imprenditoria di industrie IA.
5. Definire delle linee guida che indichino i **criteri di usabilità e interattività di un sistema di IA** pensato per un uso sinergico con dispositivi fisici, robot e scenari di realtà aumentata, realtà virtuale e realtà mista, aumentandone la personalizzazione ed una collaborazione intelligente anche in aspetti emozionali, attentivi, tenendo conto dei singoli e delle loro identità (età, sesso, capacità cognitive, istruzione, cultura) anche per una maggiore inclusione sociale.
6. Definire linee guida e sperimentazioni verso la **realizzazione di sistemi robusti ed attendibili**, con prestazioni riusabili, anche robusti agli attacchi e alle possibilità di falsificazione delle informazioni e di generazione di false credenze.
7. Promuovere *La creazione di una visione italiana dell'Intelligenza Artificiale attendibile che sia credibile, affidabile, a servizio dell'essere umano (Trustworthy AI), interpretabile e trasparente (Explainable AI) ed etica-by-design*. Obiettivo della ricerca è quello di fornire strumenti e componenti credibili ed accettabili per la società, integrabili in piattaforme nuove ed esistenti con strumenti atti a garantire la sicurezza del software, la replicabilità e la robustezza rispetto a problemi di privacy, di rispetto di valori democratici e della equità.
8. Creare **strumenti affidabili e accettabili socialmente**, adottabili in larga scala dalle istituzioni Italiane e dai servizi richiesti in ambiti strategici, quali la interpretazione affidabili di dati legali e finanziari, sistemi e strumenti per la Difesa, sistemi e strumenti per il controllo del clima, dell'ambiente e della biodiversità, nonché spiegabili ed accettabili contro pregiudizi legati alla violazione di privacy e di diritti umani.

Gli obiettivi sopra riportati più teorici si concretizzeranno a breve termine con risultati a TRL 2-4 per gli auspicati risultati scientifici e a medio-lungo termine ad un TRL elevato TRL 5-8 in stretta collaborazione con le industrie IT attuali e future. A breve termine si prevedono però anche risultati prototipali e librerie software a TRL elevato per quegli strumenti più consolidati che potranno essere trasferite alle startup ed imprese IT capaci a loro volta di creare prodotti per le applicazioni e l'industria. La ricerca di questa articolazione per la personalizzazione dei servizi, i sistemi



intelligenti di interazione persona-IA sarà il riferimento per le iniziative pubbliche e private di produzione tecnologica in IA, anche previste nella Strategia MISE2020 e nelle strategie MID per le industrie digitali. La ricerca tecnologica deve essere coadiuvata da una corrispondente attività normativa e legale.

Impatti

L'Articolazione è direttamente collegata agli ambiti europei e del grande ambito: OB1: sull'economia circolare (EU#20): soluzioni innovative di personalizzazione dei servizi nascono per evitare sprechi sia energetici che di tempo, per la vita dei singoli, migliorano la qualità della vita, diminuendo il tempo di consumo del web; OB3: sull'economia dei dati (EU#22). OB4: Consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili (EU#23). L'IA è la tecnologia digitale chiave per la trasformazione digitale dell'industria e la human-centered AI è al centro della strategia nazionale. Lo sviluppo di sistemi collaborativi e spiegabili rappresenta inoltre un importante obiettivo per le tecnologie affidabili e centrate sulla persona; OB5: Sostenere inclusione e innovazione (EU#25). Tutta la Articolazione si rivolge alla persona, al suo benessere ed inclusione sociale nell'innovazione, al coinvolgimento consapevole del cittadino, che avendo fiducia della tecnologia collabori in modo attivo; OB7: l'ecosistema industria-ricerca e il trasferimento tecnologico: Ci sarà il diretto coinvolgimento di aziende e startup innovative per creare i servizi sulla persona di domani.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono delle forti interconnessioni all'interno dell'ambito tematico "Informatica, Industria, Aerospazio":

High Performance Computing, Big Data: la partnership con le realtà già esistenti per HPC, Big Data e Grid Computing è essenziale per formare una piattaforma efficiente e resilienti impiegabili per le applicazioni di personalizzazione, di raccomandazione e di interazione. *Transizione Digitale:* La disponibilità di informazioni, dati e servizi digitali sono alla base dello sviluppo delle tecniche, approcci e strumenti di IA al servizio della persona e del suo benessere. Poter disporre di fonti informative da combinare con quelle personali è un elemento abilitante al raggiungimento degli obiettivi di questa Tematica. *Robotica:* L'interazione dell'essere umano con sistemi fisici e robotici passa necessariamente attraverso una visione comune alla progettazione e sviluppo di nuove interfacce intelligenti affidabili e degne di fiducia. Il tutto al fine di rendere quanto più naturale possibile l'interconnessione tra essere umano e robot.

Esistono inoltre delle interconnessioni significative con altri ambiti tematici del PNR: *Cultura Umanistica, Creatività, Trasformazioni Sociali, Società dell'Inclusione:* i servizi di IA per la persona stanno avendo e, inevitabilmente, avranno ancora di più un impatto sociale che deve essere analizzato ed affrontato in modo da prevederne le possibili ricadute positive o negative anche in termini di inclusione sociale; *Sicurezza per i Sistemi Sociali:* di particolare rilevanza è il sottoambito di *Cybersecurity* con riferimento alla sicurezza e privacy delle informazioni personali e ai sistemi sicuri di IA in scenari di IA federata in un'ottica di *edge-AI*.

Key Performance Indicators

Tutti i KPI descritti nella introduzione dell'Ambito IA sono qui utilizzabili ed in particolare: 1) KPI Scientifico, 2) KPI scientifico-tecnologico di impatto industriale, 3) KPI di impatto sociale, 4) KPI nelle sfide sociali e in ambiti strategici, 5) KPI di impatto infrastrutturale. Sono inoltre specifici i seguenti KPI:

- **KPI di Eccellenza scientifica**, misurata in termini di numero di pubblicazioni a livello internazionale sulle principali riviste scientifiche di settore e convegni di fama consolidata secondo i criteri di valutazione nazionale, numero di workshop e conferenze di settore organizzate in Italia; numero di progetti EU e industriali caratterizzati da contributi nella ricerca fondamentale; numero di pubblicazioni scientifiche interdisciplinari che coinvolgono più esperti della persona e esperti informatici.
- **KPI scientifico-tecnologico di Impatto industriale**, misurato in termini di brevetti, di sistemi sia software che hardware a TRL elevato sviluppati in modo sinergico con l'industria, di spin-off e startup e di azione volte all'aumento del PIL grazie all'IA; numero di prototipi e di servizi IA di personalizzazione proposti e testati in larga scala; numero di progetti realizzati con start-up su sistemi di Human-AI interaction.
- **KPI di impatto sociale:** Numero di iniziative di progetti e servizi per la identità di genere, la diversità culturale e sociale; numero dei iniziative per la diffusione degli aspetti benefici dell'IA, salvaguardando la persona da



ogni rischio; numero di iniziative di formazione a livello universitario, di master e dottorati di ricerca interdisciplinari orientati alla modellazione dell'IA per la persona.

- **KPI di Impatto nelle sfide sociali e in ambiti strategici**, numero di start-up legate a progetti inerenti il piano di ricerca sull'IA sulla persona, in 5 anni; numero di linee guida e di piattaforme per la verifica dell'equità per lo sviluppo e il rilascio di sistemi di IA incentrati sulla persona a 3 e 5 e 7 anni; numero di linee guida per lo sviluppo e il rilascio di sistemi di IA per l'interazione con sistemi fisici, robot e sistemi di realtà aumentata/virtuale/mista a 3 e 5 anni; numero di cittadini che aderiscono all'iniziativa, a 1, 3, 5 e 7 anni.
- **KPI di Impatto infrastrutturale**, misurato in termini di numero di progetti EU, industriali e che coinvolgono l'Italia come partnership; numero di centri di ricerca, laboratori e infrastrutture censite in IA, anche in collaborazione con il CINI-AIIS. Realizzazione di un Istituto Nazionale per l'intelligenza Artificiale e numero di centri collegati compresi quelli interdisciplinari; numero di attività internazionali con centri di ricerca IA accreditati in tutto il mondo; numero dei progetti EU e industriali e realizzazioni portate a termine con successo che contengono al loro interno tecnologie di IA.

Articolazione 3. Intelligenza Artificiale per la salute

Le applicazioni di IA che riguardano la salute sono da tempo oggetto di grande interesse fra i ricercatori. Esse pongono infatti grandi sfide nei confronti delle tecniche di IA e molto spesso sono state di impulso anche nei confronti della ricerca fondamentale. Esse riguardano principalmente la diagnosi e la stratificazione dei pazienti in base alla prognosi, e il supporto all'attività dei medici.

1.) IA per la salute: una grande sfida per una "Medical AI": L'IA è il principale *game changer* in ambito sanitario. I sistemi di Intelligenza Artificiale a supporto del personale sanitario possono velocizzare e migliorare il processo di cura, basandosi sulla capacità dell'IA di estrarre la conoscenza da grandi quantità di dati e di aggregarli secondo schemi innovativi ed inesplorati. Così come in Ambito salute si auspica l'adozione di strumenti di IA (§ si vedano i punti relativi nel PNR), in questa articolazione se ne vogliono progettare gli aspetti applicativi nel mondo *delle scienze della salute*, a livello Italiano, per le prossime generazioni di strumenti e servizi. Al fine di implementare l'IA nelle scienze della salute è fondamentale sviluppare una IA interpretabile e spiegabile (*Explainable AI*) in stretta collaborazione multidisciplinare con esperti di dominio, collegandosi dal punto di vista applicativo all'articolazione precedente. Le nuove tecniche fortemente basate sul *Deep Learning*, per la loro complessità e l'alto numero di parametri in gioco possono avere un comportamento oscuro per i non addetti ai lavori o non esperti progettisti in IA, tanto da guadagnarsi l'appellativo di "scatole nere". Bisogna sviluppare strumenti e metodi di IA nuovi, che siano innanzitutto efficaci, con prestazioni migliori di quelle ottenibili dai singoli esperti e riproducibili in larga scala. Questo può essere realizzato mettendo a fattor comune informazioni ed esperienza in una forma di "intelligenza collettiva e collaborativa" che permetta una comprensione profonda del suo funzionamento interno, per aiutare a predirne e spiegarne i risultati e evitare problemi etici, di sicurezza e di accettazione, che possono diventare un deterrente alla rapida diffusione nel settore della sanità. In questa ottica, riteniamo strategico proporre una azione progettuale nuova e di grande respiro che possa porre le basi per uno sviluppo efficiente ed efficace della IA in medicina, e possa essere parte integrante di un Progetto di Ricerca Nazionale in IA con azioni intrinsecamente interdisciplinari tra esperti informatici e sanitari.

È assodato che l'elaborazione di dati clinici con modelli IA aprirà nuovi orizzonti nel mondo della medicina ed è una base insindacabile di ogni grande iniziativa progettuale a lungo termine. È superfluo enumerare gli ambiti dove l'IA si applica, per la diagnosi, la prognosi, la prevenzione, la terapia personalizzata. Molti risultati specifici sono già testati ed adottati anche in Italia. Sono ancora largamente inesplorate però le potenzialità legate alla analisi di informazioni altamente eterogenee, in grado di fornire classificazioni degli individui e delle loro patologie secondo criteri innovativi e personalizzati, anche con modelli di apprendimento semi-supervisionato. Questo approccio potrà trovare correlazioni inesplorate e aprire nuove vie di esplorazione rispetto a quelli attualmente utilizzati nelle scienze mediche. Nello spirito del PNR appare naturale concepire e stimolare una **aggregazione innovativa di dati clinici che sia IA-by-design, nelle strutture ospedaliere e cliniche.** La riservatezza dei dati, necessaria in questi scenari, può essere migliorata in combinazione con approcci di IA federata e distribuita (*edge-AI*) che, se da un lato lavorano su dati locali, dall'altro mantengono le performance degli approcci centralizzati. Il problema della molteplicità dei formati può



invece essere affrontato seguendo un approccio alla rappresentazione della conoscenza basata sulla creazione e manipolazioni di un grafo di conoscenza collaborativo alla base di un nuovo “*AI-based Web of Clinical Data*” (AI-WCD). Infine, i problemi legati alla privacy possono essere superati con un coinvolgimento diretto dei pazienti, che potranno contribuire a fornire propri dati personalizzati utili per le proprie cure e il proprio benessere.

Una progettualità a lungo termine, dirompente rispetto agli schemi del passato, collaborativa tra informatici, medici e cittadini, potrebbe essere alla base di grandi iniziative congiunte previste dalla progettazione di MOIP (*Mission Oriented Innovation Policies*). Esempi potrebbero essere “Zero decessi a causa di malattie infettive entro il 2027” o Medicina personalizzata per ogni cittadino italiano entro il 2027”.

L’idea di creare in Italia una nuova linea di ricerca di **IA Medica Italiana** “*Italian Medical AI*”, che superi le divisioni regionali o locali dei sistemi sanitari basata sulla personalizzazione, la condivisione consapevole e la collaborazione tra medico e paziente, dovrà essere supportata con un grande sforzo di visione a lungo termine con gli strumenti del PNR. Inoltre, dovranno essere immediatamente messe a disposizione risorse finanziarie dedicate, assegnate attraverso bandi competitivi aperti a partecipanti di tutta Europa. In questo contesto, dovranno essere realizzati strumenti di facilitazione per la partecipazione di start-up.

Obiettivi

Gli obiettivi sono declinati in accordo con gli obiettivi del Grande Ambito, OB1: Conseguire una posizione di leadership nell’economia circolare; OB2: raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale; OB3: Costruire un’economia dei dati; OB4: consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili; OB5: sostenere inclusione e innovazione sociale. Iniziative a termine breve/medio/lungo possono essere intraprese per velocizzare l’adozione di tecniche IA a vantaggio della salute. Senza poter essere esaustivi, le proposte sono:

1. Progettare **una strategia innovativa “IA-by-Design” di archiviazione e gestione dei dati sanitari** nelle strutture ospedaliere ed universitarie, ponendo le basi per la costruzione di un grafo di conoscenza del “*AI-based Web of Clinical Data*” (AI-WCD). L’obiettivo a breve termine è una progettazione metodologica delle informazioni cliniche, non centrate sul medico o sulla sua classificazione ed annotazione a priori, nè su ontologie precostituite e, ma centrate sul loro uso da parte di agenti intelligenti autonomi, in grado di fornire supporto mediante raccomandazioni e consulenza ai medici. Questo approccio porterà, a medio e lungo termine, la realizzazione di un AI-WCD dove medici, esperti ed IA possano cooperare in modo coerente con le norme sulla protezione dei dati a livello nazionale e alle azioni previste in Europa e nei paesi extra-UE;
2. Progettare strumenti e servizi e definire metodologie **per la valorizzazione della funzione del medico**, che possa contribuire attraverso la sua attività professionale e di cura dei singoli pazienti a fornire soluzioni di prevenzione, diagnosi e terapia personalizzata.
3. Sviluppo di metodi di ricerca **dell’IA specifici in ambito di salute pubblica**, che impieghino tutta la ricerca fondazionale e soprattutto la capacità di evolvere in modo continuo. L’obiettivo è contribuire al cambiamento di approccio nella ricerca IA sperimentale per validare la ricerca in domini reali, orientati alla persona, alla salute e al suo stile di vita, garantendo un “diritto di innovare e di ricerca” sia per i centri universitari e di ricerca sia per le start up ed aziende italiane.
4. Diffondere il piano di ricerca sull’IA connesso alle iniziative precedenti anche **con azioni di educazione alla IA sanitaria in Italia** e in Europa tramite le reti di eccellenza ICT-48, dove l’Italia è ben posizionata attraverso il lab CINI-AIIS, e alle progettualità future.
5. Sviluppare **specifici algoritmi, prototipi, sistemi** (sia cloud che edge) che possano essere **generalizzabili e multi-task**, che coinvolgano modelli di apprendimento semi-supervisionato, generativo, rinforzato dal monitoraggio continuo della salute dei singoli, riusabili e federati nell’ottica di garantire la proprietà dei dati (ed i diritti connessi dell’individuo) ma di condividere la conoscenza ottenuta.

Gli obiettivi sopra riportati si concretizzeranno a breve termine con TRL 2-4 per gli auspicati risultati scientifici, a medio-lungo termine con un TRL 5-8, in stretta collaborazione con le industrie IT attuali e future. La ricerca di questa articolazione e i risultati di nuovi approcci di *Medical-AI* saranno il riferimento per le iniziative pubbliche e private di produzione tecnologica in IA, anche previste nella Strategia MISE2020 e nelle strategie MID per le industrie digitali.



Impatti

L'Articolazione è direttamente collegata agli ambiti europei e del grande ambito. OB2, sulla resilienza (EU#21). I servizi sulla salute e sulla persona sono i capisaldi di una resilienza e sostenibilità sociale nella direzione di una tecnologia per l'uomo quando serve e se serve, in modo accettabile. Forniranno un cambiamento profondo dei processi di cura con agenti intelligenti che si svilupperanno progressivamente nell'AI- WCD assieme agli esperti medici. OB3: La creazione di un nuovo AI-WCD su cui basare una rivoluzionaria "Medical-AI" porterà un contributo alla democraticità della conoscenza per permettere di accedere a "best practices" sanitarie non solo in centri di cura prestigiosi. Così come le nuove soluzioni personalizzate intelligenti. OB7: l'ecosistema industria-ricerca e il trasferimento tecnologico. Sarà un punto cardine per la cooperazione multidisciplinare tra esperti informatici e medici, e di conoscenze del singolo (come psicologi cognitivi a neurologi) per ottenere migliori forme di interazione, cooperazione e mutua comprensione. Oltre agli impatti specifici del *Cluster 4* di Horizon Europe, va ricordato l'impatto diretto nel *Cluster 1: Tools, technologies and digital solutions for health and care, including personalised medicine, Environmental and social health determinants, Health care systems.*

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono delle forti interconnessioni all'interno dell'ambito tematico "Informatica, Industria, Aerospazio".

High Performance Computing, Big Data: la partnership con le realtà già esistenti per HPC, Big Data e Grid Computing è essenziale per formare una piattaforma efficiente e resiliente impiegabile per le iniziative sulla salute e la medicina. *Transizione Digitale:* La disponibilità di informazioni, dati e servizi digitali sono alla base dello sviluppo delle tecniche, approcci e strumenti di IA per la salute. *Robotica:* L'IA trova naturali sinergie con la robotica in ambito medico in numerosi progetti che comprendono, tra altri, la chirurgia assistita, la diagnostica per immagini, l'assistenza infermieristica e la disabilità. La specificità dell'interazione con l'uomo conduce tipicamente molte applicazioni di robotica in medicina verso la necessità di concepire modelli cognitivi che beneficino significativamente di tecniche di IA. *Salute:* il futuro della medicina e dei servizi per la salute passa, in maniera indissolubile, dalla estrazione e l'utilizzazione di conoscenza a partire da fonti informative analogiche e digitali. *Cultura Umanistica, Creatività, Trasformazioni Sociali, Società dell'Inclusione:* i servizi di IA per la salute stanno avendo e avranno ancora di più un impatto sociale che deve essere analizzato ed affrontato in modo da prevederne le possibili ricadute positive o negative, anche in termini di inclusione sociale; *Sicurezza per i Sistemi Sociali:* di particolare rilevanza è il sottoambito di *Cybersecurity* con riferimento alla sicurezza e privacy delle informazioni personali in ambito sanitario.

Key Performance Indicators

Tutti i KPI descritti nella introduzione dell'Ambito IA sono qui utilizzabili ed in particolare: 1) KPI Scientifico, 2) KPI scientifico-tecnologico di impatto industriale, 3) KPI di impatto sociale, 4) KPI nelle sfide sociali e in ambiti strategici, 5) KPI di impatto infrastrutturale. Sono inoltre specifici i seguenti KPI:

- **KPI di Eccellenza scientifica**, misurata in termini di numero di pubblicazioni a livello internazionale sulle principali riviste scientifiche di settore e presentazioni a convegni, secondo i criteri di valutazione nazionale; numero di workshop e conferenze di settore organizzate in Italia; numero di progetti EU e industriali caratterizzati da contributi nella ricerca fondazionale; numero di pubblicazioni scientifiche interdisciplinari che coinvolgano più esperti della salute (medici, biologi, psicologi) e esperti informatici.
- **KPI scientifico-tecnologico di Impatto industriale**, misurato in termini di brevetti, di sistemi sia software che hardware a TRL elevato sviluppati in modo sinergico con l'industria, di spin-off e startup e di azione volte all'aumento del PIL grazie all'IA; numero di prototipi e di servizi IA riguardanti la salute proposti e testati in larga scala; numero di progetti realizzati con start-up su sistemi di IA per la salute.
- **KPI di impatto sociale:** Numero di iniziative di progetti e servizi riguardanti l'ambito sanitario, nonché di master e dottorati di ricerca interdisciplinari orientati alla modellazione dell'IA per la salute.
- **KPI di Impatto nelle sfide sociali e in ambiti strategici**, percentuale di aziende ospedaliere che aderiscono al piano di ricerca su *Medical AI* e sulla IA-WCD sul territorio nazionale, ogni anno; numero dei percorsi di cura modificati negli ospedali di primo-secondo e terzo livello partecipanti al piano di ricerca sull'AI-WCD,



in 3 anni; numero di start-up legate a progetti inerenti il piano di ricerca sull'IA sulla salute, in 5 anni; numero di linee guida e di piattaforme per lo sviluppo e il rilascio di sistemi di IA incentrati e sulla salute a 3, 5 e 7 anni; numero di linee guida per lo sviluppo e il rilascio di sistemi di IA per l'interazione con sistemi fisici, robot e sistemi di realtà aumentata/virtuale/mista a 3 e 5 anni; numero di soggetti che aderiscono all'iniziativa, a 1, 3, 5 e 7 anni.

- **KPI di Impatto infrastrutturale**, misurato in termini di numero di progetti EU, industriali e che coinvolgono l'Italia come partnership; numero di centri di ricerca, laboratori e infrastrutture censite in IA, anche in collaborazione con il CINI-AIIS. Integrazione in un Istituto Nazionale per l'intelligenza Artificiale e numero di centri collegati, compresi quelli interdisciplinari; numero di attività internazionali con centri di ricerca IA accreditati in tutto il mondo; numero dei progetti EU e industriali e realizzazioni portate a termine con successo che contengono al loro interno tecnologie di IA.

Articolazione 4. Intelligenza Artificiale per la società

Le tecniche ispirate all'Intelligenza Artificiale hanno la potenzialità di rivoluzionare profondamente la società italiana, apportando benefici in tutti i suoi ambiti: dal benessere, alle infrastrutture cittadine, alla pianificazione, allo sviluppo economico e scientifico. I sistemi IA promettono una migliore capacità di comprensione e, in taluni casi, di previsione della realtà che ci circonda, mediante la possibilità di elaborare in modo intelligente la grande mole di informazione che una società profondamente interconnessa e digitalizzata come la nostra produce ogni giorno.

Le sorgenti di tali informazioni sono molteplici e variegata, e debolmente collegate: Web, reti sociali, Pubblica Amministrazione, Sistema Sanitario Nazionale e Protezione Civile, sensoristica da infrastrutture pubbliche e delle *Smart Cities*, rete dei trasporti, dati economici e finanziari, dati da apparati scientifici e da IoT rappresentano alcuni esempi. Nonostante l'eterogeneità informativa, una loro visione e manipolazione olistica attraverso delle soluzioni di IA sono alla base dello sviluppo di nuovi strumenti al servizio della società. **I benefici derivanti dallo sviluppo di nuove soluzioni e servizi di intelligenza artificiale per la società non possono essere sottostimati**, e spaziano su tutti gli ambiti di interesse generale per la società italiana; alcuni esempi sono:

- una migliore **capacità di comprensione e di pianificazione di processi**, ad esempio per la gestione del traffico urbano e extraurbano, per la programmazione dell'occupazione di letti ospedalieri, per la comprensione dei flussi finanziari e derivanti da realtà industriali;
- una migliore **capacità predittiva di situazioni anomale**, come nel monitoraggio delle infrastrutture cittadine per anticipare situazioni di emergenza o nell'utilizzo di dati finanziari per l'individuazione di posizioni irregolari;
- la possibilità di **studiare macro-fenomeni sull'intera popolazione**, come per esempio la capacità di predire fenomeni migratori, epidemiologici, economici mediante l'utilizzo di dati multisorgente, anche debolmente correlati;
- la definizione e la realizzazione di **servizi a valore aggiunto per i cittadini**, costruiti sulla base dei dati disponibili provenienti dai dispositivi personali e dall'ambiente, e con capacità di supporto decisionale ed ottimizzazione in grado di migliorare la qualità della vita, del modo di lavorare, di muoversi e di fruire dei servizi pubblici;
- la definizione e la realizzazione di nuove soluzioni applicate ai dati di valore nazionali quali quelli legati ai **beni culturali, alle digital humanities ed ai dati turistici**;
- la possibilità di **velocizzare e automatizzare processi complessi come quelli della Pubblica Amministrazione**, in tempi rapidi e di ottimizzarli;
- l'implementazione, più in generale, **del concetto di Smart City** inteso come organismo digitale al servizio della società e dei singoli cittadini che la compongono.

In generale, considerando la società come un sistema complesso in cui agenti multipli operino in modo debolmente correlato, e difficilmente descrivibile nel suo insieme mediante algoritmi standard, le tecniche IA diventano ora l'unico approccio possibile per garantire una comprensione d'insieme. Su questi dati multimodali e multimediali per natura e



spesso distribuiti, il problema non è più' la interoperabilità quanto l'utilizzo comune in sistemi intelligenti congiunti che possono anche apprendere in modalità multi-dominio. La ricerca su reti neurali che siano *multi-task* e generalizzabili che permettano un facile *domain-transfer* (e che possano quindi essere utilizzate su dati diversi, dalle immagini di un catasto, in immagini di spiagge o di ambiti urbani) e ancora giovane, funzionante solo su casi d'uso semplificati e necessita grandi investimenti per la raccolta dei dati, l'annotazione manuale se si usano modelli supervisionati, o comune per le fasi di testing dei risultati, utili ad avere risultati di riferimento validati (*ground truth*).

Per poter testare le nuove ricerche in IA (ad es. sui sistemi di raccomandazione innovativi, nuovi modelli di apprendimento, ragionamento e pianificazione, nella ricerca per similarità e il recupero di informazioni con base neurali, nelle interfacce multi-lingue e multimodali, nella comprensione documentale testuale e visuale, nei sistemi di simulazione multi-agente per la comprensione di fenomeni sociali) **servono azioni di ricerca specifiche** che possono passare dalla definizione congiunta, anche con MOIP trasversali di **“contest” di benchmark e datathon su cui fare lavorare i centri di ricerca, industrie e startup**. Lo sforzo è notevole - anche per gli investimenti economici - e devono essere previsti finanziamenti non solo per la ricerca ma anche per la preparazione e la verifica e l'analisi delle prestazioni. In questo ambito la concezione di infrastrutture stabili italiane che coinvolgano l'accademia ed i centri di ricerca, ad esempio tramite il Lab CINI-AIIS, anche sulla preparazione, potrebbero essere una soluzione fattibile, che permetterebbe anche una stretta connessione con iniziative europee in essere come le piattaforme Ai4EU.

Obiettivi

Gli obiettivi sono declinati in accordo con gli obiettivi del Grande Ambito, OB1: Conseguire una posizione di leadership nell'economia circolare; OB2: raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale; OB3: Costruire un'economia dei dati; OB4: consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili; OB5: sostenere inclusione e innovazione sociale. Iniziative a termine breve/medio/lungo possono essere intraprese per velocizzare l'adozione di tecniche IA a vantaggio della società. Senza poter essere esaustivi, le proposte sono:

1. **Servizi a valore aggiunto per i cittadini e la Pubblica Amministrazione:** le tecniche di IA hanno raggiunto un livello di maturità da poter essere usate su basi di dati esistenti per la costruzione di servizi a valore aggiunto per i cittadini e per la pubblica amministrazione in grado di migliorare la qualità e l'efficienza del servizio pubblico. Alcuni esempi sono servizi per la mobilità, i parcheggi, l'illuminazione pubblica, i servizi di pubblica utilità, il job placement così come i servizi per la pianificazione dei lavori di manutenzione dell'infrastruttura stradale, idrica, elettrica, fognaria, lo smaltimento dei rifiuti, delle reti di teleriscaldamento, e telecomunicazioni e la loro comunicazione in tempo reale ai cittadini. La definizione di questi servizi richiede la capacità di elaborare in tempo reale i dati, e di unire tale elaborazione a capacità di ragionamento, supporto decisionale e ottimizzazione. Ad essi si aggiungono servizi di IA per il monitoraggio automatico di processi complessi della PA; un esempio è la gestione dei concorsi di grandi dimensioni con obiettivo di procedure ottimizzate a “ricorso zero”. Questi obiettivi permettono azioni anche a breve termine, che portino a prototipi e sistemi ad un TRL elevato 4-7 e che possano essere alla base di progettazione congiunta pubblico e privata. Esistono già numerose esperienze di ricerca grazie a progetti Nazionali ed Europei che devono essere messi a fattor comune in iniziative innovative. Si auspica che queste iniziative abbiano carattere nazionale, interdisciplinare e coordinato tra il MUR ed i Ministeri preposti per evitare duplicazioni e sprechi di sforzi.
2. **Prototipi e componenti riusabili per applicazioni IA ad alte prestazioni su quantità di dati scientifici di grandi dimensioni:** un importante sottoinsieme di applicazioni di interesse coinvolgono tecniche IA applicate a grandi moli di dati. La disponibilità di prototipi e componenti riusabili (sistemi informatici HPC, ottimizzati per carichi di lavoro IA, sistemi di storage ad alta capacità e velocità di accesso, toolkit software IA di ultima generazione) è essenziale per massimizzare la capacità di estrarre conoscenza da basi dati in Cloud. È necessario progredire in questo ambito sviluppando prototipi e componenti di intelligenza artificiale che siano progettati specificatamente per i big data, magari sperimentando su dati di grandi dimensione disponibili nella ricerca scientifica come quelli delle *hard science*. È necessaria una integrazione di competenze con interconnessioni profonde con altri ambiti (Big Data e Cybersecurity) e con le infrastrutture di calcolo ad alte prestazioni come i centri HPC presenti in Italia - CINECA in primis - e i centri di calcolo già operativi presso Enti di Ricerca pubblici (come CNR, INAF, INFN, INGV, ...) e privati (es. ENI, Leonardo) e in prospettiva



centri di Quantum Computing, qualora fosse disponibili su territorio nazionale; deve prevedere strumenti di training, documentazione, supporto da parte della comunità scientifica esperta in IA fondazionale e applicativa in collaborazione con esperti di altre comunità; deve attrarre, almeno inizialmente, una comunità di utenti che siano in grado di (1) fornire le basi di dati da analizzare per validare le piattaforme e con (2) competenze applicative IA avanzate per eseguire test a vari livelli di operatività. Fra le comunità di utenti da coinvolgere vi sono i ricercatori impegnati nelle attività scientifiche nelle discipline di *hard-science*, come la fisica, la chimica e la biologia e l'analisi del clima che gestiscono dati sperimentali di dimensioni tali da permettere la validazione della piattaforma anche per gli use-case più esigenti. Basi di dati dell'ordine di 10^{17} Bytes (centinaia di PetaBytes) sono già comuni in esperimenti di fisica delle alte energie e in astrofisica. Entro il decennio, la scala dell'ExaByte sarà raggiunta da numerose iniziative di ricerca. Oltre alla rilevanza scientifica per sé dei risultati, primo KPI per il testbed, altro KPI è la dimostrazione della capacità di prototipare le stesse tecnologie AI su basi dati non di origine scientifica, ma di sorgente industriale e sociale.

3. **Strumenti di IA per l'analisi multisorgente su dati della società Civile:** la tecnologia e le conoscenze già presenti in Italia permettono di dimostrare le potenzialità dell'applicazione di tecniche IA per studi a favore del benessere e dello sviluppo della società. Proponiamo quindi degli studi a livello di prototipo, che vadano a dimostrare fattivi benefici diretti e dimostrabili su sottoinsieme di dati, anche anonimizzati. Alcuni esempi che potranno essere portati avanti da grandi iniziative nazionali, come con MOIP tra più istituzioni pubbliche sono i seguenti: la comprensione dei fenomeni di anomalie fiscali, incrociando i dati delle carte di credito e bancari con i dati delle dichiarazioni dei redditi; in questi casi sarà importante definire anche specifiche KPI come l'efficacia rispetto ai dati annotati manualmente o la capacità di identificare mediante tecniche di *anomaly detection* alcuni casi ad hoc iniettati artificialmente; uno studio sui flussi di movimento delle persone, utilizzando dati sociali come dai gestori telefonici (con metodi di implementazione della privacy-by-design), per ottimizzare i percorsi dei trasporti pubblici; il KPI è l'applicazione dei modelli a dati analoghi dei giorni successivi, realizzando una stima della diminuzione del traffico privato; la capacità di analizzare e prevedere i contatti tra persone, anche considerando i dati sociali, i dati multisensoriali ed IoT, anche nell'ottica della prevenzione del diffondersi di malattie. In questi casi, la sfida maggiore riguarda la reperibilità dei dati grezzi (opportunamente curati e anonimizzati secondo le normative vigenti). L'analisi dei dati e la modellizzazione IA sono ampiamente nelle *expertise* della comunità italiana che si occupa di IA, quindi alcuni risultati prototipali si trovano già ad un TRL adeguato 4-7 ma serve ricerca anche di base per permettere di portare a soluzioni innovative, con tecnologie di machine learning sviluppate nel nostro Paese ed addestrate su dati italiani.
4. **Strumenti di IA per l'analisi multisorgente di dati di beni culturali, di digital-humanities e legati al turismo:** questo obiettivo impiega tecniche e soluzioni IA in gran parte simili alle precedenti, che sono parte della ricerca italiana, permettono prototipazioni rapide in singoli progetti e sperimentazioni; devono però essere ripensate per il dominio culturale come un grande tema di un Progetto di Ricerca Nazionale in IA. Molto spesso le sperimentazioni fatte fino ad ora sono sempre state parziali, non facilmente riusabili in contesti diversi da quelli progettati, troppo ottimizzate per specifici tipi di dati (es. dati architettonici 3D o dati archeologici, o documenti storici, o oggetti artistici digitalizzati). È necessaria la definizione di piattaforme nazionali generalizzabili di servizi IA per le Digital Humanities, per i beni culturali e di conseguenza per il turismo e la diffusione della cultura. Si pensi a sperimentazioni di guide interattive, di sistemi di catalogazione e digitalizzazione specifici, anche a partire da alcune sperimentazioni nazionali di interesse che vanno nella direzione di digitalizzazione su formati aperti (ad es. il formato TIFF). L'impegno fino ad ora è sempre stato orientato alla catalogazione manuale - lenta ed imprecisa per definizione e diversa da ente pubblico ad ente pubblico. L'obiettivo di ricerca non va nei dati ma negli strumenti intelligenti di estrazione di informazione dai dati eterogenei. Sarebbe auspicabile ad un grande progetto nazionale (come progetti Google Arts&Culture e che potrebbe essere ripensato in chiave nazionale) studiato per la fruizione di utenti (anche con strumenti edge, con robot mobili e sociali ed elementi di realtà aumentata/virtuale), per l'estrazione di conoscenza per esterni e per la creazione di cultura, nonché per l'incremento del turismo culturale con metodologie basate sull'IA. In questo ambito vanno anche progettate nuove attività di ricerca che combinino informazioni sugli utenti e sui potenziali utenti, sugli spazi espositivi, sui siti turistici.



5. **Analisi multisorgente per la comprensione e la pianificazione della società civile:** la naturale evoluzione è un utilizzo reale delle stesse ai fini della comprensione e della pianificazione della società, e non solo a livello di dimostrazione e di validazione. In presenza di volontà politica, sistemi come quelli descritti nel punto 1 e validati come indicati al punto 2, potranno essere applicati a lungo termine per grandi progetti di pianificazione e di comprensione dei fenomeni della società. Possono essere resi operativi sui dati reali multisorgente, ed essere utilizzati per le finalità di detection e di predizione descritte sopra. Anche in questo caso è necessaria una ricerca assolutamente coordinata a livello nazionale che sappia non solo adottare tecniche di apprendimento, ragionamento e spiegabilità con strumenti e librerie note ma che possa costruire strumenti predittivi di nuova generazione, strumenti di apprendimento continuo ed adattivo e strumenti di IA che sviluppati nei centri nazionali possano essere direttamente trasferiti alla nuova imprenditoria giovanile. Sarebbe auspicabile pensare di costituire una task force permanente di giovani talenti a servizio della analisi, la comprensione e la predizione dei dati sociali. Questo potrebbe essere fatto anche congiuntamente alle competenze di cybersecurity, dovendo analizzare non solo dati sensibili, ma dati importanti per la sicurezza nazionale.

Impatti attesi

La disponibilità di una piattaforma efficiente, supportata e consolidata per studi AI è in linea con le attività che la Horizon Europe prevede per i Clusters del secondo Pillar; il suo carattere di *enabling technology* è trasversale a gran parte delle attività previste. Per esempio, si evidenziano i seguenti impatti: *Cluster 1:* harvesting di dati medici, valutazioni epidemiologiche, possibilità di effettuare analisi sia a livello di popolazione, sia dirette al singolo individuo; (*Tools, technologies and digital solutions for health and care, including personalised medicine, Environmental and social health determinants, Health care systems*); *Cluster 2:* società inclusiva, con la capacità di monitorare e predire gli sviluppi sociali della popolazione; (*Social and economic transformations, Culture, cultural heritage and creativity, Democracy and Governance*); *Cluster 3:* analisi multidimensionale dei dati dalle infrastrutture critiche e dalla sensoristica diffusa, capacità di predire anomalie e situazione di pericolo, sicurezza dei sistemi informatici e predizioni attacchi; (*Cybersecurity, Disaster-resilient societies, Protection and Security, Cybersecurity*); *Cluster 4:* impatto trasversale a tutti gli ambiti del cluster; (*all*); *Cluster 5:* analisi multidimensionali dei dati climatici, e loro correlazione con dati industriali, produttivi, finanziari, da sensoristica dal territorio; (*Climate science and solutions, Energy systems and grids, Communities and cities, Industrial competitiveness in transport, Smart mobility, Energy supply, Clean, safe and accessible transport and mobility*). *Cluster 6:* analisi multidimensionale dei processi produttivi in agrifood, tracciamento dei prodotti, monitoraggio delle risorse naturali. (*Environmental observation, Circular systems*).

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono delle forti interconnessioni all'interno dell'ambito tematico "Informatica, Industria, Aerospazio":

High Performance Computing, Big Data: la partnership con le realtà già esistenti per HPC, Big Data e Grid Computing è essenziale per formare una piattaforma efficiente e resiliente. *Tecnologie quantistiche:* un elemento principe di tecnologie di Quantum Computing è la possibilità di effettuare il training di sistemi IA molto complessi, in tempi drasticamente ridotti rispetto a sistemi standard. L'inserimento di tali sistemi, una volta disponibili, promette di aumentare in modo significativo le potenzialità della piattaforma. *Aerospazio:* l'industria aerospaziale ha bisogno di modellistica di precisione, basata su dati multisensore raccolti in fase di test e di utilizzo della componentistica. Tecniche IA, unite a risorse Big Data, sono un tool fondamentale per una soluzione efficace e tempestiva delle problematiche di costruzione e di operazione. Esistono inoltre delle interconnessioni significative con altri ambiti tematici del PNR: *Sicurezza dei sistemi sociali: Strutture, Infrastrutture e Reti* - Il monitoraggio delle strutture necessita della raccolta e dell'analisi di grandi quantità di dati, che solo una piattaforma integrata può fornire. *Clima, Energia, Mobilità sostenibile: Mobilità sostenibile* - la raccolta di grandi quantità di dati reali permette la modellizzazione e la predizione dei flussi mediante tecniche IA, e a posteriori permette la validazione dei modelli realizzati; *Clima, Energia, Mobilità sostenibile: Cambiamenti climatici e adattamento; Tecnologie Sostenibili, Agroalimentare, Risorse Naturali ed Ambientali: Green Technologies* - Le tecniche di IA applicate al monitoraggio ambientale multisensore e mediante



l'utilizzo di efficienti piattaforme di calcolo intensivo permetterà passi avanti nella modellizzazione del fenomeno del cambiamento climatico, e la predizione di possibili soluzioni.

Sono infine da considerare essenziale le interconnessioni con gli ambiti tematici che si occupano di beni culturali e di scienze sociali.

Key Performance Indicators

Come indicato nella descrizione degli obiettivi, KPI per le iniziative proposte sono: 1) KPI Scientifico, 2) KPI scientifico-tecnologico di impatto industriale, 3) KPI di impatto sociale, 4) KPI nelle sfide sociali e in ambiti strategici, e) KPI di impatto infrastrutturale. Sono inoltre specifici di questa articolazione i seguenti KPI:

- **KPI di Eccellenza scientifica**, misurata in termini di pubblicazioni a livello internazionale sulle principali riviste scientifiche del settore dei pilot e convegni di fama consolidata secondo i criteri di valutazione nazionale, numero di workshop e conferenze di settore organizzate in Italia; Numero di prototipi e di servizi AI per la società proposti e testati in larga scala; numero di progetti realizzati con start-up anche con riferimento a benchmark, contest e datathon; numero di pubblicazioni scientifiche interdisciplinari che coinvolgono più esperti di temi sociali, scientifici ed esperti informatici e di IA.
- **KPI scientifico-tecnologico di Impatto industriale**, misurato in termini di brevetti, di sistemi sia software che hardware a TRL elevato sviluppati in modo sinergico con l'industria, di spin-off e startup e di azione volte all'aumento del PIL grazie all'IA, anche ci specifico riferimento all'industria culturale e creativa nel Turismo e nei beni culturali
- **KPI di impatto sociale**: Numero di iniziative di progetti e servizi per la identità di genere, la diversità culturale e sociale; numero di iniziative di formazione a livello universitario, di master e dottorati di ricerca interdisciplinari orientati alla modellazione dell'IA per la persona e la salute.
- **KPI di Impatto nelle sfide sociali e in ambiti strategici**, impatto quali quello della mobilità personale e veicolare o delle realizzazioni per le smart-city generalizzabili e riutilizzabili sul territorio nazionale.
- **KPI di Impatto infrastrutturale**, misurato in termini di numero di progetti EU, industriali e che coinvolgono l'Italia come partnership; umero di attività internazionali con centri di ricerca IA accreditati in tutto il mondo; umero dei progetti EU e industriali e realizzazioni portate a termine con successo che contengono al loro interno tecnologie di IA.

Articolazione 5. Intelligenza Artificiale per l'ambiente e le infrastrutture critiche

Salvaguardia ambientale e tutela delle infrastrutture critiche sono due ambiti strettamente correlati nei quali l'Intelligenza Artificiale può fornire un significativo contributo attraverso la definizione di nuovi strumenti di analisi, monitoraggio, controllo e predizione, in linea con il Green Deal Europeo.

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

L'IA, per definizione [AI for Europe, EU2018], *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 distribuite, al fine di comprendere e predire i fenomeni ambientali e le loro implicazioni sulle infrastrutture critiche del Paese.

Tali obiettivi sono di vitale importanza per il nostro Paese, che vanta un patrimonio culturale tra i più ricchi al mondo, riconosciuto da enti sovranazionali quali, ad esempio, l'UNESCO. Tale patrimonio non si limita a beni storici ed artistici, ma è anche costituito da una moltitudine di bellezze ambientali per le quali è richiesta una attenta protezione e salvaguardia. In tale contesto, **i sistemi di IA possono rappresentare utili strumenti per il monitoraggio, per la**



rilevazione tempestiva di situazioni di emergenza (*early-monitoring*), **la definizione di piani di gestione, la scoperta di cause concomitanti nascoste** che possono avere impatto sui cambiamenti climatici, anche tramite l'adozione di soluzioni tecnologiche di avanguardia cyber-fisiche, come reti di sensori, droni e sistemi robotici autonomi.

La tutela ambientale rappresenta molto spesso un obiettivo duale rispetto alla gestione di infrastrutture critiche per il sistema Paese, ovvero luoghi e sistemi essenziali per il funzionamento della nazione, oggi individuabili nei settori energia, trasporti, risorse idriche, salute, infrastrutture digitali, banche e società finanziarie.

In tali contesti sono già, parzialmente, in uso sistemi informatici capaci di assistere i gestori (ad esempio segnalando situazioni che meritano attenzione) e, in taluni casi, sostituirsi ad essi per interventi mirati (monitoraggio continuativo, reazione a situazioni critiche, etc). Questi strumenti devono essere resi più potenti grazie alle nuove tecniche di apprendimento automatico, di predizioni embedded-AI e sia a TRL breve che con nuovi paradigmi da scilupparsi a temi più lunghi.

Più nel dettaglio, si segnalano di seguito alcune infrastrutture critiche (con una lista non esaustiva) in cui è essenziale l'adozione di strumenti di IA:

- Impianti di generazione e distribuzione dell'energia;
- Reti di telecomunicazioni ed infrastrutture digitali, sia pubbliche che private;
- Sistemi di trasporto in generale (ferrovie, porti aeroporti, autostrade, viadotti) ed in particolare quelli legati al trasporto di merci e beni essenziali;
- Sistemi di gestione delle risorse idriche;
- Strutture per l'assistenza sanitaria (ospedali pubblici e privati, istituti per l'assistenza ad anziani e disabili);
- Banche e società finanziarie.

Numerose sono le applicazioni dell'Intelligenza Artificiale legate al monitoraggio e alla gestione delle infrastrutture critiche, che grazie all'enorme diffusione di tecnologie quali l'**Internet of Things e dei sistemi embedded**, hanno la possibilità di acquisire grandi moli di dati in tempo reale, geolocalizzati e temporalmente annotati, su cui portare avanti ragionamenti autonomi, prendere decisioni e pianificare le relative azioni. Tali soluzioni, pur garantendo una più efficace gestione delle infrastrutture ed un naturale miglioramento della qualità di vita dei cittadini, presentano comunemente significative vulnerabilità in termini di sicurezza. Ciò è dovuto principalmente alla dipendenza del motore di ragionamento da informazioni acquisite da sensori del tutto autonomi, dispiegati in modo capillare su superfici di vastissime dimensioni, la cui attendibilità non può essere verificata se non dal sistema stesso di Intelligenza Artificiale.

Molti dei sistemi, infatti, basano i propri ragionamenti su informazioni prodotte da dispositivi IoT che, nella quasi totalità dei casi, sono stati progettati nel rispetto di vincoli di economicità e facilità d'utilizzo, che spesso si contrappongono al soddisfacimento di determinati requisiti di sicurezza e robustezza ad attacchi informatici. Come evidenziato dall'Agenzia europea per la sicurezza delle reti e dell'informazione (The European Union Agency for Cybersecurity - ENISA) nelle "Good practices for IoT and Smart Infrastructures Tool" "*l'informazione è il cuore dell'IoT, ed è essa ad alimentare il continuo ciclo sensing, decision-making, actions*". È dunque compito dell'Intelligenza Artificiale sviluppare **nuove soluzioni attraverso cui i sistemi cognitivi autonomi e semi-autonomi siano in grado di effettuare autodiagnosi per l'individuazione di dati anomali**, siano essi prodotti da dispositivi genuinamente difettosi, o da sistemi intenzionalmente compromessi da attacchi informatici.

Le metodologie IA orientate al monitoraggio, alla previsione di anomalie hanno una tradizione importante nei *machine learning* tradizionale e nel *deep learning*, sia su dati audio e sensoriali sia su dati visuali. Risultati importanti vengono nella Visione Artificiale dove l'elaborazione delle immagini e ancor più dei video porta ad un contenuto informativo assai ricco, che se compreso adeguatamente può essere un grande ausilio agli operatori umani.

Obiettivi

L'IA potrà contribuire alla progettazione di sistemi intelligenti innovativi in grado di estrarre conoscenza di alto livello, relativa alle condizioni ambientali e allo stato delle infrastrutture critiche, a partire dalle enormi moli di dati eterogenei



a disposizione, tra cui vi potranno essere, oltre alle tradizionali fonti di informazioni, anche flussi di dati acquisiti tramite reti di sensori fisici, installati in prossimità del fenomeno da monitorare, e informazioni ottenute direttamente dagli esseri umani, secondo i **paradigmi innovativi del crowdsensing e del participatory sensing**.

1. **Nuove generazioni di sistemi di supporto alle decisioni.** Sfruttando questa conoscenza di alto livello sarà possibile progettare sistemi innovativi in grado di svolgere ragionamenti complessi, pianificando azioni di intervento in grado di portare l'ambiente alle condizioni desiderate, o garantendo che le infrastrutture critiche monitorate si trovino sempre nelle condizioni ottimali di funzionamento, in termini di disponibilità e sicurezza. La ricerca in questo ambito potrà portare alla progettazione di una nuova generazione di sistemi di supporto alle decisioni, in grado non solo di fornire agli amministratori suggerimenti riguardo le migliori azioni da mettere in atto, ma fornendo al tempo stesso spiegazioni dettagliate sulle motivazioni e delle informazioni che hanno portato a tali ragionamenti.
2. **Dispositivi sensoriali intelligenti ed autonomi per il monitoraggio** Si andrà a proporre una nuova famiglia di dispositivi con capacità sensoriale, attuoriale e di elaborazione con funzionalità intelligenti basate su tecnologie dell'IA nativamente integrate nel rispetto dei vincoli imposti dalla tecnologia, dal mercato e dall'applicazione. Questi sistemi dovranno essere robusti ed affidabili secondo direttive definite in ambito Italiano ed Europeo e capaci di prevenire rischi di pregiudizi dell'algoritmo basati sull'erronea o malevole addestramento umano, soprattutto nel momento in cui applicati su infrastrutture critiche e sull'ambiente.
3. **Soluzioni innovativi per la previsione di situazioni anomale.** i temi dell' *anomaly detection* e della *anomaly prediction* sono temi caldi nella ricerca in IA. Esistono poche soluzioni prototipali pronte per essere testate a breve-termine in casi specifici, questo è un tema dove la accademia italiana potrebbe portare ad una leadership non solo scientifica ma anche operativa ed industriale, fornendo servizi usabili nel nostro territorio ed esportabili in tutto il mondo. Ma è importante definire una azione di ricerca a lungo termine che si sviluppi specificatamente su questo tema con soluzioni generalizzabili in contesti diversi e su dati eterogenei. La ricerca nel campo dell'IA in questo ambito dovrà puntare alla robustezza e alla sicurezza dei sistemi intelligenti, che dovranno essere progettati in modo da potere resistere a diversi tipi di anomalie ed interferenze, sia provenienti dal mondo fisico (come ad esempio causati da disastri naturali) che provenienti dal mondo cyber.
4. **Monitoraggio di servizi energetici e delle telecomunicazioni e delle infrastrutture idriche:** Gli interventi che si ritengono rilevanti per le infrastrutture critiche legate all'**energia** riguardano principalmente sistemi di IA per il monitoraggio delle condizioni operative e di servizio, l'ottimizzazione delle risorse e dei carichi, verifiche di tipo what-if sulle condizioni di servizio, l'individuazione di anomalie ed il tempestivo ripristino in caso di fault dei sistemi di generazione e distribuzione dell'energia (impianti termici, idroelettrici, eolici, fotovoltaici, etc). In modo simile, è ormai consolidato l'uso di sistemi di Intelligenza Artificiale per il supporto alle decisioni ed alle operazioni di gestione delle **reti di telecomunicazioni**. In tale contesto vanno inquadrati anche i moderni sistemi di diagnostica di **infrastrutture digitali complesse**, sia pubbliche che private, sulle quali sono istanziati servizi fondamentali per i cittadini. In tale ambito dovranno dunque essere pensate soluzioni atte a garantire la robustezza dei sistemi di IA e la loro resilienza in caso di malfunzionamenti diffusi nell'infrastruttura. Infrastrutture idriche La complessità delle infrastrutture di **gestione delle risorse idriche**, anche in virtù delle specifiche caratteristiche idro-geologiche del territorio italiano, impone significativi sforzi per l'individuazione di soluzioni intelligenti per il monitoraggio e controllo degli impianti al fine di identificare tempestivamente perdite nelle condutture, malfunzionamenti, o presenza di elementi (batteri, agenti chimici, etc) che possono rappresentare una minaccia per la salute umana.
5. **Monitoraggio e pianificazione delle infrastrutture di mobilità e dei sistemi di trasporto.** Nell'ambito delle applicazioni dell'IA per le infrastrutture e i sistemi di trasporto di passeggeri, merci e beni essenziali, rilevanti sono, ad esempio, gli interventi innovativi legati al monitoraggio di esercizio funzionale alla caratterizzazione dello stato operativo, alla manutenzione preventiva delle infrastrutture (ferrovie, porti, aeroporti, autostrade), allo studio di scenari *what-if*, all'ottimizzazione dei flussi di veicoli, agli strumenti autonomi di segnalazione in grado di adattarsi autonomamente alle condizioni di contesto e, più in generale, alla cosiddetta mobilità intelligente, o *smart mobility*. in tutti questi ambiti la ricerca in IA non ha ancora prodotti funzionanti e off-the-shelf ma richiede una lunga attività di ricerca applicata e di ricerca industriale assieme ad esperti di dominio e ai gestori delle infrastrutture.



6. **Monitoraggio ambientale per la mobilità.** Un tema specifico è il monitoraggio, la sorveglianza sia video che sensoriale in senso lato di aree di mobilità, dove coesistono oggetti mobili diversi, es persone, biciclette ed auto in ambito cittadino, veicoli ed animali nelle campagne e nelle montagne, imbarcazioni di diversa grandezza o veicoli aerei (da aerei a droni). Devono essere progettati **sistemi di monitoraggio in campi aperti capaci di lavorare in condizioni ambientali limite** (riconoscimento di veicoli nella nebbia e nella pioggia e nella notte o di imbarcazioni da immagini satellitari, utili per il monitoraggio dei mari nazionali, o di droni e dei veicoli aerei unmanned). Questa ricerca deve essere svolta nel nostro Paese da centri nazionali sia per motivi di sicurezza, essendo dati critici, sia per portare avanti una industria IT nazionale, minata da molti competitori internazionali (americani, cinesi, israeliani ad esempio assai competenti in questi ambiti).
7. **Monitoraggio ed interazione tra infrastrutture critiche, ambienti e sistemi autonomi.** A breve la guida autonoma sarà una realtà anche in Italia ed esistono già luoghi di sperimentazione; veicoli autonomi e semi-autonomi dovranno imparare ad interagire con l'ambiente italiano e con le nostre infrastrutture. Ad esempio i veicoli autonomi i cui sistemi percettivi sono stati addestrati in altri ambiente faticano a interagire con l'ambiente italiano (es strade di piccole dimensioni e trafficate, strade montane, ambiente prezioso dal punto di vista paesaggistico e culturale). Questo impone una ricerca nella parte di edge-Ai, ma ancora di più nello studio di nuove soluzioni ad elevata accuratezza, robustezza e sicurezza. Data la criticità è necessario anche prevedere uno studio sulla robustezza. Simili ricerche devono porsi per le prossime generazioni di droni autonomi e in generale **di sistemi autonomi mobili sia nel campo civile che nel campo militare, nella loro interazione con l'ambiente.** Anche in questo ambito la creazione di Missioni specifiche MIP coordinate da più istituzioni saranno fondamentali (ad esempio con il Ministero dei Trasporti e del Ministero dell'Università e della Ricerca) per una raccolta e condivisione sicura di dati di mobilità, necessari per lo sviluppo di soluzioni di IA nazionali.
8. **IA per le strutture sanitarie.** La recente pandemia ha evidenziato ulteriormente l'importanza di disporre di strutture sanitarie efficienti e coordinate, che siano in grado di adattarsi rapidamente ad emergenze e situazioni critiche. In tale scenario, l'Intelligenza Artificiale può giocare un ruolo fondamentale non soltanto in ambito clinico-diagnostico, ma anche nella gestione della crisi attraverso la formulazione di ragionamenti complessi.
9. **IA per il mondo finanziario.** La solidità del **sistema finanziario**, costituito da una fitta interconnessione di mercati, operatori ed intermediari, si basa su informazioni (macroeconomiche, anche di natura previsionale, politico-sociali, microeconomiche ecc.) necessarie per supportare strategie e piani di investimento funzionali all'economia del Paese. In tale contesto, è essenziale l'utilizzo di strumenti di IA per il monitoraggio di operazioni e flussi finanziari che, seppur leciti, potrebbero mettere a rischio la stabilità degli istituti bancari e finanziari.

Tali obiettivi ben si inquadrano in quanto definito a livello del grande ambito "Informatica, Industria, Aerospazio", ed in particolare: OB1: "progettazione sostenibile di materiali e tecnologie che consentono il passaggio alla decarbonizzazione in tutti i principali settori industriali di emissione, comprese le tecnologie digitali verdi"; OB2: "per prevenire, mitigare e rispondere efficacemente a emergenze di natura ambientale, climatica, pandemica o finanziaria"; OB3: "mantenere a livello di avanguardia le nostre infrastrutture di calcolo ad alte prestazioni che oltre alla tradizionale missione a supporto delle scienze, deve far fronte alla domanda di aziende e al fabbisogno di resilienza sociale (pandemie, migrazioni, mobilità, ...) e per l'OB6 sulla Leadership in aerospazio".

Impatti

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. Ciò porta ad un impatto trasversale rispetto a diversi cluster del Pillar 2 di Horizon Europe. In particolare, si evidenziano i seguenti impatti: Impatti per il Cluster 1. *Health: Environmental and social health determinants*; Impatti per il Cluster 3. *Civil security for society: Disaster-resilient societies; Protection and Security*; Impatti per il Cluster 4. *Digital, Industry and space: Key digital technologies, including quantum technologies; Artificial Intelligence and robotics; Emerging enabling*



technologies; Impatti per il Cluster 5. Climate, Energy and Mobility: Climate science and solutions; Energy systems and grids; Communities and cities; Smart mobility; Clean, safe and accessible transport and mobility; Impatti per il Cluster 6. Food, bioeconomy, natural resources, agriculture and environment: Environmental observation; Agriculture, forestry and rural areas; Biodiversity and natural resources; Seas, oceans and inland waters.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono delle forti interconnessioni con altri ambiti tematici del grande ambito “Informatica, Industria, Aerospazio”: *High Performance Computing, Big Data*: l’adozione di strumenti avanzati di IA in grado di elaborare grandi moli di dati per estrarre conoscenza significativa sull’ambiente e sullo stato delle infrastrutture monitorate e gestite, potrà avvantaggiarsi delle potenzialità dell’High Performance Computing e dei modelli di calcolo distribuito basati sull’utilizzo di paradigmi di edge, fog e cloud computing; *Robotica*: l’adozione di sistemi robotici autonomi può fornire strumenti utili per il monitoraggio ambientale ed infrastrutturale, soprattutto in scenari ostili, in cui è risulta impossibile acquisire informazioni tramite tradizionali sistemi di acquisizione dati, o tramite l’intervento umano. Esistono inoltre delle interconnessioni significative con altri ambiti tematici del PNR: *Sicurezza dei sistemi sociali: Cybersecurity* - I sistemi intelligenti che si occuperanno del monitoraggio e della gestione delle infrastrutture critiche, entrano essi stessi a fare parte dell’insieme delle infrastrutture critiche da proteggere, in particolare da attacchi cyber. Cruciale quindi la sinergia con l’ambito di ricerca della cybersecurity, che può fornire le più innovative soluzioni da adottare a tale scopo. *Sicurezza dei sistemi sociali: sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti; sicurezza dei sistemi naturali* - Le tecniche di IA potranno dare un contributo significativo alla progettazione di sistemi di *early warning* che consentano la rilevazione tempestiva di situazioni di emergenza, che minacciano la sicurezza delle infrastrutture, delle strutture, delle reti e dei sistemi naturali. *Clima, Energia, Mobilità sostenibile: Mobilità sostenibile* - I sistemi intelligenti per il monitoraggio e la gestione delle infrastrutture critiche appartenenti all’infrastruttura viaria e dei trasporti, potranno contribuire a fornire informazioni utili alla pianificazione di strategia di mobilità sostenibili; *Clima, Energia, Mobilità sostenibile: Cambiamenti climatici e adattamento; Tecnologie Sostenibili, Agroalimentare, Risorse Naturali ed Ambientali: Green Technologies* - Le tecniche di IA applicate al monitoraggio ambientale, consentiranno la progettazione di sistemi di supporto alle decisioni predittivi in grado stimare l’effetto di diverse soluzioni di gestione delle risorse ambientali, anche rispetto ad eventuali ricadute sulla riduzioni di emissioni inquinanti e di mitigazione dei cambiamenti climatici. *Tecnologie Sostenibili, Agroalimentare, Risorse Naturali ed Ambientali: Gestione delle risorse agricole; gestione delle risorse marine* - i sistemi intelligenti potranno offrire soluzioni innovative per lo sviluppo sostenibile dei processi di gestione delle risorse agricole e marine, anche grazie alla capacità di effettuare ragionamenti volti all’ottimizzazione vincolata multi-obiettivo, per l’individuazione di soluzioni di giusto compromesso tra lo svolgimento di attività produttive e la tutela ambientale.

Key Performance Indicators

La qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti sarà valutata mediante specifici indicatori, 1. KPI scientifico, 2. KPI scientifico-tecnologico di impatto industriale, 4. KPI nelle sfide sociali e in ambiti strategici 5. KPI di impatto infrastrutturale, tra i quali:

- **KPI di Eccellenza scientifica**, misurata in termini di numero di pubblicazioni a livello internazionale sulle principali riviste scientifiche di settore e convegni di fama consolidata secondo i criteri di valutazione nazionale; numero di workshop e conferenze di settore organizzate in Italia; numero di pubblicazioni anche multi-disciplinari.
- **KPI di Impatto industriale**, misurato in termini di brevetti, di sistemi sia software che hardware a TRL elevato sviluppati in modo sinergico con l’industria, di spin-off e startup e di azione volte all’aumento del PIL grazie all’IA.
- **KPI di Impatto nelle sfide sociali e in ambiti strategici**, quali l’ambiente sostenibile e le infrastrutture critiche nazionali, misurato in base all’impatto dei progetti presentati sulla salvaguardia dell’ambiente e sull’aumento della sicurezza delle infrastrutture critiche, a breve, medio e lungo termine.



- **KPI di Impatto infrastrutturale**, misurato in termini di numero di progetti EU, industriali e che coinvolgono l'Italia come partnership, per la protezione dell'ambiente e delle infrastrutture critiche tramite strumenti di IA, anche in partenariato con enti di ricerca che svolgono ricerca sul clima, sulla terra e sul mare.

Articolazione 6. Intelligenza Artificiale per la produzione industriale

L'introduzione dell'IA sta trasformando la produzione industriale in modo profondo ed irreversibile, ad una velocità senza precedenti. Una ricerca di Accenture del 2019 stima che l'utilizzo dell'IA porterà al solo settore manifatturiero un valore aggiunto di circa 3,8 trilioni di dollari entro il 2035. L'IA ha un impatto su tutti i settori produttivi anche a breve termine: un report di Tractica del 2019 prevede al 2025 un fatturato di circa 120 miliardi di dollari solo nella vendita del software nel mondo in tutti i settori delle telecomunicazioni, del *consumer*, dei servizi avanzati di impresa, e dell'industria farmaceutica e sanitaria, a cui si aggiungono i settori della vendita al dettaglio (retail) ed elettronica (e-commerce) e quelli dell'industria creativa (moda, design, videogiochi, pubblicità, intrattenimento, media) e culturale (educazione, turismo, fruizione dei beni culturali), fino all'industria collegata ai trasporti, alla logistica, al reperimento dell'energia e alla difesa. L'impatto dirompente in tutti i settori dell'industria è dovuto alla capacità dell'IA di alimentare una trasformazione radicale dei sistemi digitali e fisici, rendendoli sempre più interconnessi e in grado di interagire e collaborare con modalità intelligenti, sia utilizzando paradigmi centralizzati basati sul cloud che sfruttando l'intelligenza distribuita nei sistemi utilizzando cioè paradigmi distribuiti e/o realizzati all'edge della rete. **L'Intelligenza Artificiale può essere utilizzata per aumentare la produttività, personalizzare i prodotti o per migliorarne la qualità.** La manutenzione e la diagnostica preventiva, i controlli di qualità automatizzati, la manifattura intelligente e la sua gestione adattativa, la produzione guidata dalla domanda sono alcuni dei temi fondamentali nella trasformazione digitale dell'industria che si basano sull'applicazione alla produzione industriale dei risultati della ricerca fondamentale sull'apprendimento automatico, la visione artificiale, l'elaborazione del linguaggio naturale, la pianificazione e il ragionamento etc e i nuovi paradigmi di collaborazione uomo-macchina nei processi produttivi si basano in modo essenziale sulle tecnologie di Intelligenza Artificiale che permettano alle macchine di capire ed adattarsi al contesto circostante, comprese le azioni del personale con cui collaborano. I modelli di economia circolare vedono le tecnologie di IA come elementi fondamentali per ottimizzare l'utilizzo delle risorse produttive ed i prodotti stessi durante tutto il loro ciclo di vita dalla progettazione, alla produzione, ai servizi di vendita e post-vendita, al riutilizzo/riciclo, fino allo smaltimento, come ben evidenziato nel documento di Strategia Italiana di IA MISE2020.

Molte aziende a livello mondiale hanno già introdotto l'IA nei loro processi aziendali. In Italia alcune aziende leader hanno iniziato ad utilizzare con successo l'IA, ma il ritmo e l'estensione dell'adozione dell'IA sono disomogenei. I risultati dell'Osservatorio sull'Intelligenza Artificiale del Politecnico di Milano, presentati nel 2019, indicano che l'adozione delle tecnologie di IA da parte delle aziende italiane è assai limitato – solo un 12% delle aziende ha un progetto di Intelligenza Artificiale ben avviato – con una spesa in queste tecnologie di poche centinaia di milioni di euro. Secondo studi McKinsey, rispetto a molti altri paesi l'Italia (insieme a paesi quali l'India e il Brasile) ha adesso una moderata capacità di sfruttare i benefici economici dell'IA ma ha un potenziale di crescita ampiamente positivo se sarà in grado di sfruttare le opportunità dell'IA in tutti i settori industriali. In questo contesto, *le capacità di formazione e ricerca delle università ed enti di ricerca costituiscono il punto di forza del Paese per aiutare le aziende a sfruttare al meglio il volano di crescita che l'introduzione dell'IA può portare al tessuto industriale nazionale, mediante un poderoso programma di trasferimento tecnologico che permetta il travaso di conoscenze fra il mondo della ricerca e quello produttivo.* Alle attività di innovazione dei processi aziendali dovrebbero, inoltre, affiancarsi programmi di formazione per la forza lavoro per adeguarne le competenze ad un nuovo mondo aziendale dominato dalle tecnologie digitali ed in particolare dall'IA. Questo deve essere effettuato a tutti i livelli (dal livello base, a quello avanzato), in stretta connessione con le realtà accademiche e di ricerca sia fondamentale sia applicativa.

Per realizzare questa strategia è necessario prevedere programmi di ricerca a breve medio e lungo termine con obiettivi di maturità tecnologica decrescenti.

1. Programmi a breve termine per la trasformazione digitale dell'industria attraverso l'Intelligenza Artificiale.

I programmi di ricerca a breve termine, attraverso progetti in collaborazione tra aziende e istituzioni di ricerca, dovrebbero favorire l'adozione da parte delle aziende, con particolare attenzione alle SME, delle tecnologie e degli



strumenti di Intelligenza Artificiale già validati nei laboratori di ricerca delle università e degli enti di ricerca, con un TRL almeno di 4 per ottenere un TRL finale almeno pari a 7. Queste attività, volte primariamente ad utilizzare l'IA per automatizzare alcuni processi aziendali, utilizzando le tecnologie IA esistenti, potranno essere svolte in sinergia con i centri di competenza nazionali per l'Industria 4.0, la rete dei DIH e i futuri E-DIH, i laboratori regionali per creare ecosistemi specializzati nell'uso dell'IA nei processi industriali che supporteranno la diffusione dell'IA nelle aziende, attraverso attività di orientamento, formazione, e innovazione.

2. Programmi a medio-lungo termine per la leadership nella produzione Intelligente-by-design. In parallelo ai programmi di ricerca a breve termine è però necessario avviare anche programmi di ricerca a medio-lungo termine per affrontare le sfide della ricerca necessarie per sviluppare le metodologie e gli strumenti di IA necessari per i sistemi di produzione industriale previsti per il 2030: Sistemi di produzione a *zero difetti* (altissima qualità), *zero ritardi* (decisione immediate), *zero sorprese* (tutto accade come previsto e pianificato, senza anomalie) e *zero rifiuti*, in collaborazione sinergica tra operatore e macchina. In tutte queste attività i dati generati dai prodotti, servizi e da tutto l'ecosistema informano e guidano un sistema di controllo con capacità cognitive (percezione, apprendimento, ragionamento e pianificazione) in grado di reagire a situazioni non previste, pianificare le azioni future e imparare e fare esperienza sulla base dei processi industriali gestiti nel passato. L'obiettivo dei sistemi di produzione del 2030 non sarà quello di rimpiazzare gli uomini con i sistemi intelligenti ma quello di sviluppare sistemi collaborativi ove le persone e sistemi intelligenti operino insieme. Questo sarà applicabile a tutti i settori industriali, manifatturiero, delle costruzioni, delle produzioni di oggetti di design e del Made-in-Italy, del settore del fashion e della farmaceutica ed ovunque la cooperazione tra sistemi digitali intelligenti ed esperti del settore possa contribuire alla resilienza e poi alla rinascita dell'Industria Italiana.

Obiettivi

Nel quadro precedentemente delineato, il meta obiettivo è pertanto quello di sviluppare un piano di ricerca che aiuti il Paese a risalire tra le nazioni leader nell'utilizzo delle tecnologie IA nell'ambito della produzione industriale, un piano di ricerca che declini gli obiettivi generali della ricerca in IA su obiettivi specifici per il mondo della produzione industriale. In particolare, gli obiettivi relativi all'utilizzo dell'IA nel mondo della produzione industriale possono essere raggruppati in: i) obiettivi relativi alla qualità, flessibilità e sicurezza della produzione; ii) obiettivi relativi all'efficientamento della produzione industriale in termini di riduzione di costi, tempi e consumi energetici; e iii) obiettivi relativi ad un IA per il mondo dell'industria che sia fidata, spiegabile e centrata sull'uomo. Questi obiettivi definiscono azioni verticali in un Progetto Nazionale di Ricerca in IA, che si sviluppi in collaborazione tra centri di ricerca, università ed industrie di ogni settore e con startup ed industrie IA. A breve termine si prevede sia la realizzazione di prototipi di sistemi e servizi a TRL 5-7, sia di nuove metodologie a TRL 3-5; a medio e lungo termine si prevede di rendere adottabili le ricerche iniziali innovative e promuovere l'economia circolare di coprogettazione ed adozione tra accademia ed industria. Gli obiettivi, e i progetti di ricerca che ne derivano, sono i seguenti.

Utilizzo dell'IA per la qualità, flessibilità e sicurezza della produzione industriale

1. **Utilizzo dell'IA per produzioni con difetti prossimi allo zero** (near-zero defect). Uno degli obiettivi principali nei sistemi di produzione riguarda, contemporaneamente, l'aumento della qualità, attraverso la riduzione (e se possibile l'eliminazione) dei difetti di produzione nei prodotti, e la riduzione dei costi per la verifica della qualità. Le metodologie basate sulla visione artificiale e algoritmi di machine learning forniscono gli strumenti metodologici per sviluppare sistemi in grado di identificare automaticamente i difetti nella produzione. L'obiettivo è sviluppare sistemi affidabili, che lavorino su tutti gli oggetti prodotti, superando le metodologie di test a campione su lotti di produzione e fornendo indicazioni su come e dove intervenire nel processo produttivo per il miglioramento della qualità.
2. **Utilizzo dei sistemi di IA per la pianificazione della produzione** attraverso la configurazione dinamica dei processi e dei macchinari dell'azienda per l'ottimizzazione degli obiettivi aziendali, come ad esempio riduzione dei costi, dei tempi di produzione, dei consumi ecc. Rientra in questo ambito anche l'utilizzo dell'IA nell'ambito del digital twin aziendale per la simulazione di scenari industriali complessi per controllare ed ottimizzare i processi aziendali e la qualità della produzione.



3. **Utilizzo dell'IA per lo sviluppo di nuovi prodotti e di nuovi materiali.** Gli algoritmi di machine learning possono essere utilizzati non solo per predire i requisiti degli utenti e sviluppare e personalizzare nuovi prodotti, ma anche per sviluppare nuovi materiali con le proprietà desiderate. In questo ambito si concentrano le tecnologie di *machine learning* generativo e di sistemi semi-supervisionato per una Ia creativa e basata sulla curiosità.
4. **IA distribuita/federata per la gestione efficiente dei processi aziendali.** In ambito industriale, la gestione dell'IA non può essere solo centralizzata in *data center* basati su tecnologia *cloud* che presenta almeno tre criticità: La prima riguarda la *riservatezza* dei dati aziendali per cui le aziende non accettano di trasferire i propri dati in un *cloud* gestito da terzi. La seconda è un problema di infrastrutture che malgrado le evoluzioni tecnologiche (es. 5G) non possono sempre far fronte, in tempo reale, all'enorme volume di dati generato dai processi aziendali. La terza è una criticità legata al consumo energetico crescente, e difficilmente sostenibile nel medio/lungo termine. Per affrontare queste criticità è vitale sviluppare strumenti e metodi di Intelligenza Artificiale *distribuiti/federati che possano essere implementati anche negli edge device*. Essi consentiranno la creazione di sistemi di IA decentralizzati, limitando, o in alcuni casi eliminando, la centralizzazione e l'elaborazione dei dati in cloud gestendo molti processi lato edge. In questo contesto la ricerca Ia deve orientarsi alla sostenibilità e alla efficienza per le risorse di calcolo e di memoria limitate sviluppando algoritmi ad-hoc pur mantenendo elevati livelli di accuratezza ed efficienza e di generalità.
5. **IA, sicurezza e cybersicurezza nell'industria.** Nell'ambito dei sistemi di produzione, e più in generale in tutti i sistemi cyber-fisici, l'IA è allo stesso tempo uno strumento di difesa per il monitoraggio e il rilevamento di attacchi, una tecnologia utilizzata per attaccare i sistemi cyber-fisici e uno strumento da difendere da possibili attacchi che ne alterino il funzionamento (*adversarial machine learning*). La ricerca in questi settori, considerando l'industria un settore critico, deve essere potenziata.

Utilizzo dell'IA per l'efficientamento della produzione industriale

6. **Utilizzo dell'IA per lo sviluppo dei sistemi di manutenzione predittiva.** La ricerca deve orientarsi a migliorare la capacità degli algoritmi di IA di analizzare grandi quantità di dati eterogenei audio, video e immagini provenienti dall'IoT aziendale, che monitora lo stato del processo produttivo, quale base per sviluppare sistemi di manutenzione predittiva in grado di identificare in anticipo anomalie, fornendo indicazioni tempestive e accurate per risolvere il problema, riducendo i costi di manutenzione e i tempi di fermo macchina.
7. **Utilizzo dei sistemi di IA per l'efficientamento energetico della produzione** sia attraverso il controllo delle fonti energetiche aziendali, rinnovabili e non, sia utilizzando i dati provenienti dall'IoT aziendale e i dati esterni (es. tariffe, previsioni atmosferiche) per ottimizzare il consumo energetico dell'azienda attraverso la pianificazione dinamica dei processi aziendali.
8. **Utilizzo dell'IA nella gestione della catena di approvvigionamento (*supply chain*)** per migliorare l'accuratezza delle previsioni e ottimizzare il rifornimento delle scorte utilizzando approcci di apprendimento in grado di utilizzare non solo i dati storici ma anche dati (quasi) in tempo reale quali, ad esempio, previsioni meteorologiche, o eventi e campagne pubblicitarie. L'obiettivo è realizzare un sistema decisionale completamente automatizzato e autoregolante per la gestione della catena di approvvigionamento. Questo è di grande impatto anche per l'industria del turismo e del Made-in Italy.
9. **Utilizzo dell'IA nei veicoli autonomi per la mobilità industriale.** L'utilizzo di trasporti automatizzati e, possibilmente, di mezzi autonomi per spostare le merci e materie prime costituisce un grande obiettivo, nell'ambito della mobilità industriale, per la riduzione dei costi, l'aumento della sicurezza e dell'efficacia nelle forniture. L'uso di veicoli (semi)autonomi nell'ambito dei processi industriali (robot mobili) è una realtà in fase di crescita mentre l'utilizzo di veicoli autonomi per il trasporto delle merci è un obiettivo di medio-lungo termine.
10. **Utilizzo dell'IA nella Robotic Process Automation.** I robot software, opportunamente programmati, sono utilizzati nell'ambito dei processi aziendali (es. contabilità, fatturazione e servizio clienti) per svolgere in automatico attività di gestione dei dati, comunicazione dei dati tra applicative e interazione tra sistemi software, riducendo i tempi di elaborazione dell'informazione, ma molte attività richiedono l'intervento dell'operatore umano. Attraverso l'utilizzo delle tecnologie IA (Computer Vision, Natural Language Processing, Machine



Learning) i robot software acquisiscono le capacità cognitive tipiche degli esseri umani quali valutare il contesto d'azione, prendere decisioni e apprendere il comportamento dell'operatore umano, in modo da interagire con gli applicativi informatici nello stesso modo dell'operatore umano.

IA fidata, spiegabile e centrata sull'uomo per il settore industriale

11. **Trustworthy AI nel mondo della produzione.** L'utilizzo dell'IA nell'ambito della produzione industriale, insieme ai tanti benefici, può impattare in modo potenzialmente negativo sui lavoratori. L'aumento dei ritmi produttivi, insieme alla possibilità di utilizzare l'IA quale strumento per il monitoraggio e il tracciamento continuo e puntuale dei lavoratori (nelle attività digitali e nei comportamenti fisici), e delle loro performance, possono portare alla violazione della privacy del lavoratore, causare discriminazioni anche di genere e produrre stress o patologie ansiose nei lavoratori. L'utilizzo dell'IA in ambiente lavorativo deve essere pertanto associato allo sviluppo di un'IA di cui ci si possa fidare (*Trustworthy AI*).
12. **Algoritmi IA interpretabili (*Explainable AI*) per applicazioni in ambito industriale.** La mancanza di trasparenza dei molti modelli IA rende non accettabile il loro utilizzo all'interno di processi industriali che abbiano vincoli di sicurezza, sia per i lavoratori che per la società. Per utilizzare gli algoritmi di IA nei processi di produzione industriale è necessario sviluppare metodi e strumenti che consentano di spiegare ed interpretare il loro comportamento e, quindi, consentirne l'utilizzo anche in applicazioni critiche per la sicurezza dell'individuo e della società.
13. **Sistemi IA collaborativi con le persone** per migliorare la qualità dei processi. L'obiettivo è quello di sviluppare algoritmi di IA centrati sulle persone (*Human-centric AI*) che, non sostituendo l'individuo, siano in grado di operare con diversi livelli di automazione, lasciando la possibilità di intervento all'essere umano quando gli umani siano nella posizione di prendere una decisione migliore, o comunque avendo informazioni migliori, rispetto all'algoritmo. In questo modo gli algoritmi di IA diventano un'estensione delle capacità cognitive/decisionali umane, attraverso una continua interazione e cooperazione tra persone e sistemi intelligenti. La ricerca in IA deve supportare la progettazione di **nuove generazioni di Robot collaborativi e cooperativi** che impiegano tecnologie di *computer vision*, *NLP* e *deep learning* per interagire con gli operatori umani in modo naturale e garantendo la loro sicurezza nello spazio condiviso. La collaborazione tra il robot e l'operatore umano rende, inoltre, il processo di apprendimento del robot estremamente flessibile. L'istruttore umano guida il robot nel processo di apprendimento iniziale e poi l'apprendimento prosegue attraverso l'interazione cooperativa con il lavoratore umano.
14. **Utilizzo di IA per la co-progettazione innovativa.** L'impiego di soluzioni di IA quali le reti generative per progettazione prototipale esplorativa, l'interfaccia in linguaggio naturale, l'impiego di IA in strumenti di simulazione, sono la frontiera dell'intelligenza collaborativa tra progettista, designer ed IA. La ricerca in nuovi strumenti di IA creativa e basati sulla curiosità permettono l'esplorazione di spazi di progettazione inusuali e fuori dagli schemi umani che permetteranno una evoluzione della industria italiana Intelligente-by-design.

IA fidata, spiegabile e centrata sull'uomo per il settore industriale

15. **Trustworthy AI nel mondo della produzione.** L'utilizzo dell'IA nell'ambito della produzione industriale, insieme ai tanti benefici, può impattare in modo potenzialmente negativo sui lavoratori. L'aumento dei ritmi produttivi, insieme alla possibilità di utilizzare l'IA quale strumento per il monitoraggio e il tracciamento continuo e puntuale dei lavoratori (nelle attività digitali e nei comportamenti fisici), e delle loro performance, possono portare alla violazione della privacy del lavoratore, causare discriminazioni anche di genere e produrre stress o patologie ansiose nei lavoratori. È pertanto importante sviluppare all'interno del mondo produttivo un utilizzo dell'IA rispettoso della persona. In particolare, in linea con le raccomandazioni della Commissione Europea, l'utilizzo dell'IA in ambiente lavorativo deve essere associato allo sviluppo di un'IA di cui ci si possa fidare (*Trustworthy AI*), basata sul rispetto di temi etici quali: centralità umana, trasparenza, privacy, benessere sociale e rispetto dell'ambiente.
16. **Algoritmi IA interpretabili (*Explainable AI*) per applicazioni in ambito industriale.** La mancanza di trasparenza dei molti modelli IA rende non accettabile il loro utilizzo all'interno di processi industriali che abbiano vincoli di sicurezza, sia per i lavoratori che per la società. Per utilizzare gli algoritmi di IA nei processi di produzione industriale è necessario sviluppare metodi e strumenti che consentano di spiegare ed



interpretare il loro comportamento e, quindi, consentirne l'utilizzo anche in applicazioni critiche per la sicurezza dell'individuo e della società.

17. **Sistemi IA collaborativi con le persone** per migliorare la qualità dei processi. L'obiettivo è quello di sviluppare algoritmi di IA centrati sulle persone (*Human-centric AI*) che, non sostituendo l'individuo, siano in grado di operare con diversi livelli di automazione, lasciando la possibilità di intervento all'essere umano quando gli umani siano nella posizione di prendere una decisione migliore, o comunque avendo informazioni migliori, rispetto all'algoritmo. In questo modo gli algoritmi di IA diventano un'estensione delle capacità cognitive/decisionali umane, attraverso una continua interazione e cooperazione tra persone e sistemi intelligenti. La ricerca in IA deve supportare la progettazione di **nuove generazioni di Robot collaborativi e cooperativi** che impiegano tecnologie di *computer vision*, *NLP* e *deep learning* per interagire con gli operatori umani in modo naturale e garantendo la loro sicurezza nello spazio condiviso. La collaborazione tra il robot e l'operatore umano rende, inoltre, il processo di apprendimento del robot estremamente flessibile. L'istruttore umano guida il robot nel processo di apprendimento iniziale e poi l'apprendimento prosegue attraverso l'interazione cooperativa con il lavoratore umano.

Impatti

L'impatto atteso riguarda tutti gli ambiti aziendali, dalla produzione industriale alla logistica interna ed esterna, dalla robotica industriale, alla gestione delle vendite. L'impatto riguarda l'industria manifatturiera e di produzione meccanica, ma anche la produzione del made-in-Italy, fino all'industria agro-alimentare. Coerentemente con quanto previsto nel Cluster 4 del programma Horizon Europe (HE), e in accordo alle priorità del PNR, gli impatti previsti riguardano: OB1: Conseguire una posizione di leadership nell'economia circolare (Impatto EU#20): la ricerca in IA è abilitante nei modelli di economia circolare per ottimizzare l'utilizzo delle risorse produttive ed il ciclo di vita dalla progettazione, alla produzione, ai servizi di vendita e post-vendita, al riutilizzo/riciclo, fino allo smaltimento, oltre che per l'efficientamento energetico. OB2: Raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale (Impatto EU#21): l'IA è la tecnologia chiave per ecosistemi di produzione industriale flessibili e dinamici, in grado di reagire a situazioni non previste, pianificare il futuro e imparare e fare esperienza dal passato. OB3: Costruire un'economia dei dati (Impatto EU#22): l'utilizzo dell'IA in ambito industriale pone i dati generati dai prodotti, servizi e da tutto l'ecosistema aziendale al centro della trasformazione digitale dell'industria, garantendo allo stesso tempo, in rispetto delle linee guida etiche per un'IA affidabile e la sicurezza dei dati. Inoltre, gli sviluppi previsti nel campo dell'IA sugli edge device rispondono alla richiesta di evitare lo spostamento dei dati garantendone quindi la privacy e la security. OB4: Consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili (Impatto EU#23): gli aspetti di human-centered AI sono fondamentali per la adozione consapevole di strumenti di IA. Lo sviluppo di sistemi collaborativi e spiegabili rappresenta inoltre un importante obiettivo per le tecnologie affidabili e centrate sulla persona. OB5: Sostenere inclusione e innovazione (EU#25): Una IA per la produzione industriale che sia affidabile, accettabile per la privacy dell'individuo, spiegabile e centrata sull'uomo è alla base di un ecosistema dove persone e macchine cooperano in modo sicuro e affidabile al processo produttivo, e gli algoritmi di IA diventano un'estensione affidabile delle capacità umane. OB6: Raggiungere una posizione di leadership nell'aerospazio (Impatto HE#24): l'IA ha un ruolo centrale nello sviluppo di veicoli autonomi, inclusi i mezzi spaziali, e i sistemi IA sono centrali nell'analisi dei dati relativi all'osservazione della Terra. OB7: Rafforzare l'ecosistema industria-ricerca e il trasferimento tecnologico. Sviluppo della ricerca in IA e la sua adozione nel settore della produzione industriale nazionale attraverso una strategia articolata in ricerca e innovazione che investa in programmi di ricerca coordinati a breve medio e lungo termine, con obiettivi di maturità tecnologica decrescenti, volti a facilitare il trasferimento dei risultati della ricerca alla produzione industriale. A fianco delle attività di innovazione i programmi di formazione garantiscono l'adeguamento delle competenze dei lavoratori alle tecnologie digitali, ed in particolare all'IA.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono molte interconnessioni con altri ambiti tematici nel grande ambito Informatica, Industria e Aerospazio: *Transizione digitale, I4.0* – L'IA per la produzione industriale è una tecnologia di base per la *Transizione Digitale I4.0* e in particolare per l'articolazione strategica "Articolazione 3: Competitività del Paese". La digitalizzazione della produzione è infatti uno degli ambiti principali per la competitività del sistema Paese e i sistemi



intelligenti sono il tessuto connettivo dei sistemi di produzione del futuro. *Big Data e HPC* – L’IA per la produzione industriale è fortemente correlata al settore HPC e Big Data. I Big Data relativi ai sistemi di produzione, e la loro elaborazione utilizzando gli strumenti HPC, hanno infatti un ruolo centrale nello sviluppo e analisi dei modelli IA, mentre l’uso di tecniche di *machine learning* e gli strumenti di Intelligenza Artificiale sono fondamentali per l’analisi dei Big Data. *Robotica* – La robotica ha un ruolo centrale nell’ambito della produzione industriale e si avvale in misura crescente di metodi e tecniche di Intelligenza Artificiale. In particolare, nel settore della robotica collaborativa, i robot utilizzano le metodologie IA per il riconoscimento/interpretazione del comportamento dell’uomo, al fine di sviluppare un’interazione “naturale” tra uomo e robot in ambito industriale. *Innovazione per l’industria manifatturiera* – L’IA per la produzione industriale è una tecnologia chiave per l’industria 4.0, in particolare con riferimento ai processi e sistemi di produzione flessibili, personalizzati, scalabili e riconfigurabili. *Aerospazio* – Le tecnologie dell’IA per la produzione industriale hanno un ruolo importante nello sviluppo dei veicoli autonomi, una delle articolazioni strategiche dell’Aerospazio, e sono, inoltre, uno strumento importante per lo sviluppo di nuovi materiali con le proprietà desiderate, tema rilevante per l’Articolazione “Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative”. Inoltre, possono essere identificati significativi collegamenti con altri ambiti, quali: *Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti* – I sistemi di produzione sono strutture da proteggere e le tecnologie dell’IA hanno un ruolo centrale per la difesa delle aziende dai cyber-criminali e cyber-terroristi. Inoltre, gli algoritmi di machine learning, utilizzando i dati provenienti da sistemi di monitoraggio, *in-situ* e da remoto, costituiscono uno strumento fondamentale per l’individuazione di possibili condizioni di criticità di strutture, infrastrutture e reti collegate al mondo della produzione industriale. *Cybersecurity* – L’IA nel settore della produzione industriale e la cybersecurity sono fortemente collegate. L’utilizzo dell’IA può esporre a minacce cibernetiche rilevanti i sistemi di produzione (es. rischi di fermo impianto e rischi di sicurezza per le persone e la società), se i modelli o i dati IA sono oggetto di un attacco cyber. L’IA è, inoltre, una tecnologia che può essere utilizzata come tecnologia sia di attacco che di difesa per le tecnologie digitali utilizzate nell’ambiente industriale. *Energetica industriale* – L’utilizzo dell’IA nell’ambito dei sistemi di produzione costituisce uno strumento per l’efficientamento energetico degli insediamenti industriali, sia che utilizzino fonti energetiche rinnovabili che non. *Creatività, Design e Made in Italy*. L’IA per la produzione industriale ha un ruolo centrale in molte tematiche di ricerca del *Made in Italy*, quali: i nuovi modelli di produzione e distribuzione, la valorizzazione delle potenzialità umane nel rapporto con le macchine, l’uso dell’Intelligenza Artificiale verso produzioni *customer based*. *Green technologies* – L’utilizzo dell’IA nell’ambito della produzione industriale permette di ottimizzare l’utilizzo delle risorse produttive ed i prodotti stessi durante tutto il loro ciclo di vita dalla progettazione, alla produzione, ai servizi di vendita e post-vendita, al riutilizzo/riciclo, fino allo smaltimento, con l’obiettivo di arrivare ad aziende a zero rifiuti. *Tecnologie alimentari* – L’Intelligenza Artificiale è uno strumento abilitante nei sistemi di produzione del settore alimentare. In particolare l’IA è identificata come il *game-changer* nell’ambito delle agro-tecnologie per guidare la trasformazione del sistema produttivo agroalimentare.

Key Performance Indicators

La qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti sarà valutata mediante specifici indicatori, 1.KPI scientifico, 2. KPI scientifico-tecnologico di impatto industriale, 3.KPI di impatto sociale; 4.KPI nelle sfide sociali e in ambiti strategici 5. KPI di impatto infrastrutturale, tra i quali:

- **HPI eccellenza scientifica:** misurata sulla base del numero di pubblicazioni su riviste e su atti di convegni internazionali di ricercatori operanti in centri di ricerca e università italiane, sia in ambito IA, sia in collaborazione con le discipline industriali.
- **KPI di innovazione scientifico-tecnologica:** misurato sulla base di prototipi e sistemi a TRL 5-7 sviluppati, interamente in Italia, in modo sinergico tra il mondo della ricerca e le imprese, sul numero di brevetti rilasciati e sul numero di nuove aziende o startup create.
- **KPI di impatto economico:** misurato sulla base della riduzione dei costi, sull’aumento della produttività, sulla diminuzione dei difetti di produzione e dei fermi macchina.
- **KPI di impatto ambientale:** misurato sulla base del risparmio energetico e sulla base della riduzione degli scarti e rifiuti aziendali, associati a una gestione “intelligente” dei sistemi di produzione.



- ***KPI di sicurezza sul lavoro:*** misurato sulla base riduzione degli infortuni sul lavoro attraverso il monitoraggio di tutto il processo produttivo e dell'interazione uomo-macchina. Riduzione dei carichi di lavoro dei lavoratori attraverso l'utilizzo di robot collaborativi.



4.4 Robotica

Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni

L'Italia ha storicamente sia una grande propensione scientifica sia una forte capacità tecnologica nella concezione e nella realizzazione di **macchine intelligenti**. Le radici di questa particolare predisposizione risalgono perlomeno a cinque secoli fa, quando la scienza e l'ingegneria da una parte e il gusto artistico dall'altra si ritrovarono in un felice connubio che metteva la persona e le leggi della natura al centro delle migliori espressioni dell'intelletto umano. Se le radici dell'eccellenza della ricerca robotica in Italia sono indubbiamente nel Rinascimento, il suo fiorire nell'ultimo dopoguerra è legato alla convergenza di due fattori: dal **lato accademico**, la presenza di una **forte scuola di ricerca interdisciplinare tra automatica, bioingegneria, cibernetica e meccanica**; e dal **lato industriale**, dal **riconosciuto primato nelle macchine operatrici e calcolatrici, nei veicoli terrestri (bici, moto, auto, camion, trattori ecc.) e nella realizzazione di impianti e processi produttivi**.

La Robotica italiana si è contraddistinta fin dalle origini: il primo robot telemanipolatore usato al mondo in uno scenario reale, e tuttora in uso continuativo presso il Joint European Thorus di Culham, UK, è il MASCOT progettato da Carlo Mancini del CNEN nel 1959. Oggi, la **ricerca robotica italiana** vanta risultati invidiabili: **la qualità media delle nostre pubblicazioni è la migliore al mondo per quel che riguarda il numero di pubblicazioni nel Top 10% delle più citate, e seconda solo agli USA nell'impatto e nel numero di citazioni medio** (Field-Weighted Citation Impact e Citations per Pub) [fonte: SciVal, Giugno 2020]. Il trasferimento dell'eccellenza della ricerca in valore economico e industriale è anch'esso molto alto: non solo è italiana una delle aziende protagoniste del mercato, Comau Robotics, ma gran parte dell'industria che produce le macchine intelligenti che fanno della manifattura italiana la prima in Europa per valore aggiunto [fonte: Il Sole 24 Ore, 7 Gennaio 2020] è oggi basata su idee e tecnologie mecatroniche e robotiche di avanguardia.

Alle basi del successo della Robotica italiana ci sono anche le politiche di investimento del Governo italiano, che per esempio finanziò nel quinquennio 1989-1994 un Progetto Finalizzato Robotica (PFR). A fronte di un investimento non enorme di 56,4 miliardi di lire, il PFR riuscì a mobilitare risorse accademiche e industriali con risultati straordinari, consistenti in circa 300 unità di ricerca che impiegarono più di mille ricercatori nelle università e negli enti di ricerca oltreché nelle aziende, portando a più di 3.400 risultati in termini di brevetti, prototipi industriali, tesi e pubblicazioni. Il fattore di leva del PFR è stato molto elevato, avendo portato negli anni successivi a oltre 200 progetti finanziati dall'Europa per oltre 120 milioni di Euro (una quota del 16,5% dei finanziamenti totali, a fronte di un contributo italiano alla ricerca comunitaria del 13%).

Queste brevi note sulla storia della Robotica in Italia servono a motivare e contestualizzare il presente sforzo del Governo verso un **Piano Nazionale della Ricerca (PNR)** che riprende il filo di una tradizione di eccellenza, per costruirvi sopra iniziative di avanguardia. È auspicabile che un fattore di leva ancora maggiore di quello citato possa essere raggiunto con investimenti strategici fatti in una fase come l'attuale, caratterizzata da una **profonda riconversione produttiva fondata sulle nuove esigenze di mercato (che vuole prodotti diversificati a breve ciclo di vita) e di sicurezza, e sulle nuove tecnologie, orientata alle priorità strategiche di digitalizzazione, infrastrutture critiche ed energia pulita**.

A differenza di altri settori, nella Robotica l'Italia parte tra i migliori rispetto ai partner europei. Al contempo, nel contesto mondiale l'Europa parte almeno alla pari con i concorrenti americani e asiatici. L'Europa ha circa un terzo del mercato mondiale della robotica industriale, mentre nel mercato dei robot di servizio i produttori europei producono il 63% dei robot non militari. **Investire in questo settore significa per l'Italia e l'Europa creare le basi per un primato tecnologico in un campo che ha enorme potenziale non solo economico, ma più generalmente sociale**.

La tecnologia robotica è infatti destinata a influenzare ogni aspetto del lavoro e della vita delle persone, offrendo la possibilità di trasformarli positivamente, aumentando i livelli di efficienza e di sicurezza e fornendo nuovi servizi e risposte alle esigenze di una popolazione che cresce in età media. **La robotica** è destinata a diventare la tecnologia di guida alla base di un'intera **nuova generazione di dispositivi autonomi** che, attraverso le loro capacità di



apprendimento, possano interagire con il mondo che li circonda e, quindi, forniscano l'**anello mancante tra il mondo digitale e quello fisico in cui viviamo**.

In questo senso si spiega il neologismo **Tecnologie dell'Interazione** (InterAction Technologies, IAT) introdotto per spiegare come robotica e macchine intelligenti rappresentino il futuro di quelle Tecnologie dell'Informazione (ICT) che oggi si fermano sul piano della raccolta ed elaborazione di dati, ma che dispiegheranno tutte le loro potenzialità solo quando potranno essere usate per **intervenire fisicamente sull'ambiente e sulle persone**, per modificare il primo e assistere le seconde con la capacità di percepire e agire nel mondo fisico in tempo reale.

La robotica è già oggi il **motore della competitività e della flessibilità nelle industrie manifatturiere su larga scala**. Senza la robotica, molte delle industrie manifatturiere di successo non sarebbero in grado di competere dalle loro basi operative in Italia e in Europa, né tantomeno saranno in grado di attrarre nuovamente quelle produzioni che sono state delocalizzate. Mentre nel settore manifatturiero di larga scala la Robotica è già strumento fondamentale di produttività, è proprio grazie allo sviluppo delle **nuove tecnologie della robotica collaborativa** (ossia della robotica che consente l'interazione fisica con l'uomo) che l'innovazione sta diventando sempre più rilevante anche per le industrie più piccole, che sono fondamentali per la capacità produttiva e occupazionale dell'Italia.

La **robotica di servizio** mostrerà effetti ancora più dirimpenti sulla competitività delle industrie non manifatturiere come l'**agricoltura**, i **trasporti**, l'**assistenza sanitaria**, la **sicurezza** e i pubblici servizi o **utility**. La crescita in queste aree nel prossimo decennio sarà esplosiva. Da quella che è attualmente una base relativamente limitata di partenza, le previsioni indicano che i robot di servizio utilizzati nelle aree non manifatturiere potranno presto diventare il settore della robotica a maggior valore aggiunto.

Al di là dell'impatto sempre crescente nella nostra società, la robotica ha caratteristiche spiccate di **ricerca scientifica fondamentale**, ponendosi naturalmente come fulcro multidisciplinare delle Tecnologie dell'Interazione. In questo contesto la robotica odierna si trova a continuare sostanzialmente lo spirito di Leonardo da Vinci (1452-1519), il quale cercò sempre di dimostrare la **stretta analogia tra la macchina e il corpo umano**, che considerava entrambi come meravigliosi risultati della Natura, le cui leggi ferree regolano non solo gli strumenti meccanici ma anche il movimento degli animali.

Le questioni fondamentali della **robotica moderna** coinvolgono le **scienze della mente** e la **fisiologia**, le **scienze della salute** e della **riabilitazione**, le **scienze dei materiali** e dell'**energia**, la **matematica** e la **scienza dell'apprendimento artificiale**. Si è già detto della forte posizione internazionale dell'Italia e dell'Europa nella ricerca scientifica sulla robotica. Al di là dei dati bibliometrici sopra riportati, sono europee e italiane alcune delle innovazioni che hanno trasformato la robotica mondiale. Tra queste, la **robotica collaborativa** che ha affiancato e integrato il paradigma della robotica industriale e ha permesso di far lavorare persone e robot in prossimità, aumentando la produttività e l'ergonomia del lavoro mantenendo al contempo un'elevata sicurezza. In altri campi, ricercatori italiani sono stati pionieri della nascita di nuove aree, cui oggi sono dedicati intere conferenze e riviste internazionali, come la **biorobotica**, le **interfacce aptiche**, la **robotica** e la **robotica soft**. Sono stati italiani due presidenti e quattro vicepresidenti della società mondiale IEEE Robotics and Automation, e sono italiani quattro *Editor-in-Chief* delle maggiori riviste internazionali del settore, due delle quali fondate da uno scienziato italiano.

Al di là delle problematiche scientifiche e tecniche, lo sviluppo e l'uso sempre più diffuso della robotica solleva importanti questioni etiche, sociali e legali. L'Europa è riuscita a guidare il dibattito mondiale in questo settore, ed è importante che le indagini **etiche, legali, sociali ed economiche (ELSE)** siano in prima linea nelle considerazioni relative allo spiegamento e all'uso della robotica nella società italiana ed europea. La robotica italiana è stata la culla delle discussioni su queste implicazioni partendo dai primi incontri sulla Robotica del 2004. Sin da allora esiste una profonda consapevolezza che le capacità dei robot autonomi avranno un forte impatto sulla società e che il loro sviluppo debba essere guidato da chiari principi etici per essere inclusivo e non creare nuove divisioni sociali. La **partecipazione di filosofi, giuristi, sociologi ed economisti alla comunità robotica** è stata determinante per creare questa consapevolezza, e sarà molto importante mantenerla e rafforzarla per affrontare i nuovi problemi che la robotica crea o potrebbe creare.



Le osservazioni fatte evidenziano un aspetto particolarmente degno di nota della **robotica**, ovvero la sua **intrinseca natura multidisciplinare**, che vede collaborare e incontrarsi ricercatori provenienti dall'ingegneria dell'informazione, industriale e civile con informatici, matematici e fisici, medici, fisiologi, biologi e psicologi, filosofi, economisti e giuristi, in un vero e proprio **melting pot scientifico e culturale** che ne fa l'habitat ideale per lo **sviluppo sistemico della prossima rivoluzione tecnologica**. La comunità robotica nazionale, costituita da ricercatori e professionisti di accademie, centri di ricerca, aziende, start-up, che provengono da tutte queste diverse culture ma concorrono in una unica visione di sistema delle Tecnologie dell'Interazione, è riunita e organizzata nell'**Istituto di Robotica e Macchine Intelligenti (I-RIM)**, (<http://i-rim.it>). L'innata vocazione della comunità robotica a superare settori e steccati disciplinari, che sovente hanno ostacolato lo sviluppo della ricerca nell'accademia italiana, deve essere ulteriormente incoraggiata e favorita nel futuro quadro della ricerca nazionale.

Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

La **Robotica** si pone naturalmente **all'intersezione delle transizioni che le società evolute si apprestano ad affrontare**, sia quelle motivate da una accresciuta consapevolezza delle nuove problematiche economiche, naturali e sociali, sia quelle motivate dal CoViD-19, che ha suscitato profondi cambiamenti dello stile di vita in tutto il mondo. L'intreccio di queste transizioni si presenta, a una prima osservazione, come un rompicapo irresolubile, tante sono le variabili e i vincoli presenti, e ciascuna transizione non può essere affrontata indipendentemente dalle altre, a causa delle forti interdipendenze che esistono. Occorrono quindi soluzioni che possano **affrontare queste transizioni in modo sistemico, creando benessere fisico, economico e ambientale per la società nel suo insieme in modo democratico e solidale**.

La Robotica si presta a essere una di queste soluzioni perché le sue tecnologie abilitanti possono essere combinate per realizzare dispositivi per le applicazioni più diverse, mantenendo le stesse caratteristiche fondamentali e sviluppando delle filiere verticali che possono ottimizzare i tempi di sviluppo e l'inserimento sul mercato. Per giustificare queste affermazioni conviene esaminare nel dettaglio l'impatto che la Robotica può avere nelle varie transizioni e come risponda in modo immediato alle necessità imposte dal nuovo modo di vivere post CoViD-19.

Transizione ambientale. L'impatto che i cambiamenti climatici hanno sul nostro modo di vita impone una riflessione su come rallentarli e possibilmente eliminarne le cause. I cambiamenti climatici però sono anche l'effetto macroscopico prodotto dai nostri comportamenti quotidiani, come per esempio il traffico cittadino, il trasporto di beni e alimenti da posti remoti del mondo, l'aumento smisurato dei viaggi di lavoro e di piacere, tanto per citarne alcuni. L'epidemia che ci ha colto di sorpresa ci ha costretti a rinunciare alla maggior parte di queste attività con immediato effetto positivo sul clima e sulla natura che ci circonda. Questo cambiamento dimostra, se ci fosse stato qualche dubbio, che una riduzione del traffico dovuto a viaggi, trasporti e accesso alle aree cittadine porta a risultati immediati e facilmente misurabili. Le **tecnologie robotiche** sono state utilizzate in maniera sperimentale nel periodo dell'emergenza CoViD-19 per **mantenere contatti e interazioni fisiche con le persone e gli ambienti lontani**, soprattutto mediante sistemi di telepresenza e teleoperazione. Su queste possibilità si potrà fare ancora maggior leva per evitare tutti i viaggi che non sono necessari. Per esempio, la logistica dell'ultimo miglio, che permette di collegare i grossisti ai negozi di quartiere potrebbe essere automatizzata mediante depositi e trasporto di quartiere con robot magazzinieri e veicoli autonomi per la consegna ai negozi. Questo ci permetterebbe di rinforzare il modello che ha dimostrato di poter funzionare anche al di là delle aspettative nei nostri quartieri cittadini negli ultimi mesi. Analogamente, la salute pubblica potrebbe essere resa indipendente dall'accesso agli ospedali mediante **sistemi robotici di osservazione e di compagnia** che, soprattutto nel caso delle persone anziane, potrebbero **tenere sotto controllo la salute dei loro assistiti e stimolare una vita attiva**.

Transizione digitale. Per transizione digitale, di solito si intende il passaggio delle informazioni dal formato cartaceo a quello digitale, ma si tralascia di considerare che questo tipo di digitalizzazione si ferma nel momento in cui richiede il contatto fisico con un oggetto. Questa **interazione con il mondo fisico** è presente in ogni fase della digitalizzazione, sia per acquisire quelle informazioni che non sono native digitali, sia per eseguire il risultato della transizione. Anche



in questo tipo di transizione, i dispositivi robotici sono essenziali per facilitare la digitalizzazione delle informazioni, per aiutare il personale incaricato a questa funzione o semplicemente per rendere la trasformazione digitale efficace. Pensiamo per esempio alla **conservazione dei beni culturali** e a come renderli maggiormente accessibili, soprattutto in tempo di restrizioni a viaggi e riduzione del turismo. I sistemi robotici sono attualmente usati per raccogliere dati ad alta risoluzione di opere d'arte e manoscritti per permetterne sia l'analisi accurata sia la manutenzione, sia ancora la creazione di modelli tridimensionali per facilitarne il godimento al pubblico più vasto. Si possono progettare anche dei sistemi robotici in grado di integrare la resa visiva di panorami e monumenti con le sensazioni di movimento e tattili proprie di un contatto ravvicinato con quell'ambiente, creando la sensazione di una partecipazione completa e immersiva all'esperienza artistica. Un altro esempio di come i robot saranno essenziali nella transizione digitale si trova nell'**ambiente medicale**, dove la digitalizzazione si ferma all'essere umano che deve somministrare il farmaco corretto, eseguire l'intervento chirurgico, controllare l'esecuzione di una terapia, o formulare la diagnosi corretta. In tutti questi casi, la collaborazione con un robot intelligente è la condizione essenziale per completare la transizione digitale evitando gli errori umani. Per esempio, nel caso della diagnosi al tumore della prostata, il 30% delle diagnosi è errata a causa dell'imprecisione nell'esecuzione della biopsia da parte dell'operatore umano. L'utilizzo di un robot permetterà di mantenere la precisione dell'analisi dei dati clinici anche nella esecuzione della manovra e nella diagnosi finale della patologia. Analogamente, un sistema robotico per la riabilitazione potrebbe permettere ai terapeuti di supervisionare anche i pazienti impossibilitati a raggiungere l'ospedale o il centro fisioterapico, permettendo loro di eseguire terapia più prolungate ed efficaci. Si può prevedere che l'uso diffuso di tecnologie di riabilitazione robotica domiciliare supervisionata da remoto possa creare un mercato di dispositivi a basso costo in alternativa ai costosissimi robot medicali attualmente presenti sul mercato, e indurre una crescita dei servizi alla popolazione anziana e dei posti di lavoro per gli addetti delle professioni sanitarie.

Transizione economica. L'area in cui i sistemi robotici intelligenti potranno forse avere l'impatto maggiore è quello della transizione economica tra il modello attuale di sviluppo economico e un nuovo modello sostenibile, rispettoso dell'ambiente e della persona, una vera innovazione sociale catalizzata dalla robotica. Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, però, il vero valore dei robot non sarà solo nell'efficientamento dei processi produttivi e nella creazione di fabbriche in cui gli operai e i robot potranno collaborare in modo sicuro, ma anche nel recupero di attività e professioni che non sono attualmente economiche in Italia. Per esempio, un settore chiave per l'economia italiana è quello della **moda**, la cui produzione è però fatta, nella maggior parte dei casi, in nazioni con costi di produzione bassissimi, sempre più lontani dall'Italia. La riduzione, se non l'eliminazione dei lunghi viaggi di trasporto, mette questo modello produttivo al di fuori del mercato e richiede quindi soluzioni innovative. Questo è il problema del **reshoring**, il ritorno nei paesi avanzati delle attività produttive trasferite nei paesi meno sviluppati, grazie all'uso di tecnologie robotiche che rendono nuovamente queste produzioni economicamente sostenibili. Per esempio, la produzione di capi di abbigliamento e di scarpe è stata trasferita in gran parte all'estero alla ricerca di costi di produzione sempre più bassi. Una fabbrica robotizzata con dispositivi in grado di produrre capi di abbigliamento in maniera automatica e a costi contenuti permetterebbe di recuperare delle attività produttive scomparse in Italia da anni. Questo recupero non sarebbe fatto a scapito dei lavoratori, ma anzi permetterebbe di creare una **nuova classe di operatori e tecnici della produzione robotizzata**, in grado di programmare e gestire i processi e di trasferire le conoscenze necessarie alla produzione ai nuovi robot intelligenti. Questa nuova generazione di robot collaborativi sarà in grado di apprendere azioni complesse come assemblare e cucire un capo d'abbigliamento o costruire una calzatura. Permetterà inoltre di **aiutare molti artigiani**, che invecchiando non riescono più a svolgere le parti fisicamente più impegnative della propria professione né trovano giovani di bottega che li possano aiutare. La robotica collaborativa e intelligente sarà un valido aiuto a un artigiano per compiere il proprio lavoro e un attrattore per i giovani che non si sentiranno più legati a una sola specializzazione produttiva, quella fatta nella bottega artigiana, ma diventeranno tecnici robotici in grado di lavorare in professioni diverse, in aziende piccole e grandi.

Transizione energetica. Una delle chiavi per una transizione energetica efficace è quella dell'**economia circolare** e in particolare del riciclo dei componenti. Un robot può essere addestrato a smontare dei dispositivi obsoleti permettendo di **riciclare i materiali e i componenti** riutilizzabili. Lo sviluppo di capacità robotiche di questo tipo permetterà di ridurre l'inquinamento nelle nazioni più povere, dove soprattutto i dispositivi elettronici vengono smontati, e creerà un nuovo mercato e una nuova occupazione. Un altro aspetto della transizione energetica è quello relativo all'**agricoltura a chilometro zero**. Anche in questo caso, l'acquisto di prodotti in continenti diversi, come per esempio le fragole in



Sud America per rifornire tutto l'anno i mercati, è energeticamente molto dispendioso e potrebbe divenire impossibile a causa delle limitazioni ai viaggi che si protrarranno in futuro. Una strada che alcune aziende stanno esplorando è quella delle coltivazioni in serre climatizzate gestite da robot specializzati. Questo tipo di produzione robotizzata potrebbe ridurre in modo drastico la necessità di trasportare alcune derrate alimentari per lunghe distanze e le operazioni di manutenzione e di raccolta fatta da robot permetterebbero anche di rispondere alla carenza di personale causata dal blocco della mobilità delle persone. Nei mesi del *lockdown*, per esempio, le aziende agricole non sono state in grado di trovare il personale stagionale necessario per i raccolti e molti prodotti sono andati persi perché non si è potuto completare il raccolto. L'automazione in agricoltura non è una cosa nuova, ma l'applicazione accurata dell'automazione è possibile solo usando **dispositivi intelligenti che rispettino l'ambiente**. Tipico è il caso della coltivazione dell'uva, ormai diventato prodotto dominante in molte zone d'Italia, in cui il trattamento antiparassitario rende l'aria irrespirabile e la raccolta dei grappoli viene fatta o in modo industriale con metodi molto drastici, oppure manualmente. Non esistono soluzioni intermedie che siano economicamente valide e al tempo stesso non creino danni al raccolto. Un sistema robotico potrebbe essere anche in questo caso un ausilio utilissimo all'industria viti-vinicola per ovviare alla scarsa disponibilità di manodopera e per creare le premesse per una viticoltura di precisione, rispettosa dell'ambiente e degli abitanti della zona.

Transizione sociale. La transizione sociale più importante che abbiamo di fronte è quella dell'invecchiamento della popolazione in cui sempre più persone anziane, parzialmente autosufficienti, sono sole e a carico della società. L'emergenza sanitaria di questi mesi ha messo in evidenza anche in questo caso la fragilità del sistema assistenziale basato sulla disponibilità di mano d'opera proveniente dalle nazioni dell'Est. La mancanza di questa risorsa renderà evidente la necessità di creare un **nuovo modello per il supporto degli anziani basato sull'estensione dell'autosufficienza delle persone**. Per ottenere questo risultato serve ovviamente un grosso sforzo dal punto di vista medico e assistenziale, intensificando le attività di prevenzione e di medicina del territorio, ma si devono creare anche degli ambienti intelligenti in grado di fornire alcune forme di supporto fisico e cognitivo agli anziani. La robotica può fornire delle risposte adeguate e immediatamente utilizzabili. Può servire a creare degli ambienti intelligenti in grado di interpretare le esigenze degli anziani e di fornire la risposta o l'azione necessaria. Pensiamo solo al problema dell'aderenza alle prescrizioni mediche. Si calcola che il costo annuo della mancata aderenza alle prescrizioni mediche sia nell'intervallo da US\$ 100 a US\$ 290 miliardi (New England Healthcare Institute, 2008) in USA, € 1,25 miliardi in Europa (Pharmaceutical Group of the European Union, 2009), e circa AUS\$ 7 miliardi in Australia (AIHW, Health and welfare expenditure series no. 57. Cat. no. HWE 67. Canberra: AIHW, 2016). Un robot domestico potrebbe, tra le sue varie funzioni, ricordare all'anziano l'orario del farmaco e controllare in modo non intrusivo se il farmaco è stato preso. Un robot domestico potrebbe essere un dispositivo di compagnia per l'anziano solo, potrebbe compiere piccole azioni domestiche, come raccogliere un oggetto dal pavimento, portare un bicchiere d'acqua o aiutare nel movimento e interagire con l'anziano per mantenerne attive le capacità cognitive. La trasformazione dei prototipi già dimostrati in alcuni laboratori in prodotti affidabili e vendibili sul mercato richiede ulteriore ricerca per aumentare l'autonomia dei robot mantenendo elevati standard di sicurezza e privacy. Il prevedibile sviluppo di una **industria dei personal robot**, oltre alla creazione di valore diretto, genererebbe anche nuove professioni e un nuovo indotto per la programmazione, la distribuzione e l'assistenza, come si è verificato per i personal computer e per i telefoni cellulari, con indubbi benefici per tutta l'economia.

Obiettivi 2021-2027

L'uso combinato di tecnologie che spaziano dalla robotica collaborativa all'intelligenza artificiale, dalla robotica mobile alla realtà virtuale, dal 5G agli avatar, può permettere di mantenere lo stretto rapporto del nostro tessuto sociale produttivo con gli strumenti e gli ambienti della produzione, ma anche con le infrastrutture per la mobilità e le comunicazioni, mantenere l'operatività delle strutture sanitarie e assistenziali, garantire la sicurezza e ridurre i rischi naturali connessi con le infrastrutture critiche, migliorare l'inclusività delle postazioni lavorative e la qualità della vita dei lavoratori, e ridurre le emissioni inquinanti tramite la riduzione del pendolarismo grazie all'estensione dello *smart working* alle professioni che coinvolgono lavoro fisico.

Le **tecnologie abilitanti** cui la ricerca in robotica deve focalizzarsi includono:



- Tecnologie per l'**apprendimento continuo e l'integrazione di percezione e attuazione con intelligenza naturale e artificiale**, che permettano agli operatori di avvalersi delle capacità aumentate dalle macchine senza essere espropriati delle proprie indispensabili capacità cognitive e operative
- Tecnologie per aumentare l'**intuitività, l'usabilità e l'ergonomia delle interfacce uomo-robot**, che consentano l'uso efficace di robot da parte di persone senza formazione specifica
- Tecnologie per facilitare l'**interazione fisica e sociale dei robot con l'ambiente e con le persone** circostanti, usando nuovi materiali, sensori e attuatori *smart*, architetture di controllo per garantire **stabilità e sicurezza**
- Tecnologie per la realizzazione di nuovi dispositivi mecatronici tradizionali e tipici della robotica *soft* per la **manipolazione destra e la locomozione** in ambienti aerei, acquatici, sotto terra e su suoli di natura diversa e accidentata
- Tecnologie per la **mobilità sostenibile di veicoli a guida autonoma** nelle zone urbane e il **controllo intelligente del traffico** nelle zone extra-urbane
- Tecnologie per migliorare l'**autonomia energetica** e la **resilienza alle imperfette comunicazioni**, nonché la **capacità di comunicare a elevata velocità con ridotti tempi di latenza** nelle situazioni realisticamente incontrate in scenari applicativi
- Tecnologie per **ridurre la traccia ecologica** dei sistemi robotici sviluppando nuove forme di energia ricavabile dall'ambiente e materiali ecocompatibili

Lo sviluppo di queste tecnologie andrà a **rafforzare/semplificare il lavoro delle persone** (ambienti ostili, ambiti industriali e civili, medicina, agro-alimentare, mobilità) 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 portato a un aumento dei posti di lavoro, ma in virtù del fatto che la Robotica permette di accrescere la produttività e rendere economiche sul suolo nazionale attività che rimarrebbero altrimenti delocalizzate.

L'analisi critica del contesto di riferimento per tutta la filiera, dalla ricerca fondamentale all'applicazione, porta all'individuazione di sei aree prioritarie o **Articolazioni (ART)**:

ART1. Robotica in ambienti ostili e non strutturati

ART2. Robotica per Industria 4.0

ART3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture

ART4. Robotica per il settore agro-alimentare

ART5. Robotica per la salute

ART6. Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi

Per ciascuna di queste aree prioritarie è fondamentale sviluppare adeguate **capacità di autonomia e destrezza dei robot** che abbiano un impatto sull'efficienza delle applicazioni chiave e che vadano oltre l'attuale stato dell'arte. Di tali aree, la prima è fortemente motivata dall'**emergenza sanitaria dovuta alla pandemia di CoViD-19**. Le altre cinque 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 3. Civil Security for Society, Cluster 4. Digital, Industry and Space, Cluster 5. Climate, Energy and Mobility, Cluster 6. Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment**. Inoltre, con riferimento al **Cluster 2. Culture, Creativity and Inclusive Society**, le implicazioni etiche, legali, sociali, economiche (ELSE) della Robotica sono parte integrante di ogni progetto di ricerca.

Affinché l'Italia possa consolidare la sua posizione di assoluta **leadership in Europa e nel mondo** nell'ambito della **Robotica**, si propongono **tre iniziative** specifiche nel settennio del PNR, ritenute mai come in questo momento storico di elevata priorità, con un **approccio sistemico, ampio e aperto ad auspicabili sinergie con gli altri Ambiti**.

A. Programma Quadro Strategico (PQS): Robotica per la Società



Il **grande obiettivo** del PQS Robotica per la Società è quello di accelerare la transizione verso una **società sempre più produttiva, sostenibile, responsabile, sicura, resiliente, equa e inclusiva**, grazie alla promozione e alla diffusione delle tecnologie abilitanti di cui sopra per i seguenti pilastri di sviluppo:

1. L'aumento della **produttività** e dell'ergonomia del lavoro, nel rispetto di un elevato livello di **sicurezza** e di **inclusività** di lavoratori diversamente abili e/o anziani
2. La remotizzazione del lavoro fisico e l'adozione di veicoli a guida semi-autonoma verso una mobilità **sostenibile** e la riduzione dell'inquinamento ambientale nelle città
3. La riduzione dei costi di monitoraggio e dei tempi di intervento per la **sicurezza** delle infrastrutture civili e industriali
4. La riduzione di rischi derivanti da disastri e calamità, anche grazie all'uso efficiente e **responsabile** delle risorse naturali
5. L'impiego di tecnologie avanzate per la salute ad alto rapporto qualità/costo per l'**equità** dei servizi sanitari, medici e assistenziali per i cittadini
6. Una produzione agroalimentare pulita, neutra dal punto di vista climatico, **sostenibile** e **responsabile**, nell'ottica dell'economia circolare
7. Sviluppo **sostenibile** delle città e dei territori per la valorizzazione e l'accrescimento delle diverse forme di capitale (economico, umano, sociale e naturale)
8. Prevenzione, protezione, preparazione, promozione e trasformazione verso una **società sostenibile e resiliente** per tutti

La proposta di un Programma Quadro Strategico sulla Robotica trova le sue **radici storiche** nel Progetto Finalizzato Robotica già ricordato nelle premesse di questo documento e le sue motivazioni nella esigenza di **portare a fattore comune le elevatissime competenze**, sia nella ricerca di base sia nella verticalizzazione verso le applicazioni, presenti nei differenti settori disciplinari.

Nell'ambito di tale PQS, si prevede il finanziamento di una **azione di coordinamento e sviluppo del programma a livello nazionale** e una varietà di misure attuative a livello nazionale e, possibilmente anche regionale, focalizzate su obiettivi specifici associati alle diverse articolazioni del presente programma e periodicamente aggiornate nell'ambito dell'azione di coordinamento.

L'azione del PQS consentirà di rafforzare ulteriormente la collaborazione fra tutti gli attori italiani del mondo della Robotica e delle Macchine Intelligenti, dalla ricerca in ambito accademico all'industria più avanzata, dando impulso a quel **trasferimento tecnologico dai progetti di filiera ai prodotti competitivi sul mercato** che tradizionalmente compete alla leadership italiana in Europa in diversi settori di eccellenza, tra cui la Robotica. È rilevante qui notare che i più importanti progetti europei sul trasferimento tecnologico nel settore della Robotica (ECHORD ed EuRoC) sono stati a guida italiana.

Si verrà così a creare un **ecosistema virtuoso** in cui il PQS andrebbe a innestarsi in un terreno molto fertile, grazie anche alle naturali sinergie che si instaureranno con i **Digital Innovation Hubs (DIHs)** e i **Centri di Competenza** di partenariato pubblico-privato attivi nel nostro Paese, per i quali le tecnologie robotiche assumono una importanza centrale. In particolare si potrà fare leva sulla rete dei DIH regionali per sensibilizzare e stimolare progetti in ambito robotica anche da parte delle PMI. Si nota qui che tutti i cinque progetti europei attivi sui DIHs nel settore della robotica vedono gruppi di ricerca, start-up e aziende italiane impegnate in prima linea, e che le tecnologie robotiche sono fortemente abilitanti per tutti gli otto Centri di Competenza nazionali per sviluppare l'Industria 4.0.

B. Istituto Nazionale di Robotica e Macchine Intelligenti

L'**eterogeneità delle ricerche** che contribuiscono alla realizzazione di robot e macchine intelligenti, e le relative potenziali difficoltà di interazione tra ricercatori di estrazioni scientifiche e culturali anche molto diverse, rendono particolarmente opportuno per il mondo della Robotica e delle Macchine Intelligenti la costituzione di un Istituto quale "**casa comune**" dei ricercatori industriali e accademici. **Fare sistema** è uno degli obiettivi ricorrenti, e più disattesi, della società e dell'industria italiana nelle sue varie articolazioni.



La comunità robotica nazionale, nelle sue componenti industriali, di ricerca ed educative, ha recepito la necessità di fare sistema organizzandosi nell'associazione ONLUS denominata Istituto di Robotica e Macchine Intelligenti (I-RIM), proiettata verso la **promozione dello sviluppo e dell'uso delle Tecnologie dell'Interazione per il benessere dei cittadini e della società**. Su queste basi, con l'obiettivo di aumentare ulteriormente l'impatto della ricerca italiana nel campo della robotica e delle macchine intelligenti sia a livello accademico, sia a livello industriale, appare opportuna una maggiore strutturazione istituzionale capace di allineare e coordinare la spinta propulsiva di una comunità di eccellenza con la visione di sistema del Paese e delle sue priorità.

Si propone quindi la fondazione di un **Istituto Nazionale di Robotica e Macchine Intelligenti** con una o più sedi locali, sul modello dell'INFN. L'Istituto si configurerà come un ente pubblico di ricerca vigilato dal MUR e si **armonizzerà con la rete attuale delle Università e dei centri di ricerca**, potendo prevedere in particolare la doppia affiliazione dei ricercatori.

Più specificatamente, gli obiettivi dell'Istituto saranno:

1. **Coordinare le azioni** nel campo della robotica e delle macchine intelligenti a livello nazionale
2. Fungere da **moltiplicatore delle opportunità di sviluppo** nel nostro Paese della ricerca e del trasferimento tecnologico
3. Essere un **punto di riferimento** per l'industria per accelerare il **trasferimento tecnologico**
4. Mettere a disposizione **laboratori e attrezzature infrastrutturali** ai ricercatori italiani
5. Operare da **interfaccia tra il mondo della ricerca e i decisori politici** in Italia e in Europa
6. Favorire la **diffusione dei risultati** della ricerca e del trasferimento tecnologico alla società, mediante una attività strutturata di disseminazione sia al pubblico professionale sia al pubblico generico

C. Dottorato Nazionale a vocazione industriale in Robotica e Macchine Intelligenti

Come terza azione si propone l'istituzione di un nuovo **Dottorato Nazionale** caratterizzato da una **impronta interdisciplinare e internazionale** e una **forte vocazione industriale** per l'alta formazione dei giovani talentuosi del Paese su **Robotica e Macchine Intelligenti**.

Questa iniziativa trova la sua **motivazione** nella necessità di formare **personale altamente specializzato** sulle Tecnologie dell'Interazione, evitando la dispersione dei nostri laureati più brillanti verso proposte di dottorato con simili connotazioni disponibili all'estero, e anche nell'opportunità di **attrarre talenti dall'estero**. L'Italia ha infatti estremo bisogno di mantenere **sovranità e primato scientifico nella Robotica**, risultati che si possono conseguire solo per mezzo di programmi di dottorato esplicitamente concepiti allo scopo di creare gli esperti del futuro.

La **vocazione industriale** del nuovo Dottorato Nazionale proposto ha ampie motivazioni:

1. Favorire il **trasferimento tecnologico** dal mondo della ricerca a quello dell'industria, in particolare in settori industriali emergenti per l'uso della robotica
2. Dare l'opportunità all'industria di contribuire a **indirizzare le ricerche degli studenti di dottorato**, in modo da dare una finalizzazione alle ricerche che, senza pregiudicare l'eccellenza scientifica, funga da abilitatore al trasferimento tecnologico dei risultati
3. Dare la possibilità agli studenti di dottorato di trascorrere **periodi all'interno delle aziende** che partecipano al progetto formativo
4. Consentire la nascita di **competenze non solo puramente scientifiche ma anche manageriali**, in modo da promuovere l'evoluzione della tecnologia robotica a soluzione matura per l'applicazione industriale
5. Favorire l'**imprenditorialità** degli studenti di dottorato, abilitando forme di valorizzazione della ricerca che prevedano la fondazione di **start-up innovative**

Il Dottorato sarà incentrato sulle **sei aree tematiche (Articolazioni)** di questo documento, ovvero Robotica per gli ambienti ostili e non strutturati, Robotica per l'industria 4.0, Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture, Robotica per il settore agro-alimentare, Robotica per la salute, e Robotica per la mobilità e i veicoli



autonomi. In tutte queste articolazioni il ruolo dell'industria è del tutto evidente, e quindi lo è anche la motivazione di un Dottorato a vocazione industriale.

Nella restante parte del documento vengono descritte nel dettaglio le Articolazioni, delineati gli obiettivi e gli impatti di ciascuna di esse, nonché le numerose interconnessioni con gli altri Ambiti Tematici –a conferma del **forte carattere di multidisciplinarietà della Robotica**– per poi caratterizzare i Key Performance Indicators per la valutazione della qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti.

Articolazione 1. Robotica in ambienti ostili e non strutturati

La necessità di svolgere attività lavorative in **ambienti ostili**, preservando la **sicurezza** e la **salute** degli operatori, è una delle spinte propulsive che da sempre motivano lo sviluppo e l'adozione di tecnologie robotiche. Partendo dalla gestione e manipolazione di sostanze radioattive, passando per le attività di ricerca e soccorso in seguito a disastri, arrivando a molte attività produttive all'interno dei più vari impianti industriali, innumerevoli sono i casi ove l'adozione di sempre migliori tecnologie robotiche può portare a indubbi benefici in termini di sicurezza e salute degli operatori, ma anche in termini di un incremento della produzione, una riduzione dei costi e un migliore impatto socio-ambientale.

Uno dei maggiori problemi di risanamento ambientale a cui l'Europa e il mondo intero sono attualmente posti di fronte è la bonifica delle scorie nucleari che si sono accumulate a partire dagli anni '40-'50 del secolo scorso. Il costo dell'attività di smantellamento dei rifiuti legacy è enorme: gli Stati Uniti hanno almeno 108 siti designati come aree contaminate e inutilizzabili con più di 2 miliardi di libbre di rifiuti e di 2 milioni di metri cubi di suolo e detriti contaminati. Il costo della messa in sicurezza dei siti per il solo Regno Unito è attualmente stimato a 38 miliardi di sterline. La maggior parte dei paesi dell'UE ha sfide simili. A seguito dei referendum del 1987 e del 2011 sull'energia nucleare, il governo italiano attraverso SOGIN è tenuto entro il 2024 a smantellare le quattro centrali e tutti gli impianti nucleari italiani e ha la responsabilità di proporre aree idonee per il Deposito Nazionale per i rifiuti nucleari. In tutto il mondo, la robotica e il telelavoro fisico sono considerati il principale strumento tecnico per la disattivazione nucleare e lo smaltimento dei rifiuti in sicurezza per gli operatori.

In una tipica operazione di ricondizionamento di rifiuti nucleari di livello basso (LLW), su un tipico turno di lavoro di cinque ore, due o più sono dedicate alla vestizione e svestizione di indumenti che riducono le capacità motorie e aumentano il carico di fatica dei lavoratori. Spesso i presidi di sicurezza sono molto costosi e non riutilizzabili, diventando a loro volta un materiale contaminato da smaltire. È evidente il vantaggio offerto dalla possibilità di operare remotamente su macchine poste negli ambienti contaminati. Non deve sorprendere quindi come, sin dagli albori della Robotica, le applicazioni in campo nucleare siano state centrali, e la tecnologia italiana si sia sempre contraddistinta, come già evidenziato sopra. Oggi si pone però la necessità di raggiungere livelli superiori di destrezza e mobilità, e soprattutto una maggiore autonomia del robot, che integri e amplifichi le capacità fisiche e intellettive dell'operatore umano per affrontare l'enorme mole di lavoro richiesta per riprocessare e mettere in sicurezza i rifiuti contaminati.

L'**emergenza CoViD-19** in Italia è iniziata con la prima diffusione del contagio il 20 febbraio 2020. Durante la fase culminante, agli inizi di aprile, il sistema sanitario nazionale era gravato da più di 28.000 ricoveri, quasi 4mila dei quali nelle terapie intensive. Uno degli impatti di ciò è stato il massiccio impiego di personale sanitario nella cura dei casi di CoViD-19, con altissima esposizione al rischio (circa 30.000 contagiati e 87 deceduti al 30 Giugno 2020) e conseguenze sulla quasi totale sospensione dell'accesso a molte strutture per tutti gli altri beneficiari del SSN. Questo ha portato, per esempio, a una riduzione delle diagnosi di tumore stimata nel 50%. L'entità globale degli effetti di questa mancanza e/o dilazione di diagnosi, cure e somministrazione di prestazioni mediche è tutt'ora molto difficile da definire, ma si stima sia enorme.

L'**impiego di robot e macchine intelligenti per fronteggiare l'epidemia** ha permesso, anche se purtroppo solo in misura limitata, di sostituire il personale sanitario in funzioni semplici, come mettere in comunicazioni i pazienti immobilizzati con i loro familiari, o più complesse, come permettere controlli e consulti da remoto senza doversi recare fisicamente a bordo letto, vestire e svestire i DPI ecc. Altre applicazioni dove la robotica è intervenuta dimostrando elevata efficacia e valore protettivo è la sanitizzazione dei luoghi, mediante spray o mediante irradiazione.



Come conclude il rapporto dell'Agencia Europea dell'Ambiente (EEA)¹, il numero e l'influenza delle **catastrofi** sono in aumento in Europa nelle ultime decadi. Nel decennio 2000-2009 coperto dal rapporto, le catastrofi hanno causato quasi 100.000 vittime, hanno colpito oltre 11 milioni di persone e hanno causato perdite economiche di circa 150 miliardi di Euro. Il rapporto classifica i pericoli in tre diverse categorie: idro-meteorologici (come tempeste, eventi a temperature estreme, incendi boschivi, siccità, inondazioni), geofisici (valanghe, frane, terremoti, vulcani) e tecnologici (sversamenti di petrolio, incidenti industriali, fuoriuscite tossiche da attività estrattive) e descrive la loro influenza sull'uomo, sull'economia e sugli ecosistemi. Inondazioni e tempeste sono stati i pericoli più costosi. Le perdite complessive registrate nel periodo di studio hanno sommato a circa 52 miliardi di Euro per inondazioni e 44 miliardi di Euro per tempeste. Il numero e gli impatti dei pericoli geofisici sono risultati relativamente stabili durante il periodo coperto. I terremoti hanno causato la maggior parte dei danni con quasi 19.000 vittime registrate e perdite complessive di circa 29 miliardi di Euro. Gli incidenti tecnologici hanno causato le più gravi influenze dell'ecosistema. Le fuoriuscite di petrolio dalle petroliere hanno causato alcuni dei peggiori disastri ecologici nelle acque europee e le fuoriuscite di rifiuti tossici dalle attività minerarie e industriali ha gravemente colpito l'ambiente non solo nelle conseguenze immediate, ma anche a lungo termine. I disastri nucleari successi al di fuori dell'Europa hanno dimostrato la fragilità del sistema, e la necessità di essere preparati a fronteggiare questi eventi con una gestione delle catastrofi meglio integrata in tutta Europa. Non solo quindi è **necessario sviluppare le tecnologie robotiche per ricerca e soccorso** sia sul terreno che in aria o acqua, ma anche **integrare le tecnologie disponibili in un sistema eterogeneo ma coordinato, interoperabile e usabile** in modo trasparente da parte dei primi soccorritori, in particolare Vigili del Fuoco e altre forze operanti nella Protezione Civile, la cui grande professionalità e responsabilità non deve essere appesantita da richieste di formazione specifica per poter guidare una operazione di intervento ad alta tecnologia: il robot deve diventare parte della squadra in modo intuitivo, affidabile, autonomo ma disponibile al comando dell'operatore espresso nei modi più rapidi e facili per l'operatore stesso. Problematiche analoghe ma con specificità possibilmente assai diverse si incontreranno nelle **operazioni per la difesa e la sicurezza**, quali l'avvicinamento e ispezione di persone, materiali e veicoli sospetti, la bonifica di aree urbane dalle minacce terroristiche, la manipolazione di **esplosivi e sostanze pericolose** utilizzate.

Come la recente pandemia di CoViD-19 ci ha insegnato, la definizione di **ambiente ostile** è sottoposta a variazioni, che possono avere diverse cause. Se da un lato un ambiente una volta considerato sicuro può diventare insalubre, tossico, logorante o in genere pericoloso a seguito di eventi catastrofici, quali pandemie, terremoti, eventi bellici o incendi, dall'altro sono in corso, ormai da anni, dei processi socio-ambientali che ci portano a spostare in maniera graduale ma progressiva, sia le condizioni ambientali sia quella che è la soglia di accettabilità nei confronti dell'ostilità ambientale. Esempi di questi fenomeni includono il riscaldamento globale, l'inquinamento ambientale, ma anche il progressivo invecchiamento della popolazione con la conseguente richiesta di miglioramento delle condizioni lavorative e di assistenza in remoto.

A questo proposito, nel 2018 INAIL ha registrato la denuncia di più di 600.000 infortuni sul lavoro e più di 500 morti. Sempre nello stesso anno il numero di richieste di risarcimento per malattie professionali ammonta a quasi 60.000; di questi più di 38.000 sono traumi e malattie del sistema muscoloscheletrico. Nonostante gli enormi sforzi del sistema paese per contenere ed abbattere tali cifre, il trend dell'ultimo quinquennio è sostanzialmente costante. Tutti questi fattori spingono la società italiana, così come quella europea e mondiale, a prendere provvedimenti per evitare la diminuzione del potenziale produttivo generata dalla richiesta, imprescindibile e progressiva, di mettere in sicurezza le condizioni lavorative. La robotica si pone come uno degli strumenti con cui sarà possibile affrontare questa sfida: per esempio, gli esoscheletri e i robot collaborativi consentono di raggiungere un abbattimento e riduzione significative del rischio biomeccanico di sviluppare lesioni permanenti dell'apparato muscolo-scheletrico con un conseguente miglioramento dell'efficienza lavorativa e riduzione degli infortuni.

In conclusione, il continuo miglioramento delle tecnologie robotiche e delle macchine intelligenti in generale è lo strumento principale a nostra disposizione per allargare l'orizzonte e il numero di protezioni che possiamo garantire agli operatori in tutti quegli ambienti dove oggi o in un prossimo futuro può divenire difficile e/o pericoloso lavorare. La riduzione dei costi dei sistemi robotici, così come la maggiore intelligenza delle macchine e delle loro interfacce di

¹ http://www.eea.europa.eu/publications/mapping-the-impacts-of-natural/at_download/file



comando, permetterà inoltre di trasformare molte altre importanti attività qui non esplicitamente discusse, tra le quali lo smaltimento dei rifiuti anche in contesti urbani, la sorveglianza e l'assistenza domiciliare da remoto ecc., con modelli economici sostenibili e con una efficacia e una capillarità prima d'ora impensabili.

Obiettivi

Nel quadro delineato, i principali obiettivi della ricerca saranno:

1. **Il miglioramento delle condizioni di lavoro degli operatori** dei settori primario, secondario e terziario, con particolare attenzione a chi svolge attività fisiche, tramite il distanziamento degli stessi da attività svolte in ambienti pericolosi o nocivi, siano essi per motivi ambientali e/o per motivi intrinseci legati al processo produttivo in questione.
2. **Il miglioramento dell'ergonomia delle condizioni lavorative degli operatori**, tramite il monitoraggio, la protezione e l'ausilio alle attività produttive, con particolare riguardo alle attività logoranti di tipo fisico, in settori che includono, per esempio, l'estrazione mineraria, la gestione dei rifiuti tossici, la logistica e la manifattura.
3. **Il trasferimento tecnologico verso la realtà medica, sanitaria e assistenziale** con l'intento di offrire supporto al personale medico sanitario, monitorare le condizioni psico-fisiche, controllare la somministrazione di medicinali e garantire il contatto umano dei degenti con amici e familiari, riducendo l'esposizione di tutti ad agenti patogeni.
4. **L'applicazione di tecnologie robotiche all'ispezione e manutenzione in sicurezza di strutture civili e industriali**, e in seguito anche alla loro bonifica e smantellamento quando raggiunte le condizioni di fine-vita, sia programmate, sia straordinarie, per esempio in caso di disastri naturali o eventi bellici.
5. **La promozione delle condizioni di inclusività delle postazioni lavorative**, nei confronti di lavoratori diversamente abili e/o anziani, grazie a sistemi robotici in grado, per esempio, di compensare le diverse condizioni fisiche degli operatori, o di disaccoppiare, in tutto o in parte, le capacità fisiche del sistema robotico da quelle dell'operatore.
6. **La promozione di forme di lavoro agile e remotizzato al fine di migliorare le condizioni lavorative e il rapporto vita/lavoro, riducendo le necessità di trasporto dei lavoratori** a favore di forme di mobilità virtuale, con conseguente incremento della flessibilità ed efficienza dei processi lavorativi, riduzione delle emissioni atmosferiche, riduzione dei costi per il datore di lavoro, minimizzazione dei tempi di intervento, con applicazione a settori quali, per esempio, la manutenzione di infrastrutture stradali, di telecomunicazione ed energetiche.
7. **L'introduzione di sistemi robotici nel settore dello smaltimento e riciclaggio dei materiali di scarto**, sia industriali sia domestici, **l'utilizzo di sistemi robotici per la bonifica e la riqualificazione di aree degradate** quali discariche e aree colpite da disastri ambientali.
8. **L'integrazione meccatronica di forme di intelligenza artificiale e fisica** in sistemi robotici di nuova generazione in grado di promuovere l'interazione fisica tra i robot e un ambiente non strutturato e parzialmente incognito, superando il paradigma della coesistenza sicura tra uomo e robot per giungere a quello della piena cooperazione, fisica e sociale, in sicurezza.
9. **Lo sviluppo parallelo e integrato di sistemi sensoriali artificiali** in grado di migliorare l'efficacia e l'efficienza della percezione robotica e di interfacce in grado di aumentare le capacità operative del sistema uomo-robot.
10. **La semplificazione dell'accesso alle tecnologie robotiche**, con particolare attenzione alle interfacce utente, per allargare i benefici dell'utilizzo delle tecnologie robotiche a un pubblico privo di formazione specifica.
- II. **Il contrasto alla diminuzione dell'abilità produttiva industriale** sul territorio nazionale dovuto al processo di "ostilizzazione" degli ambienti produttivi, dovuto a diverse cause endemiche quali l'invecchiamento della popolazione, il degrado dell'ambiente, il riscaldamento globale, ed eventi occasionali quali un disastro o un'ondata pandemica.



Impatti

La ricerca nella Robotica in ambiente ostile avrà un chiaro impatto, coerente con il **Cluster 4. Digital, Industry and Space** del **Pillar II di Horizon Europe**, con particolare riferimento alla leadership e sovranità industriale nelle tecnologie abilitanti e digitali chiave e nell'autonomia nelle catene del valore strategiche.

Si prevedono in particolare i seguenti impatti:

- **EU19** – Maggiore autonomia nell'approvvigionamento di materie prime ed energia, mediante maggiore efficienza nella produzione primaria, nella gestione dei processi e nel riciclaggio
- **EU20** – Creazione di un primato industriale nelle tecnologie digitali abilitanti per il lavoro fisico remoto
- **EU22** – Creazione di infrastrutture tecnologiche a sostegno di una maggiore autonomia nelle catene strategiche del valore
- **EU24** – Maggiore inclusività del lavoro, basata su approcci incentrati sulla persona, la sua sicurezza ed il suo benessere

Inoltre, avrà un chiaro impatto, coerente con altri Cluster del Pillar II di Horizon Europe:

Cluster 1. Health

- **EU2** – Protezione della salute dei cittadini da impatti negativi derivanti da fattori di rischio ambientale e professionale
- **EU3** – Migliorate capacità di monitoraggio e aiuto per persone bisognose di assistenza in condizioni di pericolo di contagio, prevenendone la diffusione

Cluster 2. Culture, Creativity and Inclusive Society

- **EU10** – Migliorata protezione e accesso al patrimonio culturale attraverso tecnologie per la visita da remoto con esperienza interattiva da parte dei visitatori, che salvaguardi le opere e i visitatori stessi dalle conseguenze del sovraffollamento delle strutture museali, e le renda più accessibili a tutti, prescindere dalla possibilità fisiche, di distanza o economiche
- **EU11** – Riduzione delle disparità sociali, spaziali, economiche, culturali e politiche, e promozione della parità di genere nell'accesso alle occupazioni che richiedono operazioni fisiche sostanziali, alleggerendone l'impatto ergonomico

Cluster 3. Civil Security for Society

- **EU13** – Riduzione delle perdite dovute a calamità naturali, accidentali e provocate dall'uomo attraverso una migliorata capacità di intervento, aumentando la sicurezza degli addetti al soccorso e alle ispezioni sui luoghi dei disastri
- **EU14** – Migliore protezione della vita e della salute dei cittadini negli spazi attraverso una lotta più efficace contro il crimine e il terrorismo, con strumenti che permettano l'annullamento o la riduzione delle minacce riducendo il rischio corso dagli operatori di sicurezza

I **livelli di prontezza applicativa (TRL)** della tecnologia in campo robotico per ambienti ostili e non strutturati variano nei diversi contesti. Le molte dimostrazioni di sistemi operanti in ambienti rilevanti testimoniano un livello di partenza attorno a TRL_{4/5}, laddove nell'ambito di un Progetto 2021-2027 ci si può aspettare uno sviluppo di tecnologie fino alla dimostrazione sul campo (TRL₆). In alcuni casi, per esempio robot di telepresenza o interfacce per physical smart working, è ragionevole aspettarsi livelli superiori, fino a raggiungere in alcune specifiche applicazioni lo sviluppo precompetitivo di prodotti completi e qualificati (TRL₈) o addirittura di prodotti competitivi, provati in ambiente operativo e commercializzati (TRL₉).



Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esiste una naturale interconnessione con un altro ambito tematico nel grande ambito Informatica, Industria e Aerospazio:

- **Transizione digitale, I4.0** – L'introduzione di strumenti per consentire il *physical smart working* pone le basi per rivoluzionare il concetto di flessibilità del lavoro in fabbrica e incrementare la produttività di operai e tecnici.

Inoltre, possono essere identificati significativi collegamenti con altri ambiti:

- **Temi generali salute; Tecnologie per la salute** – Le tecnologie robotiche per ambienti ostili e non strutturati permetteranno il recupero degli ambienti ospedalieri e assistenziali facendo fronte alla problematica del distanziamento sociale.
- **Trasformazioni sociali, società dell'inclusione** – La pervasività delle tecnologie robotiche aumenterà l'inclusività dei posti di lavoro riducendo l'entità di gap associati a diversità di genere, della condizione fisica, di abilità e di anzianità.
- **Green technologies; Tecnologie alimentari; Gestione delle risorse agricole** – Tutti e tre questi ambiti presentano spesso la necessità di operare in condizioni non salubri per l'operatore umano e/o rischiose. L'adozione di tecnologie robotiche per allontanare l'operatore e affiancarlo nelle sue operazioni si potrà dimostrare abilitante per incrementare i livelli produttivi e ridurre i costi.
- **Mobilità sostenibile** – La possibilità di trasmettere le proprie abilità fisiche da remoto rivoluzionerà completamente la mobilità di una grande classe di lavoratori, riducendo drasticamente i tempi morti, le emissioni, il congestionamento delle infrastrutture e i rischi dovuti alla mobilità.
- **Energetica industriale** – L'impiego di sistemi robotici permetterà di abbassare i costi di monitoraggio e diminuire i tempi di intervento, riducendo per esempio i tempi di un *black-out*.

Key Performance Indicators

La **qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti** sarà valutata mediante specifici indicatori, tra i quali:

- a. **Eccellenza scientifica**, misurata sulla base del numero di pubblicazioni su riviste e su atti di convegni internazionali
- b. **Impatto industriale**, misurato sulla base dei brevetti assegnati, sul volume dei finanziamenti acquisiti e sul numero di nuove aziende o start-up create
- c. **Impatto economico**, misurato sulla base della riduzione dei costi, dell'aumento della produttività, della diminuzione dei tempi di intervento, della maggiore efficacia della manutenzione preventiva
- d. **Impatto sulla salute del lavoratore**, misurato sulla base della riduzione dell'esposizione dei lavoratori a sostanze tossiche, radiazioni e altre condizioni di lavoro insalubri, della riduzione dell'esposizione dei lavoratori ad attività logoranti e/o ripetitive, della riduzione delle malattie professionali dovute a esposizione a sollecitazioni dell'apparato muscolo-scheletrico
- e. **Impatto sociale sul lavoratore**, misurato sulla base della riduzione della mobilità, sulla riqualificazione del lavoratore sollevato dalle mansioni 3D "*dull, dirty, and dangerous*", re-impiegato in attività a più alto valore aggiunto, e sulla maggiore inclusività dell'ambiente lavorativo
- f. **Impatto ambientale**, misurato sulla base del riciclaggio di una maggior quantità di rifiuti, sulla riduzione delle emissioni atmosferiche, sul risparmio energetico, sulle migliori capacità di bonifica

Articolazione 2. Robotica per Industria 4.0

La **robotica industriale** è una tecnologia collaudata e presente nel settore manifatturiero da decine di anni. L'interesse per questa tecnologia non accenna però a diminuire, prova ne siano i dati di vendita a livello globale, in continua crescita (anche a doppia cifra) negli ultimi anni. In particolare i dati di vendita di robot industriali in Italia sono ottimi, con 11.100 unità vendute nel 2019, pari a una crescita del 13% rispetto all'anno precedente, in controtendenza rispetto al mercato



mondiale in contrazione nel 2019. Il mercato italiano della robotica è il sesto a livello mondiale e il secondo in Europa, dietro alla Germania. La densità di robot in Italia, calcolata come il numero di robot installati ogni 10.000 addetti, ha raggiunto il valore di 212, contro una media mondiale di 113 (fonte IFR).

I *driver* per l'adozione sempre più pervasiva della tecnologia robotica in industria sono molteplici e sono riconducibili alla personalizzazione sempre più spinta dei prodotti, caratterizzata da piccoli lotti con elevati mix produttivi; all'aumento della competitività nel mercato globale, che richiede incrementi di produttività, eliminazione e riduzione dei difetti e soluzioni produttive sostenibili; alla progressiva penetrazione della robotica tra le piccole e medie imprese, in particolare nella versione collaborativa.

L'impulso alla digitalizzazione delle fabbriche dovuto alla introduzione e diffusione dei paradigmi produttivi dell'**Industria 4.0** ha poi dato rinnovata importanza all'utilizzo dei robot, quali strumenti interconnessi, altamente digitalizzati, dotati di gemello digitale, in grado di migliorare le proprie prestazioni e auto-apprendere sulla base dell'analisi dei dati raccolti nei sistemi di produzione. Da questo punto di vista, **l'intelligenza artificiale dovrà sempre più coniugarsi alla robotica industriale**, per rendere i robot degli agenti consapevoli e in grado di apprendere dal proprio operato.

La **robotica collaborativa**, in cui **uomo e robot condividono lo stesso spazio di lavoro in sicurezza**, partecipando al processo produttivo, oggi costituisce ancora solo una nicchia, pari a qualche punto percentuale del mercato globale della robotica industriale. A detta di tutti gli analisti, la robotica collaborativa è destinata a una forte crescita nei prossimi anni, con nuovi soggetti che si affacciano sul mercato e i grandi player che si organizzano per competere anche su questo fronte. L'industria deve essere guidata dalla ricerca nel processo di ristrutturazione delle linee di produzione da puramente manuali o puramente automatizzate a linee di produzione miste. Nel lavoro preparatorio per le future iniziative europee, lo **European Economic and Social Committee (EESC) ha già iniziato a prospettare la prossima transizione a Industry 5.0 come caratterizzata dal passaggio dalla coesistenza alla piena cooperazione, fisica e sociale, tra macchine e persone**².

L'utilizzo della robotica collaborativa darà anche nuova linfa all'artigianato, contrastando il fenomeno dell'invecchiamento di professionalità specializzate, e favorirà il **reshoring** di produzioni delocalizzate all'estero negli anni passati, in particolare nei settori di punta della nostra economia, quali la moda, dove la parziale robotizzazione delle operazioni potrà rendere conveniente riportare all'interno dei confini nazionali le linee di produzione.

Come già evidenziato nell'articolazione sulla Robotica in ambienti ostili e non strutturati, una delle emergenze sociali in industria è costituita dalle malattie associate alla **sollecitazione dell'apparato muscolo scheletrico**. La **robotica collaborativa** fornisce una naturale risposta a questa emergenza, dal momento che il cobot può interagire direttamente con l'uomo, per esempio sgravandolo dal compito di sollevare o reggere carichi rilevanti, migliorando l'**ergonomia** della stazione di lavoro.

Accanto ai tradizionali manipolatori industriali, i **robot mobili** (AGV, AMR, LGV) rivestono importanza crescente nella logistica industriale. Nel 2018 sono stati installati a livello globale 111.000 unità (con una crescita del 60% rispetto all'anno precedente, confermata poi nel 2019), la maggior parte dei quali nella logistica, nei magazzini o negli ospedali, ma con circa 8.000 unità direttamente impiegate nel settore manifatturiero. Le previsioni di crescita del mercato sono molto buone anche su questo fronte.

Obiettivi

Nel quadro precedentemente delineato, i principali obiettivi della ricerca sono:

1. La progressiva penetrazione della robotica in comparti industriali diversi da quelli tradizionalmente interessati alla robotizzazione comporterà un'intensa attività di ricerca e trasferimento tecnologico nello studio di soluzioni per l'esecuzione robotizzata di processi altrimenti eseguiti manualmente o con macchinari dedicati.

² <https://www.eesc.europa.eu/en/news-media/news/industry-50-will-bring-about-new-paradigm-cooperation-between-humans-and-machines>



- Di particolare rilievo sono le applicazioni della robotica nell'industria dei metalli, nell'industria della plastica, nell'industria farmaceutica e in quella aerospaziale.
2. Nel paradigma della *smart factory*, la robotica potrà anche ibridarsi con 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.
 3. In quanto elemento centrale nella nuova fabbrica intelligente, il robot diventerà a tutti gli effetti un sistema cyber-fisico indissolubilmente legato alla sua rappresentazione digitale. Questa sarà utilizzata per manutenzione predittiva, monitoraggio della produzione e ottimizzazione delle prestazioni: la ricerca si potrà indirizzare verso gli algoritmi più efficaci per lo sviluppo di queste nuove funzionalità.
 4. La capacità del robot industriale di interagire con ambienti destrutturati ha ancora ampi margini di miglioramento, così come la capacità di apprendere la corretta esecuzione di un compito. Le tecniche di *machine learning* e intelligenza artificiale dovranno sempre più permearsi con la robotica, per consentire l'evoluzione dal robot agente autonomo pre-programmato al robot agente intelligente.
 5. La crescita della robotica collaborativa 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, con lo sviluppo di nuovi sensori per la percezione affidabile della presenza umana e di metodologie per la valutazione del rischio.
 6. La ricerca dovrà anche fornire un quadro di sviluppo coerente alle applicazioni di robotica collaborativa, oggi ancora episodiche. Da questo punto di vista, gli aspetti di ergonomia e di ausilio all'operatore nella limitazione dell'esposizione al rischio sull'apparato muscolo-scheletrico sono ancora solo parzialmente esplorati dalla ricerca.
 7. L'intelligenza artificiale ha anche applicazione rilevante nella robotica collaborativa, laddove il robot accoppiato a dispositivi di visione cognitiva potrà essere in grado di comprendere il comportamento del compagno di lavoro umano, adattandovisi al fine di migliorare la qualità della collaborazione.
 8. Per quanto riguarda la robotica mobile, la ricerca si indirizzerà verosimilmente verso la gestione di flotte di AGV, l'integrazione spinta e intelligente con i MES aziendali e lo sviluppo di AGV leggeri per la logistica dell'ultimo miglio.
 9. La robotica manipolativa e la robotica mobile si possono poi combinare nella tecnologia della manipolazione mobile, che consente di ampliare arbitrariamente gli spazi di lavoro del robot manipolatore, situazione di particolare interesse in contesti applicativi quali l'aerospazio in cui le superfici su cui il robot opera assumono dimensioni considerevoli.
 10. Tanto per la robotica manipolativa, quanto per la robotica mobile, gli aspetti di natura meccatronica costituiranno temi di ricerca di rilievo, in particolare per quanto riguarda lo sviluppo di strumenti per la manipolazione con destrezza.
 11. La robotica può inoltre fornire tecniche avanzate di manipolazione per la sintesi, l'accoppiamento, la trasformazione e la caratterizzazione di materiali. Lo sviluppo rapido di nuovi polimeri a basso impatto ambientale o provenienti da fonti rinnovabili e nell'ottica dell'economia circolare è di grande interesse per ridurre l'impatto sull'ambiente sempre più compromesso dall'uso di plastiche di origini fossili e/o non biodegradabili. L'introduzione di tecniche di caratterizzazione automatiche può favorire questa accelerazione nel quadro della cosiddetta *high-throughput experimentation*, ovvero la sintesi e la caratterizzazione di microcampioni di nuovi materiali in parallelo in sistemi interamente automatizzati.

Impatti

La ricerca nella robotica industriale avrà un chiaro impatto, coerente con il **Cluster 4. Digital, Industry and Space** del **Pillar II di Horizon Europe**, con particolare riferimento alla leadership e sovranità industriale nelle tecnologie abilitanti e digitali chiave e nell'autonomia nelle catene del valore strategiche.

Si prevedono in particolare i seguenti impatti:

- **EU19** – Processi produttivi manifatturieri innovativi e loro digitalizzazione



- **EU20** – Intelligenza artificiale e affidabile incorporata nei sistemi robotici industriali, che sfruttino la disponibilità del dato proveniente dall'interconnessione in rete delle macchine
- **EU22** – Sovranità nelle tecnologie abilitanti emergenti del futuro investendo nella scoperta precoce e nell'adozione industriale di nuovi sistemi robotici per la produzione manifatturiera
- **EU24** – Sviluppo etico e incentrato sull'uomo di sistemi robotici intelligenti, con particolare riferimento alla robotica collaborativa, in cui lavoratori e robot partecipino al processo produttivo

Essendo la robotica una tecnologia ampiamente consolidata in industria, alcuni obiettivi della ricerca (per esempio quelli legati all'utilizzo della robotica in settori industriali non convenzionali o alle soluzioni di sicurezza ed ergonomia nella robotica collaborativa o ancora agli sviluppi sulla tecnologia degli AGV) possono ambire al termine del piano nazionale della ricerca 2021-2027 a **TRL** elevati (TRL7/8/9). Altri sviluppi legati per esempio all'utilizzo dell'intelligenza artificiale e dell'autoapprendimento come pure alla meccatronica per la realizzazione di strumenti di presa con destrezza potranno ambire a TRL comunque elevati (TRL6/7) seppure non necessariamente associati a sistemi completi e qualificati in ambiente operativo.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono varie interconnessioni con altri ambiti tematici nel grande ambito Informatica, Industria e Aerospazio:

- **Transizione digitale, I4.0** – La robotica industriale ha evidenti connessioni con questo ambito, essendo una tecnologia abilitante del paradigma Industria 4.0, in particolare nella versione collaborativa. Il robot come sistema cyber-fisico si inserisce in un ambito più ampio di sistemi digitali che formano il tessuto connettivo dei sistemi di produzione del futuro.
- **Intelligenza artificiale** – La robotica industriale si avvale in misura crescente di metodi e tecniche di intelligenza artificiale, sia per autoapprendimento da parte del robot dei parametri delle operazioni da eseguire sia, nel settore della robotica collaborativa, per riconoscimento e interpretazione del comportamento dell'uomo, al fine di migliorare l'interazione tra uomo e robot.
- **Innovazione per l'industria manifatturiera** – La robotica industriale è da decenni una tecnologia chiave per l'industria manifatturiera e ha ancora ampi margini di impiego, in particolare con riferimento a processi e sistemi di produzione flessibili, personalizzati, scalabili e riconfigurabili.
- **Aerospazio** – L'industria aerospaziale è già oggi fruitrice della tecnologia robotica e lo potrà essere in futuro ancora di più. Le operazioni altamente ripetitive, da eseguire in larghissima scala e con elevate precisioni, tipiche dell'industria aerospaziale (forature, rivettature ecc.), si prestano particolarmente bene a essere eseguite dal robot industriale, eventualmente nella versione da manipolatore mobile (robot montato su base mobile).

Inoltre, possono essere identificati significativi collegamenti con altri ambiti:

- **Tecnologie per la salute** – La robotica industriale è da un lato sempre più presente nell'industria farmaceutica quale strumento di produzione; dall'altro, nella versione collaborativa, contribuisce al miglioramento della qualità delle stazioni di lavoro. Il robot può infatti diminuire l'esposizione del lavoratore a sollecitazioni dell'apparato muscolo-scheletrico, riducendo quindi il rischio connesso per la salute del lavoratore stesso.
- **Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti** – La robotica industriale presenta possibili connessioni con questo ambito, in particolare con riferimento allo sviluppo di tecnologie per il controllo della resilienza (*resilience control systems*) in grado di mantenere un adeguato livello di sicurezza del sistema.
- **Cybersecurity** – Il robot industriale in quanto macchina connessa in rete da un lato acquisisce rinnovate potenzialità, dall'altro si espone a minacce cibernetiche rilevanti, che comportano rischi sia di fermo impianto sia di sicurezza, vista la natura intrinsecamente pericolosa del robot quale macchinario in movimento.
- **Green technologies** – Connessioni sono date dalla sintesi di nuovi polimeri da fonti rinnovabili, sostenibili o biodegradabili, a seconda del prodotto e degli scenari e le scelte strategiche a livello locale e globale con l'utilizzo di tecniche di *machine learning* accoppiate alla caratterizzazione in dispositivi di *high-throughput experimentation* robotizzati.



Key Performance Indicators

La **qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti** sarà valutata mediante specifici indicatori, tra i quali:

- a. **Eccellenza scientifica**, misurata sulla base del numero di pubblicazioni su riviste e su atti di convegni internazionali
- b. **Impatto industriale**, misurato sulla base dei brevetti assegnati, sul volume dei finanziamenti acquisiti e sul numero di nuove aziende o startup create
- c. **Impatto economico**, misurato sulla base della riduzione dei costi, sull'aumento della produttività, sulla diminuzione dei difetti di produzione e dei fermi macchina
- d. **Impatto sulla salute del lavoratore**, misurato sulla base della riduzione delle malattie professionali dovute a esposizione a sollecitazioni dell'apparato muscolo-scheletrico
- e. **Impatto sociale sul lavoratore**, misurato sulla base della riqualificazione del lavoratore che sarà occupato in attività non ripetitive o pericolose, ma dove le sue superiori capacità intellettive saranno valorizzate
- f. **Impatto ambientale**, misurato sulla base del risparmio energetico associato a una gestione avanzata dei movimenti del robot

Articolazione 3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture

In ambito industriale lo scopo dell'**ispezione manutentiva (IM)** è determinare quali strumenti, materiali e manodopera sono necessari per mantenere in buone condizioni, in termini di efficienza e sicurezza, gli impianti e le apparecchiature. L'automazione e la robotica sono chiamate a svolgere un ruolo sempre più rilevante nel processo di innovazione tecnologico degli attuali processi di ispezione e manutenzione per **ridurre i costi, migliorare la qualità dei servizi, la sicurezza e l'impatto ambientale**. L'impossibilità di adattare gli impianti esistenti alle capacità dei comuni robot industriali, unita alla crescente autonomia delle soluzioni robotiche più avanzate, ha creato le giuste condizioni per lo sviluppo di una robotica di servizio nel contesto ispettivo e manutentivo in grado di auto-sostenersi e creare un vero valore aggiunto nella catena produttiva. Il sostegno continuo a una robusta azione di trasferimento tecnologico dalle accademie e centri di ricerca verso i fornitori di servizi e le startup è fondamentale per aumentare l'affidabilità e il grado di industrializzazione delle soluzioni che oggi riempiono i laboratori italiani e che non hanno ancora raggiunto un sufficiente livello di maturità tecnologico per soddisfare gli standard richiesti dai corrispettivi comparti industriali. 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. 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 rilievi 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.

L'impiego di tecnologie robotiche nel settore dell'IM comporterà numerosi benefici a diversi livelli. Contribuiranno a creare **industrie neutre dal punto di vista climatico, circolari e pulite**. Si pensi per esempio alla possibilità di utilizzare robot per ispezionare serbatoi o condutture nel settore petrolchimico e del trasporto navale, senza quindi la necessità di bonificarli con l'utilizzo di solventi. L'ispezione continua e in tempo reale, ripetibile e precisa, migliorerà i livelli di sicurezza degli impianti, riducendo quindi la probabilità di incidenti, ovvero dei rischi sia per le persone sia per l'ambiente. L'adozione di tecniche di ispezione remotizzata, come per esempio mediante l'utilizzo di droni speciali, robot mobili e ROV sottomarini ridurrà la presenza di personale in aree o condizioni di lavoro altamente rischiose, come per esempio il lavoro in quota, in aree a rischio esplosione, in mare. Investendo nello sviluppo di tecnologie robotiche innovative, si otterrebbe 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 nuovi prodotti ad alto valore aggiunto, quindi tecnologicamente difendibili dai paesi emergenti nel breve periodo. Rafforzando un settore altamente strategico come la robotica di servizio, si aumenterà anche la sovranità per queste tecnologie abilitanti, si incrementerà la sicurezza, e si rafforzerà la sostenibilità economica e ambientale. Con lo sviluppo di nuove tecnologie ad alto valore aggiunto si genererà una maggiore



inclusione, aiutando l'industria a offrire posti di lavoro attraenti e creativi, con elevata remunerazione e poco usuranti.

Obiettivi

1. **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 ecc. sono oggi tra i principali obiettivi dei centri di ricerca e sviluppo delle grandi imprese del settore. Tra le attuali sfide tecnologiche in questo settore si evidenziano le capacità motorie in ambienti complessi e pensati per lavoratori umani, con scale e cunicoli, lo svolgimento di attività ispettive in ambienti rischiosi (in quota, in presenza di sostanze tossiche e/o esplosive) o difficilmente raggiungibili, come *pipe-rack*, torri di raffinazione, serbatoi, vessel ecc., lo sviluppo di soluzioni robotiche certificabili per zona esplosiva (ATEX), la misurazione di spessimetria di condotte e pareti in presenza o meno di coibentazione, sia su superfici magnetiche che amagnetiche, l'intervento ispettivo in vessel e condutture durante il normale esercizio (pressioni oltre 70 bar e temperature oltre 130°), la saldatura robotica sottomarina, con tutti i relativi problemi di localizzazione e trasmissione in tempo reale di dati ad alte profondità.
2. **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 robotica *soft*, che è chiamata a superare i limiti dell'attuale tecnologia boroscopica. Le sfide in questo settore sono inerenti allo sviluppo di tecnologie e nuovi materiali abilitanti in grado di aumentare le lunghezze a parità di sezione delle sonde, rendendole al contempo completamente o parzialmente attuate e sensorizzate. Oltre alla componente ispettiva, in questo settore è di fondamentale importanza anche quella manutentiva, come la necessità di eseguire trattamenti superficiali di ripristino basati su tecnologie laser, come pure l'esigenza in diversi contesti di svolgere operazioni di micromanipolazione endoscopica.
3. **L'ispezione degli elettrodotti, degli acquedotti, delle dighe, dei sistemi di generazione eolici**, sono solo altri esempi di possibili applicazioni di tecnologie robotiche mobili, marine e aeree che negli ultimi anni sono stati oggetti di svariati progetti finanziati dall'Unione Europea nell'ambito di H2020 con la finalità di abbattere le attuali barriere tecnologiche che limitano la penetrazione di soluzioni robotiche in tali contesti. 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%. Le sfide tecnologiche in questi settori sono fortemente connesse allo sviluppo di soluzioni robotiche dotate di capacità avanzate di navigazione, localizzazione e interpretazione geometrica e semantica degli ambienti di lavoro, oltre a sistemi di intelligenza artificiale in grado di aumentare il livello di autonomia decisionale e automazione di specifiche attività di servizio in contesti variabili e non strutturati. L'adattabilità, l'affidabilità e la semplicità di programmazione e interfacciamento, anche attraverso le moderne tecnologie come la 5G e la realtà virtuale aumentata, sono le parole chiave che determineranno il successo o il fallimento delle future soluzioni robotiche ed automatiche in tutti questi settori.
4. Le **reti ferroviarie** sono **infrastrutture strategiche** e di ampia diffusione che necessitano di attività ispettive e manutentive costanti, rischiose e con una elevata incidenza sui costi operativi delle compagnie. Pur essendo costituite da ambienti parzialmente strutturati, attualmente esistono pochissimi esempi di soluzioni robotiche o automatiche in grado di svolgere attività di ispezione e/o manutenzione di tali infrastrutture. La robotica dovrà assumere un ruolo di primo piano nei prossimi anni per migliorare la qualità delle attività ispettive, riducendo costi e rischi per le persone, per tutti i sottosistemi ferroviari, come rotaie, traverse, massicciata, banchina, piattaforma, armamenti, giunzioni, catenaria, filo portante, isolatori, piloni. L'ispezione durante la normale operatività dei treni e dei sistemi di segnalamento è la sfida che dovrà essere affrontata nel prossimo futuro. Anche gli aspetti di assistenza robotica e di sicurezza durante le attività manutentive sui binari da parte di operatori umani è un aspetto rilevante che può essere affrontato con le nuove tecnologie robotiche e di intelligenza artificiale. Infine, tutte le svariate attività manutentive dei treni possono essere oggetto di studio mediante soluzioni innovative al fine di migliorare la qualità, ridurre i costi e lo stress psico-fisico del personale umano.



5. L'incertezza sulle reali condizioni di **viadotti** e **gallerie** è oggi un elemento che ha evidenziato la necessità di introdurre nuove soluzioni automatiche che consentano di eseguire in **sicurezza**, a **basso costo**, e con obiettività e ripetibilità operazioni di **ispezione programmata e regolare**. L'adozione di droni e di robot "arrampicatori" o con adesione magnetica, insieme con le moderne soluzioni di metrologia basate su dispositivi di IoT a basso consumo energetico, rappresenta un elemento chiave nello sviluppo di soluzioni innovative che possano soddisfare la crescente richiesta in questo settore. Le sfide tecnologiche in questo settore sono la realizzazione di dispositivi di misura sempre più compatti, leggeri e a basso consumo che possano essere trasportati e posizionati tramite soluzioni robotiche aeree o crawler specializzati, la realizzazione di nuovi droni in grado di interagire fisicamente e stabilmente con l'ambiente, lo sviluppo di soluzioni robotiche specializzate per il posizionamento di sensori reti di sensori distribuiti e/o la raccolta periodica delle misure dal campo.
6. **Aerei e aeroporti**, come pure **navi** e **infrastrutture portuali**, rappresentano ulteriori opportunità in cui lo sviluppo di soluzioni robotiche automatiche/autonome con un elevato livello di specializzazione determinerebbe un cambio di paradigma rispetto agli attuali piani di ispezione programmati in modo statico e con scarsa correlazione con i risultati storicizzati. Il monitoraggio continuo delle infrastrutture critiche e l'integrazione con sensori distribuiti di tipo IoT per i monitoraggi di lungo periodo rappresenta la sfida tecnologica del prossimo futuro.
7. La **sicurezza** assume un ruolo di assoluto rilievo in molti dei suddetti scenari, tipicamente ritenuti rischiosi e/o usuranti per gli operatori. Nuove soluzioni robotiche e automatiche si dovranno affiancare agli operatori per svolgere con maggiore efficienza, ripetibilità e precisione i compiti che oggi richiedono la presenza fisica e di prossimità agli impianti. **L'ispezione e la manipolazione robotica teleguidata** possono svolgere un ruolo sempre più significativo in svariati contesti, sia per ridurre i rischi per le persone in zone non sicure, sia per ridurre lo stress fisico degli operatori umani. Le sfide tecnologiche in questo settore sono principalmente su due fronti: da un lato realizzare interfacce immersive e multisensoriali sempre più funzionali e affidabili e dall'altro realizzare soluzioni robotiche specializzate per lo svolgimento di compiti verticali in contesti specifici. Il controllo condiviso e adattativo tra operatore e sistemi di intelligenza artificiale rappresenta un ulteriore valore aggiunto non del tutto esplorato.
8. **L'ispezione** e il **monitoraggio del patrimonio storico-monumentale-architettonico** rappresentano in un paese come l'Italia un settore con enormi potenzialità di sviluppo e crescita di nuove imprese. La robotica può rappresentare una opportunità di ulteriore sviluppo in questo settore, introducendo elementi nuovi come la cooperazione e coordinamento di gruppo di robot, anche eterogenei come tipologia e funzionalità, al fine di ottimizzare in termini di tempi e qualità dei risultati le attuali operazioni eseguite tipicamente con tecniche semi manuali.

Impatti

L'adozione di soluzioni robotiche e automatiche innovative nel contesto dell'IM dovrà determinare un impatto tangibile in termini di efficienza ed efficacia degli interventi, nonché un incremento di sicurezza e una riduzione dell'impatto ambientale.

La ricerca nella robotica per IM avrà un chiaro impatto, coerente con il **Cluster 4. Digital, Industry and Space del Pillar II di Horizon Europe**, con particolare riferimento alla leadership e sovranità industriale nelle tecnologie abilitanti e digitali chiave e nell'autonomia nelle catene del valore strategiche. I principali impatti attesi sono:

- **EU19** – Protezione dell'ambiente attraverso lo sviluppo di tecniche di ispezione e manutenzione più efficaci, ripetibili e automatizzate in grado di migliorare la sicurezza degli impianti produttivi e ridurre il rischio di disastri ambientali
- **EU20** – Intelligenza artificiale e affidabile incorporata nei sistemi robotici di servizio, che sfruttano la disponibilità del dato proveniente dall'interconnessione in rete delle macchine
- **EU22** – Digitalizzazione e trasformazione dei processi produttivi e dell'industria, acquisendo la leadership industriale nelle tecnologie abilitanti e digitali chiave per l'ispezione e la manutenzione automatizzata, mediante l'utilizzo di robot e intelligenza artificiale



- **EU24** – Maggiore inclusione, aiutando l'industria a offrire posti di lavoro attraenti e creativi in Europa e promuovendo le nuove competenze nelle aree di produzione digitale e avanzata

Inoltre, avrà un chiaro impatto, coerente con un altro cluster del Pillar II di Horizon Europe:

Cluster 3. Civil Security for Society

- **EU16** – Maggiore sicurezza e resilienza delle infrastrutture fisiche, grazie all'ispezione e la manutenzione periodica con robot aerei o acquatici
- **EU18** – Migliore gestione dei rischi, grazie all'ispezione sistematica con robot mobili di monitoraggio degli spazi pubblici

Considerata l'eterogeneità della attuale condizione della ricerca in campo robotico nel contesto della ispezione e manutenzione sia nel comparto industriale che civile, diversi livelli di **TRL** sono attesi a seconda del dominio applicativo. Il valore di riferimento atteso prevalente per questa articolazione è il **TRL5**, ovvero sono attese tecnologie convalidate in ambiente industrialmente rilevante, nei contesti a bassa penetrazione della robotica, laddove nei restanti contesti che vedono attualmente in essere una contaminazione consolidata di soluzioni robotiche e meccatroniche, di progetti pilota e di Proof of Concept (PoC), avranno come obiettivo un **TRL6**, ovvero lo sviluppo di tecnologie dimostrate sul campo.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono varie interconnessioni con altri ambiti tematici dello stesso grande ambito, ma anche oltre. Per lo stesso grande ambito si possono osservare le seguenti interconnessioni:

- **Transizione digitale, I4.0; Innovazione per l'industria manifatturiera** – Più in generale, l'IM robotica è una attività trasversale e abilitante per l'innovazione nell'industria manifatturiera e la transizione digitale.
- **HPC, big data; Intelligenza artificiale** – Un forte legame con l'intelligenza artificiale e collateralmente con i *big data* è più che evidente sia per la necessità di gestire operazioni complesse sia per la necessità di elaborare grandi quantità di dati e di interpretare informazioni destrutturate.

Inoltre, possono essere identificati diversi importanti collegamenti con altri ambiti:

- **Patrimonio culturale** – Le tecnologie robotiche impiegate per l'ispezione sono facilmente riadattabili al monitoraggio e digitalizzazione del patrimonio artistico e monumentale.
- **Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti** – Le tecnologie robotiche per l'IM svolgono un ruolo cruciale per garantire la sicurezza delle infrastrutture critiche quali ponti, viadotti, gallerie ecc.
- **Energetica ambientale; Gestione delle risorse agricole; Gestione delle risorse marine** – Il pattugliamento e monitoraggio con la finalità di combattere i reati ambientali e più in generale per migliorare la gestione del patrimonio forestale e delle risorse idriche sono tra le possibili applicazioni della robotica aerea.

Key Performance Indicators

La **qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti** sarà valutata mediante specifici indicatori, tra i quali:

- a. **Eccellenza scientifica**, misurata sulla base del numero di pubblicazioni su riviste e su atti di convegni internazionali
- b. **Impatto industriale**, misurato sulla base dei brevetti assegnati, sul volume dei finanziamenti acquisiti e sul numero di nuove aziende o startup create
- c. **Impatto economico**, misurato sulla base di riduzione di costi, sull'aumento della produttività, sulla diminuzione dei fermi impianto
- d. **Impatto sulla sicurezza del lavoratore**, misurato sulla base della riduzione dell'esposizione a condizioni di lavoro rischioso
- e. **Impatto sociale sul lavoratore**, misurato sulla base della riqualificazione del lavoratore sollevato da mansioni onerose o pericolose, impiegato in attività a più alto valore aggiunto
- f. **Impatto ambientale**, misurato sulla base del monitoraggio e riduzione del rischio di catastrofi ambientali



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 sia outdoor che indoor, stoccaggio e conservazione, trasformazione, trasporto e vendita. In tutte queste fasi la **robotica** può contribuire in modo significativo al raggiungimento di **standard elevati**, per esempio, nella semina, nell'irrigazione, nel diserbo, nel monitoraggio, nella raccolta, nel trasporto, nella garanzia della qualità, nella trasformazione delle materie prime in prodotti di alta qualità, nella ricarica degli scaffali o nell'elaborazione degli ordini dei clienti attraverso la raccolta delle merci.

L'aumento della popolazione umana e quindi il bisogno 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** e auto-sostenibile, ma anche umana riducendo mansioni altamente manuali poco pagate e dannose per la salute o aumentando le capacità umane con aiuti meccatronici, così come CoViD-19 e la conseguente mancanza di forza lavoro, nonché l'aumento della **richiesta di prodotti a chilometri 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 come trovato anche nelle tecnologie dell'agricoltura di precisione**. 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. Con il Decreto Ministeriale 22/12/2017 sono state anche approvate le linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia. Anche a livello europeo l'importanza del settore è stata riconosciuta e si riflette in una politica di sviluppo rurale, come l'Agricultural European Innovation Partnership lanciata nel 2012.

Obiettivi

1. **Aumentare il livello di automazione e integrazione dell'intelligenza umana e artificiale** per migliorare le capacità cognitive e operative dell'uomo con capacità aggiuntive di macchine per ridurre la fatica umana, per ridurre i problemi di salute legati al duro lavoro fisico e al lavoro in interazione con sostanze chimiche, e per contrastare la carenza di manodopera umana nel settore agroalimentare.
2. **Migliorare l'intuitività e l'usabilità delle interfacce uomo-sistema** in modo che persone come gli agricoltori, gli operai e i venditori possano gestire i sistemi senza formazione avanzata.
3. **Movimento verso l'agricoltura di precisione** per essere in grado di fornire beni agricoli sufficienti per la crescente popolazione e per sostenere una produzione agroalimentare pulita, neutrale dal punto di vista climatico, sostenibile e di provenienza responsabile.
4. Garantire la **stabilità** e la **sicurezza** dei sistemi robot, anche nell'interazione fisica con l'uomo o con l'ambiente come necessario nel campo, nella **produzione** o nella **vendita di prodotti agroalimentari**.
5. Sviluppo di sistemi robotici in grado di effettuare **manipolazioni** e **locomozioni** in **aria** o in **acqua** e su **terreni di diversa natura** come richiesto nella coltivazione, raccolta e nel trasporto dei prodotti agroalimentari.
6. Raggiungimento di una **autonomia energetica** e una **solidità di comunicazione** in condizioni reali come quelle che si incontrano sul campo, nei centri di produzione e nei punti vendita.
7. Sviluppo di una produzione ecologica e auto-sostenibile con nuove forme di energia ricavabile dall'ambiente e nuovi materiali.

Impatti

La ricerca nella robotica per il settore agro-alimentare avrà un chiaro impatto, coerente con il **Cluster 4. Digital, Industry and Space** del **Pillar II di Horizon Europe**, con particolare riferimento alla leadership e sovranità industriale nelle tecnologie abilitanti e digitali chiave e nell'autonomia nelle catene del valore strategiche. I principali impatti attesi



sono:

- **EU19** – Agricoltura neutrale dal punto di vista climatico, stoccaggio e conservazione, trasformazione, trasporto e vendita supportate da innovativi sistemi robotici
- **EU20** – Intelligenza artificiale e affidabile incorporata nei futuri sistemi robotici per la produzione agroalimentare che sfruttano dati provenienti da tecnologie e infrastrutture informatiche e dati armonizzati di prossima generazione
- **EU21** – Leadership industriale nella produzione primaria pulita di materie prime agro-alimentari supportata dall'utilizzo di tecnologie robotiche innovative
- **EU22** – Sovranità nelle tecnologie abilitanti emergenti del futuro investendo nella scoperta precoce e nell'adozione industriale di nuovi sistemi robotici per la produzione agro-alimentare
- **EU24** – Sviluppo etico e incentrato sull'uomo di sistemi robotici come sistemi di intelligenza artificiale incarnati

Inoltre, avrà un chiaro impatto, coerente con altri Cluster del Pillar II di Horizon Europe:

Cluster 1. Health

- **EU2** – Sviluppo di sistemi robotici che permettano di lavorare in modi più ergonomici e che riducano mansioni altamente manuali poco pagate e dannose per la salute

Cluster 3. Civil Security for Society

- **EU13** – Sviluppo di sistemi robotici di agricoltura di precisione che aiutino a ridurre lo sfruttamento delle risorse naturali

Cluster 5. Climate, Energy and Mobility

- **EU25** – Transizione verso una società neutrale dal punto di vista climatico con l'aiuto di sistemi di agricoltura di precisione
- **EU30** – Distribuzione locale di merci con sistemi robotici per il trasporto a chilometri zero

Cluster 6. Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment

- **EU31** – Riduzione di emissioni e miglioramento della cattura del carbonio tramite agricoltura di precisione e coltivazione e trasporto a richiesta
- **EU32** – Ritorno alla biodiversità grazie ad alti livelli di automazione
- **EU34** – Sicurezza alimentare e nutrizionale grazie all'agricoltura di precisione che permette una coltivazione ottimizzata a livello della singola pianta

Poiché le applicazioni della robotica in questo campo variano molto nella loro natura, ci si deve aspettare anche diversi livelli di **TRL**. Negli ultimi due anni sono state fondate una serie di nuove aziende che sviluppano robot agricoli e che hanno portato sul mercato i loro vari prototipi robotici. Questi prototipi che operano principalmente nel campo hanno attualmente raggiunto diversi livelli di maturità a partire da un **TRL5/6**, laddove altri sono stati già testati raggiungendo **TRL7** o anche **TRL8/9**. Livelli più bassi di **TRL** sono tipicamente attesi nell'agricoltura di precisione se confrontati con sistemi per l'agricoltura classica. Peraltro, i sistemi robotizzati utilizzati nel processo di trasformazione hanno già raggiunto livelli molto elevati di **TRL8/9** quando si tratta di linee di produzione completamente autonome, ma le configurazioni ibride uomo/macchina sono ancora a livelli più bassi come **TRL5/6**. Nelle vendite i primi sistemi robotici sono stati testati negli ultimi anni assistendo nella distribuzione di merci a km 0, ma in genere hanno ancora livelli di **TRL5/6** e solo pochi hanno raggiunto **TRL7**.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono varie interconnessioni con altri ambiti tematici dello stesso grande ambito, ma anche oltre. Per lo stesso grande ambito si possono osservare le seguenti interconnessioni:



- **Transizione digitale, I4.0** – I futuri sistemi robotici devono essere visti come un elemento di un insieme più ampio di componenti interconnessi e quindi esiste un forte legame con l’ambito della trasformazione digitale.
- **Intelligenza artificiale** – Il settore agroalimentare richiede una forte interconnessione tra i campi dell’intelligenza artificiale e della robotica, poiché le decisioni prese sulla base dei dati possono essere portate ad azioni reali quando si tratta di coltivazione, logistica, trasporto e vendita.
- **Innovazione per l’industria manifatturiera** – La robotica ha un elevato potenziale per contribuire all’innovazione dell’industria manifatturiera agro-alimentare offrendo soluzioni per l’inserimento dei lavoratori (attraverso per esempio cobot ed esoscheletri) e per la composizione agile delle celle di produzione.
- **Aerospazio** – I sistemi robotici nel settore agro-alimentare possono trarre vantaggio dagli sviluppi di nuove piattaforme volanti a ridotta impronta ecologica, del controllo del traffico aereo, nonché dei nuovi metodi e tecnologie per l’osservazione della terra, delle telecomunicazioni e della navigazione.

Inoltre, possono essere identificati diversi importanti collegamenti con altri ambiti:

- **Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti** – La riduzione dei rischi naturali attraverso un uso consapevole delle nostre risorse naturali è un tema da studiare in collaborazione con questo ambito con l’obiettivo di sviluppare sistemi robotici che supportino l’uomo nell’adozione di strategie di agricoltura più rispettose dell’ambiente e di riduzione dei rischi naturali.
- **Cybersecurity** – I sistemi robotici con intelligenza artificiale incorporata rappresentano sistemi complessi e altamente interconnessi che elaborano dati provenienti da un gran numero di sensori che portano ad azioni. Pertanto, essi richiedono un’analisi speciale in termini di sicurezza informatica per evitare un uso improprio.
- **Green technologies** – I sistemi robotici che agiscono come tecnologie verdi possono giocare un ruolo cruciale nel settore agroalimentare per ottenere una produzione agroalimentare pulita, neutra dal punto di vista climatico, sostenibile e responsabile.

Key Performance Indicators

La **qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti** sarà valutata mediante specifici indicatori, tra i quali:

- a. **Eccellenza scientifica**, misurata sulla base del numero di pubblicazioni su riviste e su atti di convegni internazionali
- b. **Impatto industriale**, misurato sulla base dei brevetti assegnati, sul volume dei finanziamenti acquisiti e sul numero di nuove aziende o startup create
- c. **Impatto economico**, misurato sulla base della riduzione dei costi, dell’aumento del raccolto, della compensazione per la mancanza di manodopera
- d. **Impatto ambientale**, misurato sulla base dell’uso efficiente e parsimonioso delle risorse naturali, della riduzione di rischi naturali, della produzione guidata dalla domanda
- e. **Impatto sociale**, misurato sullo sviluppo di nuove politiche di inclusione sociale rivolte a lavoratori in età avanzata o diversamente abili

Articolazione 5. Robotica per la salute

Il **settore della sanità pubblica e privata** contribuisce al PIL nazionale per il 10,7%, dando lavoro ad oltre 2,4 milioni di persone (circa il 10% dell’occupazione complessiva). Questo settore forma la cosiddetta “white economy” e si divide in parti quasi uguali tra il settore privato e quello pubblico. Al 2018 (4° Rapporto GIMBE sulla sostenibilità del Servizio Sanitario Nazionale, 2019), il settore privato rappresentava da solo il 4,9% del fatturato nazionale (144 miliardi di Euro), il 5,8% dell’occupazione (circa 910.000 persone) e il 7,1% delle esportazioni (oltre 28 miliardi di Euro), rappresentando non solo un settore merceologico importante, ma anche una delle grandi spinte allo sviluppo dell’economia Italiana. Questi indicatori sono in aumento anno dopo anno, a riprova della crescente domanda, sia nazionale sia estera, di una migliore qualità e diffusione dei servizi sanitari. Investimenti mirati in questo settore avrebbero l’effetto non solo di rinforzare e rendere più competitivo un settore trainante dell’economia Italiana, ma soprattutto quello di fornire ai cittadini servizi migliori e più efficienti. In queste due aree la tecnologia robotica può contribuire in modo significativo



perché, per sua natura, integra gli aspetti fondamentali della pratica medica e cioè la raccolta dei dati dei pazienti mediante interazione fisica, i metodi di ragionamento che guidano la raccolta dati, e il movimento durante il contatto e la cura del paziente.

Un fattore chiave che permetterebbe di aumentare la qualità dell'assistenza sanitaria in tutto il percorso prevenzione–diagnosi–cura–convalescenza è quello di ridurre il più possibile l'impatto dell'errore e dell'incertezza umana nella diagnosi e nella terapia. L'integrazione di dispositivi robotici nel percorso di cura, potrebbe:

- **Stimolare una vita attiva**, soprattutto nella popolazione anziana, mediante ausili fisici in grado di interagire in modo intelligente con la persona, come per esempio nel caso del monitoraggio dell'assunzione dei farmaci, per prevenire, o allontanare nel tempo, l'insorgenza delle patologie.
- **Ottenere diagnosi più accurate e ripetibili**, per esempio eseguendo biopsie e terapie mirate con grande accuratezza.
- **Favorire interventi chirurgici complessi** grazie a dispositivi robotici in grado di interagire con il chirurgo aiutandolo ad evitare aree delicate.
- **Permettere una convalescenza e riabilitazione domestica** con dispositivi disponibili 24/7 che accelererebbero il recupero del paziente, riducendo il traffico e la congestione negli ospedali.

La carenza di personale nelle strutture sanitarie è un fatto ben noto che si ripercuote sulle lunghe liste di attesa negli ospedali e sui viaggi a scopo medico da una regione all'altra. L'emergenza CoViD-19 ha dimostrato inoltre come il Servizio Sanitario Nazionale non abbia le risorse umane sufficienti per gestire in sicurezza le procedure mediche straordinarie richieste. I robot, di vario tipo e grado di autonomia, possono sostituire le persone e ridurre l'impatto della carenza di personale. Si possono immaginare molte attività di questo tipo:

- **Assistenza ai pazienti**, guida e informazione negli ospedali (per esempio da una sala di aspetto ad un ambulatorio) e interazione con i pazienti per fornire spiegazioni sulla terapia.
- **L'utilizzo di robot teleoperati** situati in ambulatori lontani dai centri principali permetterebbe di effettuare la diagnostica a distanza anche in azioni complesse come un'ecografia (che richiede una buona manualità).
- **Assistenza in sala operatoria** per ridurre il numero di persone necessarie a un intervento: alcune funzioni degli infermieri potrebbero essere eseguite dai robot, permettendo una migliore allocazione degli infermieri nelle varie sale; analogamente, alcune funzioni di supporto all'intervento potrebbero essere eseguite da un robot, liberando un chirurgo per altre attività.
- Un assistente robotico potrebbe **distribuire i farmaci ai degenti**.
- Un terapeuta robotico potrebbe **seguire un paziente negli esercizi di riabilitazione**.
- La gestione di prelievi a pazienti contagiosi, o l'esecuzione dei test su materiali potenzialmente infetto, potrebbe essere facilmente fatto da robot, autonomi o teleoperati, che **ridurrebbero il rischio di contagio del personale sanitario**.

Obiettivi

I principali risultati che la robotica medica potrebbe raggiungere sono i seguenti:

- Miglioramento della qualità della cura
- Miglioramento dell'utilizzo e della salvaguardia del personale medico
- Risparmio della sanità pubblica

Questi risultati richiedono il raggiungimento dei seguenti obiettivi di ricerca.

1. Miglioramento delle capacità di interazione dei robot con i tessuti molli

- o Sviluppo di nuovi metodi per la simulazione della biomeccanica degli organi, per il controllo dell'interazione, per la localizzazione degli strumenti nell'anatomia deformabile di un paziente
- o Sviluppo di nuovi sensori a basso costo, potenzialmente sterilizzabili, per misurare l'interazione tra il robot e l'ambiente anatomico

2. Partecipazione dei robot al percorso diagnosi–terapia–convalescenza



- o Sviluppo di modelli matematici appropriati per garantire la comprensione di una situazione medica da parte del robot per interagire in modo opportuno con il personale medico
 - o Sviluppo di metodi di controllo appropriati per permettere, eventualmente, l'esecuzione autonoma di azioni diagnostiche, terapeutiche, di assistenza e riabilitazione da parte di un robot
 - o Sviluppo di metodi di comprensione della situazione corrente per permettere al robot di essere “consapevole” di quello che sta accadendo intorno a esso e, se necessario, di intraprendere delle azioni per raccogliere informazioni ulteriori
- 3. Miglioramento dei metodi di comunicazione uomo–macchina**
- o Sviluppo di metodi per permettere al personale sanitario di interagire con un robot semplicemente e rapidamente
 - o Sviluppo di metodi per spiegare in modo efficace al personale medico le azioni eseguite dal robot
 - o Sviluppo di metodi per interagire efficacemente con i pazienti e fornire loro informazioni appropriate sulla terapia in corso
- 4. Miglioramento dell'efficienza e della salvaguardia del personale medico**
- o Sviluppo di metodi di telepresenza per permettere al personale medico lontano dal paziente, a causa della distanza fisica o per la protezione da agenti patogeni, di avere completa percezione della situazione del paziente
 - o Sviluppo di metodi di teleoperazione per permettere a un operatore remoto di far eseguire a un robot delle azioni di diagnosi, per esempio la tele-ecografia, e di cura, per esempio un massaggio
- 5. Risparmio per la sanità pubblica**
- o Sviluppo di metodi di pianificazione per l'allocazione ottimale delle risorse, umane e robotiche, all'interno di un percorso curativo
 - o Sviluppo di metodi per l'analisi della sicurezza del sistema sanitario, considerando l'inserimento di dispositivi tecnologici complessi come i robot
 - o Assistenza remota dei pazienti a domicilio, per consentire una dimissione rapida dall'ospedale, pur mantenendo la massima qualità dell'assistenza medica e della raccolta dei dati dei pazienti

Impatti

La ricerca nella robotica per la salute avrà un chiaro impatto, coerente con il **Cluster 4. Digital, Industry and Space** del **Pillar II di Horizon Europe**, con particolare riferimento alla leadership e sovranità industriale nelle tecnologie abilitanti e digitali chiave e nell'autonomia nelle catene del valore strategiche. Si prevedono in particolare i seguenti impatti:

- **EU22** – Proprietà delle tecnologie digitali abilitanti ed emergenti per rinforzare le capacità europee nell'approvvigionamento digitale e consentendo risposte agili alle esigenze del settore industriale
- **EU24** – Sviluppo etico e centrato sulla persona delle tecnologie digitali e industriali responsabilizzando i lavoratori e gli utenti finali e sostenendo l'innovazione sociale

Inoltre, avrà un chiaro impatto, coerente con un altro cluster del Pillar II di Horizon Europe:

Cluster 1. Health

- **EU1** – I cittadini rimangono sani in una società in rapido cambiamento grazie a stili di vita e comportamenti più sani, politiche sanitarie basate sull'evidenza scientifica e soluzioni più efficaci per la promozione della salute e la prevenzione delle malattie
- **EU4** – I sistemi di assistenza sanitaria forniscono pari accesso a una assistenza sanitaria innovativa, sostenibile e di alta qualità grazie allo sviluppo e all'adozione di soluzioni economiche e incentrate sulle persone, nonché a migliori politiche sanitarie basate sull'evidenza scientifica
- **EU5** – Le tecnologie sanitarie, i nuovi strumenti e le soluzioni digitali sono applicati efficacemente grazie al loro sviluppo inclusivo, sicuro ed etico, alla consegna e all'integrazione nelle politiche sanitarie e nei sistemi sanitari e assistenziali



- **EU6** – L'industria sanitaria dell'UE è più innovativa, sostenibile e competitiva a livello globale grazie alla migliore diffusione di tecnologie e innovazioni rivoluzionarie

La robotica medica è già disponibile, in certi ambiti, come prodotto commerciale, come per esempio gli esoscheletri per la riabilitazione e il supporto delle persone e i dispositivi di chirurgia robotica (TRL9). Questi però sono eccezioni in un campo che vede una grande abbondanza di dispositivi a TRL_{3/4}, cioè dispositivi dimostrati in laboratorio, e alcuni dispositivi a livello TRL_{5/6}, cioè dimostrati in ambienti rilevanti (tipicamente validazioni pre-cliniche). I problemi che i dispositivi robotici medicali devono superare per raggiungere un TRL maggiore sono molteplici, per esempio la mancanza di investimenti per affrontare le prove cliniche necessarie per la certificazione medica; il costo, a volte eccessivo, dell'hardware che fa spostare gli investimenti su settori che richiedono investimenti minori in attrezzature; infine, la riluttanza degli utenti finali a fare grossi investimenti in dispositivi inventariabili, come è il caso dei robot (riabilitativi e chirurgici) correnti. Una strada da seguire, che porrebbe l'Italia all'avanguardia dello sviluppo e aprirebbe il mercato di questi dispositivi in nazioni che non hanno grosse disponibilità finanziarie, è quella dello sviluppo di dispositivi a basso costo, sviluppando soluzioni innovative ed economiche, che permetterebbero di risolvere i problemi appena indicati.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

È immediato riconoscere le molte interconnessioni della robotica per la salute con altri ambiti tematici dello stesso grande ambito, ma anche con altri ambiti. Per esempio, esistono le seguenti interconnessioni:

- **Innovazione dell'industria manifatturiera, I4.0** – L'introduzione nel mercato di robot medicali, sicuri ed economici, stimolerà lo sviluppo di nuove tecnologie produttive in grado di rispondere alle esigenze di certificazione e sterilità dei robot medicali, con possibili ricadute anche in altri settori, come quelli del packaging e dell'agro-alimentare.
- **Transizione digitale** – I nuovi robot medicale permetteranno il completamento della transizione medica in medicina, trasferendo i vantaggi dell'informatizzazione medica in cura diretta dei pazienti, in ausilio e ad integrazione delle azioni del personale clinico.
- **HPC, big data; Intelligenza artificiale** – I nuovi robot medicali dovranno essere dotati di funzioni autonome per collaborare con il personale medico ed eliminare gli eventuali errori umani. Queste funzioni saranno basate sul concetto di "embedded AI" e di apprendimento artificiale, trasferendo le competenze teoriche nella pratica dell'interazione fisica con l'ambiente.
- **Aerospazio** – I sistemi robotici medicali permetteranno di sviluppare e validare le tecnologie della cura medica a distanza che sarà di grande importanza per le attività umane nello spazio, fornendo il supporto medico specialistico agli equipaggi in orbita e nelle future colonie umane sulla Luna.

Inoltre, importanti collegamenti con altri ambiti possono essere:

- **Patrimonio culturale** – Le tecnologie robotiche medicali per l'interazione con pazienti remoti sono facilmente usabili per rendere fruibile in maniera remota il patrimonio artistico e monumentale.
- **Energetica ambientale** – Le attività di telemedicina, quali diagnostica, riabilitazione e, eventualmente chirurgia, permetteranno di ridurre l'impatto ambientale della cura della salute, riducendo viaggi, liste di attesa, e patologie e ricadute dovute alla mancanza di diagnosi precoci.

Key Performance Indicators

La **qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti** sarà valutata mediante specifici indicatori, tra i quali:

- a. **Eccellenza scientifica**, misurata sulla base del numero di pubblicazioni su riviste e su atti di convegni internazionali
- b. **Impatto industriale**, misurato sulla base dei brevetti assegnati, sul volume dei finanziamenti acquisiti e sul numero di nuove aziende o startup create
- c. **Impatto economico** dei robot medicali misurato sulla base dei nuovi posti di lavoro creati



- d. **Impatto sociale** dei robot medicali, misurato sulla base delle nuove professionalità create in sostegno della robotica medica, sul miglioramento delle condizioni di lavoro del personale medico/sanitario, sullo sviluppo di nuove politiche di inclusione sociale rivolte a lavoratori in età avanzata o diversamente abili
- e. **Miglioramento della salute dei pazienti**, misurato sulla base della riduzione del numero di errori medici, del numero di ricadute, e del tempo di degenza
- f. **Riduzione dei costi per gli operatori del settore della salute**, quali per esempio ospedali, ambulatori, professionisti, misurato sulla base dell'aumento della produttività (casi trattati, numero di pazienti curati, numero di interventi eseguiti), sulla riduzione dei tempi di attesa e dei costi per il cittadino

Articolazione 6. Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi

La mobilità personale, fino a oggi principalmente soddisfatta dall'automobile di proprietà privata, nei prossimi decenni subirà una vera e propria rivoluzione. L'attuale modello di mobilità, costituito da auto di taglia medio grande, alimentate da combustibile fossile, di proprietà privata, e guidate da esseri umani, verrà sostituito da un **nuovo modello di mobilità personale**, in cui le automobili saranno a guida autonoma, mosse da motori elettrici, condivise, e mediate di dimensione inferiore.

Il catalizzatore di questa rivoluzione sarà il passaggio alla guida autonoma; i veicoli a guida interamente autonoma spingeranno infatti rapidamente il passaggio dall'auto privata all'auto condivisa (ovvero dall'acquisto del bene all'acquisto del servizio), e faciliteranno notevolmente la diffusione dell'auto elettrica, riducendo contemporaneamente la dimensione media dei veicoli circolanti, in quanto ciascun utente, in ogni occasione, potrà scegliere il veicolo di taglia minima che soddisfa la propria esigenza.

Il modello di mobilità personale, a tendere, avrà quindi come paradigma il cosiddetto "**robo-taxi**": un veicolo interamente autonomo, che verrà chiamato, usato, e rilasciato su richiesta, per compiere un determinato tragitto, in un modello di utilizzo completamente "a servizio", come quello di un tradizionale mezzo di trasporto pubblico collettivo (ovvero treni e metropolitane, che si svilupperanno ulteriormente per affiancare e complementare il robo-taxi).

Recenti analisi fatte a partire da dati telematici hanno mostrato come la contemporaneità di utilizzo dell'attuale parco macchine circolante degli italiani non supera il 10% nelle ore di picco dei giorni feriali. Il passaggio al modello robo-taxi determinerà quindi una rivoluzione anche nei numeri: il parco macchine attuale verrà drasticamente ridotto (di circa di un fattore 10, senza contare un possibile ulteriore decremento dovuto alla virtualizzazione della mobilità delle persone, trend recentemente accelerato dalla pandemia di CoViD-19), ma allo stesso tempo ciascun veicolo verrà utilizzato molto di più, e sarà dotato di tecnologie molto più avanzate e complesse degli attuali veicoli.

Questo rivoluzionario passaggio alla completa automazione dei veicoli sarà progressivo ma rapido, e si ipotizza venga completato nel giro di 20-30 anni al massimo. Oggi esistono già in commercio veicoli con livello di automazione L2; siamo in fase di sperimentazione e di definizione dell'assetto normativo per adottare il livello L3 (il primo livello nel quale, seppur occasionalmente, la responsabilità di guida viene interamente trasferita al sistema di controllo automatico dell'auto); i livelli L4 e L5 verranno poi raggiunti e completati entro il 2050.

Dal punto di vista dei contenuti tecnologici, la componente di gran lunga più costosa e sofisticata del robo-taxi sarà il **pacchetto di automazione (o di robotizzazione)**, che contiene numerosi strati tecnologici interconnessi: gli attuatori *smart* (freni, sterzo, motori ecc.), i sensori (unità inerziali, sistemi GNSS, ma soprattutto sensori EGO di distanza dagli ostacoli, quali videocamere, LIDAR, radar, e sensori acustici), il sistema di controllo della dinamica del veicolo (*motion control*), e il sistema di controllo della navigazione (pianificazione della traiettoria e del profilo di velocità). All'interno di questo pacchetto tecnologico, la componente di intelligenza (ovvero gli algoritmi di controllo e di elaborazione dei segnali) sarà quella più importante e caratterizzante e verrà sviluppata a partire dalle tecnologie dell'automazione, del *machine learning*, e dell'elaborazione dei segnali (in particolare delle immagini); questo pacchetto algoritmico, nel suo insieme, può essere considerato una forma complessa ed articolata di quella che oggi viene denominata Intelligenza Artificiale.



Questo enorme e importantissimo pacchetto tecnologico per la robotizzazione veicoli, opportunamente adattato, troverà applicazione in tutti i veicoli terrestri su gomma, che possono essere così classificati:

- Veicoli per mobilità delle persone su strada: principalmente automobili, ma anche bus e minibus
- Veicoli per la mobilità delle merci su strada: camion e veicoli commerciali
- Veicoli *off-highway*: in primis veicoli per l'agricoltura (in particolare, in Italia, piccoli trattori per agricoltura intensiva in vigneti, frutteti ecc.) ma anche macchine per le costruzioni, macchine movimentazione terra, veicoli battipista ecc.
- Veicoli senza persone a bordo (*unmanned*), ovvero "droni terrestri": anche in questo caso declinabili per applicazioni di mobilità delle merci (*last-mile delivery* nei centri urbani e metropolitani), o per l'agricoltura (in quest'ultimo caso i veicoli saranno completati e integrati da sistemi di robotica manipolativa per l'esecuzione di operazioni di lavorazione).

Siamo quindi all'alba di alcuni decenni di enorme importanza strategica per le tecnologie della mobilità, che definiranno i nuovi equilibri industriali del settore. Il ruolo della ricerca tecnologica Italiana in questo ambito può e deve essere di primaria importanza. L'Italia è una delle eccellenze mondiali nel campo dei veicoli, dalle biciclette alle moto, dai camion ai trattori, passando ovviamente per l'automobile, l'Italia è sempre stata in una posizione di leadership, e vanta tuttora alcuni dei più importanti e prestigiosi marchi a livello mondiale. Allo stesso tempo, l'Italia è una eccellenza mondiale nel campo dell'automazione, dei sistemi di controllo e della robotica, e può quindi cogliere una opportunità unica di giocare un ruolo di primo piano nello sviluppo tecnologico dei veicoli autonomi.

Obiettivi

I principali obiettivi della ricerca in questo campo sono:

1. **Sviluppare algoritmi di controllo** che consentano al veicolo autonomo, a partire dai flussi di dati provenienti dai sensori, di compiere in modo autonomo tutte le operazioni di pianificazione (*path planning* e *speed-profile planning*) e di controllo della dinamica (*motion control*) del veicolo autonomo.
2. **Sviluppare sensori, inclusivi degli strati di basso livello di *signal processing*** in modo da consentire una percezione sempre più accurata, completa e ridondante dell'ambiente circostante, sia fisso che dinamico.
3. **Integrazione e coordinamento dell'intelligenza umana e artificiale** per facilitare le transizioni dalla guida automatica alla guida umana, in tutti i livelli intermedi (L3 e L4) di automazione del veicolo, nei quali convivono (con una percentuale di tempo progressivamente crescente della guida automatica) la guida automatica e la guida umana.
4. **Studiare i problemi decisionali che coinvolgono scelte critiche** per essere in grado di avere un quadro di riferimento, anche dal punto di vista legale e normativo, che indichi delle linee guida in merito agli obiettivi da ottimizzare in situazioni di emergenza dove non esiste la possibilità di una completa evasione senza danni a persone, animali, o cose.
5. **Garantire la sicurezza del veicolo, dei suoi (eventuali) passeggeri, e delle persone, animali o cose attorno a esso**, in tutte le condizioni di guida, in particolare nelle condizioni più avverse (di traffico, metereologiche, infrastrutturali).
6. **Sviluppare i sistemi di automazione del veicolo basati su sensori EGO (GPS, sensori di distanza) integrando informazioni X-to-V (Infrastructure-to-Vehicle, Vehicle-to-Vehicle ecc.)**, grazie a connettività (5G e oltre) in grado di garantire latenze bassissime.
7. **Sviluppare le tecnologie del veicolo autonomo oltre l'automobile**, anche nei mezzi di trasporto merci, nei veicoli *off-highway*, nei veicoli *unmanned* (droni terrestri) per *last-mile delivery*, nell'agricoltura.
8. **Integrare i veicoli autonomi con sistemi robotici manipolativi**, per raggiungere livelli di autonomia operativa elevati in operazioni complesse che richiedono il coordinamento di un veicolo e di un manipolatore robotico (per esempio, la raccolta automatica di uva in una vigna).

Impatti

La ricerca nella robotica per la mobilità e i veicoli autonomi avrà un chiaro impatto, coerente con il **Cluster 5. Climate**,



Energy and Mobility del Pillar II di Horizon Europe, con particolare riferimento alla leadership e sovranità industriale nelle tecnologie abilitanti la mobilità, e il raggiungimento di una mobilità sostenibile ed eco-compatibile:

- **EU28** – Acceleratore della transizione verso una mobilità elettrica energeticamente sostenibile e ad impatto ambientale nullo
- **EU29** – Leadership industriale in un settore (*automotive*) ad altissima importanza strategica ed in forte cambiamento di assetti
- **EU30** – Sviluppo di una mobilità sicura, integrata, sostenibile ed accessibile a tutti secondo logiche a servizio e non legate alla proprietà esclusiva dei mezzi di trasporto

Inoltre, avrà un chiaro impatto, coerente con altri Cluster del Pillar II di Horizon Europe:

Cluster 4. Digital, Industry and Space

- **EU22** – Sovranità delle reti e dei servizi digitali (con particolare riferimento alle flotte di veicoli autonomi condivisi)

Cluster 6. Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment

- **EU34** – Sicurezza alimentare e nutrizionale grazie all'agricoltura di precisione che permette una coltivazione ottimizzata a livello della singola pianta

Poiché le applicazioni dei veicoli autonomi in questo campo variano molto nella loro natura, ci si deve aspettare anche diversi livelli di TRL. In particolare le applicazioni a bassa criticità dal punto di vista della sicurezza (veicoli piccoli e/o a bassa velocità, veicoli *unmanned*, veicoli *off-highway*) raggiungeranno più rapidamente livelli di TRL alti. Su veicoli a maggiore complessità e criticità in termini di sicurezza, TRL elevati verranno raggiunti più rapidamente in sottosistemi e sotto-componenti. L'ambito del veicolo autonomo comprende un tale complessità e varietà di tecnologie e componenti che esisterà spazio sia per strutture industriali medio-piccole, concentrate su specifici sotto-componenti o sottosistemi, fino ad arrivare a interi veicoli su strada con passeggeri, che richiederanno alti investimenti e alta capacità di *system integration*.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Esistono varie interconnessioni con altri ambiti tematici dello stesso grande ambito, ma anche oltre. Per lo stesso grande ambito si possono osservare le seguenti interconnessioni:

- **Transizione digitale, I4.0** – I futuri veicoli autonomi devono essere visti come un elemento di un insieme più ampio di componenti interconnessi e quindi esiste un forte legame con l'ambito della trasformazione digitale.
- **Intelligenza artificiale** – Il veicolo autonomo è una delle applicazioni principali delle tecnologie dell'intelligenza artificiale, per l'altissimo livello di complessità algoritmica, e per la enorme varietà di situazioni che possono presentarsi in un ambiente altamente dinamico e destrutturato come le strade, soprattutto in un contesto di co-esistenza dei veicoli a guida umana e di veicoli a guida autonoma.

Inoltre, possono essere identificati diversi importanti collegamenti con altri ambiti:

- **Cybersecurity** – I veicoli autonomi rappresentano una delle maggiori sfide in questo ambito, in quanto sono intrinsecamente critici per la sicurezza di persone, animali e cose, e rappresentano un bene di largo consumo.
- **Green technologies** – I veicoli autonomi possono contribuire in modo determinante all'accelerazione verso la mobilità elettrica, e consentono un utilizzo ottimale della energia immagazzinata a bordo veicolo.

Key Performance Indicators

La **qualità dei risultati della ricerca e degli impatti raggiunti** sarà valutata mediante specifici indicatori, tra i quali:

- a. **Eccellenza scientifica**, misurata sulla base del numero di pubblicazioni su riviste e su atti di convegni internazionali



- b. **Impatto industriale**, misurato sulla base dei brevetti assegnati, sul volume dei finanziamenti acquisiti e sul numero di nuove aziende o startup create
- c. **Impatto economico**, misurato sulla base della riduzione dei costi della mobilità personale del cittadino, dei costi della logistica per il trasporto merci, e dell'efficientamento della operatività di veicoli *off-highway* e per l'agricoltura
- d. **Impatto ambientale**, misurato sulla base dell'uso efficiente e parsimonioso dell'energia, e sulla base della capacità di accelerare la transizione verso l'auto elettrica
- e. **Impatto sociale**, misurato sulla base della disponibilità di servizi di mobilità a basso costo e aperti a tutti i cittadini

Obiettivi e impatti della robotica nel grande ambito Digitale, Industria e Aerospazio

La Robotica è una disciplina su cui il nostro Paese ha tutto l'interesse a investire: il contesto nazionale e internazionale mette chiaramente in evidenza che **la Robotica è una scienza e una tecnologia ben assestata ma ancora lontana dall'aver dispiegato tutti i suoi dirimpenti effetti nelle aree di applicazione che ne potrebbero beneficiare**. I risultati di un tale investimento sono garantiti dalla storia passata, che vede l'Italia detenere posizioni di assoluta eccellenza nella ricerca, tanto di base quanto applicata, e l'industria manifatturiera occupare i primi posti a livello mondiale, con particolare riferimento all'export di beni e tecnologia. Il Paese può quindi cogliere nel PNR 2021–2027 l'occasione di fare un ulteriore e decisivo passo in avanti nella Robotica, mettendo a frutto decenni di consolidata esperienza, sistematizzando le variegate forme in cui la ricerca nella Robotica e nelle Macchine Intelligenti è progredita negli ultimi anni, garantendo una **più efficace catena di trasmissione tra la ricerca, il trasferimento tecnologico e il prodotto**, e in definitiva consolidando un **primato a livello europeo nella Robotica** che è alla portata del nostro Paese.

Il presente documento ha delineato il quadro attuale e futuro della ricerca nella Robotica, proponendone una organizzazione in sei articolazioni. Queste articolazioni vanno intese come scenari applicativi in cui la Robotica potrà dispiegare i suoi effetti e sono coerenti con l'impostazione della ricerca Robotica data a livello europeo, ma non prefigurano scelte di investimento alternativo, anzi preludono a un **quadro di investimenti organico che copra ad ampio spettro tutto lo scenario applicativo realisticamente prefigurabile nel prossimo settennio**.

Nel documento sono anche suggerite delle precise linee di intervento (il varo di un Programma Quadro Strategico: Robotica per la Società, la fondazione di un Istituto Nazionale di Robotica e Machine Intelligenti e l'istituzione di un Dottorato Nazionale a vocazione industriale in Robotica e Macchine Intelligenti) la cui adozione conferirebbe concretezza agli obiettivi precedentemente delineati.

Con riferimento agli obiettivi e agli impatti definiti per il Grande Ambito "Informatica, Industria e Aerospazio", l'Ambito Robotica assume come **Obiettivi (OB) primari**:

- **OB1** – Conseguire una posizione di leadership nell'economia circolare
- **OB2** – Raggiungere una resilienza economica, sociale e ambientale
- **OB5** – Sostenere inclusione e innovazione sociale
- **OB7** – Rafforzare l'ecosistema industria–ricerca e il trasferimento tecnologico

e come **Impatti (IMP) primari**:

- **IMP1** – Sviluppo e miglioramento di catene del valore industriali e di infrastrutture digitali pulite e neutrali dal punto di vista ambientale
- **IMP2** – Raggiungimento di una resilienza sociale, economica e ambientale e miglioramento della capacità di gestire eventi estremi ed inattesi
- **IMP5** – Affermazione dell'autonomia italiana nelle tecnologie digitali affidabili e *human-centered*



- **IMP6** – Definizione di una società inclusiva nell’uso delle tecnologie per l’individuo e per lo sviluppo dell’economia, ottimizzandone l’impiego e minimizzandone i rischi
- **IMP8** – Miglioramento delle relazioni industria–università e creazione di un circolo virtuoso di trasferimento di competenze

Il tema Robotica contribuisce inoltre in modo rilevante e diretto agli obiettivi:

- **OB3** – Costruire una economia dei dati
- **OB4** – Consolidare e potenziare le tecnologie digitali affidabili
- **OB6** – Raggiungere una posizione di leadership nell’aerospazio

e agli impatti:

- **IMP3** – Posizionamento italiano nella economia dei dati nel rispetto di privacy e security
- **IMP4** – Posizionamento italiano nelle grandi infrastrutture europee per il super-calcolo e la scienza aperta
- **IMP7** – Migliore posizionamento dell’industria aerospaziale nel contesto europeo ed internazionale

Con specifico riferimento alle **Articolazioni (ART)** delineate in questo documento, ovvero:

ART1. Robotica in ambiente ostile non strutturati

ART2. Robotica per Industria 4.0

ART3. Robotica per l’ispezione e la manutenzione di infrastrutture

ART4. Robotica per il settore agro-alimentare

ART5. Robotica per la salute

ART6. Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi

si possono individuare le seguenti connessioni con gli obiettivi e gli impatti sopra evidenziati:

	ART1	ART2	ART3	ART4	ART5	ART6
OB1	*		*	*		*
OB2	*	*	*	*	*	*
OB3				*	*	
OB4		*			*	*
OB5	*	*			*	
OB6		*	*			
OB7	*	*	*	*	*	*
IMP1	*		*	*		*
IMP2	*	*	*	*		*
IMP3					*	
IMP4					*	
IMP5	*	*			*	*
IMP6	*	*	*	*	*	*
IMP7		*	*			
IMP8	*	*	*	*	*	*



4.5 Tecnologie quantistiche

Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni

Le Tecnologie Quantistiche (QT) sono le tecnologie basate sulle conseguenze delle proprietà più profonde e rivoluzionarie della Meccanica Quantistica. Le QT sono un **settore R&D fortemente innovativo con un elevato potenziale d'impatto**. Quella che potremo vivere nei prossimi anni, grazie allo sviluppo di queste tecnologie, si annuncia come una vera rivoluzione, la seconda derivante dalla meccanica quantistica, grazie alla capacità di gestire e sfruttare completamente le potenzialità dei fenomeni quantistici (principio di 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, oppure di raggiungere sensibilità di misura impensabili con le tecniche tradizionali. La trasformazione che si prefigura è dirimpante considerando la capacità delle QT di **ricaduta dirette** e di **grande portata su tutti i campi della scienza**, dall'informatica alla biologia, dalle telecomunicazioni all'ingegneria, dalla chimica alla farmaceutica, dalla medicina e all'ambiente. Ci si aspetta che tutto ciò porti ad una crescita esponenziale delle potenze di calcolo, permetta di comunicare le informazioni in modalità assolutamente sicura e, ancora, consenta di realizzare dispositivi in grado 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.

Le **proiezioni macroeconomiche** per il prossimo decennio prevedono per le QT un **impatto significativo** sia sul PIL sia sui livelli occupazionali dei paesi sviluppati. Se tali previsioni saranno realizzate, i paesi avanzati si divideranno fra quelli che avranno accesso diretto alle QT e quelli che non lo avranno, portando con sé gravi problemi per infrastrutture strategiche e di sicurezza nazionale. È ormai ampiamente compreso quanto la padronanza di tecnologie basate su sostanziali progressi scientifici e che incorporano innovazioni sia in grado di determinare, nel prossimo futuro, la prosperità di paesi o di intere regioni del pianeta. Un'elevata competenza su queste tecnologie diventerà l'elemento fondamentale per lo sviluppo economico e per la autodeterminazione digitale delle nostre società nel prossimo decennio.

Gli effetti che si possono prevedere riguardano sia le attività che sono in grado di industrializzare queste tecnologie (micro- e nano-elettronica, fotonica, software, ...) sia quelle realtà capaci di valorizzarle e sfruttarle e che, tramite esse, acquisirebbero un divario di competitività notevole in campi ad alta vocazione tecnologica come l'industria farmaceutica, chimica, aeronautica e incolmabile in altri come le ricerche e applicazioni sui nuovi materiali, la sicurezza informatica (cyber-security) le risorse energetiche. Non poter disporre di consistenti capacità tecnologiche proprie in questi settori potrebbe determinare, nel tempo, serie difficoltà in termini di approvvigionamento per le necessità del paese con perdita di supremazia in alcuni settori e conseguente dipendenza da altre economie, con impatti molto negativi sulla tenuta del sistema produttivo e sugli scambi commerciali.

L'Italia vanta una tradizione molto solida nella ricerca in Fisica Quantistica, grazie ad un consistente numero di ricercatori di primo piano e ad una rete di laboratori competitiva a livello internazionale. Rimane purtroppo un cronico ritardo del sistema paese in termini di sviluppo tecnologico e industriale nei confronti degli altri paesi industrializzati, ritardo che è tuttavia ancora recuperabile se si mette in atto un piano ambizioso sulle QT. È importante sottolineare che questo sforzo deve essere intrapreso nel più breve tempo possibile, poiché gli altri paesi stanno accelerando notevolmente in questa direzione e quindi un nostro ritardo potrebbe creare un gap difficile da colmare.

Per la dimensione dell'impatto sociale ed economico, lo sviluppo delle QT richiede un livello di investimento molto elevato. Tutti i grandi paesi sviluppati hanno messo in atto ambiziosi programmi nazionali che affrontano in modo globale la sfida delle tecnologie quantistiche con investimenti stimabili in circa 2 miliardi di euro annui su scala mondiale.

È quindi necessario, puntando sull'eccellenza della ricerca in questi settori e sulle forti competenze del tessuto industriale collegato, avviare politiche industriali e di ricerca in grado di consentire la permanenza del nostro paese tra



le potenze industriali di primo piano e tra i leader europei in questa tecnologia, alla stessa stregua di quanto è stato fatto nello sviluppo delle tecnologie aerospaziali.

La forte attenzione dell'Europa a queste tematiche strategiche è testimoniata dal lancio dell'iniziativa *Quantum Flagship* i cui obiettivi sono organizzati intorno a quattro aree principali di applicazione delle tecnologie quantistiche: la comunicazione, il computing, la simulazione, la sensoristica e metrologia. Queste quattro aree sono fortemente collegate da basi comuni nella ricerca fondamentale in fisica quantistica e saranno supportate da attività correlate in settori trasversali come l'ingegneria, l'istruzione e la formazione. La nuova *Strategic Research Agenda on Quantum Technologies*, presentata dalla Flagship nel marzo 2020, che ha come scopo di stabilire una chiara direzione per lo sviluppo futuro della ricerca e dell'innovazione in campo quantistico in Europa. Il documento, di oltre 70 pagine e frutto del lavoro di numerosi esperti europei del settore, si pone obiettivi ambiziosi puntando a posizionare l'Europa all'avanguardia della "seconda rivoluzione quantistica", conducendo a sensibili progressi e trasformazioni nel campo della scienza, dell'industria e della società.

L'Europa dunque, dedica alle QT ingenti finanziamenti non solo nel *Framework Program* per lo sviluppo delle ricerche e delle tecnologie ma anche per la realizzazione di reti di infrastrutture all'interno del programma *Digital Europe*. Infatti, per raggiungere un effettivo sviluppo di queste tecnologie, è particolarmente importante accompagnare lo sforzo in ricerca e innovazione tramite un consistente investimento in infrastrutture sia materiali che organizzative. Il programma di potenziamento delle infrastrutture rappresenta una preziosa occasione per facilitare l'accesso alla tecnologia, accelerare e rafforzare le relazioni con l'industria, mettere le basi per la crescita delle necessarie catene di approvvigionamento e fornire un terreno per far crescere una nuova generazione di lavoratori in grado di maneggiare e gestire con professionalità ed efficienza queste nuove tecnologie. Un immediato coinvolgimento dell'industria nazionale in questo processo si rivela cruciale per il trasferimento delle conoscenze dal laboratorio alla fabbrica e successivamente al mercato e per lo sviluppo di un tessuto industriale all'avanguardia.

Per raggiungere questi obiettivi è indispensabile **realizzare un efficace coordinamento fra gli Enti di Ricerca, le Università e l'Industria**, riconciliando le pur diverse finalità e orizzonti temporali. Tale coordinamento consentirà di superare l'attuale debolezza strutturale che limita la capacità di trasformare l'eccellenza scientifica italiana in "innovazione". Lo scopo è realizzare prodotti ad alto valore aggiunto che scaturiscono dalla ricerca, generando grandi opportunità per il benessere sociale ed economico della collettività (salute, sicurezza, energia, ambiente).

Un'inversione di tendenza è possibile sfruttando le novità delle Tecnologie Quantistiche e delle tecnologie abilitanti ad esse collegate, per ristabilire in Italia una filiera completa, che affronti a tutti i livelli le problematiche connesse con il passaggio dalla ricerca fondamentale alla commercializzazione, attraverso la prototipazione, la standardizzazione, e la produzione industriale. A questo scopo, occorre agire tramite un **maggiore coordinamento nazionale fra le realtà coinvolte** (operatori, fornitori di sistemi, produttori di componenti, linee di produzione pilota, università, enti di ricerca, enti di standardizzazione) e **l'istituzione di strumenti, anche finanziari, per incoraggiare il trasferimento di know-how, di proprietà intellettuale e di personale qualificato dall'università all'industria e viceversa**.

È altrettanto necessario affiancare lo sforzo in ricerca e innovazione con la creazione di un sistema di istruzione e formazione. L'obiettivo da raggiungere è la realizzazione di un ecosistema di apprendimento in grado di rendere familiari i concetti di base della fisica quantistica a tutti i livelli, dalla scuola agli ambienti di lavoro. È necessario che i concetti chiave della meccanica quantistica diventino parte integrante del curriculum formativo per tutti gli attori dell'innovazione, a partire da ingegneri ed informatici oltre che, come naturale, di chimici e fisici. Questo non serve solo a formare figure di lavoratori pronte per la rivoluzione quantistica ma soprattutto per realizzare una società avanzata, informata, con conoscenze e atteggiamenti aperti nei confronti delle tecnologie quantistiche.

Alla luce di quanto detto diventa 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 temporale di questo PNR, dalla ricerca di frontiera all'introduzione delle QT nei prodotti industriali e che, dato l'alto 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.



Una importante opportunità, per l'avvio concreto del percorso delineato, è costituita dalle risorse EU di cui l'Italia potrà disporre nell'arco dei prossimi due anni (soprattutto il Recovery Fund), trattandosi di Fondi da utilizzare in larga parte per la realizzazione di Infrastrutture e che richiedono una pianificazione preesistente. In questo caso specifico si tratta di Infrastrutture nazionali che sono già all'interno di una ben precisa strategia europea ed è quindi molto più immediata la contestualizzazione e la definizione dell'esigenza. In più, la Presidente della Commissione EU, Ursula Von der Leyen, ha direttamente menzionato le Quantum Technologies nel suo primo discorso sul *Recovery Fund*, enumerandole tra le *strategic digital capacities and capabilities*. Al fine di una compiuta realizzazione della traiettoria delineata in precedenza, oltre alle singole Infrastrutture tematiche, assume particolare rilevanza l'attivazione di una Struttura di Coordinamento, denominato nel seguito del documento Istituto Nazionale per le Tecnologie Quantistiche-INQ, in grado di creare un forte collegamento tra la ricerca più avanzata e le imprese innovative, innescando i positivi effetti sociali ed economici perseguiti dall'EU.

Lo sviluppo delle QT in Italia nel prossimo decennio sarà decisivo per collocare e mantenere l'Italia in prima linea nella seconda rivoluzione quantistica che si sta sviluppando in tutto il mondo, anche sfruttando sinergicamente il potenziale delle tecnologie abilitanti negli ambiti della fotonica, micro- e nano-elettronica e delle nanotecnologie/nanomateriali ad esse correlate. Tale sviluppo creerà nuove opportunità industriali e commerciali, e fornirà le necessarie capacità strategiche in ambito sicurezza e ICT. La rilevanza economica, l'impatto sul tessuto produttivo e i benefici sulla società del futuro impongono che l'Italia si renda protagonista di iniziative che promuovano la ricerca, il trasferimento tecnologico e le applicazioni industriali nelle QT e nei settori ad esse adiacenti con un orizzonte strategico di lungo termine.

Il documento si sviluppa su sei diverse articolazioni che incorporano le aree principali individuate nella *Quantum Flagship: computing e simulazione, comunicazione, sensoristica e metrologia*, alle quali è aggiunta l'**efficienza e la sostenibilità energetica**, insieme con due articolazioni riguardanti aspetti fondamentali quali le **infrastrutture di ricerca e la formazione e il capitale umano**.

All'interno delle singole articolazioni vengono indicati gli impatti basati sulle linee guida del documento "*Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe*".

Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

La **seconda rivoluzione quantistica già in atto**, guidata dalle QT, promette di fornire risposte ai grandi Temi con cui si confronta la Società, in particolare a quelle transizioni, quali quella ambientale, digitale, economica ed energetica, che richiedono approcci radicali e non incrementali per la loro gestione.

I nuovi dispositivi, sistemi e prodotti in grado di sfruttare le proprietà uniche e rivoluzionarie della meccanica quantistica, possono consentire il drastico cambiamento di metodo necessario ad **incidere profondamente su Economia e Società**, risolvendo le sfide più grandi, in maniera analoga a quanto avvenuto, ormai diversi decenni fa, con l'avvento di transistor, laser, GPS etc.

Tali risposte hanno una portata potenzialmente vastissima. Se la realizzazione di **sistemi di calcolo e simulazione quantistici** offrono soluzioni scientifiche straordinarie, consentono parallelamente un cambio sostanziale in una vasta gamma di tecnologie classiche di punta, a supporto dello sviluppo delle tecnologie quantistiche, alimentando un'industria italiana ed europea d'avanguardia in settori chiave, come ad esempio quello dell'**elettronica**, della **fotonica**, della **criogenia**, o nel **software di controllo**. Questo produrrà un impatto potenzialmente molto grande sia a livello economico sia a livello sociale, tramite lo sviluppo di un tessuto industriale completamente rinnovato e più competitivo e la creazione di figure professionali altamente qualificate.

Le potenziali applicazioni della Computazione e Simulazione Quantistica sono, come è immaginabile, ad amplissimo spettro. Nel lungo termine, i computer quantistici universali rivoluzioneranno i processi di **ottimizzazione**, il **machine learning**, l'**intelligenza artificiale**, l'**organizzazione dei processi aziendali**, la **gestione delle finanze** e della **dinamica di sistemi**, la **simulazione digitale di sistemi a molti corpi** in fisica, chimica, biologia, ricerca farmaceutica



e scienza dei materiali. Sono quindi profonde le relazioni con tutte le evoluzioni degli ecosistemi economici, ambientali, digitali, energetici etc. Inoltre, la possibilità di avere connessioni quantistiche fra processori quantistici con la realizzazione del *Quantum Internet*, promette una radicale svolta nella **transizione digitale**.

Le tecnologie quantistiche promettono un cambiamento paradigmatico anche nell'affrontare le sfide poliedriche della **sicurezza ambientale**, con un immenso potenziale per la risoluzione di problemi chiave dell'Umanità. Tra questi, i **cambiamenti climatici** rappresentano senza dubbio una delle sfide più grandi su scala globale. Le eventuali soluzioni devono confrontarsi con una estrema complessità dei fenomeni e dei modelli previsionali. La disponibilità di una capacità di calcolo diversa dall'attuale, sia quantitativamente che qualitativamente, apre scenari radicalmente nuovi per una comprensione di dettaglio dei **processi fisico-chimici e biologici alla base dei Cambiamenti Climatici**, contribuendo a definire strategie idonee ed efficaci alla mitigazione del problema. La definizione di scenari a scale temporali progressivamente più lunghe passerà per una disponibilità di potenzialità di calcolo non-convenzionale, che potrebbe essere resa disponibile dal calcolo quantistico. Un efficace controllo dei modelli sull'evoluzione del clima sul nostro Pianeta potrà consentire non soltanto una mitigazione passiva ma addirittura favorire l'implementazione di sistemi attivi di controllo, che sono in discussione già oggi, ma che necessitano di capacità previsionali molto raffinate e precise per il controllo del feedback ambientale. Per l'estrema complessità, per il numero enorme di variabili da considerare e per la vastità dei fenomeni, il controllo dei Cambiamenti Climatici potrebbe rivelarsi un eccezionale banco di prova per le tecnologie quantistiche, non soltanto per le capacità di calcolo, ma anche per le **reti di sensori innovativi**, per sensibilità ed accuratezza, che potrebbero definire nuovi standard nella qualità e nell'affidabilità dei dati sperimentali a supporto dei modelli. In un futuro scenario è ipotizzabile immaginare reti di sensori con funzionalità quantistiche gestiti all'interno di una rete informatica anch'essa quantistica, con potenzialità complessive che non sono ad oggi immaginabili. Per concludere, un essenziale contributo delle QT in ambito ambientale, ancor prima dello sviluppo di computer quantistici "universali" con potenze di calcolo adeguate, potrà venire dall'utilizzo di **Simulatori Quantistici**, per i quali l'Italia è all'avanguardia, combinati ad opportuni modelli in scala di specifiche problematiche ambientali.

Uno dei grandi impatti delle QT sulla Società, già dimostrati in qualche caso, è legato alla capacità unica di una **totale protezione nella trasmissione delle informazioni**. Infatti, le QT stanno rivoluzionando le principali forme di **crittografia** esistenti. La "**crittografia quantistica**", sfruttando fenomeni come l'*entanglement*, è **intrinsecamente inviolabile**. L'impatto sulla società civile, sulle **transazioni economiche**, sulle **comunicazioni militari e diplomatiche**, sulla **protezione della proprietà intellettuale**, giusto per citare alcuni esempi, è di conseguenza scontato, e renderà particolarmente competitivi i Paesi in grado di dotarsi di sistemi intrinsecamente sicuri di protezione dei dati, garantiti dalle QT.

La potenziale diffusione della **sensoristica quantistica**, in considerazione del variegato spettro di misure che possono essere trattate con queste tecnologie, potrà portare a conseguenze importanti. Impatti rivoluzionari sono attesi a medio e breve termine su: **ricerca di base, diagnostica ed *imaging* bio-medicali, gravimetria applicata all'industria petrolifera e alla vulcanologia, navigazione con geolocalizzazione ad altissima precisione**. Ulteriori impatti sono attesi sull'**osservazione e il monitoraggio della terra, l'agricoltura di precisione, il controllo innovativo dei processi industriali e l'*Internet of Things***, con conseguenze rilevanti nel monitoraggio ambientale, come spiegato sopra, o più in generale nelle **tecnologie green**. La diffusione di tecniche di **metrologia quantistica** consentirà di realizzare standard di misura universali e altamente riproducibili, ad esempio per **misure di tempo, frequenza o di grandezze elettriche**, di forte impatto su ricerca, industria, economia e società.

Altrettanto dirompente promette di essere il ruolo del calcolo quantistico nell'area delle **scienze della vita**. La **risoluzione di problemi** oggi pressoché irrisolvibili, come la determinazione delle configurazioni energeticamente favorite in macro-molecole di interesse biologico e, in generale, la dinamica delle reazioni chimiche alla base della vita, potrebbe consentire progressi di grande portata sia scientifici che nel settore sociale, come reso drammaticamente evidente dalla recente **pandemia COVID-19**, che ha evidenziato l'esigenza di uno **sviluppo estremamente rapido di farmaci e vaccini innovativi**.

Le potenziali applicazioni delle QT nel **contesto energetico** devono ancora essere compiutamente esplorate. Sono soprattutto tre i livelli attraverso i quali le QT possono avere impatto nel settore: miglioramento dei sistemi di



alimentazione energetica; miglioramento dei **sistemi di produzione**, di **trasporto** e **conversione di energia**; miglioramento di **prestazioni ed efficienza di strumentazione classica**. La ricerca avrà quindi un ruolo fondamentale nell'accelerare le possibili applicazioni delle QT su questi Temi e, con tale finalità, il sistema italiano della ricerca potrebbe essere potenziato dall'integrazione di gruppi sperimentali e teorici, in forte sinergia con la ricerca industriale. Le attività più promettenti coinvolgono lo sviluppo di batterie quantistiche; la creazione di componentistica fotonica per la computazione con forte riduzione di consumo energetico; macchine termiche quantistiche per applicazioni di microgenerazione; la realizzazione di nuovi sistemi superconduttivi; l'utilizzo di metodi coerenti per il trasferimento di energia a distanza o per aumentare il rendimento di dispositivi fotovoltaici e di reazioni chimiche in processi a basso impatto.

Un'altra area in cui le tecnologie quantistiche offrono vantaggi reali è la capacità di rendere più efficienti e rapide varie forme di **apprendimento automatico (Intelligenza Artificiale, machine learning** etc.). L'apprendimento automatico è un approccio all'intelligenza artificiale in cui gli algoritmi di auto-modifica vengono "addestrati" su vasti set di dati e nel tempo sviluppano la capacità di fornire i risultati desiderati, determinando un'**accelerazione** di tutti i **processi di formazione**. A più lungo termine, se le QT migliorano le nostre capacità di sviluppare sistemi di intelligenza artificiale, possono drasticamente accelerare l'adozione di approcci realmente trasformativi alle questioni sociali e ambientali. I computer quantistici modificheranno anche la tecnologia blockchain. I "**blockchain quantistici**" sarebbero immuni da manomissioni e potranno garantire attività finanziarie, di registrazione di dati di impatto sociale ecc. Inoltre, i simulatori quantistici possono già consentire la soluzione di problemi di ottimizzazione, con impatto ad esempio nell'intelligenza artificiale, nell'organizzazione del traffico e nel *routing*.

Gli **effetti economici delle QT** dipenderanno senza dubbio dal recepimento delle nuove tecnologie da parte dell'Industria, che dovrà trasformarle in prodotti altamente innovativi. Questa è del resto l'impostazione europea, che attraverso il **programma Flagship** e quello collegato allo sviluppo delle **infrastrutture QT**, intende assumere sul lungo termine una effettiva **leadership** nel settore, garantendo una parallela crescita economica ed occupazionale. Sarà quindi essenziale, anche per l'Italia, la **definizione di meccanismi di Trasferimento Tecnologico** particolarmente rapidi ed efficienti, coadiuvati da un **sistema di Infrastrutture e di Formazione** adeguato alla sfida globale che si profila.

La **Formazione** determinerà anche l'effettivo impatto applicativo delle QT, che costituiscono un esempio paradigmatico di interdisciplinarietà. Per il loro sviluppo è infatti necessario mettere assieme conoscenze di fisica, chimica, informatica, computer science, mentre per la loro applicazione sono necessarie conoscenze di cybersecurity, ingegneria, scienza dei materiali, bio-medicina fino all'Intelligenza Artificiale. La **Formazione interdisciplinare** sarà quindi la base per uno **sviluppo socialmente sostenibile delle QT** e per massimizzarne l'**impatto su Industria e Società**, con la creazione di un vero **ecosistema dell'innovazione**.

Obiettivi 2021-2027

- **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.
- **RENDERE** l'Italia tecnologicamente indipendente con la creazione di filiere produttive verticali dei dispositivi di **comunicazione quantistica**.
- **REALIZZARE**, attraverso la **sensoristica e metrologia quantistica**, 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.
- **DIMOSTRARE** le possibilità delle QT per l'**incremento dell'efficienza** di dispositivi e sistemi per la produzione, il trasporto e la conversione dell'energia e per il miglioramento della sostenibilità dei processi industriali e l'efficienza energetica dei prodotti di consumo.
- **FEDERARE** in rete le realtà fabbricative nazionali per **garantire una supply chain** per le QT 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. **Integrare** tale rete con infrastrutture esistenti, complementari in diversi ambiti (superconduttività, criogenia...).

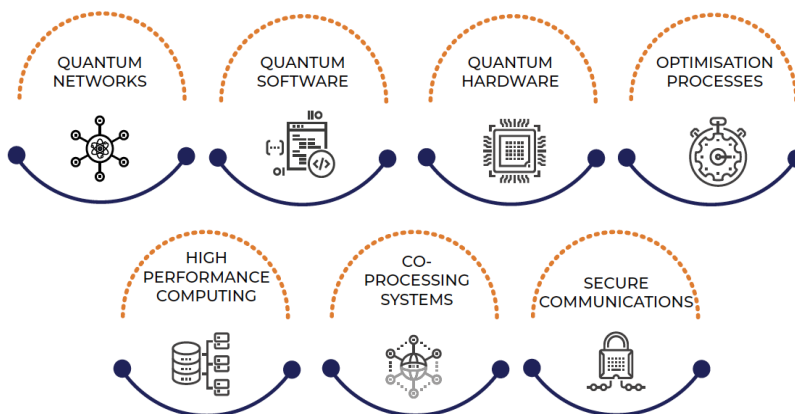
- **DOTARE** il sistema Italia di una **infrastruttura** di computazione/simulazione quantistica collegata alla *European Quantum Computing and Simulation Infrastructure*.
- **COMPLETARE** l'**infrastruttura** di comunicazione quantistica *Italian Quantum Backbone* collegandola alla *European Quantum Communication Infrastructure*. L'espansione dell'attuale infrastruttura digitale getterà le basi per i quantum Internet facendo progredire le **comunicazioni quantistiche** principalmente in tre direzioni: **prestazioni, integrazione ed industrializzazione**.
- **REALIZZARE** un **Istituto Nazionale per le Tecnologie Quantistiche** che consenta di preservare e valorizzare il grande capitale umano nazionale e le tecnologie chiave per lo sviluppo industriale. L'Istituto avrà un ruolo federativo per la comunità nazionale e di coordinamento e sostegno tra la Ricerca e lo Sviluppo Industriale così come tra le diverse QT, all'interno di una rete e di una strategia europea.
- **CREARE** **nuovi percorsi interdisciplinari di Alta Formazione** (Laurea Magistrale e Dottorato) in questo settore scientifico avanzato e in rapida evoluzione per preparare **personale altamente specializzato** ed in possesso di competenze trasversali coinvolgendo le realtà industriali nella formazione e nella ricerca accademica.



Articolazione 1. Tecnologie quantistiche per computer e simulatori

Introduzione: Sfruttando le leggi della meccanica quantistica, è possibile raggiungere una **potenza di calcolo inimmaginabile su architetture tradizionali**. I processori quantistici, direttamente o come co-processori, giocheranno quindi un **ruolo cruciale nel calcolo ad elevate prestazioni** ed hanno un **potenziale rivoluzionario in vari ambiti** che includono l'ottimizzazione dei processi produttivi e sociali, il *machine learning*, la soluzione di problemi matematici complessi e la simulazione dei sistemi a molti corpi che giocano un ruolo centrale nella fisica e nella chimica, con dirette applicazioni ad esempio per lo sviluppo di nuovi materiali e nuovi farmaci e vaccini (il cui sviluppo rapido ed efficace è di importanza strategica come la recente epidemia del Covid-19 ci ha insegnato). 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 usando tecnologie attualmente con TRL 7/8**.

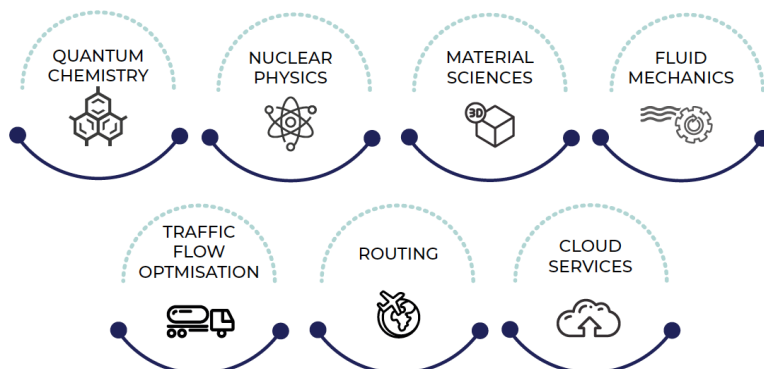


Applicazioni del Quantum Computing [Figura tratta dal documento di riferimento Strategic Research Agenda-Quantum Flagship preparato dalla Commissione Europea (SRA-QF)]

I simulatori quantistici sono strettamente legati ai computer quantistici. Essi **sfruttano sistemi quantistici fortemente controllabili per simulare il comportamento di altri sistemi quantistici**, come **molecole di interesse chimico o biologico, materiali innovativi con proprietà non presenti in natura o sistemi di interesse per la fisica fondamentale**. Questi dispositivi permettono quindi la comprensione delle proprietà di sistemi complessi e la simulazione di processi fisici/chimici impossibili da calcolare con i computer tradizionali. La simulazione quantistica avrà quindi un **enorme impatto sulle industrie chimiche e farmaceutiche e sulla scienza dei materiali**. Inoltre, i simulatori quantistici permettono di risolvere problemi di ottimizzazione, con impatto ad esempio nell'intelligenza artificiale, nell'ottimizzazione del traffico e nel routing.

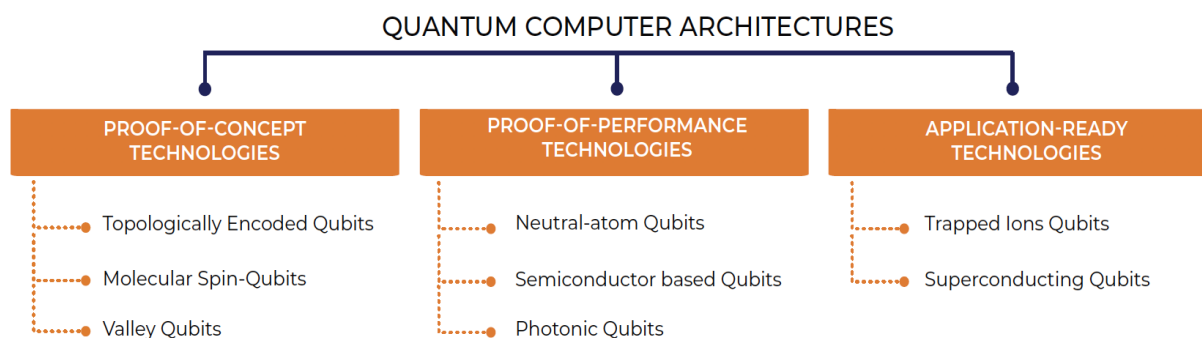
Stato dell'arte: A livello mondiale diverse architetture sono perseguite a livello accademico ed industriale per realizzare

un computer/simulatore quantistico: qubit basati su superconduttori, semiconduttori, ioni intrappolati, fotonica integrata, qubit topologici, spin qubit molecolari, gas degeneri. Le diverse tecnologie mostrano diversi livelli di maturità per la computazione quantistica:



Applicazioni dei Simulatori Quantistici [Figura tratta da Strategic Research Agenda-Quantum Flagship]





Architetture utilizzate per Quantum Computing [Figura tratta da SRA-QF]

- Ci sono piattaforme più mature (qubit superconduttori e ioni intrappolati) che soddisfano i 5 requisiti fondamentali per la computazione quantistica: avere un sistema fisico scalabile con qubit ben caratterizzati, capacità di inizializzare i qubit in uno stato fiduciale semplice, lunghi tempi di coerenza, un set universale di porte logiche quantistiche, capacità di fare misure proiettive sui singoli qubit. Google ha recentemente dimostrato la supremazia quantistica con un chip con 53 qubit funzionanti e altrettanti usati come accoppiatori. Questo sistema usa qubit superconduttivi chiamati trasmoni con TRL7.
- Altre piattaforme (come i qubit fotonici, gli atomi e i qubit a semiconduttore) hanno raggiunto i requisiti elencati in precedenza, ma devono progredire relativamente al controllo e al numero di qubit.
- Infine, ci sono tecnologie (come i qubit topologici o gli spin qubit molecolari) che hanno mostrato di avere notevoli potenzialità, ma non hanno ancora soddisfatto tutti i criteri.

Per quanto riguarda la simulazione quantistica, le piattaforme più avanzate sono gli atomi freddi, gli ioni intrappolati, i qubit superconduttori e i simulatori fotonici.

Il sistema italiano della ricerca ha una forte competenza sperimentale, teorica e tecnologica in diverse di queste piattaforme basate su fotoni, atomi, superconduttori, molecole magnetiche o semiconduttori.

Obiettivi

Gli obiettivi principali sono:

- rendere l'Italia un **key player nell'ambito delle tecnologie quantistiche 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.**

Strategie: 1) **Potenziare, sia dal punto di vista teorico che sperimentale, le piattaforme per computazione e simulazione quantistica in cui l'Italia ha una forte competenza** (superconduttori, semiconduttori, molecole magnetiche, fotonica integrata, sistemi atomici), migliorando la performance dei qubit (ad es. il tempo di coerenza), ottimizzando i materiali ed i processi di fabbricazione, i sistemi di inizializzazione, il controllo dei qubit, la scalabilità, l'integrazione, i processi di read-out, e realizzando operazioni logiche con alta fidelity. Questo condurrà la computazione quantistica a soluzioni hardware con elevato numero di qubit (fino a 1000 nel lungo termine) con benefici immediati su applicazioni pratiche di grande impatto sulla società. 2) **Dimostrare ed utilizzare il quantum advantage nel regime NISQ "Noisy, Intermediate-Scale Quantum"**, basato sullo sviluppo di macchine imperfette, già in parte 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 problemi di elevata complessità, e **nuovo software** per gestire in modo efficace il nuovo hardware. Sono innumerevoli gli esempi di spin-off nati nei Paesi all'avanguardia su questi temi, con lo scopo non solo di sviluppare algoritmi efficaci per il calcolo



quantistico, ma anche di guidare in maniera opportuna l'elettronica classica a pilotare i qubit e tutto l'hardware associato. 5) **Sviluppare un'industria trasformativa e ad altissimo grado d'innovazione**, negli ambiti sopra individuati, grazie all'utilizzo di Infrastrutture appositamente dedicate come, ad esempio, i Poli di Fabbricazione Avanzata (vedi articolazione Infrastrutture per le Tecnologie Quantistiche).

L'Italia può ambire sia a **consolidare un ruolo di leadership su alcune delle tecnologie più mature**, sia a **investire su alcune tecnologie emergenti, con notevoli potenzialità sul medio/lungo periodo**, in cui è attualmente protagonista sul piano internazionale. Nell'ambito della realizzazione e simulazione di **qubit basati su semiconduttori**, ed in particolare su punti quantici e singoli atomi donori in silicio, è possibile utilizzare processi compatibili con le tecnologie microelettroniche (CMOS). Esistono in Italia competenze consolidate ed in stretto contatto con realtà industriali rilevanti nel settore. Per quanto riguarda la realizzazione di **qubit superconduttori**, sono già presenti in Italia importanti competenze, infrastrutture di misura e collaborazioni industriali per la componentistica d'avanguardia. Registri modulari a multi-qubit (attualmente prodotti da fonderie estere) sono integrati ed interfacciati in Italia con elettronica superconduttiva classica. Elettronica superconduttiva classica a bassissima potenza con TRL 8 è stata adattata alle necessità di controllo di sistemi di qubit alle bassissime temperature. La **fotonica quantistica integrata** ha consentito la generazione, l'elaborazione e la rivelazione di stati quantistici di luce in dispositivi ad alta densità di componenti programmabili, supportando operazioni a multi-qubit. La fotonica fornisce un approccio promettente nell'era NISQ grazie alla bassa decoerenza. L'Italia ha una forte competenza in questo ambito con un TRL della componentistica superiore o uguale a 7. La competenza coinvolge numerosi gruppi di Università e di Enti di ricerca, e diverse aziende/industrie che operano in questo ambito. Gli **spin qubit molecolari** sono una piattaforma emergente con notevoli potenzialità nella quale l'Italia gioca un ruolo da protagonista a livello internazionale, in particolare nell'ambito dei nanomagnetici molecolari. Sono presenti infatti gruppi di primo piano sia per la realizzazione e caratterizzazione sperimentale di nuove molecole, che per lo sviluppo di modelli teorici e schemi mirati per le tecnologie quantistiche. I **gas quantistici atomici e molecolari ultra-freddi** costituiscono una delle più importanti e promettenti piattaforme per la simulazione quantistica, con una competenza tecnologica italiana riconosciuta a livello internazionale. Esistono numerose architetture in via di sviluppo con una crescente capacità di affrontare problemi complessi. Questi includono sistemi di atomi ultrafreddi in reticoli ottici con interazioni a corto e lungo raggio, e sistemi confinati in chip atomici.

Impatti

La realizzazione dei computer e simulatori quantistici sfrutta un **ampio spettro di tecnologie abilitanti** nelle quali l'industria italiana ed europea sono leader, con un **enorme impatto per il nostro Paese**. La ricerca di soluzioni basate su Tecnologie Quantistiche **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 per gestire in modo efficace il nuovo hardware (TRL 7).

È importante capire che qualsiasi funzionalità quantistica non può essere raggiunta senza il supporto di **tecnologie classiche d'avanguardia, che quindi troveranno nella meccanica quantistica un imponente driver**. Il problema della scalabilità della computazione quantistica superconduttiva ci offre esempi concreti: l'ottimizzazione delle tecnologie tradizionali, a microonde e di circuiti classici opportunamente integrati possono ridurre il numero di canali di controllo e di read-out dei qubit, migliorando sensibilmente la scalabilità del sistema. Questo è un esempio paradigmatico di come la ricerca di soluzioni basate su tecnologie quantistiche alimenti un'industria trasformativa in diversi ambiti, dalla componentistica d'avanguardia alla programmazione avanzata di nuovi algoritmi quantistici.

L'**impatto delle QT sul calcolo avanzato e i Big Data**, nonché l'obiettivo finale di realizzare un **Quantum Internet**, permetterà all'Italia di ricoprire un ruolo di **leadership nella nuova economia digitale (Impact 20)**. Inoltre, questi investimenti sono cruciali per permettere all'Italia di raggiungere l'indipendenza sulle **nuove tecnologie digitali e abilitanti necessarie per la sicurezza e la difesa (Impact 22)**. Infine, un forte investimento in questi settori contribuirà a fare sì che l'Italia possa raggiungere **una posizione di primo piano nell'industria a impatto climatico zero e nell'economia circolare (Impact 19)**, utilizzando i computer/simulatori quantistici per lo sviluppo di materiali avanzati e di nuovi paradigmi produttivi.



È importante notare che **un forte investimento italiano in questi settori permetterebbe alle nostre aziende/industrie ed ai nostri gruppi di ricerca di partecipare con successo alle prossime call europee** per attingere alle notevoli risorse che l'Unione Europea sta dedicando alle tecnologie quantistiche (Quantum Flagship, Digital Europe, ...). Dunque, l'impegno in questi settori può moltiplicare considerevolmente il livello dei finanziamenti che l'Italia può attrarre con un **importante effetto leva**. L'acquisizione di queste risorse avrà la capacità di trasformare profondamente l'industria tecnologica del nostro paese, stimolando la creazione di una rete di aziende interessate allo sviluppo delle tecnologie quantistiche come in parte avviene già all'estero.

Lo sviluppo di computazione e simulazione quantistica incoraggerà le industrie a servirsi di ingegneri quantistici e ricercatori per applicazioni ad elevato impatto per la vita di tutti i giorni con lo sviluppo di hardware e software. A sua volta l'industria guadagnerà conoscenza e competenza, che consentiranno di trarre vantaggi dalle opportunità per le attività commerciali basate sulle tecnologie quantistiche. La possibilità di disporre di centri per la computazione e simulazione quantistica attrarrà industrie esistenti e nuove realtà industriali in un ecosistema in grado di sostenere lo sviluppo di queste nuove tecnologie.

Un punto di partenza efficace per rafforzare il legame tra industria e ricerca accademica su tecnologie avanzate sono i Dottorati Industriali e in alto apprendistato (vedi articolazione Formazione e Capitale Umano), come è testimoniato dalle diverse posizioni di questo tipo sulla computazione quantistica aperte da alcune Università in collaborazione con Enti di ricerca e aziende leader nel settore.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Le potenziali applicazioni della Computazione e Simulazione Quantistica sono ad ampio spettro. Nel lungo termine, i computer quantistici universali hanno un enorme potenziale di applicazioni, quali i processi di ottimizzazione, il machine learning, l'intelligenza artificiale, l'ottimizzazione dei processi aziendali, la gestione delle finanze e della dinamica di sistemi, la simulazione digitale di sistemi a molti corpi in fisica, chimica, biologia, ricerca farmaceutica e scienza dei materiali. Sono quindi profonde le interconnessioni con i seguenti ambiti tematici:

- **Informatica, Industria, Aerospazio**
High Performance Computing e Big Data, Intelligenza Artificiale, Transizione Digitale e Industria 4.0, Aerospazio
- **Salute**
Tecnologie farmaceutiche
- **Sicurezza per i Sistemi Sociali**
Cybersecurity

Key Performance Indicators

- Indicatori importanti per le **singole piattaforme** sono:
 - **Correzione degli errori:** migliorare i tempi di coerenza, il controllo dei qubit, la fidelity dei gate e sviluppare algoritmi di Correzione Quantistica degli Errori mirati sulle singole architetture, in modo da dimostrare che qubit logici (composti da più qubit fisici o da sistemi quantistici a più di 2 livelli) permettono di superare le prestazioni dei migliori qubit fisici della stessa piattaforma. In particolare, entro il 2026 ottenere gate a singolo qubit resistenti agli errori e negli anni successivi realizzare un set universale di operazioni logiche resistenti agli errori.
 - **Scalabilità:** raddoppiare il numero di qubit fisici ogni 3 anni mantenendo gli stessi errori sui singoli qubit
- Indicatori importanti per le **applicazioni** sono:
 - **Nuovi use-case** di interesse industriale e accademico per l'Italia.
 - **Numero di algoritmi quantistici** con probabile *quantum advantage* con NISQ.
- Indicatori importanti per la **capacità di finanziamento a livello europeo**
 - Numero di progetti europei con partecipazione italiana
 - Numero di aziende/industrie partecipanti ai progetti europei

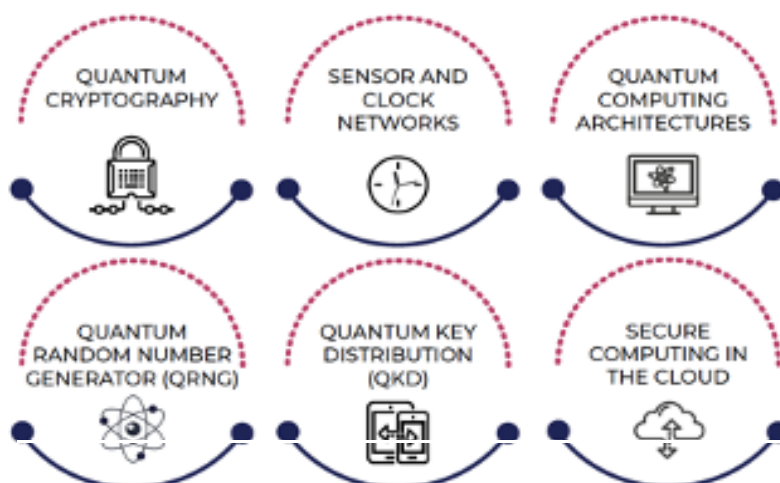


Articolazione 2. Tecnologie quantistiche per la comunicazione

La **Comunicazione Quantistica** è basata sulla generazione e l'uso di stati e risorse quantistiche per protocolli di comunicazione con applicazioni radicalmente nuove. Allo stato attuale, l'applicazione più avanzata della comunicazione quantistica è la **crittografia quantistica**, che **può garantire una sicurezza completa, anche a prova di** un intercettatore che abbia a disposizione **un computer quantistico**. Anche se sono richiesti diversi anni per realizzare un computer quantistico per impieghi su larga scala, le tecniche di crittografia quantistica sono importanti **per proteggere** oggi informazioni che devono rimanere riservate per molti anni e che quindi devono essere inaccessibili anche con le tecnologie disponibili nei prossimi decenni, come i **segreti industriali di aziende**, o i **dati sensibili genetici e sanitari di individui**. Inoltre, le applicazioni della comunicazione quantistica si potranno estendere anche a nuovi ambiti, come la **connessione remota sicura a computer quantistici**.

La tecnologia della crittografia quantistica di prima generazione ha **già raggiunto un alto TRL**, con prodotti commerciali e prototipi per la generazione di numeri casuali quantistici e la distribuzione quantistica delle chiavi (QKD). Inoltre, reti in fibra ottica per QKD sono oggi disponibili in diversi paesi Europei, negli Stati Uniti, in Cina e in Giappone, mentre la **comunicazione quantistica basata su satellite** è stata **molto recentemente dimostrata** in Cina.

Per una panoramica sulle applicazioni della comunicazione quantistica si fa riferimento alla *Strategic Research Agenda* sviluppata nell'ambito della *Quantum Flagship* della Commissione Europea (SRA-QF).



Applicazioni delle Quantum Communications [Figura tratta da Strategic Research Agenda-Quantum Flagship]

La **sicurezza delle comunicazioni è di importanza strategica per consumatori, imprese e governi**. Allo stato attuale, vengono utilizzati **protocolli crittografici basati sui computer classici**, la cui **sicurezza** potrebbe però essere **compromessa sfruttando un computer quantistico**. Tale minaccia motiva lo sviluppo della crittografia post-quantistica, ovvero algoritmi di cifratura che i computer quantistici non possono decriptare. Al contrario, **le soluzioni basate sulla crittografia quantistica sono anche immuni agli attacchi dei computer quantistici** e sono, già oggi, disponibili in commercio. Alla base della crittografia quantistica vi è l'utilizzo di generatori di numeri casuali (*QRNG* o *Quantum Random Number Generator*) che trovano anche applicazione in numerosi altri settori quali la simulazione numerica, il campionamento casuale, il *machine-learning* ed il gioco elettronico. La meccanica quantistica mette a disposizione l'unica vera sorgente di casualità in natura, quindi i QRNG diventeranno elementi basilari nelle tecnologie ICT ben oltre la Comunicazione quantistica.

La **sicurezza nella comunicazione quantistica è dovuta all'impossibilità fisica di clonare le informazioni quantistiche**, tuttavia questo limita la distanza di trasmissione in fibra ottica al di sotto dei 300 km dato che non si possono utilizzare ripetitori convenzionali. Per raggiungere distanze maggiori si possono utilizzare connessioni



satellitari, ripetitori basati su nodi “garantiti” (*trusted*) o nuovi ripetitori quantistici. Il vantaggio degli schemi che si basano su nodi “garantiti” è quello di sfruttare una tecnologia già disponibile ma che non gode di sicurezza quantistica. Il vantaggio dei ripetitori quantistici sta nel permettere lo scambio di risorse quantistiche su grandi distanze senza dover ricorrere a delle postazioni intermedie “garantite”. I mattoni fondamentali alla base di schemi di ripetitori completamente quantistici sono: un piccolo processore quantistico e un’interfaccia quantistica per trasferire l’informazione nello stato dei fotoni. Questi ultimi sono simili ai dispositivi optoelettronici utilizzati nell’internet attuale, ma con una funzionalità quantistica. Prototipi di questi elementi costitutivi sono già stati realizzati in laboratorio, ma occorre ancora una significativa attività di ricerca e sviluppo per una loro commercializzazione. Non appena ciò accadrà, la possibilità di sfruttare protocolli di sicurezza quantistica su Internet potrebbe diventare una realtà. Mentre **la trasmissione di qubit su lunga distanza può avvenire solo tramite fotoni**, esistono **varie piattaforme per realizzare memorie quantistiche** e per **elaborare l’informazione** nei ripetitori quantistici: **ioni intrappolati, atomi in risonatori ottici, ioni di terre rare allo stato solido, centri di colore in diamante e punti quantici** sono le principali opzioni attualmente in fase di studio in programmi finanziati sia a livello europeo che dai singoli Stati membri.

Parallelamente allo sviluppo di ripetitori quantistici, è possibile implementare la **comunicazione quantistica a lungo raggio attraverso connessioni satellitari**. La tecnologia di base è affine a quella delle comunicazioni laser satellitari, la cui applicabilità alle comunicazioni quantistiche è ampiamente dimostrata da pionieristici lavori con importanti collaborazioni industriali e di ricerca italiane.

Inoltre, gli approcci quantistici alle comunicazioni (per esempio in fibra ottica) consentono anche di implementare protocolli di trasmissione innovativi in grado di garantire consistenti volumi di dati trasmessi per unità di tempo, per esempio tramite una scelta di meccanismi di codifica/decodifica basati essenzialmente su pacchetti coerenti, o addirittura, in una prospettiva di full quantum network, sfruttando effetti di *entanglement* (*super-dense coding e teleportation*). Questo aspetto diviene ancora più rilevante se considerato in integrazione con sensori già intrinsecamente quantistici (vedi articolazione 3) che richiederanno un alto *throughput* di informazioni.

Infine, le **Comunicazioni Quantistiche evolveranno** fino alla capacità di connettere computer e sensori quantistici **in una nuova rete, il quantum internet**, in grado di risolvere complessi problemi di ottimizzazione, di distribuire *entanglement* quantistico fra nodi remoti, di sincronizzare dispositivi su scale di tempo attualmente irraggiungibili, di introdurre nuove ed attualmente inimmaginabili possibilità.

Le grandi potenzialità e le notevoli ricadute esistenti anche all’attuale livello di sviluppo tecnologico, fanno sì che esistano **PMI leader a livello mondiale e grandi aziende fortemente attive in questo campo in Europa**, con un coinvolgimento crescente delle società di telecomunicazioni nazionali, mentre la standardizzazione è ben avviata grazie all’Istituto Europeo per le Norme di Telecomunicazione (ETSI) e il Comitato Europeo di Normazione (CEN).

Obiettivi

La visione a lungo termine è quella di sviluppare una rete quantistica a livello europeo che completi ed espanda l’attuale infrastruttura digitale, gettando le basi per il **quantum Internet**. L’obiettivo a livello Europeo è quindi di far avanzare le comunicazioni quantistiche in tre direzioni essenziali:

1. **Prestazioni:** aumento di bit rate, fedeltà, distanze di collegamento, robustezza, di tutti i tipi di comunicazioni quantistiche.
2. **Integrazione:** combinare la comunicazione quantistica con la rete convenzionale di infrastrutture e applicazioni.
3. **Industrializzazione:** sviluppare prodotti vendibili ad un prezzo competitivo con una ricaduta sull’occupazione in Europa.

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 la nostra economia e la nostra società dalle minacce informatiche**.



L'Italia ha contribuito in maniera determinante alla comunicazione quantistica sia a livello accademico che industriale. I contributi italiani riguardano la comunicazione sia in fibra sia *free-space*, lo sviluppo di componentistica integrata e di protocolli avanzati. L'Italia è, infatti, l'unica nazione europea dotata di una infrastruttura di ricerca basata su una dorsale in fibra ottica, nata per la diffusione della sincronizzazione di tempo e frequenza, e successivamente estesa alla implementazione di sistemi di comunicazione quantistica: l'*Italian Quantum Backbone (IQB)* (si veda l'articolazione 5 dedicata alle infrastrutture di ricerca quantistiche). L'elevato grado di maturità della tecnologia italiana sviluppata in questo settore è stato confermato nella recente dimostrazione di funzionamento sul campo di sistemi di crittografia quantistica su diverse reti metropolitane in fibra ottica.

Il primo obiettivo per questo punto di articolazione per il 2021-2027 è il completamento dell'*Italian Quantum Backbone* con il suo collegamento alla EuroQCI, alle comunicazioni quantistiche satellitari ed alle reti metropolitane. L'IQB farà da banco di prova per la comunicazione quantistica e per le tecnologie correlate, nonché garantirà l'accesso all'industria per un'ampia gamma di sviluppo di applicazioni e di software, ad es. in settori legati alla tutela della salute, alla finanza ed alle infrastrutture critiche.

Il secondo obiettivo, altamente interconnesso con il precedente, è l'introduzione di standard di comunicazione quantistica, con la creazione di collegamenti operativi fra strutture nazionali critiche.

Il terzo obiettivo riguarda le tecnologie abilitanti per la crittografia quantistica, che comprendono l'elettronica, le reti e le piattaforme per comunicazioni satellitari e la fotonica integrata. Quest'ultima comprende il continuo sviluppo di sorgenti di stati di luce quantistici, modulatori e circuiti integrati, rivelatori di singolo fotone.

Impatti

La Comunicazione Quantistica permette di raggiungere un grado di sicurezza assoluto nella trasmissione delle informazioni. Si individuano i seguenti impatti:

- La resilienza e l'autonomia delle infrastrutture fisiche e digitali vengono potenziate con l'aiuto di nuove tecnologie (Impact 16)
- La sicurezza informatica e un ambiente online sicuro sono migliorati grazie all'uso efficace delle tecnologie digitali a sostegno della protezione di dati e reti, nel rispetto della privacy e di altri diritti fondamentali. (Impact 17)
- Le minacce alla sicurezza vengono affrontate in modo più efficace grazie a una migliore attuazione del ciclo di ricerca e innovazione. (Impact 18)
- Indipendenza Europea nelle tecnologie digitali e nelle future tecnologie abilitanti emergenti, rafforzando le capacità europee nelle parti chiave delle catene di approvvigionamento digitali e future, investendo nella scoperta precoce e nell'adozione industriale di nuove tecnologie. (Impact 22).

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

La disponibilità di tecnologie di comunicazione quantistica sta diventando un elemento essenziale nella Cyber security. Allo stesso tempo diverse tecnologie necessarie provengono e trovano applicazione nell'Aerospazio. La possibilità di avere connessioni quantistiche fra processori quantistici andando verso il *Quantum Internet* trova immediata applicazione sia per la Transizione digitale che in Intelligenza Artificiale.

Key Performance Indicators

I seguenti KPI, validi per l'Italia, sono in linea con i "super" KPI da raggiungere entro il 2030 a livello europeo:

1. **Distanza:** dimostrazione di un ripetitore quantistico che consente la comunicazione quantistica per distanze dell'ordine di 400 km. Dimostrazione dei componenti critici per la comunicazione satellitare incluse le stazioni a terra.
2. **Funzionalità:** eseguire un calcolo quantistico su un processore quantistico remoto su una rete quantistica.



3. **Accessibilità e prontezza:** creare reti metropolitane protette con crittografia quantistica in almeno 5 città italiane e garantire collegamenti incrociati tra queste città, dimostrando la capacità nazionale di produzione e gestione di dispositivi e sottosistemi di rete di comunicazione quantistica certificati e standardizzati.
4. **Integrazione:** nel contesto della *EuroQCI* definizione comune dei casi d'uso, requisiti, architetture e specifiche di sistema e di sicurezza. Partecipazione ai link internazionali in fibra e satellitari previsti per l'infrastruttura Europea.

Indicatori importanti per la **capacità di finanziamento a livello europeo**

- Numero di progetti europei con partecipazione italiana
- Numero di aziende/industrie partecipanti ai progetti europei

Articolazione 3. Tecnologie quantistiche per la sensoristica e la metrologia

I sensori quantistici, sfruttando il fenomeno dell'*entanglement* in sistemi basati su singoli oggetti quali fotoni, elettroni, atomi o molecole, promettono di **raggiungere i limiti fondamentali di misura determinati dalle leggi della fisica** e corrispondentemente di migliorare di ordini di grandezza le prestazioni dei sensori attuali in termini di precisione ed accuratezza, con importanti **ricadute applicative in ambito scientifico, industriale e commerciale**. Essi possono **misurare con precisione senza precedenti una ampia classe di grandezze fisiche**, quali campi magnetici, elettrici e gravitazionali, tempi, frequenze, temperature e pressioni.

Un generico sensore quantistico si basa sulla dipendenza di un dispositivo con stati quantistici discreti (qubit) dal parametro esterno che si vuole misurare. Un protocollo di misura inizializza il sistema in uno stato quantico noto e riproducibile, lo espone all'interazione con il sistema da misurare ed esegue una misura sui qubit che costituiscono il sensore. Ripetendo tale ciclo un opportuno numero di volte, si ottiene il valore della quantità desiderata, la cui accuratezza viene sostanzialmente migliorata rispetto ai sensori tradizionali utilizzando tecniche di *entanglement* tra i qubit coinvolti nel dispositivo di misura oppure tecniche di **controllo quantistico** o adottando protocolli di *squeezing*, che permettono di **misurare una variabile con una accuratezza migliore del limite di Heisenberg** spostando l'indeterminazione nella variabile coniugata.

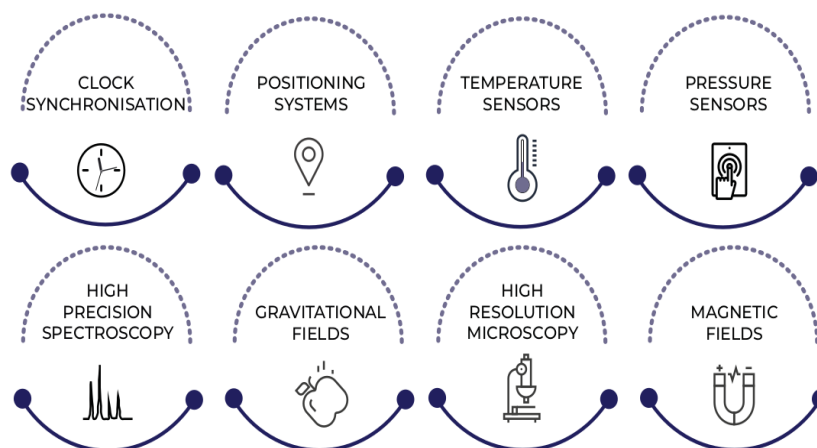
Questi sensori vengono attualmente sviluppati usando una **ampia varietà di implementazioni tecnologiche**, dipendenti dalla quantità da misurare, ma anche con la presenza di diverse opzioni complementari, i cui relativi vantaggi sono tuttora in fase di rapida evoluzione, in un contesto ancora altamente fluido. Tecnologie attualmente in promettente sviluppo sono quelle basate su atomi neutri, atomi di Rydberg, ioni intrappolati, strutture di spin in dispositivi a stato solido, circuiti superconduttori, dispositivi optomeccanici o interferometri ottici, atomici e superconduttivi.

In ogni caso, si può dire che un sensore quantistico volge in positivo la forte sensibilità di un oggetto quantistico ai disturbi esterni, utilizzandola quale risposta misurabile alla interazione fisica che si vuole studiare. Nel prossimo futuro l'utilizzo di tali sistemi, con forte impatto in un ampio spettro di attività economiche, nella ricerca di base, nella medicina diagnostica e terapeutica, nell'ambiente e nel controllo di precisione di processi industriali complessi, contribuirà indirettamente ma in modo sostanziale agli obiettivi di sostenibilità previsti dal piano europeo Green New Deal.

Stato dell'arte: **I sensori sono componenti centrali in tutti i prodotti ad alta tecnologia**, dalle automobili agli elettrodomestici, dagli *smartphone* agli apparati di diagnostica medica. Il miglioramento delle loro performance è cruciale in diversi ambiti della produzione mondiale. **Il mercato globale della sensoristica vale più di 200 miliardi di €, con una previsione di crescita annua del 10 % per i prossimi 5 anni**. Istituti di ricerca, grandi aziende e PMI italiane sono leader europee e mondiali nello sviluppo di sensori nei settori del bio-medicale, della sicurezza, dell'industria elettronica, della ricerca.



Le soluzioni offerte dalle tecnologie quantistiche promettono di rafforzare ed espandere ulteriormente questi mercati. Questo elevato potenziale si basa sull'ampia gamma di possibili implementazioni basate su gradi di libertà elettronici, vibrazionali e di spin.



Applicazioni del Quantum Sensing [Figura tratta da SRA-QF]

Gli **orologi atomici**, da decenni uno degli esempi più eclatanti di implementazione delle tecnologie quantistiche, sono lo standard di riferimento per la misura di tempo e frequenza. Le recenti implementazioni basate su transizioni ottiche, invece che nelle micro-onde, realizzabili mediante pettini di frequenza ottici e micro-risonatori integrati, preludono alla diffusione degli orologi atomici in dispositivi portatili per applicazioni di vasta scala per la navigazione, le telecomunicazioni e la geodesia (TRL medio-alto).

I sensori basati sugli **spin elettronici di centri NV nel diamante**, grazie al lungo tempo di coerenza dell'ordine dei millisecondi, ed il **funzionamento a temperatura ambiente**, si stanno progressivamente affermando come competitivi anche rispetto ad altri dispositivi quantistici (TRL medio). Un esempio significativo è costituito dai **magnetometri basati su spin qubits** nel diamante che pur non necessitando di raffreddamento, hanno dimostrato **prestazioni superiori rispetto ai magnetometri superconduttori a interferenza quantistica (SQUID)**, attualmente i più sensibili misuratori di campo magnetico commerciali. I sensori a spin Qubit nel diamante stanno conquistando un importante spazio applicativo nell'*imaging* nanoscopico, grazie alle loro dimensioni estremamente ridotte ed alla combinazione unica di proprietà ottiche e di spin che consente la caratterizzazione di materiali per la **nanoelettronica** e la **spintronica**, lo studio dei processi per l'**immagazzinamento energetico**, l'implementazione di innovativi metodi di **risonanza magnetica nucleare (NMR)** con caratteristiche di sensibilità e risoluzione senza precedenti.

Per quanto riguarda l'*imaging* **quantistico**, l'utilizzo di stati *entangled* e la sensibilità intrinseca alla fase, ha permesso di dimostrare una maggiore efficienza rispetto a tecniche classiche a parità di intensità luminosa e promette di rivoluzionare diversi settori applicativi quali la **acquisizione di immagini**, la **microscopia** e la **spettroscopia ottica** (TRL basso).

Gli **interferometri atomici** hanno dimostrato la possibilità di misurare variazioni locali dell'accelerazione di gravità inferiori ad una parte per miliardo su distanze dell'ordine di un metro (TRL medio-medio). Questa sensibilità ed i recenti progressi verso prototipi e spin-off, sta aprendo la strada al monitoraggio e all'*imaging* di **oggetti al di sotto del livello del suolo** con applicazioni per la gestione di infrastrutture urbane e per **indagini geofisiche, ambientali, petrolifere**, a risoluzione e precisione finora inaccessibili.

I **dispositivi micro- e nano-optomeccanici (NEMS, MEMS)** possono essere controllati a livello quantistico accoppiandoli a cavità ottiche o circuiti superconduttori (TRL basso). La possibilità di modulare, amplificare o **misurare campi elettromagnetici nelle regioni spettrali dalle micro-onde al terahertz** promette un impatto rilevante in settori quali la **diagnostica medica (imaging MRI)**, la **sicurezza (monitoraggio radar e THz)**, ed i **sistemi di posizionamento, misura del tempo e navigazione (oscillatori locali e accelerometri)**.



Nell'ambito della fisica fondamentale, tecniche di *light-squeezing* sono già in uso per migliorare la sensibilità dei **rivelatori interferometrici di onde gravitazionali** VIRGO e LIGO, utilizzando radiazione *squeezed* per ridurre il rumore in ampiezza a scapito del rumore di fase. Il passo successivo, attualmente in corso, sfrutta l'ingegnerizzazione della luce quantistica adoperata negli interferometri in modo da aumentarne la sensibilità in un ampio intervallo di frequenza. In prospettiva di lungo termine sono stati proposti strumenti basati sull'interferometria atomica o di nanocristalli di diamante per test di fisica fondamentale. Per quanto riguarda le ricerche nell'ambito della materia oscura, sono in avanzata fase di sviluppo sistemi per la rivelazione di alcune particelle di *dark matter* (assioni) sia tramite la loro interazione con livelli atomici splittati per effetto Zeeman e la successiva conversione in fotoni nel visibile tramite pompaggio laser, sia tramite nanodispositivi a superconduttore.

Obiettivi

Il primo obiettivo fondamentale è quello di **rendere la ricerca di base e applicata e l'industria nazionale un player di rilevanza Europea e internazionale nel campo della sensoristica quantistica**, in modo da garantire un adeguato livello di indipendenza strategica nel progresso continuo, nell'industrializzazione e nella successiva diffusione dei sensori quantistici. Tale obiettivo include i) lo sviluppo e la conseguente rapida **salita a livelli alti di TRL e in prospettiva l'industrializzazione e la commercializzazione di sensori quantistici innovativi**, ma anche ii) il parallelo sviluppo delle principali **tecnologie abilitanti** e di supporto alla sensoristica quantistica, rappresentata da settori industriali in alcuni casi più maturi e stabili ma comunque d'avanguardia e di forte impatto economico anche in contesti industriali più ampi, quali la **fotonica integrata**, l'**elettronica integrata** per il controllo e il *readout*, la **criogenia d'avanguardia**, la **tecnologia del vuoto**, la **superconduttività**, lo sviluppo di **software di controllo dei protocolli di misura**. È importante sottolineare che entrambe le declinazioni degli obiettivi precedenti avranno comunque un impatto sinergico diretto e rilevante anche negli ambiti della computazione e della comunicazione quantistica e dell'efficienza e sostenibilità energetica.

Il secondo e ugualmente importante obiettivo fondamentale nel contesto dei sensori quantistici è quello di fornire al sistema paese gli strumenti in grado di capitalizzare rapidamente tutto il vantaggio competitivo che una rapida adozione della sensoristica quantistica può garantire negli ambiti della ricerca di base e applicata, del panorama industriale, dello sviluppo economico e sociale.

L'effetto combinato dei due obiettivi porterà ad avere come risultato sinergico i) il rafforzamento delle competenze di ricerca per la continua innovazione in ambito sensoristico, ii) la creazione di un contesto industriale specializzato, combinazione di PMI e di imprese di grandi dimensioni, in grado di competere nello sviluppo, nella industrializzazione e nella commercializzazione di sensori quantistici e, iii) il raggiungimento di una capacità innovativa generalizzata a livello di industria e servizi in grado di trarre il più ampio e innovativo vantaggio dall'adozione di questa classe di tecnologie.

La linea strategica fondamentale in questa articolazione è quella di **dimostrare la superiorità dei sensori quantistici in un'ampia classe di applicazioni** ed espanderne l'implementazione e l'adozione su ampia scala in contesti reali ad alto TRL. A tale scopo, le direzioni strategiche principali da perseguire sono le seguenti:

- 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;
- la dimostrazione di applicabilità e l'utilizzo in settori di frontiera nel campo delle scienze fondamentali, ad esempio per la rivelazione di onde gravitazionali o di materia oscura;
- lo sviluppo di sistemi integrati e miniaturizzati fotonici, elettronici, opto-meccanici e superconduttivi;
- lo sviluppo di prototipi basati su sistemi di misura ed *imaging quantum-enhanced*;
- lo sviluppo di materiali e superfici nano-strutturate e bio-funzionalizzate per prototipi di sensori e sistemi lab-on-chip;
- il trasferimento in contesti applicativi industriali (TRL > 6) di dimostratori relativamente consolidati, ad esempio orologi atomici, accelerometri, magnetometri, MEMS e LIDAR, in contesti applicativi economicamente o socialmente rilevanti, quali ad esempio l'industria petrolifera, l'*imaging* sotterraneo in ambiente urbano e la medicina diagnostica o terapeutica.



Impatti

L'impatto atteso da un'ampia diffusione della sensoristica quantistica è esteso, in considerazione del variegato spettro di misure che possono essere trattate con queste tecnologie. Impatti rivoluzionari sono possibili a medio e breve termine, inizialmente in contesti relativamente più sofisticati dal punto di vista degli utilizzatori o a più alta intensità di capitale o a più alto vantaggio sociale, quali la ricerca di base, la diagnostica e l'*imaging* bio-medicali, la gravimetria applicata all'industria petrolifera e alla vulcanologia, la navigazione ad alta precisione. A seguire saranno evidenti ulteriori impatti allargati a contesti globalmente più ampi ma a più bassa intensità di capitale, quali l'osservazione e il monitoraggio della terra, l'agricoltura di precisione, la geo-localizzazione, il controllo innovativo dei processi industriali e l'*Internet of Things*. La diffusione di tecniche di metrologia quantistica consentirà 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.

La rete di capacità innovative, produttive e competenze sviluppata in tale contesto, sia a livello di Università e Enti di Ricerca che di industria, beneficerà e contribuirà alla rete di poli di fabbricazione avanzata da sviluppare nel contesto del PNR.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

I sensori sono componenti centrali in tutti i prodotti ad alta tecnologia; una leadership tecnologica nella realizzazione di sensori quantistici, come pure la capacità di una rapida adozione di tali sensori in un'ampia classe di contesti applicativi, porterà necessariamente vantaggi prestazionali diretti come pure una ridotta dipendenza strategica del sistema paese potenzialmente in tutti gli ambiti di innovazione, fra cui i principali sono:

- Salute: Tecnologie per la salute
- Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali e società dell'inclusione: Patrimonio culturale, Antichistica
- Sicurezza per i sistemi sociali: *Cybersecurity*
- Informatica, industria e aerospazio: Innovazione per l'industria manifatturiera, Robotica, Clima, Energia, mobilità sostenibile, Energetica industriale, Energetica ambientale
- Tecnologie sostenibili, agroalimentare, risorse naturali ed ambientali: Green technologies, Gestione delle risorse agricole, Gestione delle risorse marine

Key Performance Indicators

- Realizzazione di prototipi trasportabili di sensori di campi elettrici e magnetici, temperatura, pressione (TRL 8);
- Dimostrazione della tecnologia dei sensori quantistici gravimetrici in contesti di ampio impatto economico (industria petrolifera, pianificazione urbana) (TRL 6);
- Dimostrazione della tecnologia dei sensori di campo magnetico integrati in apparati per diagnostica bio-medica (ad esempio MRI) (TRL 6);
- Dimostrazione di tecniche di quantum-enhanced imaging in ambito bio-medico (TRL 6);
- Adozione di rivelatori basati su tecnologie di quantum sensing in esperimenti di rivelazione di materia oscura;
- Istituzione di centri dedicati al test, calibrazione e standardizzazione di sensori quantistici nei diversi ambiti applicativi;

Indicatori importanti per la **capacità di finanziamento a livello europeo**

- Numero di progetti europei con partecipazione italiana
- Numero di aziende/industrie partecipanti ai progetti europei



Articolazione 4. Tecnologie quantistiche per l'efficienza e la sostenibilità energetica

La sostenibilità energetica è una delle sfide principali per il futuro progresso tecnologico. In questo settore si individuano importanti sviluppi per le Tecnologie Quantistiche. Si tratta, in alcuni casi, di linee di ricerca ancora allo stadio di fisica di base di prime dimostrazioni sperimentali a livello di “*proof-of-concept*”, per molti versi legate direttamente all'avanzamento delle piattaforme di computazione quantistica di cui replicano alcuni concetti essenziali. In altri casi il progresso raggiunto è già più avanzato e prime implementazioni di prototipi di dispositivi e/o dimostrazioni di processi sono già disponibili. Per le QT è dunque un ambito fortemente esplorativo, ma con importanti ricadute concettuali e tecnologiche.

Tra i sistemi e concetti innovativi per lo “*storage*” di energia stanno assumendo un ruolo sempre più di primo piano gli studi sulle *batterie quantistiche*, in cui, contrariamente alle usuali batterie classiche, l'energia viene immagazzinata in una sovrapposizione di stati quantistici e i processi di carica e scarica avvengono tramite trasformazioni unitarie o sfruttando le differenze di fase tra gli elementi della batteria. Si tratta al momento di lavori principalmente teorici, o al livello di prima proposta sperimentale, che però mostrano le significative potenzialità di questo approccio, che consente, ad esempio, un'efficienza anche del 100% dei suddetti processi, nonché la possibilità di minimizzare i tempi necessari in maniera inversamente proporzionale al numero di celle presenti con un andamento ben al di là dei limiti raggiungibili dalle batterie classiche

Il secondo ambito è quello dell'estrazione di energia dall'ambiente circostante (vibrazioni, differenze di temperatura, emissione termica etc.). Le piattaforme, i materiali e i concetti possono essere molto variegati. A titolo di esempio, e per citare un approccio in cui la ricerca italiana è all'avanguardia, possiamo menzionare i motori termici quantistici, anche basati su nanostrutture a pochi o singoli elettroni, o su materiali innovativi a bassa dimensionalità, che hanno già raggiunto efficienze fino al 70% del ciclo termico ideale, sia pure con potenze di alcuni fW per singolo elemento. Si tratta principalmente di sistemi di microgenerazione per l'alimentazione di elettronica indossabile, sensori di monitoraggio, apparati di comunicazione locali. Strettamente connessi sono in generale gli studi sulla termodinamica quantistica, che mirano tra l'altro ad ottimizzare l'efficienza termica di macchine di dimensioni atomiche che, contrariamente a quelle classiche, lavorano tra sistemi non all'equilibrio.

Sono poi in rapidissima espansione gli studi che considerano l'effetto del campo elettromagnetico di vuoto sui processi di trasporto elettronico e sulle interazioni molecolari. Un concetto puramente quantistico in grado di modificare il percorso e la termodinamica di svariati tipi di reazioni chimiche, inibendone o aumentandone l'efficienza anche di diverse volte, controllandone i prodotti, o infine rendendone possibili di nuove. Recentemente l'attenzione si è rivolta ai processi di catalisi (*vacuum-field catalysis*), di grande importanza nei settori ambientali ed energetici.

Per quanto riguarda invece il trasporto elettrico e l'elettronica a bassa dissipazione, è stato dimostrato l'anno scorso come l'accoppiamento delle vibrazioni col campo di vuoto possa innalzare la temperatura critica di un superconduttore, in questo primo esperimento di circa 15 gradi. Inoltre, alcune proposte teoriche sono già state formulate, con concetti simili, per rendere superconduttori materiali che non lo sono, quali ad esempio alcuni semiconduttori convenzionali dell'optoelettronica. Infine, è stato dimostrato il trasferimento dell'eccitazione ottica in materiali organici, tramite l'accoppiamento col vuoto elettromagnetico, anche su distanze di centinaia di nm e con efficienze di circa il 40%, risultati promettenti per risolvere le limitazioni del trasporto elettrico in molti sistemi altrimenti di interesse per applicazioni a basso impatto nell'optoelettronica di consumo e nel fotovoltaico.

Il panorama italiano in queste tematiche vede sicuramente diversi gruppi già attivi e ben conosciuti a livello internazionale per quanto riguarda gli aspetti modellistici e computazionali. È presente inoltre un substrato diffuso e di altissimo profilo di gruppi sperimentali con esperienze pluriennali nello studio degli effetti di vuoto in sistemi fotonici (polaritonica e plasmonica in semiconduttori).



Obiettivi

Visto il diverso livello di avanzamento delle linee di ricerca sopra elencate, gli obiettivi posti dal presente PNR devono necessariamente essere variegati e declinati sulla specifica “tecnologia” e sul relativo stato dell’arte raggiunto. A seconda quindi delle esigenze del singolo campo di ricerca questi comprendono uno o più dei seguenti elementi:

- Sviluppo della comprensione da sistemi modello a sistemi realistici e prime dimostrazioni sperimentali;
- Incremento delle prestazioni a livelli di interesse applicativo, focalizzando l’attenzione sugli aspetti energetico / ambientali;
- Ricerca precompetitiva con definizione dei parametri richiesti per uno sviluppo prototipale in stretta collaborazione tra attori accademici e del mondo industriale;
- Sostegno e incentivazione degli elementi deboli o totalmente mancanti in Italia della filiera dell’innovazione collegata (concezione e calcolo, *facilities* di fabbricazione, indagini e implementazioni sperimentali, ingegnerizzazione di sistema, prototipazione e sviluppo pre-commerciale);
- Sostegno della protezione e impulso alla valorizzazione della proprietà intellettuale creata e assistenza al trasferimento tecnologico.

È importante che le azioni di sostegno alla progettualità identifichino le direzioni più promettenti in cui la ricerca italiana abbia già una leadership a livello di idee e proposte e sia in possesso poi delle capacità di tradurle in implementazioni pratiche. In questa direzione le attività dovranno favorire in primis l’integrazione (e se necessario eventualmente riconversione e sviluppo) dei gruppi sperimentali con quelli teorici e successivamente la partecipazione di attori industriali, inizialmente anche solo limitata alla definizione delle specifiche e delle priorità, ed in seguito diretta allo sviluppo di sistemi e primi prototipi. È cruciale che nell’orizzonte temporale di questo PNR, anche le direzioni più originali e innovative vengano tradotte in prime implementazioni pratiche. Per raggiungere questo obiettivo tuttavia è necessario, come descritto anche in altre articolazioni, un importante investimento infrastrutturale, in particolare per quanto riguarda le *facilities* di fabbricazione, che richiedono le tecnologie più avanzate e performanti, e che comportano costi difficilmente affrontabili dal singolo Ente/Università.

Dal punto di vista scientifico le linee più interessanti e con le prospettive di applicazione più promettenti comprendono tra l’altro le seguenti attività:

- Lo sviluppo di batterie quantistiche (per es. basate su qubit a semiconduttore o superconduttore in cavità) e la realizzazione di primi sistemi multicella in grado di verificare protocolli di carica e scarica;
- Lo sviluppo di componentistica fotonica per la computazione con forte riduzione di consumo energetico. Per es. acceleratori hardware basati su fluidi quantistici;
- Macchine termiche quantistiche con potenze significative e ad alto rendimento, per esempio tramite parallelizzazione di sistemi a singolo elettrone o in combinazione con nuovi materiali per applicazioni di microgenerazione;
- Realizzazione di dispositivi superconduttivi in semiconduttori e studio dell’effetto del campo di vuoto su ampie classi di superconduttori convenzionali;
- Applicazione dei concetti di trasferimento dell’energia tramite accoppiamento polaritonico in sistemi organici di interesse anche per il fotovoltaico e realizzazione di primi dispositivi su scala mesoscopica;
- Utilizzo di fenomeni di coerenza quantistica per aumentare il rendimento dei dispositivi e materiali oltre i limiti termodinamici classici;
- Dimostrazione dell’effetto del campo di vuoto in reazioni chimiche di interesse per lo sviluppo di processi più efficienti e a basso impatto, e per la produzione o *storage* di energia (catalisi, elettrochimica ecc.);
- Nuova sensoristica quantum per il monitoraggio ambientale, o delle condizioni di operazione di motori termici, batterie classiche (ad es. per il monitoraggio internamente alla batteria delle concentrazioni e dei parametri termodinamici).



Impatti

In questa fase ancora in parte embrionale una forte azione di stimolo alla ricerca e all'innovazione nelle tecnologie quantistiche per l'energia e la sostenibilità ambientale risulterà senz'altro estremamente efficace nel consentire al paese di essere competitivo per il futuro e giocare un ruolo di primo piano a livello internazionale in un settore che diventerà strategico sotto tutti i punti di vista.

Si possono individuare tre diversi livelli a cui l'attuale e futura ricerca scientifica in questo settore dal grande potenziale d'innovazione può interfacciarsi con tematiche di grande rilevanza sociale ed impatto economico:

- a) Le QT possono contribuire a ottimizzare l'efficienza complessiva dei sistemi di alimentazione energetica, sfruttando al meglio le nuove prerogative messe a disposizione dalla natura quantistica dei singoli elementi;
- b) L'implementazione di concetti e fenomeni quantistici fondamentali in sistemi per la produzione, il trasporto e la conversione dell'energia può portare al miglioramento dell'efficienza e della sostenibilità degli attuali processi industriali;
- c) Le strutture, i componenti e le tecnologie sviluppate per permettere il funzionamento dei dispositivi quantistici possono infine trovare fruttuosa applicazione nel migliorare prestazioni ed efficienza della strumentazione classica, per es. elettronica, già esistente.

Nella prima categoria di ricerche sopra individuate rientrano principalmente le problematiche e le opportunità connesse alla cosiddetta *green ICT*. In questo ambito il passaggio a schemi e sistemi di computazione e comunicazione quantistica offre enormi possibilità sia dal punto di vista della riduzione delle risorse e delle tempistiche richieste per il calcolo sia da quello dello sviluppo di algoritmi e architetture dedicate per minimizzare la richiesta energetica. Inoltre, si presta naturalmente allo studio di approcci quantistici integrati anche per quanto riguarda i componenti deputati all'alimentazione. Questi possono essere declinati in termini di elementi per immagazzinare l'energia (batterie) o di micro/nanodispositivi in grado di estrarre energia dall'ambiente. Si tratta chiaramente di potenze limitate, ma che possono essere sufficienti per l'operazione di piccoli oggetti elettronici indossabili, sensori di monitoraggio, apparati di comunicazione per piccoli strumenti ecc.; la loro adozione su larga scala potrebbe ridurre sensibilmente il consumo di mini-batterie dal ciclo vitale comunque finito.

La seconda fattispecie comprende invece linee di ricerca che affrontano esplicitamente problematiche energetiche e ambientali con metodi e tecnologie strettamente quantistiche. Qui gli impatti principali saranno riconducibili al miglioramento dell'efficienza di componenti e processi esistenti, andando oltre i limiti spesso imposti dalla termodinamica classica. I campi di applicazione sono estremamente variegati e vanno da nuovi concetti di celle fotovoltaiche, a sistemi catalitici e batterie chimiche di nuova generazione, a nuovi materiali e processi industriali a più alto rendimento. Gli impatti saranno quindi rilevanti sia in ambiti relativi alle energie rinnovabili, sia per quanto riguarda lo sviluppo di un'economia sempre più ecosostenibile.

La terza classe di ricerche è meno prevedibile allo stato attuale ma ha comunque l'opportunità di essere foriera di importanti innovazioni dal punto di vista energetico. In particolare, la necessità di integrare dispositivi per forza di cose coerenti dal punto di vista quantistico si presta allo sviluppo di varia componentistica elettronica e opto-elettronica coerente a bassa dissipazione; basti pensare per esempio all'importanza della riduzione del costo energetico di "switching" in tutta l'elettronica digitale. In seconda battuta, le capacità rese disponibili dai simulatori quantistici possono trovare applicazione nello studio e ingegnerizzazione di nuovi materiali *green* con importanti proprietà termiche, di trasporto elettrico ecc.

Facendo riferimento al documento "*Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe*" i succitati impatti investono le categorie relative a:

- nuove soluzioni per fonti energetiche più efficienti, pulite, e sicure e per il miglioramento delle prestazioni delle sorgenti rinnovabili (19)
- utilizzo efficiente e sostenibile dell'energia per una transizione ad un sistema energetico pulito (20).



Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Anche se si tratta di ricerca ancora molto speculativa, è chiaro che, visto il contesto, vi sono ricadute in numerosi ambiti tematici di questo PNR. Primi fra tutti gli aspetti di **energetica ambientale ed industriale**, nonché le **green technologies**.

Nel primo caso la disponibilità di innovativi sistemi di *storage* e di estrazione di energia dall'ambiente, nonché di più efficienti dispositivi per lo sfruttamento locale delle energie rinnovabili (ad es. fotovoltaico ad alta efficienza) si interfacciano direttamente con la ricerca sullo sviluppo di edifici e abitazioni energeticamente *smart* e sostenibili, con la capacità anche di offrire nuove possibilità di progettazione urbanistica.

Oltre a fornire nuovi approcci e componenti per lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili (o contribuire al miglioramento delle prestazioni di quelli esistenti), un'importante intersezione con l'**energetica industriale** riguarda gli aspetti di decarbonizzazione dell'industria tramite lo sviluppo di processi a più alto rendimento e basso impatto ambientale (per es. la cosiddetta *vacuum chemistry*) e tramite lo sviluppo di sistemi per un recupero efficace dell'energia dispersa termicamente. Queste considerazioni si innestano poi direttamente nelle tematiche relative alle **green technologies**, che esplicitamente si pongono come obiettivi lo sviluppo di una chimica sostenibile rigenerativa e la gestione più efficiente con schemi multipiattaforma delle energie da fonti rinnovabili, per esempio tramite l'implementazione di nuovi concetti di stoccaggio e conversione dell'energia (supercapacitori, sistemi elettro-fotocatalitici, batterie di nuova generazione). Tali questioni ovviamente riguardano anche l'**innovazione per l'industria manifatturiera** che ha come uno dei "focus" principali la creazione di un modello di industria pulita ed ecologica tramite l'incremento di efficienza, il miglior sfruttamento delle fonti energetiche, la diminuzione dell'impronta ambientale.

Infine, vanno sottolineati i collegamenti forse meno diretti ma altrettanto interessanti con altri assi di intervento quali ad esempio le **tecnologie per la salute** (pensiamo alle problematiche di alimentazione di sensori medici *smart* impiantabili o indossabili) o le questioni relative alla **transizione digitale** che come discusso in precedenza presenta aspetti energetici assai rilevanti.

Key Performance Indicators

Possiamo individuare alcune "*milestones*" che consentono di quantificare il grado di successo dell'implementazione del PNR:

- Prima realizzazione sperimentale di batterie basate su qubit e implementazione dei primi sistemi multicella ($3 < n < 10$)
- Nano/microdispositivi per l'estrazione di energia dall'ambiente in grado di fornire potenze dell'ordine dei pW-nW anche tramite parallelizzazione
- Sistemi quantum per il trasferimento dell'energia ad alta efficienza ($> 40\%$) su distanze macroscopiche in materiali di interesse per il fotovoltaico
- Implementazione sperimentale di prime macchine termiche ad alto rendimento oltre i limiti classici.
- Realizzazione di dispositivi elettronici a semiconduttore operanti in regime superconduttivo
- *Vacuum chemistry* ad alto rate (miglioramento di 1 ordine di grandezza) in reazioni di interesse industriale e di catalisi.

Indicatori importanti per la **capacità di finanziamento a livello europeo**

- Numero di progetti europei con partecipazione italiana
- Numero di aziende/industrie partecipanti ai progetti europei

Articolazione 5. Infrastrutture di ricerca per le tecnologie quantistiche

Basandosi sull'eccellenza scientifica continentale, la Commissione Europea ha lanciato l'iniziativa faro FET (**Future Emerging Technologies**) sulle QT, denominata **Quantum Flagship**. Avviata nel corso di *Horizon2020* attraverso una



serie di azioni di ricerca e innovazione strategicamente selezionate e orientate su quattro percorsi distinti (Computazione Quantistica, Simulazione Quantistica, Comunicazione Quantistica, Sensoristica e Metrologia Quantistica), si svilupperà collegandosi con nuove infrastrutture europee (*European Quantum Communication Infrastructure-EuroQCI* e *European Quantum Computing/Simulation Infrastructure-EuroQCS*) e strutturandosi sulla base di una prossima rete europea, attualmente in fase avanzata di definizione, di *Istituti Nazionali per le Tecnologie Quantistiche*. All'investimento per la *Flagship*, già programmato in *Horizon2020* per un totale di 1 miliardo di euro ed una durata complessiva di 10 anni del Programma (2018-2028), si deve dunque aggiungere uno stanziamento ulteriore, che ad oggi è previsto essere di 1-2 miliardi di euro, per il cofinanziamento delle nuove Infrastrutture europee ad esso legate. Si vanno inoltre allineando ulteriori programmi di ricerca di altre Agenzie europee (ESA-European Space Agency, EDA-European Defense Agency ecc.) con uno sforzo coordinato per l'istruzione e la formazione in QT, teso alla creazione di una forza lavoro qualificata in grado di comprendere e sfruttare i benefici di queste nuove tecnologie.

Tale esigenza Europea nasce dalla volontà di concretizzare in Infrastrutture di lungo termine, centrate sulle QT, gli ingenti finanziamenti che verranno stanziati nel corso del decennio di durata della *Flagship*. Ciò consentirà di creare, su scala europea, una rete di infrastrutture ed un ampio bacino di risorse umane specializzato nella ricerca ed innovazione, per lo stabile mantenimento e per l'ulteriore accrescimento delle competenze nel settore. Il rischio, infatti, considerata l'enorme concorrenza su scala globale, è che le Persone, le Tecnologie e le Aziende Europee migliori siano rapidamente cooptate da Paesi al di fuori del perimetro europeo, impoverendo sistematicamente e drammaticamente le nostre potenzialità.

L'Italia è l'unica nazione europea dotata di un'infrastruttura di ricerca basata su una **dorsale in fibra ottica**, dedicata inizialmente alla diffusione di sincronizzazione di tempo e frequenza, e quindi alle tecnologie quantistiche. Il **Quantum Backbone Italiano (IQB)** oggi conta una dorsale in fibra lunga 1850 km, che collega le principali città italiane: Torino, Milano, Bologna, Firenze, Roma, Napoli per raggiungere Matera. L'IQB arriva fino al confine franco-italiano presso il traforo del Fréjus, e può essere collegato in principio con infrastrutture analoghe in Svizzera, Austria, Germania e Slovenia. L'IQB offre ai ricercatori accesso completo 24 ore su 24 e può ospitare attrezzature di ricerca in edifici protetti ad accesso riservato posti ogni 50-100 km. Esso può essere collegato a reti metropolitane, che sono già state attrezzate nei test-bed dell'area di Torino e di Firenze. È inoltre possibile lo sviluppo di siti intermodali (Matera, Firenze, Padova) per tecnologie quantistiche terra-spazio. L'IQB parte dall'INRIM di Torino e collega istituzioni scientifiche come l'area scientifica di Milano Città Studi, i siti CNR di Firenze e Napoli, l'INAF di Bologna, il MLRO (*Matera Laser Ranging Observatory* dell'ASI) dove sono state testate le **prime comunicazioni quantistiche nello spazio**. Tale Rete collega anche realtà strategiche economiche ed industriali, fornendo il segnale di Tempo, ad esempio, alla Borsa di Milano. Infine, l'infrastruttura permette di testare Comunicazioni Quantistiche ed altre tecnologie sia in ambiente dedicato che su una rete commerciale di telecomunicazioni.

L'Italia possiede una estesa rete di gruppi di ricerca e laboratori distribuiti in più di 30 Istituzioni. Quattro Enti di ricerca nazionali (CNR, INRIM, INFN, ASI) sono coinvolti in QT insieme a molti gruppi di ricerca e laboratori universitari. Il ruolo di coordinamento nazionale è stato svolto, ad oggi, su incarico del MIUR, dal CNR che mantiene una pagina web di riferimento (<http://www.qflagship.cnr.it/#>).

Il CNR, con il contributo del MIUR, ha anche avviato una **Piattaforma italiana per lo sviluppo di coprocessori quantistici (PAS(C)QUA)** basati su atomi e fotoni: una nuova generazione di simulatori quantistici basati su array programmabili e scalabili di singoli atomi in micro-trappole ottiche, pensati per interfacciarsi ed integrarsi con dispositivi di calcolo classico, grazie allo sviluppo di opportuni dispositivi optoelettronici. Per tutta la componentistica è prevista l'integrazione con sistemi di packaging e di microelettronica di livello industriale per permettere l'accesso ad aziende che intendano sviluppare la nuova tecnologia e sfruttare il nuovo modello di calcolo e simulazione.

In aggiunta vi sono diverse infrastrutture di fabbricazione e sviluppo per: 1) micro- e nano-elettronica, 2) misure quantistiche alle bassissime temperature, 3) dispositivi per lo sviluppo di computer e sensori quantistici, 4) optoelettronica e fotonica. Tali infrastrutture, di livello tecnologico ed organizzativo medio-alto, possono essere impiegate per prototipazione e realizzazione di linee pilota. Il potenziale di queste realtà è molteplice: sostegno alla piccola-media industria; supporto ad università e centri di ricerca; sperimentazione di tecnologie nuove da parte delle



grandi imprese, in modo da permettere loro di valutare l'opportunità di ulteriori investimenti per eventuali produzioni di serie.

È prioritario, per lo sviluppo delle QT, **mettere a sistema queste infrastrutture** creando e mantenendo un coordinamento fra di esse. La progettazione e le piattaforme tecnologiche per QT sono ancora in fase di sviluppo e necessitano quindi di infrastrutture di fabbricazione e di misura molto flessibili e di reti/laboratori strutturali per lo sviluppo e la realizzazione degli indispensabili protocolli di misura quantistica e degli opportuni codici/algoritmi per hardware quantistico. Allo stesso tempo, per consentire un trasferimento più rapido e più semplice della tecnologia verso i partner industriali, è necessaria la condivisione dei risultati, la standardizzazione delle procedure, della qualità e della riusabilità dei processi di micro- e nano-fabbricazione. In questa direzione appare importante sostenere e promuovere le iniziative pubblico-private sul modello di alcuni esempi di successo già esistenti in fotonica o in nano-fabbricazione.

Obiettivi

La visione di lungo periodo è quella di realizzare un nuovo ecosistema di innovazione nel quale la capacità di studiare e manipolare singoli oggetti quantistici (atomi, fotoni, molecole, nano-dispositivi) si traduca in applicazioni industriali. Questo richiede lo sviluppo di nuove infrastrutture tecniche, la definizione di nuovi standard, la formazione di nuove figure tecnico-professionali e lo sviluppo di nuovi centri di coordinamento fra pubblico e privato, creando un ambiente che promuova l'avvio e lo sviluppo delle imprese, faciliti l'accesso alle necessarie catene di approvvigionamento e protegga al contempo i dati e la proprietà intellettuale.

Parallelamente, occorre garantire l'indipendenza tecnologica, e quindi politica ed economica, dell'Italia in alcuni settori strategici con stretta attinenza alle tecnologie quantistiche, potenzialmente a rischio di controllo da parte di potenze extra-europee e multinazionali estere, in particolare:

- sicurezza della comunicazione;
- difesa e aerospazio;
- cyber-physical security;

Per favorire questo sviluppo sono necessarie iniziative di cofinanziamento, in collaborazione con altri Ministeri e/o con le regioni italiane, e la promozione di investimenti comuni con aziende private, spin-off e start-up attivi in QT. Si tratta di creare un "eco-sistema" integrato pubblico-privato con finalità di innovazione continua, basato su:

- interscambio di personale tra università-centri di ricerca-industria;
- incentivi fiscali e finanziari all'innovazione;
- agevolazioni fiscali per investimenti su tecnologie quantistiche ad ampio spettro
- messa a sistema delle facilities a supporto delle PMI per lo sviluppo di nuovi prodotti attraverso il finanziamento di progetti innovativi.

L'Istituto Nazionale per le Tecnologie Quantistiche (INQ)

La prevista rete Europea di *National Quantum Institutes (NQI)* potrebbe essere simile allo schema *EURAMET* già sperimentato nel settore degli Istituti Metrologici Nazionali, che dispone di finanziamenti europei dedicati, attraverso uno specifico articolo dei Trattati Europei (art. 185). Lo schema di *legal entity*, che dovranno avere questi nuovi Soggetti, per ottenere il cofinanziamento europeo, sarà, dalle discussioni in corso, diversificato per i vari Paesi, che stanno plasmando gli NQI facendo leva ciascuno sulle proprie peculiarità. È necessaria, dunque, la costituzione di un nuovo Soggetto nazionale, capace di mettere a sistema le risorse umane, le infrastrutture tecniche, gli investimenti pubblici e privati per promuovere la ricerca scientifica, lo sviluppo tecnologico e l'adozione industriale delle QT. Tale soggetto sarebbe un interlocutore unico per le istituzioni nazionali e rappresenterebbe una chiara interfaccia italiana nei confronti delle Istituzioni europee. Occorre pensare ad una struttura snella e flessibile dal punto di vista amministrativo, in grado di assicurare l'elemento di coordinamento per strutture operative delocalizzate (laboratori congiunti), finalizzate allo sviluppo di ricerca fondamentale in interazione con Università ed EPR, e allo sviluppo di



specifici prodotti, in collaborazione con le Aziende. Tali laboratori congiunti potranno agevolare anche l'avvio di start-up per lo sviluppo di sistemi innovativi e applicazioni ad alto impatto basate su tecnologie quantistiche.

Per l'efficiente trasferimento delle conoscenze di base e tecnologiche alle imprese, un meccanismo ormai collaudato, su scala europea, è l'attivazione di partnership pubblico-private (PPP), che mette a sistema centri di ricerca, ovvero i soggetti pubblici, con aziende private, creando un naturale percorso virtuoso che lega la ricerca fondamentale al trasferimento tecnologico, sul modello di analoghe esperienze in altri Paesi europei.

La creazione di un Istituto Nazionale per le QT, che potrebbe essere strutturato come fondazione disciplinata dal Codice Civile, avrebbe come effetto quello di utilizzare al meglio risorse finanziarie e umane pubbliche in un assetto istituzionale ancorato, sostanzialmente, a norme di diritto privato. La flessibilità contrattuale derivante consentirebbe l'efficace attrazione dei migliori scienziati e ricercatori garantendo, da una parte, infrastrutture (laboratori, strumenti, personale ecc.) all'avanguardia e, dall'altro, meccanismi di reclutamento competitivi a livello internazionale. Il trasferimento di parti selezionate di EPR ed Università operanti nel settore delle QT potrà abbreviare i tempi di avvio delle attività dell'INQ, riducendo al contempo i costi nazionali, in quanto già sostenuti nelle strutture di origine, o, all'inverso, aumentando la capacità di attrazione dei fondi europei facendo leva su un maggior impegno nazionale.

Un aspetto essenziale che sta emergendo in vista della costituzione dell'INQ è la molteplicità di interessi che andrà a presidiare tale Istituto. Infatti, per favorire questo sviluppo è necessario il coordinamento e la collaborazione fra diversi Ministeri ed il contributo di aziende e start-up attive nel settore delle QT. L'INQ verrebbe a costituire l'elemento chiave di un "eco-sistema" integrato pubblico-privato con finalità di innovazione continua, basato sull'intercambio di personale tra università-centri di ricerca-industria, la messa a sistema delle facilities a supporto delle PMI per lo sviluppo di nuovi prodotti, costituendo così un efficace e competitivo polo di attrazione per finanziamenti privati, nazionali ed europei.

I Ministeri presumibilmente più coinvolti nella costituzione dell'INQ sono il Ministero Università e Ricerca, quello delle Infrastrutture e Trasporti, il MISE, il Ministero della Difesa, probabilmente quello dell'Innovazione Tecnologica e la Digitalizzazione.

Le infrastrutture tecnico-scientifiche

1. 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-elettromeccanici; 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...). Per tutta la componentistica dovrà essere prevista l'integrazione con sistemi di packaging e di micro-elettronica a temperatura ambiente e crio-compatibile di livello industriale.
2. Completamento dell'**Italian Quantum Backbone (IQB)** 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, nonché garantirà l'accesso all'industria per un'ampia gamma di sviluppo di applicazioni e di software, ad es. in salute, finanza e infrastrutture strategiche.
3. Creazione di un **Quantum Computing and Simulation Hub** che offra a strutture di ricerca e industriali l'accesso a computer / simulatori quantistici in un contesto fortemente integrato con High Performance Computing (HPC) classico. Date le diverse piattaforme tecnologiche (atomi, fotoni, semiconduttori, superconduttori, nano-strutture, molecole magnetiche ecc.) una parte integrante dello Hub dovrà riguardare lo sviluppo di algoritmi e protocolli quantistici. L'Hub sfrutterà le competenze disponibili sul territorio nazionale, quali ad esempio la nascente infrastruttura PAS(C)QUA. L'attività avrà lo scopo di studiare problemi fondamentali e le loro declinazioni per applicazioni industriali, ad esempio, nell'ottimizzazione dei processi, nelle telecomunicazioni e sicurezza, nei materiali, nella chimica, nella medicina e nella farmaceutica. Lo Hub funzionerebbe da raccordo tra la ricerca di base ed applicata e le imprese e industrie che si affacciano alla nuova tecnologia e al nuovo modello di calcolo e di simulazioni.



4. Realizzazione di infrastrutture ad accesso aperto per sviluppare, calibrare, testare, convalidare e certificare sensori quantistici su grande e piccola scala e per sviluppare e rendere accessibili dispositivi standard di misurazione quantistica compatti e facili da utilizzare al fine di raggiungere l'indipendenza nazionale nella certificazione delle prestazioni dei sensori quantistici.

Impatti

Le proposte Infrastrutture di Ricerca per le Tecnologie Quantistiche saranno di fondamentale importanza per l'indipendenza nazionale nelle tecnologie digitali e nelle future tecnologie abilitanti emergenti, rafforzando le capacità italiane ed europee nelle parti chiave delle catene di approvvigionamento digitali, garantendo l'autonomia di fornitura di tecnologie e attrezzature strategiche (Impact 21).

Allo stesso modo contribuiranno allo sviluppo di una *data-economy* sicura a livello globale, consentendo l'adozione delle tecnologie e delle infrastrutture di elaborazione e trasmissione dati di prossima generazione (Impact 20).

Key Performance Indicators

La messa in opera delle infrastrutture costituisce il migliore indicatore per la riuscita degli obiettivi previsti da questa articolazione.

1. Creazione dell'**Istituto Nazionale per le Tecnologie Quantistiche (INQ)**, da realizzarsi entro il 2021
2. Costituzione sotto il coordinamento dell'INQ di un network di laboratori (anche congiunti pubblico/privati) per lo sviluppo di tecnologie quantistiche e l'incubazione di spin-off.
3. Completamento dell'**Italian Quantum Backbone** con il suo collegamento alla *EuroQCI* e messa a disposizione della infrastruttura a soggetti pubblici e privati nazionali per la ricerca e sviluppo di tecnologie di comunicazione quantistica
4. Creazione di un **Quantum Computing and Simulation Hub** e suo inserimento nella rete Europea *EuroQCS*
5. Realizzazione di accordi di partenariato fra i **Poli di Fabbricazione Avanzata**, le Università ed i Centri di Ricerca e sviluppo delle prime filiere verticali nazionali per la realizzazione di dispositivi quantistici.

Articolazione 6. Formazione e capitale umano

Stiamo entrando in un'era in cui il controllo tecnologico sulle manifestazioni e implementazioni della meccanica quantistica sta aprendo nuove strade alla ricerca, in grado di portare a progressi impensabili sia nelle scienze fondamentali, sia in quelle applicate. Comprendere la fattibilità di queste promesse e sfruttarne appieno le potenzialità richiede gli sforzi di una comunità scientifica estesa, in grado di operare e interagire all'intersezione tra discipline anche molto diverse. Si pensi per esempio alla computazione quantistica, dove il lavoro dei fisici nello studio e progettazione delle necessarie piattaforme sperimentali si unisce a quello di matematici e informatici per lo sviluppo degli algoritmi e delle interfacce ad esse dedicate e a quello degli ingegneri che poi queste piattaforme dovranno integrare e connettere con una varietà di dispositivi.

Dal punto di vista della formazione delle risorse umane, le caratteristiche appena delineate pongono delle sfide importanti, necessitando la ricerca di personale altamente qualificato e specializzato in un settore scientifico estremamente avanzato e in rapida evoluzione ma che allo stesso tempo deve possedere competenze trasversali alle consuete discipline in cui è declinato il sistema universitario. Tali necessità non sono soltanto del mondo accademico ma anche di quello industriale, in cui l'interesse per le QT è in rapida evoluzione, trainato sia dalle grandi realtà multinazionali (IBM, Google, per citare le più note attivamente impegnate nello sviluppo di calcolatori quantistici), sia da piccole/medio imprese e spin-off magari focalizzate su dispositivi e/o applicazioni specifiche.

A livello europeo, diverse università si sono già attivate creando percorsi di laurea specifici dedicati alle QT con una forte impronta interdisciplinare. Il livello della formazione universitaria italiana è in generale tuttora molto elevato ed apprezzato internazionalmente ma chiaramente questa posizione va mantenuta, e se possibile migliorata, aggiornando costantemente l'offerta formativa anche sulla base degli sviluppi della ricerca scientifica. Nello specifico settore qui



considerato, la comunità accademica italiana riveste sicuramente, e sotto molti aspetti, un ruolo di primo piano in ambito internazionale, ma è in massima parte (sia pure con qualche rilevante eccezione) proveniente dalle scienze fisiche ed attiva in tale ambito.

Per quanto riguarda invece la disponibilità di dottorati in QT, alcune iniziative sono già state avviate presso singole università italiane ma il loro sviluppo su scala più ampia si scontra con le risorse limitate per i dottorati a disposizione degli atenei, risorse che necessariamente poi devono essere condivise con i percorsi di dottorato già esistenti.

Dal punto di vista industriale inoltre, molte grandi realtà operanti già in questo settore sono fortemente attente e interessate agli sviluppi della ricerca accademica con cui in alcuni casi hanno avviato importanti iniziative congiunte (basti pensare al *Microsoft Quantum Center* presso la *Technical University* di Delft in Olanda), collaborando strettamente anche per gli aspetti relativi alla formazione. La situazione italiana, sotto questo aspetto, fatte salve alcune iniziative individuali, ha ampie potenzialità per essere sicuramente migliorata.

Un ultimo aspetto da prendere in considerazione riguarda il capitale umano già formato. È purtroppo noto che molti dei nostri giovani ricercatori, in molti settori di punta, trovino più attrattivo perseguire poi una carriera scientifica all'estero, sia per le risorse e infrastrutture messe a disposizione, sia per le opportunità di crescita professionale e personale. Se la mobilità internazionale è un aspetto imprescindibile nella formazione di un ricercatore, è evidente anche che l'assenza di un corrispondente flusso umano "in ingresso" comporta uno spreco di risorse economiche e un indebolimento poi di tutto il tessuto collegato alla ricerca e all'innovazione. In alcuni settori delle QT, buone dotazioni infrastrutturali e la leadership scientifica riconosciuta consentono ancora di mantenere una ragionevole attrattività, che si scontra però con le difficoltà burocratiche e finanziarie di EPR e Università e con la cronica mancanza di risorse per la ricerca (e in particolare per l'avvio di nuove attività e costituzione di nuovi laboratori).

Obiettivi

Dal punto di vista del capitale umano, gli obiettivi posti dal presente PNR rispondono ad alcune esigenze ben precise del sistema italiano della ricerca pubblica e privata in questo settore altamente tecnologico.

In primis, occorre evitare un potenziale scollamento tra "domanda" e "offerta" di personale con conoscenze ed esperienza adeguate. È importante quindi che il PNR offra delle risposte valide a questa sfida, fornendo prospettive adeguate per il migliore inserimento dei nostri giovani nel lavoro e/o nella ricerca scientifica, assicurando la filiera di competenze necessaria per mantenere e rafforzare la competitività delle imprese innovative high-tech italiane. In secondo luogo, andrà potenziato il coinvolgimento delle realtà industriali nella formazione e ricerca accademica, instaurando un circolo virtuoso dal punto di vista economico e sociale e rendendo attrattivo e dinamico, nel panorama internazionale, il nostro sistema dell'innovazione tecnologica. Infine, andrà incrementata, anche con strumenti originali e investimenti strutturali, la capacità di università ed EPR di attrarre talenti dall'estero, fornendo condizioni e dotazioni strumentali adeguate per portare avanti in maniera ottimale le proprie ricerche.

Per raggiungere gli obiettivi sopra esplicitati sarà fondamentale stimolare ed assistere le università nell'istituzione di percorsi formativi dedicati, che potranno essere formulati su diversi livelli:

- a) all'interno di dipartimenti e strutture esistenti, per esempio costruendo nuovi curricula di laurea magistrale nelle aree CUN 1, 2, 3 e 9, con l'apporto anche di corsi specifici dall'esterno per completare l'offerta formativa, sull'esempio di quanto già proposto in alcuni Atenei.
- b) istituendo nuovi corsi di laurea magistrale interdipartimentali finalizzati alle tecnologie quantistiche che consentano una formazione specifica ma trasversale e multidisciplinare. Al momento non esiste ovviamente una classe di laurea dedicata (che potrebbe essere creata appositamente in futuro) ma i corsi potrebbero comunque essere incardinati su quelle esistenti prevalenti o su quelle interdisciplinari già disponibili delle aree di Fisica, Chimica, Ingegneria, Informatica e Matematica.
- c) Attivando corsi di laurea interateneo e/o in collaborazione con gli altri enti/istituti di ricerca presenti sul territorio e attivi in questo ambito. Esperienze di questo tipo sono già state avviate con successo in altri settori con caratteristiche simili (per es. nanotecnologie) in diverse realtà italiane.
- d) Attivando "QT academies" con grandi gruppi industriali, sul modello di quanto già realizzato per esempio per lo sviluppo di applicazioni in ambito informatico.



È auspicabile che questi nuovi corsi di laurea siano forniti in lingua inglese, in maniera da essere competitivi con l'offerta già disponibile a livello internazionale. Sarà infine importante coinvolgere poi direttamente in questi percorsi le realtà industriali emergenti nello sviluppo delle tecnologie quantistiche, siano esse grandi imprese multinazionali o piccoli spin-off della ricerca scientifica. Questo potrà avvenire tramite convenzioni che prevedano la possibilità di tirocini presso l'azienda, la partecipazione a programmi futuri di reclutamento post-laurea, l'attivazione di Laboratori congiunti, anche attraverso l'Istituto Italiano per le Tecnologie Quantistiche-INQ.

A livello di dottorato invece, saranno cruciali le seguenti azioni:

- Creare borse a tematica vincolata sulle QT all'interno di dottorati esistenti.
- Aprire nuovi dottorati interateneo e/o in collaborazione con Enti di Ricerca nazionali che garantiscano la fruibilità delle migliori strutture di ricerca in tutta la filiera delle QT.
- Incentivare i dottorati industriali e i dottorati in alto apprendistato, che rappresentano uno strumento essenziale per avvicinare la ricerca accademica allo sviluppo industriale nei settori ad alto contenuto tecnologico e per mantenere a livelli elevati le competenze in ambito industriale.
- Attivare, in collaborazione con il Ministero degli Esteri, dottorati congiunti internazionali tramite appositi accordi bilaterali, che potrebbero costituire un buon meccanismo per incentivare le interazioni con le più dinamiche realtà presenti nel panorama europeo delle tecnologie quantistiche, integrando i programmi europei (Marie Curie) che già supportano la mobilità internazionale.

Per assicurare l'efficacia e l'impatto di tali azioni sarà necessario prevedere un fondo aggiuntivo, eventualmente in coordinamento con l'*Istituto Nazionale per le Tecnologie Quantistiche* (vedi articolazione precedente), che garantisca, insieme all'incentivazione di un congruo numero di borse a tematica vincolata, l'attivazione di almeno 4-5 corsi di dottorato dedicati alle QT.

Infine, per favorire l'attrazione di talenti dall'estero, è necessario che il programma di rientro/ingresso dei "cervelli" sia reso stabile, con percorsi tenure-track ben definiti e con investimenti progressivi negli anni. In particolare, potrà esser utile la creazione anche di un meccanismo di accesso a *matching-funds* per chi intende trasferire in Italia le proprie ricerche portando con sé importanti finanziamenti (ERC o progetti di simile rilevanza), così da poter approntare le risorse strumentali e infrastrutturali necessarie.

Allo stesso tempo la disponibilità di infrastrutture all'avanguardia internazionale, il contatto con un consistente numero di studenti e dottorandi e la presenza di opportunità lavorative di alto profilo in ambito sia accademico che industriale, potranno certamente contribuire a trattenere i talenti italiani nel campo delle QT.

In maniera analoga, un coordinamento di azioni promosse da Ministeri, Regioni, Enti e Università, mirato a coinvolgere il mondo produttivo e della finanza, potrà indirizzare la formazione o la riconversione di ricercatori verso temi con immediata applicazione e incentivare la creazione di start up, con il sostegno di micro, piccole e medie imprese ad alto contenuto tecnologico.

Impatti

Come ovvio, il capitale umano rappresenta l'elemento fondamentale per il successo di tutte le articolazioni di questo ambito tematico. Non è infatti pensabile portare avanti un ambizioso programma di ricerca fortemente innovativo senza la disponibilità di personale altamente qualificato, con competenze avanzate e trasversali, in grado di interfacciarsi con le più importanti realtà scientifiche e produttive a livello internazionale.

Ma l'impatto verosimilmente non sarà limitato solo allo specifico settore scientifico. La presenza di un numero crescente di scienziati e ricercatori con una visione nuova, moderna e interdisciplinare, di molti ambiti scientifici e tecnologici (fisica di base ed applicata, telecomunicazioni, tecnologie digitali, high-performance computing, infrastrutture spaziali ecc.) avrà una importante funzione di stimolo e rinnovamento delle strutture universitarie e di ripensamento dei modelli consolidati di formazione. Allo stesso modo, è auspicabile che la più stretta interazione dell'accademia col mondo industriale e la disponibilità di figure professionali di nuovo profilo, da inserire nelle realtà produttive, contribuisca a modernizzare l'approccio alla ricerca delle imprese italiane. Tale approccio, infatti, è tuttora legato, in molti casi, a logiche di profitto a brevissimo termine, le quali ostacolano gli investimenti in direzione dei più



rilevanti *breakthrough* tecnologici, che spesso richiedono una visione chiara di medio e lungo periodo e l'acquisizione di un consistente *know-how* proprietario. In molti settori, lo sviluppo commerciale delle QT è ancora in una fase embrionale, che offre molte opportunità anche a livello di piccola e media impresa; il capitale umano è perciò cruciale affinché le imprese italiane possano cogliere subito queste possibilità e godere quindi di una posizione competitiva, se non esplicitamente di vantaggio, a livello internazionale. Il miglioramento complessivo della qualità della ricerca nelle QT e la crescita qualitativa delle aziende ad alto contenuto tecnologico nel settore, aumenterebbe notevolmente l'attrattività del paese per i ricercatori sia italiani che stranieri.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

La formazione di un capitale umano, in grado di operare e interagire all'intersezione tra discipline anche molto diverse, coinvolge forzatamente aspetti analoghi in altri ambiti tematici. Se da un lato, infatti, è importante che, ad esempio, competenze di **high performance computing**, **big data**, **intelligenza artificiale** facciano parte del bagaglio culturale di uno scienziato esperto di quantum technologies, dall'altro conoscenze approfondite e aggiornate dei metodi, delle piattaforme, e delle applicazioni delle QT consentiranno al personale formato in questo settore di inserirsi con successo e con notevoli capacità di innovazione in molteplici altre aree tematiche, quali ad esempio quelle relative alla sicurezza delle reti informatiche (**cybersecurity**), alla sensoristica per la **salute**, all'**aerospazio**, allo sviluppo di materiali, dispositivi e architetture "green" (**green technologies**).

Nella visione delle QT come elemento abilitante di approcci e metodologie di nuova generazione per affrontare problematiche presenti comunque in un ampio spettro di settori tecnologici, sarà infatti prezioso che anche gli istituti e le aziende operanti in tali ambiti possano giovare di un capitale umano in possesso del know-how più avanzato e completo negli aspetti "quantum" della ricerca e dello sviluppo delle relative applicazioni. Anche per questi motivi, è essenziale la creazione di corsi di laurea interdipartimentali, così da interfacciarsi più efficacemente con comunità scientifiche e lavorative senza dubbio eterogenee.

Key Performance Indicators

Trattandosi in questo caso di aspetti formativi e di valorizzazione del capitale umano, è meno indicativo fornire dei KPI strettamente quantitativi per misurare il successo del PNR. Volendo comunque individuare dei parametri che consentano di evidenziare uno sforzo significativo nel sostenere e supportare lo sviluppo di una comunità scientifico/industriale nazionale ampia e di alto livello nelle QT, si possono menzionare alcuni aspetti rilevanti:

- dal punto di vista dell'offerta formativa, anche confrontando con la situazione attuale per es. delle nanotecnologie, è auspicabile che vengano attivati nelle università italiane un numero ragionevole di corsi di laurea specifici in tecnologie quantistiche. Per es., con almeno 5 corsi di laurea magistrale disponibili a livello nazionale e un centinaio di neolaureati ogni anno, si assicurerebbe una base di personale qualificato per le esigenze della ricerca accademica e industriale;
- la creazione di almeno altri 4-5 prestigiosi dottorati inter-ateneo con importanti coinvolgimenti industriali costituirebbe un buon punto di partenza per la creazione di un network formativo nazionale nelle QT di alto livello;
- l'istituzione di un fondo dedicato di almeno alcuni M€/anno, per complementare prestigiosi finanziamenti europei (ad esempio ERC) di chi intende trasferire in Italia il proprio gruppo di ricerca, svolgerà un ruolo sicuramente rilevante nell'incrementare l'attrattività del sistema della ricerca italiano.



4.6 Innovazione per l'industria manifatturiera

Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni

I profondi mutamenti di natura economica e sociale, il cambiamento climatico e quello demografico, il maggior rispetto per l'ambiente e la riduzione delle emissioni di gas serra, l'incremento dei fattori di rischio legati ad emergenze sanitarie o geopolitiche, un progresso tecnologico sempre più incalzante, impattano pesantemente sul presente e sul futuro del settore manifatturiero italiano.

Una nuova strategia che ricorra ad un efficace coordinamento fra ricerca, formazione e sviluppo industriale, che promuova lo sviluppo di nuovi materiali e processi tecnologici eco-compatibili, la realizzazione di filiere produttive connesse, modulabili e scalabili in grado di prevenire e mitigare i fenomeni di incertezza, e con una forte attenzione alla componente umana, deve costituire il giusto volano per il rafforzamento e il rilancio dell'industria manifatturiera italiana.

In tale contesto, **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 nelle università e negli enti di ricerca, ricerca e sviluppo delle imprese, attività innovative, contribuendo a una traiettoria di sviluppo tecnologico caratterizzata da sostenibilità ambientale e inclusione sociale.

Le politiche per la ricerca e l'innovazione nell'industria manifatturiera devono necessariamente tener conto delle caratteristiche del sistema industriale italiano ed affrontare alcuni nodi irrisolti.

Come riportato nel documento "Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe", a livello europeo, dopo un lungo declino, la quota dell'industria nell'economia è aumentata negli ultimi cinque anni e attualmente contribuisce a circa il 17,5% del PIL dell'Unione europea (22% compresa l'edilizia) e fornisce direttamente lavoro a quasi il 24% dell'Europa (industria manifatturiera compresa l'edilizia). L'Industria manifatturiera italiana è, assieme a quella tedesca, il principale motore dell'export europeo. I prodotti manifatturieri rappresentano circa l'83% dell'export europeo e, grazie alla forza dell'industria manifatturiera, è stato possibile compensare la debolezza in altri settori quali la produzione di materie prime, energia e servizi. Analizzando nel suo complesso e a livello globale la bilancia commerciale europea ci si rende conto però che negli ultimi anni la situazione per l'Europa è drasticamente cambiata con un forte incremento del deficit commerciale. Questo scenario ovviamente rappresenta una situazione estremamente critica se proiettata nel lungo periodo, e in modo particolare per l'Italia.

Nel caso italiano, i dati del Rapporto Istat su "La competitività dei settori produttivi" (Istat, 2019) mettono in evidenza come nell'industria manifatturiera italiana nel 2016 ci fossero solo 5.500 imprese operanti nei settori ad alta tecnologia - in primis, farmaceutica, elettronica/optica, elettromedicale, aerospazio - pari all'1,4% del totale; nei settori a tecnologia medio-alta erano censite 55.000 imprese pari al 14% del totale. Le dimensioni delle stesse sono estremamente ridotte: di fronte a una media nazionale di 10 addetti, l'alta tecnologia arriva a 34 addetti e la medio-alta a 18. La distribuzione dell'occupazione vede poco più del 30% di addetti nei settori a tecnologia alto o medio-alta, che producono il 40% del valore aggiunto manifatturiero totale. Le differenze di produttività del lavoro sono rilevanti: le poche imprese nell'alta tecnologia hanno un valore aggiunto per addetto doppio di quelle nelle basse tecnologie (97 mila euro contro 49 mila).

Considerando il grado di integrazione verticale della produzione e la capacità di controllare forniture a monte e mercati di sbocco a valle, le imprese manifatturiere mostrano una notevole fragilità con una quota di valore aggiunto sul fatturato sotto il 25%, con l'eccezione delle poche aziende ad alta tecnologia che arrivano al 34%.

Inoltre, il tessuto industriale è caratterizzato da un'ampia prevalenza di PMI, di cui solo il 26% ha raggiunto un livello di maturità tecnologica che consente loro di competere sui mercati internazionali e sfruttare in maniera strategica le opportunità che scaturiscono dall'introduzione del digitale in ottica di business, e da un ampio spettro di soluzioni digitali presenti sul mercato senza attori dominanti in grado di rappresentare standard di fatto per la loro adozione e il loro utilizzo. La differenza tra le prestazioni delle PMI rispetto a quelle delle imprese di grandi dimensioni è consistente:



il fatturato medio per addetto è inferiore del 28%, la retribuzione è più bassa del 25% e il valore aggiunto per addetto è più basso del 28% (Osservatorio digitale delle PMI, 2020).

Da questo quadro emerge l'importanza di favorire la creazione di nuove imprese nei settori ad alta e medio-alta tecnologia e di incentivarne la crescita dimensionale, rovesciando la dinamica del periodo 2013-2016 in cui proprio i settori a tecnologia alta e medio-alta hanno registrato le più gravi perdite nel numero di imprese (oltre il 13% in meno) rispetto agli altri settori manifatturieri. Recuperare una **maggior presenza nelle attività ad alta e medio-alta tecnologia** è importante per molteplici fattori: in tali attività la ricerca e sviluppo è più elevata, le produzioni sono a maggior intensità di conoscenza, i livelli di qualificazione del lavoro, la produttività e i salari tendono a essere più elevati, dando un contributo rilevante allo sviluppo e alla competitività del Paese. Tali settori inoltre sono meno esposti alla concorrenza internazionale basata su bassi costi del lavoro e possono trasferire conoscenze rilevanti a tutta l'economia del Paese.

La ricerca e l'innovazione sono riconosciute come un'importante fonte di crescita economica e di competitività, ma vi è un'urgente necessità di maggiori investimenti. L'industria rappresenta il 64% della spesa per la R&S del settore privato e il 49% della spesa per l'innovazione. La R&S condotta all'interno del settore delle imprese in Italia è stata pari all'1,38% del PIL nel 2017 (Istat, 2019), notevolmente inferiore all'obiettivo del 2% dell'UE per il settore privato e inferiore a quella della Corea del Sud (3,27%), del Giappone (2,57%), della Svizzera (2,39%) e degli Stati Uniti (1,97%) (Eurostat database).

Gli sforzi finanziari più importanti nei passati decenni si sono concentrati nel nostro Paese sugli incentivi fiscali indiretti alle imprese per una vasta gamma di attività, tra cui ricerca e sviluppo, brevetti, capitale umano, investimenti in macchinari e tecnologie. L'approccio è tipico delle politiche "orizzontali" industriali e di innovazione in cui non vengono identificate priorità pubbliche in termini di missioni di ricerca, tecnologie, industrie, obiettivi sociali o ambientali e non vengono introdotti criteri selettivi. Il presupposto è che le imprese e i mercati siano efficienti ed efficaci nel prendere decisioni su progetti di R&S, innovazione e investimenti e sulla direzione che il cambiamento tecnologico può prendere e che l'azione del governo non dovrebbe introdurre distorsioni con misure selettive. Tuttavia, l'efficacia di tali politiche "orizzontali" è stata sempre più messa in discussione nei dibattiti politici, con una nuova serie di politiche recentemente introdotte a livello europeo e in Italia. Un significativo allontanamento dall'approccio "orizzontale" è arrivato a livello europeo con il lancio, nell'ambito del ciclo di programmazione della Politica di Coesione 2014-2020, della strategia di specializzazione intelligente che ha chiesto a ciascun Paese di identificare i suoi settori di forza nella ricerca e nell'innovazione. Dal 2013 la strategia italiana è stata gestita dall'agenzia governativa Invitalia in collaborazione con il Ministero dello sviluppo economico (MISE) e il Ministero dell'istruzione, università e ricerca (MIUR), risultando il perno centrale delle politiche di programmazione nazionale della ricerca (PRIN 2015-2020) e delle singole regioni. Nel 2016 tutte le regioni avevano definito la propria strategia, individuando cinque aree tematiche nazionali - tra le quali industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente - e dodici aree tematiche regionali di specializzazione.

Altra misura che, nelle intenzioni del legislatore, intendeva creare una ulteriore cesura rispetto all' "approccio orizzontale" è stato il programma Industria 4.0, lanciato dal Ministero dello sviluppo economico, finalizzato non solo ad una forte stimolo fiscale alle aziende per operare investimenti in tecnologie digitali avanzate (come robotica e automazione, cloud computing, big data, sensori, stampanti 3D,...), ma anche alla costituzione di Centri di Competenza specialistici 4.0, Digital Innovation Hubs (DIH) e Punti Impresa Digitale (PID) distribuiti sul territorio nazionale al fine di creare un ponte tra mondo della ricerca e mondo industriale, e, nella successiva formulazione come piano "Impresa 4.0", indirizzato anche sulle competenze e la formazione del capitale umano. Queste politiche sono peraltro in linea con la programmazione europea che vede negli European Digital Innovation Hubs e nelle Knowledge and Innovation Communities (KIC) gli aggregatori di competenze e tecnologie in grado di supportare le aziende sul fronte dell'adozione di nuove tecnologie e nel processo di trasformazione digitale. Rilevante inoltre il ruolo ricoperto in questi anni dai Cluster Tecnologici nazionali e regionali come catalizzatori di risorse per coordinare e rafforzare il collegamento tra il mondo della ricerca e quello delle imprese e per elaborare proposte e strategie che possano contribuire a guidare il percorso di riposizionamento strategico del sistema produttivo nel panorama tecnologico internazionale. Risulta fondamentale per la competitività del sistema Paese anche l'implementazione di azioni strategiche organiche e puntuali a livello legislativo e normativo, con riferimento agli ambiti di standardizzazione



volontaria e obbligatoria, al fine di non dover assecondare standard tecnologici emergenti a livello europeo ed internazionale, senza una attiva partecipazione e un pieno coinvolgimento del sistema industriale italiano.

Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

Dal punto di vista economico e sociale stiamo assistendo a livello globale a un profondo cambiamento di paradigma che pone nuove sfide ed opportunità per l'industria manifatturiera in Italia ed in Europa. Questi cosiddetti *megatrends* riguardano le sfere economica, politica, ambientale, tecnologica e sociale. Ci troviamo di fronte ad un cambiamento demografico della popolazione e ad una nuova generazione di consumatori, più esigenti dal punto di vista di prodotti e servizi e più attenti all'ambiente. Viviamo in un ambiente politico globale incerto in cui, dopo un periodo di forte spinta alla globalizzazione, stanno emergendo atteggiamenti nazionalisti e protezionisti. Stiamo assistendo ad un cambiamento climatico e ad una scarsità di risorse naturali, un'accelerazione del progresso tecnologico e dell'adozione di nuovi materiali e nuove tecnologie, un rapido accesso e diffusione della conoscenza. Come risultato del progresso tecnologico, prodotti e processi stanno diventando sempre più complessi e più orientati ai bisogni dei consumatori, nuovi modelli di business basati sulle tecnologie digitali stanno emergendo e le catene del valore stanno diventando sempre più dinamiche e globali con un aumento della competizione a livello globale. Tutto ciò porta anche alla necessità di nuove professionalità e competenze dei lavoratori che saranno sempre più orientati verso attività a maggiore valore aggiunto. Inoltre, in seguito all'emergenza pandemica del 2020 gli obiettivi europei di ripresa economica sono sempre più orientati a costruire una "*more sustainable, resilient and fairer Europe*" puntando sul binomio "verde" e "digitale".

Traguardando il prossimo decennio, il manifatturiero italiano per consolidare e rafforzare la propria competitività dovrà diventare più flessibile, adattabile, sostenibile e andare oltre le aspettative dei clienti in termini di prestazioni, qualità e servizio. Il progresso tecnologico e la digitalizzazione sono alla base delle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale. Essi trasformano non solo il modo in cui le industrie sviluppano e producono nuovi prodotti e servizi, ma anche il modo in cui viviamo, viaggiamo, lavoriamo e impariamo, e sono fondamentali per un futuro più sostenibile ed inclusivo.

Quattro sono le sfide principali da affrontare nell'immediato futuro: circolarità, resilienza, digitalizzazione e inclusività.

Circularità - Così come sottolineato nel documento "Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe", l'industria europea, compresa quella italiana, deve intraprendere una trasformazione che le permetterà di far fronte a una scarsità di risorse, compresa l'energia, e di ridurre la quota di emissioni di gas a effetto serra, inquinamento e rifiuti, oltre a sfruttare le opportunità che emergono da questa transizione, facilitate anche dal ricorso a nuovi materiali eco-compatibili. Ad aggravare queste fragilità, si stanno manifestando con frequenza crescente gli impatti del cambiamento climatico, quali ondate di calore, inondazioni, siccità, frane, scioglimento dei ghiacciai e innalzamento dei livelli del mare. Impatti destinati a crescere nel medio lungo periodo in assenza di una piena assunzione di responsabilità per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio, la transizione energetica verso minori consumi e un maggior ricorso a fonti rinnovabili. I dati dell'Unione Europea indicano che in Italia si sono registrati importanti progressi nell'ultimo decennio: al 2017 le emissioni di CO₂ si sono ridotte di più del 20% rispetto a quelle del 1990, superando l'obiettivo minimo dell'11%, e i consumi di energia coperti da fonti rinnovabili hanno raggiunto il 31% circa (41% nelle regioni meno sviluppate). Tuttavia, entro il 2030 è necessario consolidare e ampliare i risultati raggiunti, in coerenza con i nuovi obiettivi dell'UE in materia di energia integrando le politiche in materia di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Di conseguenza, l'industria, in quanto principale utilizzatore di risorse naturali, deve ridurre il proprio *carbon footprint* per garantire la sostenibilità nell'economia circolare e per raggiungere gli obiettivi definiti nell'Accordo di Parigi sul clima (COP21) nel dicembre 2015. In questa nuova prospettiva, il ruolo dell'industria manifatturiera è fondamentale per l'implementazione di un concetto circolare di fabbrica. L'introduzione di modelli di economia circolare e di materiali e prodotti sostenibili di nuova generazione induce profondi cambiamenti nei sistemi di produzione e nelle loro catene di



fornitura, con un impatto su tutto il ciclo di vita, dalla progettazione e produzione del prodotto, passando per l'uso, fino al riciclaggio e alla rigenerazione.

L'investimento nel *Green Deal* diventerà un motore di creazione di posti di lavoro. A livello europeo, il raggiungimento degli obiettivi climatici ed energetici per il 2030 può aggiungere l'1% del PIL e creare quasi 1 milione di nuovi *green jobs*. Investire in un'economia più circolare ha il potenziale di creare almeno 700.000 nuovi posti di lavoro entro il 2030 e aiutare l'UE a ridurre la sua dipendenza dai fornitori esterni e ad aumentare la sua resilienza ai problemi di approvvigionamento globale. A livello italiano, secondo i dati di fonte Symbola (GreenItaly 2018) le imprese italiane dell'industria e dei servizi che, nel periodo 2014-2017, hanno investito in tecnologie verdi (25% del totale) hanno mostrato un maggior dinamismo sui mercati esteri (export +34% rispetto ad un +27% di quelle con non hanno investito). In particolare la ricerca dovrebbe essere finalizzata all'innovazione nei settori individuati nel piano d'azione sull'economia circolare: anche guardando ai *green jobs* si rileva, sempre nel periodo 2014-2017, una crescita dell'occupazione di circa il 2% contribuendo, nel 2017 rispetto all'anno precedente, per il 10% circa all'aumento complessivo dell'occupazione del Paese.

Resilienza - L'emergenza sanitaria pandemica del 2020 ha generato effetti drammatici sul mondo del lavoro, mettendo in luce l'estrema vulnerabilità di milioni di lavoratori e imprese. Il sistema italiano, nonostante sia caratterizzato da una base manifatturiera di eccellenza ed estremamente diversificata, ha richiesto tempi lunghi per riadattare la produzione e continuare ad operare in modo da realizzare grandi quantità di prodotti specifici per l'emergenza. In futuro, l'emergenza che può impattare sull'industria può essere non solo di tipo sanitario ma anche di tipo economico, finanziario, legata ad eventi naturali o, più in generale, ad un qualsiasi evento che non può essere conosciuto in anticipo. Per superare questi limiti strutturali è necessario un cambio di paradigma che permetta di progettare e gestire sistemi e filiere tenendo conto non solo dell'efficienza ma anche della resilienza. Il nuovo paradigma deve prevedere una maggiore interazione anche a fronte di una riduzione della compresenza, una forte automazione ma sempre sotto la supervisione umana, piattaforme collaborative gestite in stretto coordinamento con la capacità di assicurare filiere a geometria variabile, assicurando sempre il massimo livello di sicurezza per i lavoratori.

Digitalizzazione - La digitalizzazione, le nuove tecnologie e gli sviluppi nel settore dei materiali offrono immense opportunità che accelerano l'innovazione, la trasformazione industriale, la competitività e la resilienza. La continua spinta verso prodotti personalizzati e una produzione dinamica e incentrata sul cliente pongono sfide sostanziali per lo sviluppo del prodotto, la gestione della *supply chain*, le vendite e i servizi. Enormi quantità di dati provenienti da molteplici fonti devono essere raccolte, elaborate e analizzate per fornire i prodotti e i servizi giusti al momento giusto e nel posto giusto. C'è un grande potenziale nell'aumento della produttività dei processi manifatturieri grazie all'utilizzo dell'intelligenza fornita, tra le altre tecnologie, dal *machine learning*, dalla modellazione e dalla simulazione. Nuovi modelli di business stanno emergendo o si stanno sviluppando ulteriormente, con una spinta verso il paradigma "*as a service*". Per questo è necessaria una più forte presenza nelle *supply chain* digitali, incrementando le competenze e le conoscenze nelle tecnologie digitali strategiche, quali intelligenza artificiale, cybersecurity, infrastrutture *cloud*, reti 5G e loro evoluzioni, supercomputer, nuovi materiali, sensoristica avanzata e *blockchain*. Ci troviamo nell'era dell'"economia dei dati", che influirà su come fare business, creare valore e connettersi con i clienti. Emergeranno opportunità di crescita per le aziende che comprendono l'economia dei dati e la trasformazione digitale non solo dal punto di vista tecnologico, ma anche commerciale, umano, legale ed etico. Questo processo è ancora all'inizio; ad esempio, le aziende europee non hanno ancora abbracciato il potenziale di monetizzazione dei dati che possiedono e con cui lavorano. Tuttavia, allo stesso tempo, la digitalizzazione comporta anche alcune minacce che devono essere mitigate: quanto più le imprese diventano digitali, tanto più sono vulnerabili in termini di cyber-sicurezza.

Inclusività - Le persone dovranno giocare un ruolo sempre più centrale nel manifatturiero italiano. Questo non concorda con una visione della 'fabbrica a luci spente' unicamente basata su un uso intenso dell'automazione, ma ben si adatta al tessuto industriale italiano che ha nell'intraprendenza e nelle capacità di imprenditori e lavoratori una risorsa essenziale. Le transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale devono porsi l'obiettivo di concepire e sviluppare sistemi produttivi in grado di accogliere le persone e valorizzare le loro competenze al fine di contribuire alla soddisfazione e al benessere dei lavoratori. Tutto questo richiede uno sforzo elevato sia dal punto di vista tecnologico che organizzativo. Le fabbriche innovative dovranno essere sempre più inclusive, ovvero fortemente orientate al



coinvolgimento e alla partecipazione delle persone (utenti, operatori, manager) che potranno svolgere attività complesse ad elevato valore aggiunto con il supporto di strumenti e dispositivi innovativi. Ne risulta che le persone e le macchine dovranno essere nella condizione di poter cooperare sinergicamente, condividendo attività in modo efficiente e sicuro. In un contesto caratterizzato da fabbriche nelle quali materiali, prodotti, processi e tecnologie evolvono attraverso dinamiche articolate, la conoscenza e la capacità di interpretare fenomeni produttivi complessi e identificare soluzioni basate sull'esperienza, rappresenta una sfida fondamentale. È essenziale investire strategicamente anche nelle tecnologie abilitanti come l'intelligenza artificiale a supporto di un'interazione intuitiva e diretta delle persone con le risorse stesse, in modo da rendere possibile ai dispositivi la comprensione delle indicazioni umane in ottica di sicurezza e valorizzazione delle persone così come nella formalizzazione e riutilizzo di tali esperienze attraverso rappresentazioni opportune dell'informazione e della conoscenza (ad esempio semantiche ed ontologiche). L'equilibrio tra compiti ad alto valore aggiunto, svolti principalmente dall'uomo, e compiti ripetitivi, svolti da macchine ad alta velocità, precisione e sicurezza, porta ad un aumento della quantità e della qualità dei posti di lavoro nella produzione e nei servizi. In questo contesto, la principale barriera per le aziende, in particolare le PMI, è la carenza di personale qualificato, anche in considerazione dell'invecchiamento della forza lavoro. L'istruzione e la formazione continua diventano quindi fondamentali, consentendo ai dipendenti di ogni livello di adattarsi alle nuove tecnologie e ai metodi di lavoro in rapido cambiamento. Il rapido sviluppo tecnologico richiede nuove competenze, crea nuovi profili professionali e richiede una collaborazione più intensa tra il mondo accademico, i centri di ricerca e l'industria. Le infrastrutture di cooperazione, come le *learning factory*, e i paradigmi emergenti dell'istruzione e della formazione, come le *teaching factory*, hanno il potenziale per implementare questo tipo di cooperazione.

Accanto agli sviluppi della ricerca e dell'innovazione dal lato dei materiali e delle tecnologie, è importante tenere conto degli effetti sul lavoro, della quantità e qualità dell'occupazione, dell'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 (il cosiddetto *digital divide*). Infatti, il Country Report 2019 diffuso dalla Commissione Europea riporta che nel 2017, il 20,1% di giovani si trovavano al di fuori di circuiti lavorativi o di istruzione e formazione (NEET) (percentuale più alta d'Europa), il divario occupazionale tra uomini e donne si attestava al 17,8% (contro una media europea di 11,5%) e il tasso di occupazione del Sud Italia era inferiore del 14% rispetto alla media nazionale.

Obiettivi 2021-2027

In questo contesto, la visione generale, alla base di un piano organico mirante ad un rafforzamento del potenziale di ricerca e innovazione del sistema italiano, deve necessariamente basarsi su obiettivi prioritari che possano fornire delle risposte valide ed efficaci alle sfide sociali, politiche, ambientali ed economiche che a livello europeo e globale si stanno rapidamente e prepotentemente manifestando.

In linea con i principali obiettivi e impatti attesi definiti per il Grande Ambito "Informatica, Industria e Aerospazio", e sulla base dei lavori svolti dal gruppo di lavoro, dell'esito della consultazione pubblica e delle osservazioni e dei contributi pervenuti da altri Ministeri, cinque sono i macro-obiettivi principali che dovranno guidare lo sviluppo e la competitività del sistema manifatturiero italiano:

1. **Promuovere un'Industria circolare, pulita ed efficiente.** In linea con quanto definito nell'*European Green Deal* e dagli *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. **Porre al centro il ruolo della persona attraverso un modello di 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, affiancate dall'impiego di materiali innovativi e multifunzionali,



- 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. **Attribuire alla resilienza un valore di competitività strategica e una dimensione progettuale al fine di prevedere e mitigare i fenomeni di rischio e incertezza** - 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. Si rende quindi necessario elevare a variabile strategica competitiva il grado di resilienza di un sistema produttivo e, come conseguenza, individuare le leve, progettare e integrare metodi, strumenti, tecnologie e materiali idonei per un suo proficuo conseguimento.
 4. **Rendere pervasiva l'adozione delle tecnologie digitali e intelligenti ad ogni livello dimensionale di azienda garantendo una maggiore interconnessione tra sistemi** - La diffusione delle tecnologie digitali e della sensoristica 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. Si ha inoltre la necessità di adottare procedure e protocolli standardizzati per la raccolta, conservazione e gestione dei dati.
 5. **Promuovere la competitività e la leadership industriale del nostro Paese attraverso un rapporto più organico e strutturato tra industria e mondo della ricerca** - Trasversale ai precedenti, questo obiettivo si rivolge principalmente verso il sostegno alle imprese - e precipuamente le PMI - 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 prestazioni economiche e la propria competitività.

Articolazione 1. Industria circolare, pulita ed efficiente

La circolarità nel manifatturiero italiano potrà essere conseguita non solo attraverso il rafforzamento tecnologico ma, soprattutto, attraverso un nuovo modo di concepire il processo industriale in cui le trasformazioni attivate siano neutre dal punto di vista dell'impatto ambientale e in grado di minimizzare la dipendenza da risorse naturali prime, ciò anche con un incrementato sforzo verso il re-impiego. Ciò può essere ottenuto beneficiando localmente di scambi di materiali e di flussi energetici ottimizzati in ottica di simbiosi industriale ed incrementando le quote di recupero di materie prime seconde. In questo modo il concetto di **industria circolare** diventa il motore per una trasformazione dell'industria manifatturiera italiana che coniughi efficienza energetica (**industria efficiente**), ridotto impatto ambientale (**industria pulita**) e competitività.

Gli attuali livelli di utilizzo di materie prime critiche e risorse primarie scarse (es. acqua) o costose (es. energia) da parte dell'industria manifatturiera non risultano più sostenibili. La domanda di materiali critici per la produzione di prodotti ad alta tecnologia è in costante aumento in Europa, causando grossi problemi in termini economici e strategici legati all'approvvigionamento di questi materiali in condizioni ripetibili e con volumi adeguati alle richieste industriali. In questo contesto occorre quindi favorire l'accesso dell'industria italiana al tema del "disassemblaggio/de/re-manufacturing/sorting/riciclo" al fine di ottimizzare l'utilizzo dei materiali e delle materie prime in linea con le normative specifiche in fase di elaborazione da parte dell'Unione Europea. Anche le Materie Prime Seconde (MPS) disponibili sono caratterizzate da volumi ridotti e tendenzialmente da costi più alti rispetto alle materie prime "tradizionali". La mancanza di scelta, disponibilità e competitività nel prezzo è il primo grande ostacolo alla loro diffusione e al loro impiego diffuso a livello industriale. Un ulteriore ostacolo alla diffusione delle MPS è legato al fatto che tali materiali sono caratterizzati da proprietà difficili da prevedere, poco ripetibili e quindi non adeguate ad applicazioni industriali su larga scala. È necessario un aumento della produzione di MPS di qualità, stabilizzandone i flussi, riducendone i prezzi e controllando la ripetitività delle loro prestazioni/proprietà. In questo modo è possibile



ottenere un allargamento dei settori industriali in cui l'impiego di MPII diventa possibile portando la pratica del riuso anche nella produzione di prodotti ad alto valore aggiunto. I flussi di MPII diventano in questo modo il link tra filiere industriali differenti in grado di rendere concreto il concetto di simbiosi industriale.

Un ulteriore vantaggio competitivo può essere ottenuto intervenendo sulle modalità di uso dell'energia da parte dell'industria manifatturiera sia a livello di processi e sistemi di produzione che a livello di stabilimento che a livello di prodotto. Il costo dell'energia svolge un ruolo fondamentale nella composizione del costo finale del prodotto per cui se l'industria manifatturiera si pone l'obiettivo concreto di ottimizzare l'uso dell'energia nei processi industriali potrà di certo aumentare il suo livello di competitività su scala europea e mondiale. L'industria manifatturiera, grande consumatore di energia, deve svolgere un ruolo attivo nelle scelte di politica energetica del nostro Paese aiutando ad indirizzare le scelte di fondo che l'Italia si appresta a fare nel settore. L'industria può diventare un driver del processo di elettrificazione dei consumi e di aumento della quota di energia elettrica prodotta da rinnovabile in atto in Europa ed in Italia mediante la partecipazione, in qualità di consumatore e, al tempo stesso, produttore di energia, a reti energetiche (elettriche e termiche) intelligenti. L'inserimento dei distretti industriali all'interno di reti di riscaldamento urbano può consentire di implementare strategie di risposta alla domanda energetica a livello di distretto produttivo e / o geografico, in grado di governare la flessibilità dei consumi individuali, provenienti da utenti industriali ma anche da realtà distrettuali e urbane, in un profilo ottimizzato negoziabile sul mercato dell'energia.

Obiettivi e linee di ricerca

Le azioni del PNR a favore dell'Industria manifatturiera si pongono i seguenti obiettivi e le relative linee di ricerca articolati secondo le tre declinazioni di industria circolare, efficiente e pulita.

Industria circolare

Obiettivo principale è favorire l'accesso dell'industria italiana al tema del “**disassemblaggio/de/ re-manufacturing/sorting/riciclo**”. Per migliorare il tasso di recupero dei materiali diventa fondamentale l'applicazione di metodi e strumenti di LCC (*Life Cycle Cost*) e LCA (*Life Cycle Assessment*) per identificare potenziali criticità nei flussi di materiali su scale diverse (ad es. a livello di prodotto/processo/sistema produttivo/filiera) e contestualmente favorire lo sviluppo di soluzioni tecnologiche che prediligano l'uso di materiali riutilizzabili e ad alta sostenibilità ambientale. In questo modo diventa possibile costruire modelli per minimizzare le criticità possibili già in fase di progettazione del prodotto verificando la possibilità di integrare nel processo industriale materiali di recupero o componenti (anche provenienti da differenti filiere industriali) che possano essere riutilizzati dopo la prima fase d'uso. Tutto ciò deve portare a una riduzione del consumo di materie prime e risorse naturali allungando, nel contempo, la vita dei prodotti industriali e abbassando i costi di produzione.

In questo contesto, linee di ricerca sono concentrate su (i) generare valore attraverso lo sviluppo di prodotti ad alto valore aggiunto concepiti per il riciclo intelligente, la riparazione, il ricondizionamento e il riutilizzo dei componenti, con attenzione al settore dei manufatti a base polimerica, (ii) incrementare la vita dei prodotti attraverso metodologie di ecodesign che considerino già in fase di progettazione l'implementazione di tecnologie di *repair* e/o *reconditioning* e *upgrading* e di riciclo intelligente dei prodotti giunti a fine vita, (iii) sviluppare processi di progettazione e produzione basati su analisi ciclo di vita *end-to-end* per prodotto/processo/sistema di produzione/fabbriche e rete di fornitori e consumatori, (iv) sviluppare e ottimizzare nuovi materiali, anche attraverso approcci di *materials by design*, che siano in partenza concepiti per un uso in processi di produzione fortemente orientati alla circolarità, (v) sviluppare materiali e tecniche di ingegneria delle superfici, idonee ad ottenere rivestimenti eco-sostenibili a pervasività multi-industriale in termini di settori applicativi.

Al conseguimento di questo risultato può contribuire la **cooperazione tra attori industriali** appartenenti a filiere differenti lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti al fine di ottimizzare, con logica di simbiosi industriale, i flussi di materiale tra siti industriali. Numerosi sono quindi i settori industriali interessati a partire da quelli evidenziati nel Piano d'azione per l'economia circolare elaborato nella primavera del 2020 dalla Commissione Europea, comprendendo - tra gli altri - elettronica, batterie e veicoli, packaging, plastiche, tessili, costruzione e produzione alimentare.



La riduzione dei consumi di materie prime e risorse naturali può inoltre essere ottenuta attraverso l'adozione di processi e sistemi di produzione di alta precisione caratterizzati da **zero-difetti, zero-scarti e zero-downtime**.

Anche le tecnologie (su scala macro, micro e nano) di **controllo qualità predittiva** e i **metodi non distruttivi di ispezione** sul ciclo di vita del prodotto possono favorire un uso ottimale dei materiali e dell'energia durante il ciclo di vita dei prodotti. Linee di ricerca e innovazione prioritarie diventano quelle focalizzate sull'ispezione automatica dei prodotti dopo l'uso, la riparazione dei prodotti (cioè l'insieme di azioni per riportare il prodotto in condizioni di funzionamento dopo un guasto), la rigenerazione del prodotto usando componenti di ritorno, l'upgrade di prodotti usando in massima parte componenti di ritorno con funzioni aggiuntive o migliorate rispetto a quelle del prodotto originale.

Inoltre, l'implementazione di una industria circolare passa attraverso la costruzione di **modelli e simulazioni per supply chain sostenibili innovative** che prevedano la distribuzione della responsabilità del riutilizzo del prodotto lungo tutta la filiera produttiva assieme ad attività di logistica inversa e di gestione delle materie prime seconde.

Una trasformazione della manifattura italiana in industria circolare deve portare all'attivazione di **nuovi modelli di business** più vicini a clienti e consumatori finali che includono nuove soluzioni logistiche per la movimentazione di materiali, parti, prodotti e scarti in contesti urbani, l'adozione del "*re-manufacturing* come servizio" basato su una capillare presenza di piccoli operatori che realizzano attività di *re-manufacturing* tramite un approccio a rete, approcci "*pay per use*" in cui il produttore resta proprietario del bene che concede al consumatore in prestito pianificando in questo modo un approccio circolare che comprenda le fasi di uso e di rigenerazione dei prodotti.

Altro obiettivo fondamentale è l'aumento della **disponibilità e accessibilità delle MPII**. Occorre incentivare linee di ricerca che vadano nella direzione di implementare localmente strategie di efficientamento e resilienza, attraverso il recupero di materie prime seconde (MPII), aumentare la produzione di MPII di qualità, stabilizzandone i flussi, riducendone i prezzi e controllando la ripetitività delle loro prestazioni/proprietà. Un esteso e sistematico ricorso allo sviluppo di innovativi modelli di gestione e business finalizzati all'ottimizzazione di processi di movimentazione, stoccaggio e trattamento di MPII, permetterà di giungere alla creazione di una sorta di mercato di scambio aperto dei materiali, controllato per gli aspetti di qualità e di normazione, al fine di valorizzare i MPII massimizzando i flussi di trasferimento di materiali tra cicli produttivi ed industriali diversi, innalzando il livello di qualità dei prodotti basati su materie prime seconde. A mero titolo di esempio tale obiettivo può essere conseguito sviluppando processi a basso impatto ambientale per la produzione di fibre riciclate con una ridotta *carbon footprint* che utilizzino materiale composito (fibre di carbonio e fibre di vetro) contenuti negli scarti di lavorazione o recuperati da prodotti giunti a fine vita provenienti dal settore aerospazio/navale con caratteristiche e prestazioni tali da potersi riutilizzare nei settori automotive, nautica, edilizia, arredo ecc.

Industria efficiente

Strumento di collegamento prezioso tra siti industriali e rete elettrica e termica diventano i **sistemi intelligenti di stoccaggio dell'energia** (sistemi meccanici ad aria compressa, batterie, accumuli di idrogeno, materiali a cambiamento di fase). Grazie alla possibilità di produrre ed immagazzinare idrogeno utilizzando l'energia elettrica in rete, per lo più prodotta dalle fonti rinnovabili, le industrie manifatturiere, in particolare le più energivore, possono svolgere un valido aiuto al bilanciamento del carico nella rete elettrica grazie all'attuazione della strategia "*Power-to-gas*". In questa ottica, un'intensa attività di ricerca a livello nazionale deve essere prevista al fine di permettere all'industria di diventare l'elemento di integrazione tra infrastrutture energetiche esistenti (ad es. rete gas e rete elettrica) favorendo la produzione di vettori energetici (idrogeno, metano, altri vettori gassosi e liquidi) "puliti" mediante la realizzazione di sistemi "*Power-to-gas/Power-to-liquid/Power-to-heat*". Sempre in questa ottica, nei siti industriali in cui la produzione di CO₂ derivante da processi termici è significativa, l'implementazione di materiali e processi per la cattura e lo stoccaggio e la trasformazione della CO₂ prodotta a livello di fabbrica in biocombustibili può diventare una opportunità.

In aggiunta, occorre spingere a livello di ecosistema locale verso l'uso diretto e simbiotico di sistemi energetici basati su **fonti rinnovabili** negli stabilimenti industriali (poli-generazione con fonti rinnovabili su piccola scala, sistemi ibridi basati sull'integrazione con fonti rinnovabili, conversione energetica dei reflui industriali), incentivando quindi le iniziative a livello industriale che minimizzano il consumo e la dipendenza da risorse naturali finite, anche attraverso la



realizzazione di reti energetiche in cui gli stabilimenti industriali possano giocare il doppio ruolo di consumatori e di produttori (*pro-sumers*) di energia. Oltre a ciò, risulta fondamentale favorire l'utilizzo delle fonti rinnovabili e dei recuperi termici negli impianti industriali e nei prodotti industriali (*Waste-to-energy*), sviluppare soluzioni innovative per la generazione e la cogenerazione di energia da fonti rinnovabili, lo stoccaggio e l'*energy harvesting/recovery* a livello di fabbrica/ecosistema locale (integrazione dell'industria nelle reti energetiche termiche ed elettriche intelligenti) ed ottimizzare lo sfruttamento dell'energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile e disponibile in rete in controfase rispetto ai consumi industriali mediante l'utilizzo di accumuli energetici intelligenti. In questo ambito, va colta come opportunità l'utilizzo della *blockchain technology* per il controllo dei flussi energetici scambiati dai singoli *prosumers* permettendo di ottenere una dematerializzazione della contabilità energetica, una maggiore trasparenza della fatturazione dei consumi da parte del gestore della rete, l'introduzione di strumenti di premialità che guidino gli utenti della *Smart Grid* Termica ad un uso razionale dell'energia disponibile in rete realizzando un circolo virtuoso di riduzione dei costi energetici e di aumento dello sfruttamento della fonte rinnovabile.

Un ulteriore obiettivo è quello di riprogettare i diversi prodotti industriali in modo da ridurre i consumi energetici (e l'impatto ambientale) nell'arco della loro vita operativa, anche con il ricorso a materiali e tecnologie di nuova generazione. Visto che l'Italia risulta leader nella produzione di macchine utilizzate in tutto il mondo per la produzione di beni, la realizzazione di una nuova generazione di macchine da produzione più efficienti e meno inquinanti avrà un impatto sensibile anche al di fuori del nostro Paese. L'introduzione della "**firma energetico-ambientale di prodotto**" (e del processo che lo realizza) che ne attesti il consumo specifico e l'impatto ambientale risulta di fondamentale importanza per poter offrire un ulteriore elemento di valutazione delle scelte a vari soggetti con diverse funzioni (consumatori, imprenditori e decisori politici). A valle della fase di progettazione di prodotto con logiche di sostenibilità, diventa necessario sviluppare strategie, metodi e tecnologie in grado di misurare e monitorare la firma energetica di ogni prodotto in fase d'uso, consentendo così l'implementazione di opportune strategie di manutenzione e miglioramento durante la vita operativa del prodotto in grado di prevenire quei deterioramenti che determinano un aumento dell'impatto ambientale dello stesso.

In questo contesto, lo sviluppo di tecnologie abilitanti basate su Intelligenza Artificiale per l'analisi dei dati di consumo durante la vita del prodotto e/o dello stabilimento (*Data-driven energy*), integrate con modelli previsionali e tecniche di ottimizzazione, può fornire un valido aiuto per migliorare la produzione industriale e i consumi energetici dei prodotti. Altre linee di ricerca consistono nello sviluppare soluzioni per l'aggregazione della domanda di energia delle industrie per effettuare un efficace *demand side management* in grado anche di rispondere a richieste specifiche del distributore (*demand response*) e sviluppare sistemi energetici locali per distretti industriali ad alta resilienza, in grado di svolgere una programmazione delle risorse anche in relazione al verificarsi di eventi gravi, quali black-out, epidemie, danneggiamento di apparati a causa di allagamenti causati dal cambiamento climatico ecc.

Industria pulita

Nell'ottica di un'industria pulita i principali obiettivi e linee di ricerca sono diretti a: (i) mitigare i cambiamenti climatici attraverso la minimizzazione dell'impronta ambientale tramite l'implementazione sistematica di metodologie LCA orientate alla valutazione dinamica degli impatti ambientali associati a materiali/prodotti/processi/sistemi e servizi collegati; (ii) contribuire al miglioramento della qualità della vita della maggior parte della popolazione europea che vive in aree urbane e ha bisogno che il mantenimento e la crescita dei livelli occupazionali sia costantemente accompagnata da produzioni – e soluzioni per la logistica e i trasporti - caratterizzate da basse o nulle emissioni, (iii) contribuire ad una nuova transizione urbana del manifatturiero (urban manufacturing) in grado di rilocalizzare la produzione creando – in Europa e in Italia - nuovi posti di lavoro attrattivi e ad alto valore aggiunto in grado di valorizzare i lavoratori in termini di esperienza, qualità professionali, talento e livello di istruzione, e (iv) creare ecosistemi industriali locali in cui la produzione, l'approvvigionamento delle materie prime e la produzione di materie prime seconde diventino più vicini ai clienti e ai consumatori finali.

Occorre inoltre spingere l'industria italiana a sfruttare una **economia dei dati** che nasce dalla valorizzazione dei dati di funzionamento raccolti dai produttori durante tutto il ciclo di vita dei loro prodotti grazie all'utilizzo di sensori IoT integrati nel prodotto, non solo per l'attivazione della manutenzione predittiva, in grado di ridurre tempi di intervento



e costi di riparazione, ma anche per monitorare le prestazioni energetiche ed ambientali dei prodotti e dei processi, per lo sviluppo di politiche a tutela della salute e del benessere dei cittadini.

Impatti

Le misure previste dal PNR per l'industria circolare, pulita ed efficiente avranno come conseguenza la minimizzazione dell'impatto ambientale del manifatturiero italiano 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.

Consentiranno, inoltre, di creare ecosistemi industriali circolari locali in cui la produzione e l'approvvigionamento delle materie prime seconde sia più vicina ai clienti e ai consumatori finali, favorendo la transizione verso il concetto di manifatturiero circolare urbano.

Sarà possibile utilizzare l'industria manifatturiera come elemento di integrazione tra infrastrutture energetiche esistenti (ad es. rete gas e rete elettrica) favorendo l'inserimento dell'industria manifatturiera in reti di riscaldamento urbano intelligenti gestite tramite *blockchain*, ed abbassare la componente di costo di prodotto legata al consumo energetico.

Infine, le misure previste permetteranno di creare i presupposti per implementare in Italia un modello di industria circolare intrinsecamente resiliente a shock esterni imprevedibili, accrescendo l'indipendenza da flussi di materiale esogeni attraverso una nuova generazione di prodotti basati sull'utilizzo di materie prime seconde e quindi meno dipendenti da materie prime non disponibili localmente; consentirà di rilocalizzare, nel rispetto dei vincoli ambientali, intere filiere produttive strategiche in grado di garantire l'indipendenza nazionale e la leadership industriale sul mercato globale e consentirà di sfruttare i vantaggi della "*data economy*" per garantire nel rispetto dei vincoli etico-legali e delle libertà individuali il conseguimento di obiettivi collettivi in termini di salute e benessere (capire come i prodotti manifatturieri sono utilizzati può essere fondamentale per ottimizzare la gestione del fine vita e per riconcepire i prodotti stessi).

Interconnessioni con altri ambiti tematici

La trasformazione dell'industria manifatturiera in industria circolare, efficiente e pulita può indubbiamente trarre vantaggio dalla convergenza delle linee di ricerca ed innovazione previste da altri ambiti tematici del PNR quali quelli della *Intelligenza Artificiale*, *Robotica*, *Transizione Digitale I4.0*, *Big Data*, *Cybersecurity*, *Mobilità sostenibile*, *Aerospazio*, *Energetica Industriale*, *Tecnologie Quantistiche*, *Green technologies*.

Key Performance Indicators

- Quantificazione dell'efficienza energetica di materiale(/rodotto/processo/sistema con specifico riferimento all'introduzione della firma energetica e valutazione della riduzione del costo di prodotto/servizio legato alla componente energia.
- Percentuale di riduzione delle emissioni di CO₂.
- Indice di produzione/riciclo/riuso materie prime seconde con specifico riferimento alle materie pregiate e indice di stoccaggio intelligente dell'energia.
- Flussi di materie prime seconde MPII e flussi energetici scambiati a livello di distretto industriale/sistema rete.
- Indice di utilizzo di energia da fonti energetiche rinnovabili.
- Valorizzazione dell'economia dei dati.

Articolazione 2. Industria inclusiva

Come descritto nell'Orientation Strategic Plan del prossimo programma Horizon Europe, un aspetto chiave dell'approccio dell'UE allo sviluppo tecnologico sarà una visione incentrata sull'uomo, che andrà di pari passo con i valori sociali ed etici, l'inclusione sociale e la creazione di posti di lavoro sostenibili e di alta qualità, anche attraverso



l'innovazione sociale. Allo stesso modo, considerando il settore manifatturiero italiano, le persone dovranno giocare sempre di più un ruolo centrale nel manifatturiero. 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. L'obiettivo è la concezione e lo sviluppo di sistemi produttivi in grado di accogliere le persone e valorizzare le loro competenze al fine di contribuire alla soddisfazione e al benessere dei lavoratori.

L'impatto delle nuove tecnologie sul futuro del lavoro e le sue conseguenze sull'istruzione e sulla formazione e riqualificazione del lavoro, è un tema intrinsecamente multidisciplinare, che tocca scelte individuali, politiche, questioni legislative così come aspetti tecnici. Pertanto, sforzi elevati sono richiesti sia dal punto di vista tecnologico che organizzativo. A dispetto di scenari distopici, che ipotizzano che le macchine e i robot prenderanno definitivamente il posto delle persone nell'industria, le fabbriche innovative dovranno essere sempre più inclusive, ovvero fortemente orientate al coinvolgimento e alla partecipazione delle persone (utenti, operatori, manager) che potranno esplicitare attività complesse ad elevato valore aggiunto con il supporto di strumenti e dispositivi innovativi. Ne risulta che le persone e le macchine dovranno essere nella condizione di poter cooperare sinergicamente, condividendo attività in modo efficiente e sicuro. Il posto di lavoro dovrà essere riprogettato sulla base delle necessità ergonomiche ed organizzato in base a ritmi di lavoro adattabili per fornire un ambiente e condizioni di lavoro adeguati alle diverse persone, per dare la possibilità di operare in modo produttivo indipendentemente dalle caratteristiche in termini di età, sesso e stato fisiologico o patologico.

La persona deve essere ritenuta elemento centrale rispetto a tutti i livelli e tutte le dimensioni attraverso cui è definita la fabbrica. In un contesto caratterizzato da fabbriche nelle quali prodotti, processi e tecnologie evolvono attraverso dinamiche articolate, la conoscenza e la capacità di interpretare fenomeni produttivi complessi e identificare soluzioni basate sull'esperienza, rappresenta una sfida fondamentale.

Obiettivi e linee di ricerca

Gli obiettivi, e conseguentemente le linee di ricerca, possono essere suddivisi in tre principali ambiti:

1. Indirizzare l'innovazione e lo sviluppo del digitale lungo una traiettoria caratterizzata dalla combinazione tra tecnologie e competenze umane elevate, con un avanzamento delle conoscenze, un ruolo chiave delle persone nella progettazione dei sistemi e delle soluzioni produttive.

Le linee di ricerca volte a perseguire questo obiettivo vanno nell'ottica di migliorare la **collaborazione tra l'uomo ed i sistemi produttivi**. Si tratta quindi di sviluppare tecnologie digitali hardware e software e di sistemi sicuri di interazione uomo-macchina a supporto dell'operatore all'interno delle fabbriche, di progettare e sviluppare sistemi, materiali e dispositivi, interfacce uomo-macchina, basate ad esempio su realtà virtuale e aumentata e su *digital twin*, per sostenere le strategie decisionali ibride tra uomo e sistemi automatici intelligenti e che consentano di mantenere l'uomo al centro della fabbrica. La realtà aumentata permette infatti di aggiungere alla realtà informazioni digitali fruibili potenzialmente da ogni categoria di utente. Bisogna puntare l'attenzione sullo sviluppo di applicazioni a supporto di servizi innovativi per fornire le informazioni di prodotto, processo e avanzamento della produzione sia all'operatore che ai responsabili di linea in maniera più naturale ed efficace.

È essenziale investire strategicamente anche nelle tecnologie abilitanti come l'intelligenza artificiale a supporto di una interazione intuitiva e diretta delle persone con le risorse stesse, in modo da rendere possibile ai dispositivi la comprensione delle indicazioni umane in ottica di sicurezza e valorizzazione delle persone così come nella formalizzazione e riutilizzo di tali esperienze attraverso rappresentazioni opportune dell'informazione e della conoscenza. A tal proposito le linee di ricerca vanno nell'ottica dello sviluppo di nuove competenze per l'**interazione tra uomo e sistemi intelligenti**, sia per la collaborazione negli ambienti produttivi sia per l'addestramento di sistemi di intelligenza artificiale basati sull'utilizzo dei dati e la loro integrazione nel know-how aziendale, sia nella 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.



Altro aspetto fondamentale per una fabbrica inclusiva è la **valorizzazione e la condivisione della conoscenza** (soprattutto quella non strutturata) all'interno delle fabbriche, che richiede, da un lato, lo sviluppo di modelli di rappresentazione della conoscenza e, dall'altro, la possibilità di condividere tra diversi addetti impegnati in diverse funzioni aziendali gli aspetti legati alla conoscenza del processo produttivo o di progettazione. La formalizzazione e la gestione della conoscenza, anche tramite strumenti digitali, è assolutamente rilevante per la formazione delle future generazioni di lavoratori, a partire dalla preparazione dei lavoratori più esperti.

A livello fisico è necessario pensare a robot e macchine che cooperino con gli operatori umani in maniera sicura al fine di sgravarli delle operazioni onerose, a basso valore aggiunto e in grado di aumentare la loro efficienza produttiva; **nuove interfacce uomo-robot**, aventi lo scopo di potenziare e moltiplicare le possibilità di utilizzo dei dispositivi e degli strumenti presenti nella fabbrica, dovranno essere sviluppate, per far sì che la collaborazione uomo-macchina avvenga in modo intuitivo e in tutta sicurezza.

2. Assicurare che lo sviluppo delle tecnologie e del digitale sia associato a un miglioramento della quantità e qualità del lavoro umano, anziché a una sua sostituzione, dequalificazione, subordinazione.

Obiettivo è fare in modo che la nuova tecnologia non sostituisca gli esseri umani in creatività e potere decisionale. Al contrario, la tecnologia fornirà un supporto all'attività umana, aumentandone la capacità per una maggiore efficacia e valore aggiunto. Le fabbriche devono essere progettate per fornire un ambiente attraente e stimolante per gli esseri umani, attirando i migliori professionisti e talenti. Aspetto chiave per il raggiungimento di questo obiettivo è la **formazione continua delle persone**. L'introduzione di nuove tecnologie e la crescente digitalizzazione e l'automazione dei processi di progettazione e produzione richiede dipendenti a tutti i livelli con maggiori competenze tecniche. In particolare, si prevede che un bisogno crescente di competenze nelle tecnologie digitali, scienze e modelli computazionali, informatica, pensiero analitico, ergonomia delle macchine e metodologie di produzione.

Le linee di ricerca devono andare nell'ottica di favorire l'aumento delle competenze e qualifiche del personale promuovendo una più capillare formazione. Per far ciò è necessario lo sviluppo di **programmi di formazione che tengano conto dell'impatto dell'introduzione di nuove tecnologie** nelle attività svolte dagli operatori e che prevedano l'evoluzione degli attuali profili lavorativi e la nascita di nuove figure professionali. Dal punto di vista pratico, nel mondo della formazione occorre investire maggiormente sull'introduzione pervasiva delle tecnologie digitali, quali ad esempio la realtà aumentata e la realtà virtuale, per stimolare gli studenti all'utilizzo delle stesse, ma soprattutto per promuovere capacità di gestire flussi di informazioni e operare in ambienti virtuali. Anche l'utilizzo dei social media grazie all'utilizzo di APP per smartphone, tablet etc accompagnate a metodologie innovative, può rendere disponibili funzioni di supporto all'utente, gestire la conoscenza e la formazione per classi di utenti quali i giovani e le persone anziane, tutto ciò al fine di sviluppare/incrementare competenze nel settore manifatturiero. Inoltre, possono essere sviluppate nuove metodologie da utilizzare per la formazione nel contesto manifatturiero come per esempio i *serious games*, *teaching factories*, ossia fabbriche progettate come ambiente di formazione e ricerca che possano dare origine a nuovi percorsi pedagogici per aumentare l'attrattività del mondo manifatturiero e l'efficacia della formazione. In particolare, il modello della "Teaching and Learning Factory" sta ricevendo una maggiore attenzione anche a livello europeo per varie attività educative e progetti pilota finalizzati ad un maggior avvicinamento al mondo dell'industria e a favorire una esperienza pratica degli studenti (*learning-by-doing*). Questi ambienti di apprendimento sono anche eccellenti opportunità per testare e valutare il potenziale di nuove tecnologie, promuovendo l'imprenditorialità e la loro adozione. Sono poi importanti metodi per la valutazione automatica delle competenze operative acquisite attraverso sistemi di visione, analisi delle posture e delle sequenze di azioni.

3. Assicurare una distribuzione dei benefici del cambiamento tecnologico a tutti i soggetti.

Considerati i grandi cambiamenti tecnologici che stanno coinvolgendo il settore industriale, obiettivo prioritario è lo sviluppo di uno scenario futuro di mondo digitale socialmente sostenibile, in cui la tecnologia è al servizio dell'uomo per migliorare la qualità della vita. Poiché nei contesti urbani la digitalizzazione ha contribuito in maniera rilevante ad aumentare la qualità della vita, in ambiti che spaziano dai trasporti alla sanità, dalla riduzione dell'inquinamento allo sviluppo economico, anche nel mondo industriale, è necessario promuovere il concetto di **sostenibilità sociale nei sistemi di produzione manifatturiera**, il cui obiettivo è il soddisfacimento dei bisogni dei lavoratori presenti e futuri, in termini di sicurezza, inclusività, benessere fisico e psicologico, e formazione.



Le linee di ricerca devono pertanto promuovere uno scenario industriale socialmente sostenibile, il quale si declina nell'assicurare che i benefici apportati dalle innovazioni tecnologiche, in particolare dalla digitalizzazione, siano fruibili a tutti i soggetti coinvolti nella filiera dell'industria. In primis, le imprese devono poter incrementare i propri profitti, estendendo le proprie offerte di prodotti e servizi, nonché aumentando le potenzialità competitive sui mercati globali. I lavoratori dell'industria, allo stesso tempo, potranno beneficiare di nuove occasioni di lavoro più qualificato, con maggiori salari. La possibilità di svolgere alcune attività da remoto, tramite l'utilizzo di strumenti digitali, secondo le pratiche di *industrial smart working*, consentirà inoltre una migliore gestione del tempo e dei luoghi di lavoro. Anche dal punto di vista legislativo, ai lavoratori dovrebbero essere assicurati contratti di lavoro più stabili, corredati da migliori condizioni e maggiore sicurezza, nonché, nel medio-lungo periodo, minor tempo di lavoro nel corso della vita. Nell'ambito dell'organizzazione aziendale e del lavoro, lo sviluppo di idonei modelli organizzativi sono un tassello ancora mancante, poiché l'innovazione tecnologica avviene con rapidità mentre il cambiamento organizzativo è spesso frutto di contrattazioni lunghe e complesse tra lavoratori e aziende.

Infine, i benefici attesi dell'introduzione di tecnologie nell'industria avranno necessariamente ricadute evidenti su tutta la società nel suo insieme. In particolare, i consumatori dovrebbero godere di un'offerta di prodotti e servizi sempre più personalizzati e di alta qualità, pur mantenendo prezzi di acquisto contenuti per beni e servizi. Considerata la rilevanza del settore industriale nell'economia nazionale, inoltre, il tessuto sociale nella sua interezza dovrebbe godere di una redistribuzione dei benefici attraverso il sistema fiscale e la fornitura di servizi pubblici.

Un approccio di questo tipo può consentire di contrastare e invertire gli effetti che la tecnologia - in particolare il digitale - hanno avuto nell'aumento delle disuguaglianze di reddito, sociali e territoriali, e nei fenomeni di esclusione sociale.

Impatti

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 contribuire a processi di esclusione, dequalificazione, precarizzazione, impoverimento.

Fattori importanti in questa prospettiva sono l'accento sulla diffusione orizzontale delle conoscenze, lo sviluppo di applicazioni appropriate alle capacità produttive anche delle piccole e medie imprese, l'integrazione tra tecnologie diverse, da quelle digitali a quelle per la sostenibilità ambientale. Altro 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. Considerata la ben nota bassa percentuale di istruzione terziaria italiana nella forza lavoro del settore industriale, perseguire gli obiettivi di industria inclusiva, adattando le modalità di organizzazione del lavoro e le competenze dei lavoratori alle trasformazioni tecnologiche, permetterà di garantire un'offerta di lavoro adatta alle future necessità delle aziende, puntando sulla riqualificazione dei lavoratori, al fine di evitare disallineamenti sociali.

È importante, infatti, che le trasformazioni digitali abbiano una natura inclusiva consentendo anche a settori tradizionalmente meno 'forti' del mercato del lavoro - lavoratori con contratti precari, persone con bassa istruzione, donne, immigrati ecc. - di accedere a percorsi di formazione, competenze digitali e occasioni di lavoro qualificato, ad alta produttività e salari. Problemi particolari riguardano i lavoratori delle piattaforme digitali, spesso tra i più esposti ai rischi di esclusione e marginalità. Inoltre, si deve considerare che la riqualificazione dei lavoratori potrebbe estendersi da semplici contenuti nozionistici e tecnici per includere aspetti psicologici e comportamentali, particolarmente rilevanti per la formazione delle cosiddette *soft skill*.

Dal punto di vista sociale, lo sviluppo di un'industria inclusiva e socialmente sostenibile potrà generare impatti positivi sul benessere dei lavoratori, i quali, supportati dalle tecnologie nello svolgimento dei compiti più ripetitivi e a basso valore aggiunto e mantenendo un ruolo preminente nei processi decisionali, vedranno un miglioramento dell'autostima, della soddisfazione e gratificazione personale, nonché della propria sicurezza sul luogo di lavoro.

Per quanto riguarda gli impatti economici, perseguire obiettivi di sviluppo delle fabbriche incentrate sull'uomo concorrerà all'aumento dell'efficienza degli impianti manifatturieri, favorendo le innovazioni di prodotto e processo, lo



sviluppo di nuovi mercati, anche attraverso politiche della domanda pubblica in particolari settori come quelli digitali, ambientali, sanitari, di welfare, un utilizzo più efficiente delle risorse di produzione, quali capitali, impianti, forza lavoro.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

La qualità del lavoro e la natura inclusiva del modello di produzione manifatturiera hanno un rilievo trasversale per tutti gli ambiti in quanto assicurano migliori risorse umane, conoscenze e competenze, maggiore formazione e versatilità dei lavoratori, maggior trasferimento di conoscenze nelle relazioni tra imprese, maggior produttività, competitività e resilienza, maggior adattabilità a riconversioni produttive sulla base delle esigenze di sostenibilità ambientale. In particolare, gli obiettivi di sviluppo inclusivo per l'industria manifatturiera possono integrarsi con quelli definiti dal sottoambito 'Trasformazioni sociali e società dell'inclusione' per quanto riguarda in particolare i modelli di sviluppo, con nuovi modi di intendere produzioni, consumi, lavoro e territorio, e il design centrato sulla persona, con attenzione agli aspetti cognitivi e ergonomici, alla sicurezza sul lavoro, all'accessibilità e ai processi di apprendimento continuo.

Key Performance Indicators

- Percentuale di laureati e dottori di ricerca nelle imprese
- Percentuale di manager, professionisti e tecnici (classificazione ISCO delle occupazioni) nelle imprese
- Percentuale di addetti con competenze digitali
- Percentuale di addetti con contratti a tempo indeterminato
- Percentuale dei salari sul valore aggiunto

Articolazione 3. Industria resiliente

L'obiettivo del sistema di produzione europeo per il 2030 è di essere resistente e adattivo per far fronte a condizioni ambientali sempre più imprevedibili e in rapido cambiamento, per superare la marcata variabilità della geopolitica internazionale e adattarsi alle mutevoli esigenze del mercato. In un contesto di questo tipo, la resilienza richiede il monitoraggio continuo dei cambiamenti ambientali, la raccolta di informazioni strategiche lungo l'intero ciclo produttivo e la valutazione dell'impatto dei cambiamenti sulla produzione. Sono necessari sforzi congiunti di più attori (scienza, industria, autorità pubbliche e società civile) a più livelli di governance (regionali, nazionali, UE) per realizzare una visione di insieme utile a garantire una industria manifatturiera competitiva, all'avanguardia e resiliente capace di adattarsi a situazioni poco prevedibili e in continua e rapida evoluzione.

La crisi determinata dall'emergenza sanitaria del 2020 ha fatto emergere una condizione di vulnerabilità della nostra società, che coinvolge una riflessione anche sui modelli produttivi e sulla capacità dei paesi e delle aziende di rispondere in modo sistemico a situazioni imprevedibili. Di qui il ruolo centrale della ricerca e dell'innovazione nel proporre idee, costruire modelli, suggerire protocolli e realizzare strumenti per la costruzione di un sistema industriale resiliente e sostenibile (organizzazione della produzione, automazione industriale, tecnologie innovative, nuovi modelli di gestione e produzione, un nuovo approccio integrato tra *risk assessment* e progettazione ecc.).

Dato il continuo, e spesso dirompente, cambiamento del panorama industriale di fronte ai nuovi scenari economici, sociali, tecnologici, ambientali, che implicano sovente un aumento della complessità dei sistemi logistico-produttivi a livello globale, l'industria manifatturiera dovrà sempre di più dotarsi delle risorse e delle competenze necessarie ad affrontare situazioni critiche - derivanti da eventi interni ed esterni all'azienda - che possano avere un impatto sull'integrità strutturale degli stabilimenti, sulla sicurezza e salute degli operatori, sulla continuità delle attività produttive, sulla sicurezza dei dati e sulla tutela del know-how aziendale, risultando nel rallentamento o nella repentina interruzione delle attività di tutte la filiera logistica.

Il Goal 9 della UN-Agenda, invita a costruire infrastrutture resilienti e promuovere l'industrializzazione inclusiva e sostenibile. **“L'industria che verrà dovrà essere sensibile, resiliente, capace di innovare”.**

Non c'è da stupirsi che essere resilienti sia tanto legato alle dinamiche di mercato odierne. La forza dell'industria del futuro è da riscontrarsi nella sua capacità di adattamento al cambiamento del panorama industriale di fronte ai nuovi



scenari economici, sociali, tecnologici, ambientali e alla trasformazione digitale. Le industrie resilienti saranno molto più corazzate per affrontare ogni tipo di cambiamento; solo così potranno permettere di creare infrastrutture solide e sicure attraverso cui strutturare lo sviluppo economico e la qualità della vita delle persone.

L'assetto produttivo deve adattarsi alla possibilità di affrontare situazioni critiche derivanti da eventi esterni che possano rapidamente avere un impatto sulla integrità strutturale degli stabilimenti, la sicurezza e salute degli operatori e la sicurezza dei dati e del know-how aziendale.

I sistemi logistico-produttivi dovranno sempre più essere 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. Tutto ciò non può essere disgiunto da un adeguato processo di valutazione preliminare del rischio. Tale processo deve essere integrato nella progettazione e gestione delle attività produttive.

Obiettivi e linee di ricerca

La resilienza è attualmente un obiettivo sfidante in quanto richiede di poter garantire la continuità di azione dei sistemi produttivi e delle filiere e al contempo di riorientare la produzione per tenere conto delle esigenze specifiche e delle mutate condizioni esterne. La resilienza dal punto di vista delle soluzioni tecnologiche e organizzative presenta richieste che possono apparire ad una prima lettura contraddittorie. Da un lato infatti la necessità di operare anche in situazioni in cui gli operatori possono risultare indisponibili spinge verso una maggiore automazione, dall'altro le situazioni di emergenza sono per loro natura imprevedibili e quindi richiedono capacità di trovare soluzioni a problemi nuovi che sono caratteristiche degli operatori umani che diventano la risorsa principale nelle situazioni di emergenza. Anche riguardo le *supply chain* risulta evidente la necessità di uno stretto coordinamento tra gli attori della filiera ma al tempo stesso è anche chiara la necessità di poter modificare le filiere prevedendo attori alternativi. In realtà le situazioni appaiono in contrasto solo se si pesa di utilizzare il modello classico ottimizzato per le situazioni stabili imponendo in aggiunta la richiesta della resilienza. Per superare il problema è invece necessario un cambio di paradigma che permetta di progettare e gestire sistemi e filiere tenendo conto non solo dell'efficienza ma anche della resilienza. Il nuovo paradigma deve prevedere maggiore interazione anche a fronte di una riduzione della compresenza, una forte automazione ma in stretta collaborazione con l'uomo, piattaforme collaborative che consentano stretto coordinamento ma al contempo consentano di avere filiere a geometria variabile.

La resilienza dovrà essere considerata come un cardine fondamentale della capacità del sistema manifatturiero italiano di:

- adattarsi alle mutevoli situazioni associate alla continua evoluzione degli scenari tecnologici, economici e di mercato;
- reagire a shock esogeni dovuti a gravi eventi imprevisi (catastrofi naturali, danni e/o momentanea indisponibilità di infrastrutture critiche, epidemie ed emergenze sanitarie);
- cogliere le opportunità associate alla digitalizzazione, alle nuove tecnologie produttive, all'integrazione delle imprese coinvolte in una medesima filiera;
- intervenire con misure opportune di previsione e prevenzione dei rischi integrate nella fase di sviluppo e gestione dei processi finalizzate alla riduzione del rischio residuo;
- sviluppare forme innovative nel settore della formazione che tengano conto delle mutate condizioni di lavoro soprattutto in tema di gestione delle risorse umane che sono fondamentali ad aumentare la resilienza del sistema in tempi di cambiamento.

Gli obiettivi e le linee di ricerca dell'Industria resiliente possono dunque essere articolati secondo le due declinazioni di resilienza del sistema industriale:

1. resilienza del sistema a fronte di eventi estremi di origine naturale, cambiamenti climatici, epidemie e pandemie;
2. resilienza del sistema rispetto a nuove situazioni contingenti (che potrebbero divenire strutturali), nuovi scenari politici, economici e tecnologici, a livello locale e globale.



Tali minacce possono essere improvvise, derivanti da diversi fattori tra loro concomitanti e devono essere affrontate con misure di tipo preventivo e protettivo rivolte in almeno tre direzioni: **prevenzione** dell'evento dirompente, evitando che l'evento si manifesti, **mitigazione** degli effetti e riduzione del rischio residuo dell'impatto e **recupero** dalla *disruption* (recupero dopo l'impatto di eventi non evitabili, eventualmente già mitigati).

1. Resilienza del sistema industriale a fronte di eventi estremi di origine naturale, cambiamenti climatici e pandemie

Obiettivo principale è garantire la resilienza del sistema industriale italiano a eventi estremi e imprevisi di origine naturale, o dovuti a cambiamenti climatici, epidemie e pandemie.

In un Paese soggetto a frequenti eventi naturali estremi (terremoti, inondazioni, frane) e caratterizzato da una notevole fragilità del territorio e delle infrastrutture, risulta fondamentale sviluppare, obiettivi e linee di ricerca sono concentrate su: (i) sviluppo di sistemi e metodologie per la previsione e l'analisi dei rischi NaTech nei sistemi produttivi, (ii) sviluppo di sistemi attivi e passivi per la prevenzione di incidenti tecnologici indotti da eventi naturali estremi, (iii) sviluppo di sistemi atti a prevenire le interruzioni della produzione indotti da eventi naturali, (iv) sviluppo di sistemi atti a prevenire le interruzioni delle reti di comunicazione e di approvvigionamento causate da eventi accidentali e fragilità nel sistema delle infrastrutture stradali e ferroviarie.

Tutto ciò, oltre a prevenire l'interruzione della produzione industriale, permette di generare valore attraverso lo sviluppo di metodologie e sistemi ad alto valore aggiunto concepiti per la prevenzione del rischio, la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente e l'incremento della vita degli impianti e delle infrastrutture.

Analoghe iniziative possono essere intraprese per la salvaguardia della resilienza del sistema industriale a fronte di crisi ambientali e condizioni climatiche estreme che rappresentano una minaccia sempre più presente a livello globale. In questo contesto, risulta fondamentale sviluppare, obiettivi e linee di ricerca concentrate sullo sviluppo di sistemi e metodologie per la previsione, la valutazione, l'analisi e la gestione del rischio legato a eventi climatici estremi sulle filiere produttive e sull'approvvigionamento di materie prime, e sui sistemi di analisi dell'influenza dei mutamenti climatici.

Inoltre, la resilienza del sistema industriale all'insorgenza di pandemie ha rappresentato uno degli elementi più critici a livello globale che ha caratterizzato il 2020. Le conseguenze sull'industria manifatturiera sono state estremamente pesanti e ancora non compiutamente valutabili. In questo contesto, risulta fondamentale sviluppare, obiettivi e linee di ricerca concentrate su: (i) sviluppo di sistemi di prevenzione e protezione dei lavoratori a fronte dell'insorgenza di eventi pandemici, (ii) sviluppo di sistemi di EWDS (*Early Warning Detection System*) per il monitoraggio della diffusione del contagio all'interno del cluster produttivo, (iii) sviluppo di modelli di propagazione del contagio da agenti infettivi in ambienti industriali al fine di individuare criticità e modalità di contenimento (iv) sviluppo e armonizzazione dei sistemi di telelavoro con quelli delle linee produttive anche attraverso sistemi basati sul concetto di industria intelligente e connessa, (v) sviluppo di nuove filiere produttive di contrasto.

2. Resilienza del sistema rispetto a nuove situazioni contingenti (che potrebbero divenire strutturali), nuovi scenari politici, economici e tecnologici, a livello locale e globale

Obiettivo principale è garantire la resilienza del sistema industriale italiano rispetto a nuove situazioni contingenti, che potrebbero divenire strutturali, quali nuovi scenari politici, economici e tecnologici, a livello locale e globale.

Un aspetto che risulta di primaria importanza per salvaguardare la resilienza del sistema produttivo nazionale riguardo a attacchi alla sicurezza dei dati e ai sistemi di controllo dei processi. Risulta pertanto fondamentale sviluppare, obiettivi e linee di ricerca concentrate su: (i) protezione dei dati aziendali attraverso lo sviluppo di adeguati sistemi di difesa da perdite accidentali di dati, (ii) *cyber security* ovvero sviluppo di adeguati sistemi di difesa da perdite di dati dolose o da attacchi esterni; (iii) sviluppo di sistemi per la protezione dei sistemi di controllo dei processi da azioni spurie o attacchi esterni.

Inoltre, l'insorgenza di nuovi scenari politici, economici e tecnologici potrebbe gravemente compromettere l'assetto del sistema produttivo dell'intero comparto dell'industria manifatturiera. A tal fine, risulta fondamentale sviluppare,



obiettivi e linee di ricerca concentrate su: (i) protezione del sistema industriale da conflitti o crisi internazionali che possano compromettere l'approvvigionamento energetico e delle materie prime, (ii) protezione da effetti sul sistema produttivo di nuovi e improvvisi cambiamenti dell'assetto economico mondiale, (iii) resilienza rispetto a eventi contingenti sul breve periodo quali interruzione degli approvvigionamenti, interruzione delle attività produttive e distributive.

3. Invecchiamento del sistema produttivo

La resilienza di un sistema vasto e articolato quale il comparto dell'Industria manifatturiera italiana non può prescindere da un'accurata valutazione di rischi anche eterogenei tra loro che possono compromettere il sistema produttivo. A tal fine, risulta fondamentale sviluppare, obiettivi e linee di ricerca concentrate su: (i) sviluppo di metodologie finalizzate a prevenire gli effetti dell'invecchiamento dei sistemi produttivi attraverso una politica di manutenzione programmata del sistema produttivo basata sulla *Risk Based Inspection*, (ii) sviluppo di sistemi basati su *Integrity asset management*, (iii) maggiore diffusione dei servizi da remoto (telediagnostica, telemanutenzione, collaudo e avviamento a distanza ecc.), a vantaggio di sicurezza, affidabilità, produttività, (iv) sviluppo di processi di mappatura e monitoraggio dei principali flussi nel contesto produttivo nazionale rivolti a valutare, coerentemente con vincoli di mercato e tecnologici, la possibilità di reindirizzare i flussi dei materiali primari verso produzione critiche in condizione di emergenza.

4. Altri obiettivi

Altri obiettivi e linee di ricerca atte a rafforzare la resilienza del sistema produttivo, possono infine essere così riassunti, (i) trasformazione digitale come strumento per accrescere la flessibilità dei processi produttivi e la qualità dei prodotti, (ii) potenziamento del livello di integrazione tra le PMI coinvolte in una medesima filiera produttiva come elemento chiave per favorire l'innovazione e per garantire competitività ed efficienza all'industria manifatturiera italiana, (iii) *retrofitting* e potenziamento dei sistemi produttivi esistenti, anche ricorrendo a nuovi sistemi di controllo, sensoristica e attuazione, nonché alle moderne tecnologie digitali. processi e sistemi produttivi flessibili, in grado di gestire la variabilità e la discontinuità dei consumi sia in ambito B2B che B2C, (iv) metodologie e dispositivi per aumentare attraverso il supporto delle tecnologie digitali alla progettazione, valutazione, gestione e mantenimento la resilienza nelle filiere logistico-produttive, (v) sviluppo di processi di mappatura e monitoraggio dei principali flussi di materiali nel contesto produttivo nazionale rivolti a valutare, coerentemente con i vincoli di mercato e tecnologici, la possibilità di reindirizzare i flussi dei materiali primari verso produzioni critiche in condizione di emergenza.

In definitiva l'insieme degli obiettivi descritti permetterà la costituzione di filiere produttive robuste, flessibili e sostenibili in grado di coordinarsi rapidamente ed efficacemente per reagire a fronte di eventi dirompenti dovuti ad eventi improvvisi e spesso non prevedibili di origine naturale o antropica.

Impatti

L'impatto atteso è legato al fatto che le industrie e le filiere resilienti saranno molto più robuste e preparate ad affrontare un sempre più ampio ventaglio di situazioni che si manifestino nel cambiamento delle condizioni in cui esse operano. Solo così potranno permettere di creare infrastrutture solide e sicure attraverso cui strutturare lo sviluppo economico e la qualità della vita delle persone. Incrementare il livello di resilienza permetterà al sistema manifatturiero italiano 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 imprevisi 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 delle attività operative) e di cogliere le opportunità associate alla digitalizzazione, alle nuove tecnologie produttive, all'integrazione delle imprese coinvolte in una medesima filiera.

Un aspetto da non trascurare sarà la gestione delle risorse umane che, se pianificata e gestita correttamente e preventivamente, permette il miglioramento dell'organizzazione e della formazione del personale finalizzato all'incremento della resilienza aziendale.

Il Programma Nazionale per la Ricerca dovrà avere la resilienza del sistema manifatturiero come elemento centrale, definendo un protocollo di intervento e articolando nella prevenzione rispetto alle conseguenze di eventi naturali che



possano portare a accadimento di incidenti tecnologici, interruzione della produzione indotti da eventi naturali, interruzione delle reti di comunicazione e di approvvigionamento da un lato e dall'altro fronteggiare 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.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Gli aspetti legati alla resilienza del comparto industriale manifatturiero italiano trovano rilevanti connessioni con lo sviluppo di un modello industriale basato sulla sostenibilità e il rispetto ambientale. A tal proposito possono essere segnalate alcune connessioni con altri ambiti tematici. La transizione energetica ad esempio deve essere gestita nel transitorio attraverso la drastica riduzione del consumo dei combustibili fossili a più alto impatto ambientale favorendo l'utilizzo nell'immediato del gas naturale e in prospettiva sviluppando la produzione e il consumo di combustibili bio-based e di fonti alternative. Il collegamento con gli ambiti tematici di *Clima, Energia, Mobilità Sostenibile e Tecnologie Sostenibili, Agroalimentare, Risorse Naturali ed Ambientali* risulta evidente.

Un altro aspetto importante è quello del recupero di aree industriali soggette all'invecchiamento e al parziale abbandono, attraverso una riconversione basata sulla bioconversione dei processi. Ciò può riguardare l'insieme del complesso dell'industria di processo attraverso la riconversione delle raffinerie di prodotti petroliferi in bioraffinerie e la produzione di materie plastiche convenzionali in bioplastiche. Per questi aspetti è necessario il collegamento con gli ambiti tematici delle *Tecnologie Sostenibili, Agroalimentare, Risorse Naturali ed Ambientali*.

Infine, per quanto riguarda la resilienza dell'industria manifatturiera nei confronti degli effetti di eventi naturali estremi (terremoti, inondazioni ecc.) e fragilità del territorio e delle infrastrutture, risulta evidente l'interazione con l'ambito tematico della *Sicurezza per i Sistemi Sociali*.

Key Performance Indicators

- Percentuale di imprese che hanno introdotto innovazioni nella valutazione del rischio e sicurezza e benessere in fabbrica
- Miglioramento dei tempi di risposta a fronte di crisi naturali, ambientali e pandemiche
- Capacità di sopravvivenza e crescita a fronte di eventi esterni di origine naturale o antropica.
- Percentuale di fatturato legato alle innovazioni introdotte finalizzate all'incremento della resilienza
- Grado di reinvestimento dei profitti delle imprese in attività di ricerca e sviluppo finalizzata a un maggiore utilizzo di energia rinnovabile
- Percentuale di fatturato legato alle tecnologie di comunicazione industriali robuste e sicure
- Innovazione delle modalità di lavoro nell'ambito della resilienza e conseguenze sulla gestione delle risorse umane.

Articolazione 4. Industria intelligente

La digitalizzazione continua ad essere un elemento essenziale per l'innovazione nel settore manifatturiero. Nel caso delle tecnologie digitali, esistono diversi percorsi possibili, con differenti conseguenze economiche, occupazionali, distributive e sociali. Per le caratteristiche dell'industria manifatturiera italiana appare poco appropriata una traiettoria che dia priorità a ricerca e innovazione nell'automazione e nella robotizzazione estrema della produzione; sembra invece più vantaggioso uno sviluppo rapido e capillare delle tecnologie digitali a supporto delle medie e piccole aziende per l'intero ciclo di vita del prodotto (dalla progettazione alla ingegnerizzazione, dalla realizzazione alla manutenzione, dall'approvvigionamento alla gestione della produzione, dalla distribuzione fino al controllo del post-vendita e del fine ciclo di vita del prodotto), che faciliti la gestione della catena di approvvigionamento e produzione e produca l'innalzamento della qualità del prodotto e del servizio al cliente finale. Prodotti e servizi migliori e più efficienti dovrebbero essere possibili ricorrendo all'intelligenza artificiale, all'internet delle cose, alla metrologia industriale, alla simulazione dei processi di produzione e di erogazione dei servizi anche attraverso sistemi di realtà aumentata,



all'analisi dei dati in modalità distribuita e remotizzata, all'apprendimento automatico e ai modelli di business basati sui dati, all'utilizzo di tecniche computazionali per l'ottimizzazione di prodotti e processi.

In questo contesto, risulta fondamentale cogliere le opportunità legate ai sistemi informatici basati su piattaforme di gestione dati ad architettura distribuita, nonché all'evoluzione della sensoristica, del monitoraggio attivo, delle infrastrutture e delle telecomunicazioni basate sui nuovi standard 5G e 6G e loro evoluzioni future. D'altro canto, un'industria intelligente dovrebbe fondarsi sulla stretta collaborazione tra le aziende, gli enti di ricerca, le Università e le amministrazioni, sulla raccolta e condivisione di dati e informazioni, sulla connessione degli impianti e dei prodotti, sulla messa a sistema delle soluzioni e dei servizi attraverso l'uso di piattaforme e infrastrutture, sul sempre maggiore utilizzo di software open, sulla capacità di rispondere e anticipare il cambiamento attraverso processi decisionali *data-driven*, sulla standardizzazione dei protocolli, sulla tracciabilità dei prodotti, sull'automazione dei processi decisionali e operativi verso sistemi sempre più autonomi. Oltre all'industria manifatturiera in senso stretto, appare opportuno includere anche altri settori produttivi tra quelli ai quali i temi di ricerca citati potrebbero essere estesi e portare indubbi benefici. Si pensi, ad esempio, al settore delle costruzioni e, in particolare, alle opportunità derivanti dalla digitalizzazione dei processi di progettazione, gestione e monitoraggio delle infrastrutture. Particolarmente attuale è l'esigenza di sviluppare sistemi innovativi di monitoraggio e diagnostica delle infrastrutture (ponti, viadotti, gallerie) e delle costruzioni, basati su sensoristica dedicata e sistemi intelligenti di trasmissione, gestione e analisi dati, con evidenti vantaggi per la sicurezza e la durabilità di materiali e strutture, la programmazione degli interventi manutentivi, la pianificazione degli investimenti.

In questa nuova prospettiva, occorre anche riconsiderare il ruolo della forza lavoro, della sua specializzazione e delle sue competenze in un'ottica di benessere, sicurezza e trasformazione digitale del manifatturiero.

Obiettivi e linee di ricerca

Le tecnologie digitali possono supportare una industria manifatturiera **flessibile, adattiva e agile** per una produzione rapida e reattiva che risponda repentinamente alle mutevoli esigenze del mercato portando in conto le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e gli obiettivi aziendali. In questa ottica è necessario un loro sviluppo a supporto dell'intero ciclo di vita del prodotto, della sua verifica, collaudo e certificazione, facilitando un miglior coordinamento della catena di approvvigionamento e produzione e un innalzamento della qualità del prodotto e del servizio al cliente finale.

Prodotti e servizi migliori e più efficienti dovrebbero essere possibili sfruttando l'intelligenza artificiale, la simulazione del processo di produzione anche attraverso sistemi di realtà aumentata e digital twin, l'uso di sistemi additivi, l'adozione di standard, l'utilizzo di software open, l'analisi dei dati in modalità distribuita e remotizzata, l'apprendimento automatico e i modelli di business basati sui dati.

Di conseguenza, le azioni del PNR a favore dell'industria manifatturiera dovrebbero porre l'accento su: i) valorizzazione delle esperienze e dei recenti progressi ottenuti in altri settori e nelle tecnologie abilitanti (ICT, fotonica, sensoristica, sistemi di misura e controllo, micro- e nano-lavorazioni, nuovi materiali, certificazione di prodotti e servizi), ii) uso ottimizzato delle risorse chiave come materie prime, acqua ed energia, iii) potenziamento delle competenze e l'implementazione di nuovi profili professionali, iv) profonda revisione del ciclo di vita della produzione e v) maggiore integrazione fra i dati provenienti da sorgenti eterogenee originate all'interno e all'esterno della filiera.

In affiancamento a questo, e al fine di sostenere e valorizzare il tessuto industriale del Paese, occorre incanalare gli sforzi di ricerca e innovazione a favore di un impatto pervasivo sul sistema manifatturiero italiano, con l'obiettivo di promuoverne la competitività, la produttività e il ruolo di leadership tecnologica. Di elevato valore strategico risulta quindi l'organizzazione e la gestione delle catene di approvvigionamento digitali e future, la formulazione di risposte rapide alle esigenze urgenti e investimenti nella tecnologia di frontiera, nell'adozione industriale di nuove tecniche e nella migrazione delle PMI verso le nuove tecnologie.

Con riferimento al primo *punto i)*, gli obiettivi e le linee di ricerca devono concentrarsi su materiali, **tecnologie e metodi di produzione ad alta precisione e a zero difetti** che siano utili a ridurre al minimo i tempi di fermo macchina nonché su **sistemi di monitoraggio predittivi e metodi di ispezione non distruttivi** privilegiando la sovranità nelle piattaforme, nelle tecnologie digitali e nelle future tecnologie abilitanti emergenti così da garantire una leadership a livello internazionale. Tutto ciò suggerisce il ricorso alla metrologia e agli strumenti da laboratorio per garantire la



qualità del processo produttivo, la bontà e tracciabilità dei prodotti e il supporto alla normazione e metrologia legale, richiede di progettare e realizzare sistemi di produzione personalizzati ad alto valore aggiunto scalabili e riconfigurabili in base alle esigenze di mercato, di incrementare l'impiego delle tecnologie digitali anche utilizzando sistemi che garantiscano l'opportuna proprietà dei dati e delle informazioni raccolte dalla sensoristica, di comunicazioni *real-time* e di intelligenza artificiale per il controllo remoto, di investire nella telediagnostica e nella manutenzione predittiva dei processi, dei sistemi prodotto-servizio e dei sistemi di produzione.

Con riferimento al punto ii) occorre promuovere una **produzione industriale ecocompatibile e sostenibile** con ridotte emissioni di carbonio privilegiando il risparmio energetico e incoraggiando l'utilizzo di materiali a basso impatto ambientale, metodologie di *data analytics* e *machine learning*, simulazione ed ottimizzazione, supportate da infrastrutture informatiche ad architettura distribuita, per una gestione affidabile, ecosostenibile e sicura dei processi, dei prodotti-servizi e dei sistemi di produzione. L'uso di tecniche di modellazione, ottimizzazione e simulazione (di prodotto-servizio e di processo) anche in ambito PMI e il ricorso a nuove tecnologie per la produzione, il *de-manufacturing*, il *re-manufacturing*, il recupero dei prodotti e il riciclaggio vanno sicuramente incoraggiate.

Con riferimento al punto iii) bisogna favorire e sostenere lo **scambio di informazioni, processi e iniziative** tra risorse o infrastrutture accademiche e di ricerca da una parte e imprese manifatturiere dall'altra; prevedere attività di formazione continua esperienziale con l'ausilio di laboratori remotizzati e realtà aumentata, implementando ambienti di lavoro sicuri e confortevoli che si adattino alle capacità fisico-cognitive del lavoratore. Inoltre, nel tentativo di ridurre le micro infrastrutture e favorire la creazione di poli produttivi per l'industria intelligente, va sicuramente incoraggiata la collaborazione sinergica tra le imprese.

Con riferimento al punto iv) è opportuno implementare **piattaforme digitali** che utilizzino il più possibile software open per il tracciamento e la certificazione della filiera produttiva, progettare nuove tecnologie e nuovi materiali per il manifatturiero, sviluppare tecnologie su scala micro e nano e utilizzare sistemi di supervisione e controllo della qualità, realizzare materiali funzionalizzati, dispositivi e sensori intelligenti, sperimentare e applicare la *blockchain* allo *smart manufacturing* per supportare produzione, logistica, supply chain, management e governance.

Con riferimento al punto v) occorre attuare una reale **integrazione nelle linee di produzione industriali di dati** provenienti da sorgenti eterogenee originate all'interno e all'esterno della filiera e investire in sistemi produttivi, basati su standard e software open, progettati per favorire la competitività dell'industria manifatturiera italiana e per supportare le esigenze di una produzione flessibile, efficiente e ad alto contenuto tecnologico che siano pensate non solo per le applicazioni avanzate, ma per poter essere pervasive nel tessuto industriale italiano, caratterizzato da un elevato numero di PMI. Tutto ciò potrà avvenire garantendo la proprietà, la sicurezza, l'integrità, la conservazione a lungo termine e l'attenta gestione dei dati scambiati.

Impatti

Le tecnologie digitali possono supportare una industria manifatturiera flessibile, adattiva e agile per una produzione rapida e reattiva che risponda rapidamente alle mutevoli esigenze del mercato portando in conto le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e gli obiettivi aziendali.

Rilevante appare la possibilità di sviluppare ricerca e innovazione, anche su come le PMI possano utilizzare al meglio le potenzialità delle tecnologie digitali, allargando in modo significativo la base delle imprese coinvolte dai processi di digitalizzazione e adattando l'innovazione a competenze, produzioni e mercati esistenti.

Questo approccio potrà garantire il raggiungimento di una leadership industriale nelle tecnologie abilitanti e digitali chiave per il settore manifatturiero, nel made in Italy e nel design, nell'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, una riduzione del *downtime* e un adeguato raccordo tra domanda e offerta. Sicuro volano per questa transizione resta il trasferimento tecnologico permanente tra competenze di università ed enti di ricerca e industria distribuita sul territorio, collegato a una piena condivisione di infrastrutture e soluzioni modulabili.



Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'industria intelligente del settore manifatturiero, per la sua naturale trasversalità coinvolge numerosi ambiti tematici del PNR. Nella necessità di usufruire delle opportunità offerte dall'informatica, dalla robotica e dalle telecomunicazioni, dall'uso di nuovi materiali e dal ricorso a sistemi di gestione sempre evoluti, sicuri e certificati, coniugando il tutto in una visione green, essa si connette direttamente con gli ambiti tematici di *Intelligenza Artificiale, Robotica, Transizione Digitale I4.0 e Cybersecurity*, coinvolgendo comunque gli ambiti *Clima, Energia e Mobilità Sostenibile e Green Technologies*.

Key Performance Indicators

- Numero di PMI coinvolte in progetti di innovazione/formazione promossi da Competence Center I4.0 e Digital Innovation Hub, nonché nell'ambito di partnership di ricerca pubblico-privato sulle tematiche della transizione digitale in campo industriale.
- Progetti Horizon Europe in ambito tecnologie digitali per il manifatturiero: percentuale di finanziamento di partner italiani rispetto al totale.
- Numero di addetti in area R&D rispetto al totale dei dipendenti delle imprese manifatturiere italiane (PMI e grandi imprese).
- Investimenti in nuovi sistemi di produzione e/o tecnologie digitali da parte delle imprese manifatturiere italiane (PMI e grandi imprese).
- Ore di formazione (accademica, tecnica e professionale) erogate ai dipendenti delle imprese manifatturiere italiane, finalizzate alla crescita delle competenze digitali e delle conoscenze sulle tecnologie I4.0.

Articolazione 5. Industria competitiva

Il tessuto industriale italiano è caratterizzato da un'ampia prevalenza di PMI. Tuttavia, come evidenziato nell'analisi di contesto, solo una quota minoritaria di queste imprese ha raggiunto un livello di produttività e di maturità tecnologica che consente loro di competere sui mercati internazionali e sfruttare in maniera strategica le opportunità che scaturiscono dall'introduzione del digitale in ottica di business.

Per il PNR – Innovazione nell'Industria Manifatturiera, l'analisi delle ragioni di questa situazione è fondamentale. Economie di scala non sempre attuabili, disponibilità modesta di capitali e risorse umane da investire in ricerca e sviluppo, scarsa capacità ad accedere all'innovazione secondo approcci di *open innovation*, capacità ridotta di aprirsi ai mercati internazionali, anche per effetto della carenza di reti immateriali, sono solo alcune ragioni di questa situazione.

Il sistema delle PMI italiane è in parte rilevante, ma non esclusiva, legato a filiere industriali caratterizzate da Prime o Integratori: aziende leader capaci di influenzare in maniera significativa le scelte organizzative e tecnologiche. Esempi significativi di questa tipologia di relazione si ritrovano nella filiera aeronautica e quella dell'automotive. Una restante parte è costituita da PMI impegnate in produzioni indipendenti, soprattutto nei settori afferenti al Made in Italy: mobili, oggetti di arredo, tessile e abbigliamento ecc. Il settore delle costruzioni e delle grandi opere pubbliche rappresenta un ulteriore ambito di digitalizzazione, a partire dalla progettazione e dalla fabbricazione degli elementi prefabbricati e delle opere realizzate a partire da essi. Il PNR dovrebbe favorire relazioni di sviluppo congiunto e di trasferimento tecnologico tra le filiere manifatturiere e il settore delle costruzioni anche in merito a tecnologie e materiali di nuova generazione, con una rinnovata attenzione al tema della durabilità delle strutture. Non andrà tralasciata l'attenzione al cosiddetto mondo dell'artigianato digitale con il suo grande potenziale valore di rilancio del sistema produttivo nazionale di micro impresa, che rappresenta una delle caratteristiche più salienti del nostro saper ancora creare prodotti di alta qualità: tecnologica, artistica e di design. La capacità di unire la sperimentazione dell'uso di nuovi e più avanzati materiali con la capacità e l'esperienza di trasformare questi in prodotti ad alto valore in un contesto di micro-piccola impresa che sfrutti al meglio le potenzialità della rivoluzione digitale, è condizione imprescindibile per innovare modelli di business, processi produttivi e capacità di offerta sul mercato nazionale ed internazionale. Tutto questo permetterà di contribuire allo sviluppo di un umanesimo industriale nel quale la capacità, l'inventiva e l'esperienza dell'uomo



restano elementi qualificanti dell'iniziativa imprenditoriale e del processo produttivo, ma supportati, non sostituiti, da tutti i benefici che un attento uso delle presenti e future tecnologie possono fornire agli artigiani del futuro.

Per tutte le PMI del manifatturiero, l'innovazione digitale, in tutta la catena del valore dalla concezione/design alla produzione e fino alla vendita e postvendita, insieme all'economia circolare devono costituire uno stimolo chiave per un incremento del loro livello di produttività. Le PMI devono essere sostenute, creando le migliori condizioni interne ed esterne, per competere in un mercato che è sempre più interconnesso e legato a logiche digitali e socialmente consapevoli.

La digitalizzazione e l'uomo sono fattori che co-evolvono nella fabbrica: il PNR deve tenere conto, anche incoraggiando ricerche specifiche nel campo della *People Analytics*, le conseguenze per il lavoratore, per il lavoro e per la sua organizzazione delle trasformazioni in corso.

La necessità è di organizzare in modo univoco e funzionale le competenze professionali e di definire una modularità flessibile con cui rendere riproducibili le esperienze di creazione e innovazione del sapere. La sfida è addestrare all'analisi e alla diagnostica, alla gestione e alla sicurezza dei dati, all'analisi critica e all'uso responsabile delle informazioni al fine di formare lavoratori capaci di astrazione e, infine, ma altrettanto importante, costruire le nuove relazioni tra le macchine e i lavoratori e tra questi ultimi.

Nel contempo si manifesta la necessità di una forte fusione tra lavoro e welfare, abbandonando il modello passivo che interviene ex-post e prende a riferimento esclusivamente la grande azienda. Viceversa, bisogna agire per favorire nuovi modelli collaborativi e di filiera che siano in grado di lavorare sulla prevenzione e creazione di nuove opportunità, dove il territorio torna ad essere l'asse della coesione sociale e dello sviluppo.

Nella logica del PNR non si possono ignorare quelli che sono i principali fenomeni che stanno rivoluzionando il modo di produrre, le relazioni all'interno delle PMI, sia singole sia collegate a *supply-chain*, il ruolo e le competenze dei lavoratori, i rapporti tra clienti e fornitori, la capacità di intercettare e sostenere l'innovazione.

Obiettivi e linee di ricerca

Il sistema della Ricerca, anche attraverso il PNR 2020-2027, deve affiancare e sostenere il sistema delle PMI del manifatturiero italiano nella sfida di mantenere o raggiungere un ruolo di leadership. È necessario mirare a salvaguardare e sviluppare una industria manifatturiera competitiva e favorire un'innovazione basata sulla ricerca tecnologica fondamentale in ambito di KET (*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 concetti nell'ottica delle produzioni digitali e dell'economia circolare.

Di conseguenza, i principali obiettivi e le relative linee di ricerca sono:

1. 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 e consolidando la leadership nazionale nei settori di eccellenza tradizionali

Obiettivo principale consiste nell'incrementare la competitività delle PMI manifatturiere, sia nei settori tradizionali che in quelli più innovativi. Per far ciò risulta fondamentale, da un lato, consolidare la leadership nazionale nei settori di eccellenza tradizionali attraverso il **supporto a innovazioni distintive e qualificanti che esaltino le capacità tecnologiche e industriali nazionali** rispetto alla concorrenza europea e mondiale e, dall'altro, attivare, nelle aree tecnologiche a leadership straniera, **programmi nazionali di ricerca e innovazione, coerenti e complementari con le iniziative in ambito europeo ed extra-europeo**, che permettano alla filiera nazionale di "stare al passo" con quanto rappresentativo dello stato dell'arte a livello internazionale. Questo consentirà di sviluppare il potenziale delle nuove tecnologie per l'identificazione e la realizzazione di nuovi prodotti e il miglioramento di quelli esistenti (ovvero di quelli che richiedono una specializzazione e una caratterizzazione tecnologica elevata). A tal proposito, risulta rilevante **sostenere nel tempo, valorizzare e mettere a punto infrastrutture di ricerca nazionali con caratteristiche interdisciplinari**, sia come **laboratori avanzati per eseguire sperimentazioni** sia come **siti dedicati allo sviluppo di materiali e tecnologie innovative di produzione, assemblaggio e integrazione** dell'industria manifatturiera anche



in collaborazione congiunta con altri paesi europei o extracuropei ad alta intensità manifatturiera come la Cina, il Giappone e gli Stati Uniti. Queste infrastrutture di ricerca devono, da un lato, essere aperte e spingere alla collaborazione con le aziende, soprattutto PMI, e, dall'altro, consentire un fruttifero e reciproco scambio di eccellenza in ambito internazionale con analoghe strutture ed organizzazioni.

Contestualmente all'innalzamento dell'interesse per la fabbrica nella sua versione smart deve corrispondere un altrettanto vigoroso interesse per il soggetto che riempie la fabbrica: il lavoratore. Troppo spesso se ne parla in termini di "capitale umano", si adoperava un'espressione generica quasi a indicare le persone quali terminali umani in aziende costituite essenzialmente da un sistema interconnesso di macchine, dove il lavoratore sembra, più che altro, l'implementatore delle strategie di sviluppo e innovazione. Invece, poiché automazione e l'uomo sono fattori che co-evolvono nella fabbrica, si tratta di capire cosa significano per il lavoratore e per il lavoro le trasformazioni in corso. Nel recente passato, e in parte rilevante ancora oggi, nelle PMI del manifatturiero si è fatto riferimento a un quadro di mestieri sostanzialmente assestati; per aumentare la competitività della PMI digitale è necessario **accelerare il processo di creazione ed evoluzione delle competenze richieste** da un mondo del lavoro sempre meno stabile. Da qui nasce la necessità di organizzare in modo univoco e funzionale le competenze professionali e di definire una modularità flessibile con cui rendere riproducibili le esperienze di creazione e innovazione del sapere. Addestrare all'analisi e alla diagnostica, allenare all'astrazione, costruire le relazioni inedite fra elementi che si presentano separati sono le esigenze che sempre più spesso si sentono esporre dalle imprese, non solo quelle di maggiore dimensione.

La progressiva complicazione dei bisogni manifestati dall'impresa si riflette nella poliedricità di ruoli che essa occupa del proprio ecosistema, e nella capacità di adeguarsi e modificarsi rispetto esigenze di un mercato in continuo mutamento. Dal punto di vista dei lavoratori, sintonizzarsi su questa tendenza significa abbandonare le regole di un "sapere organizzato per mestiere" in favore di un "**sapere organizzato per filiera**", per presidiare il processo produttivo dentro l'azienda, ma anche la catena di fornitura fuori da essa. Muovendosi all'interno di questo nuovo quadro si possono formare figure spendibili oltre i confini della singola azienda e aprire sbocchi in un mercato del lavoro troppo mutevole per essere efficacemente codificato.

2. Stimolare e agevolare lo sviluppo di filiere nazionali nei diversi settori attraverso i distretti tecnologici e i cluster tecnologici migliorando e coordinando le relazioni tra imprese e sistema della ricerca e accelerando la nascita di nuove imprese, anche attraverso spin-off condivisi da università, industrie e centri di ricerca.

In questo periodo di ampi e veloci cambiamenti si pongono fondamentali questioni riferite a una molteplicità di dimensioni interconnesse, in cui le relazioni sono fondamentali, ma spesso ostacolate dalle piccole dimensioni di molte imprese e dalle difficoltà di accesso ai risultati della ricerca. In questo senso risulta fondamentale il funzionamento dei **Distretti ad Alta Tecnologia** e i **Cluster Tecnologici** quali reti stabili e non occasionali di condivisione di visioni strategiche, scambi di informazioni e collaborazioni, sia commerciali sia sul piano della conoscenza, capaci di lavorare nelle due direzioni *top-down* e *bottom-up*, *market pull* e *technology push*. Essi, o forme di aggregazione simili, devono, inoltre, costituire vere e proprie antenne d'innovazione generata all'esterno dell'impresa, analizzatori di necessità di formazione e interlocutori verso la politica.

3. Favorire la riconfigurazione dei rapporti di filiera, partendo dai rapporti tra produttore e cliente fino alla relazione tra imprese e società.

La digitalizzazione del sistema produttivo innesca una **riconfigurazione dei rapporti tra impresa finale e sistema dei fornitori**, con un superamento della forma conosciuta della catena di subfornitura. Nell'impresa resa competitiva attraverso il digitale si verifica una sorta di "estensione" del sito produttivo e dell'organizzazione del lavoro oltre i confini fisici della fabbrica. In altre parole, la PMI che raggiunge rapidamente il mercato e combatte gli sprechi non è più soltanto teatro del "just in time", dal momento che non valgono solo i tempi del rapporto tra committenti e fornitori, ma muta la natura di questo rapporto, che acquisisce la capacità complessiva di reagire al mercato come un'unica entità. L'impresa competitiva in senso attuale deve essere descritta con riferimento ai diversi livelli di interconnessione che consente di realizzare dall'interno della fabbrica, nelle relazioni nella filiera, dai rapporti tra produttore e cliente fino alla relazione tra imprese e società. Le PMI di un sistema manifatturiero competitivo saranno sempre più descritte come spazi "*capital intensive*" attraversate da flussi di dati da e per il mercato, con volumi ridotti, armonicamente inserite nel territorio. Ma non saranno grandi bacini di forza lavoro, la loro rilevanza dipenderà dall'essere generatori di processi



generativi di conoscenze e campi in cui confluisce il sapere collettivo e si accorcia la filiera tra scienza, ricerca applicata, progettazione, produzione, distribuzione, consumo.

Per semplicità si può riassumere la grande complessità dei cambiamenti in atto in quattro aspetti. Il primo aspetto riguarda i **cambiamenti interni alla fabbrica**: con il collegamento tra le macchine e con la tracciabilità dei componenti da assemblare e dei semilavorati da trasformare, si crea una rete intelligente che controlla in modo automatico il processo produttivo, sia in termini quantitativi sia in termini qualitativi. Il collegamento diretto tra le macchine consente di modificare in tempo reale gli ingredienti costituenti la funzione di produzione dell'impianto, mantenendo costanti gli standard.

Il secondo aspetto riguarda i **rapporti tra fabbriche in una catena di fornitura**. Si tratta di un impatto *disruptive*, nel senso che può modificare il concetto di prossimità fisica, favorendo quello di prossimità funzionale. La prossimità fisica continua a mantenere i suoi vantaggi quando la filiera della subfornitura è fortemente integrata sul territorio, come nel caso di molti distretti industriali. Al contrario, è possibile che vantaggi della prossimità fisica si riducano se non sarà più necessario assemblare il prodotto sul territorio locale, stampandolo in 3D in un unico pezzo e nei pressi del cliente finale a cui sarà consegnato da un soggetto terzo, riducendo così un passaggio del ciclo produttivo.

Il terzo aspetto riguarda i **rapporti tra produttore e cliente** che generano modifiche nella catena del valore, sia dei beni di consumo sia di quello industriale. Non basta produrre un bene di qualità a costi accessibili, ma occorre anche che tale bene possa comunicare col suo utilizzatore e con gli altri beni con cui interagisce. La stessa filosofia si ritrova alla base dei nuovi componenti industriali, dove il prodotto deve poter interagire con gli altri componenti con cui viene assemblato, quindi utilizzare gli stessi standard di comunicazione, essere pienamente tracciabile il suo contenuto, garantire forme di monitoraggio in tempo reale del ciclo produttivo e così via.

Il quarto e ultimo aspetto si riferisce alle **interconnessioni con la società** che avvengono attraverso la digitalizzazione delle relazioni tra gli operatori del mercato, non solo in senso verticale tra impresa e supply chain, o tra produttore consumatore, ma anche il senso orizzontale tra gli imprenditori, i consumatori fino agli stessi oggetti. Nel nuovo scenario si potranno replicare dentro il mercato le relazioni di comunità oggi disponibile nell'ambito dei rapporti tra le persone fisiche con la creazione di comunità e a cui partecipano imprenditori, consumatori, macchine, oggetti, lavoratori.

4. Rafforzare l'ecosistema dell'innovazione

La PMI competitiva, ma di dimensioni ridotte e organizzazione semplificata, limitata nella generazione di innovazione discontinua, deve essere capace di individuare la conoscenza che le è necessaria attraverso **approcci di open innovation**. Il valore competitivo dell'impresa si sposterà dalla capacità di sviluppare innovazione internamente all'azienda all'abilità di farlo utilizzando, acquisendo ed integrando conoscenza e tecnologie innovative da fonti diverse ed esterne all'impresa. Inoltre, nell'ottica dell'*open innovation*, non meno importante è il tema della sinergia tra le grandi e le piccole imprese, che è sempre più fondamentale per generare innovazione favorire il trasferimento di informazioni e dare dinamicità alle singole imprese e al sistema delle PMI.

Risulta fondamentale un **rafforzamento dell'ecosistema dell'innovazione** - costituito in particolare dai Centri di Competenza 4.0, le reti dei Digital Innovation Hub e dei PID e, a livello europeo, dalle KIC - 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.

Impatti attesi

Le misure previste dal PNR per l'industria manifatturiera competitiva potranno consentire lo sviluppo della competitività delle imprese come esito di una società più attiva, più libera, alleggerite da una regolazione generalista indistinta a vantaggio di opportunità dedicate e personalizzate, con uno spostamento dell'ago della bilancia dalla fabbrica verso il territorio.

Gli interventi consentiranno, inoltre, un rafforzamento dei Distretti ad Alta Tecnologia e dei Cluster Nazionali, quali laboratori di sperimentazione organizzativa e tecnologica in un'ottica di collaborazione territoriale e nazionale, e la



creazione di modelli di azione sinergica tra le grandi e le piccole imprese e con il sistema della ricerca e dell'innovazione in ottica open innovation.

La digitalizzazione porterà con sé una riconfigurazione dei rapporti tra impresa finale e sistema dei fornitori, travalicando la forma conosciuta della catena di subfornitura e integrando il sistema in un'unica relazione digitalizzata.

Le misure previste dal PNR per l'industria manifatturiera competitiva avranno anche impatto sui lavoratori, in termini di organizzazione univoca e funzionale della formazione professionale e dell'alta formazione per le nuove competenze richieste dalle PMI digitalizzate e competitive, definizione, sperimentazione e attuazione di forme stabili di formazione, anche a distanza e digitalizzata, per l'aggiornamento periodico dei saperi e delle competenze.

Infine, l'incremento della competitività potrà garantire la creazione di posti lavoro nell'industria italiana capace di integrare creatività e tecnologie innovative e di operare in una rete stabile di condivisione di conoscenze e capacità tecnologiche.

Interconnessioni con altri ambiti tematici

Il rafforzamento competitivo delle imprese del manifatturiero italiano deve avvantaggiarsi dell'integrazione con le linee di ricerca ed innovazione e i modelli proposti da altri ambiti del PNR. Quelli che appaiono più rilevanti sono riferiti a: *Transizione Digitale I4.0, Intelligenza Artificiale, Robotica, Big Data, Cybersecurity, Mobilità sostenibile, Aerospazio, Energetica Industriale, Tecnologie Quantistiche, Green Technologies.*

Key Performance Indicators

- Incremento percentuale di imprese operanti nei settori ad alta tecnologia.
- Incremento percentuale di progetti di innovazione europei con TLR finale ≥ 6 e con PMI manifatturiere italiane nel partenariato.
- Incremento percentuale di progetti di ricerca innovativi svolti in collaborazione tra aziende e enti accademici e di ricerca.
- Incremento percentuale di spin-off condivisi da università, industrie e centri di ricerca con vita superiore ai 5 anni e un numero di dipendenti > 5 .
- Incremento percentuale di PMI manifatturiere con un Innovation Manager, addetto alla cultura digitale e all'innovazione dell'impresa, stabilmente in organico.
- Incremento percentuale di progetti per l'implementazione di innovazioni intercettate secondo l'approccio Open Innovation.



4.7 Aerospazio

Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni

Preliminarmente si sottolinea che in questo documento l'Aerospazio è inteso come l'insieme di aeronautica e spazio, pertanto sarà preso in esame il volo, con tutti i veicoli e i relativi carichi utili, tutte le infrastrutture di supporto e tutte le utilizzazioni successive, partendo dal volo a bassissime quota e velocità fino alle missioni spaziali in orbita terrestre o interplanetarie. Infatti, sebbene il settore aeronautico e quello spaziale siano caratterizzati da evidenti peculiarità, quali ad esempio ambiente operativo, tipo di missione e di piattaforma, tipo di servizio erogato, esistono sostanziali aspetti comuni come molte tecnologie abilitanti, svariati aspetti industriali e di sicurezza, dimensioni dei progetti in termini di durata e di costi, rischio derivante dalla complessità, approccio sostanzialmente internazionale sia nella progettazione, realizzazione ed esercizio del mezzo, sia nella competizione di mercato.

La ricerca aerospaziale in Italia vanta una lunga tradizione di eccellenza e la Legge 7/2018 ha riconosciuto al settore alta valenza strategico-politica con lo scopo di favorire l'efficacia delle iniziative dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), che si conferma essere l'ente di riferimento per l'attuazione delle strategie governative. 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 con specifiche eccellenze territoriali. Nel panorama scientifico, tecnologico e industriale italiano nel settore aerospaziale è da segnalare la presenza del CIRA (Centro Italiano Ricerche Aerospaziali), che ha il compito di attuare il PROgramma nazionale di Ricerche Aerospaziali (PRO.R.A.), provvedimento governativo elaborato in coerenza con il Programma Nazionale della Ricerca, con il Documento di Visione Strategica e con le esigenze espresse dal mondo dell'Industria e della Ricerca. È importante sottolineare l'importanza di questo approccio di sistema, indispensabile in un settore ad alta complessità come l'aerospazio, che esiste e va ancora più consolidato in Italia.

Per fatturato l'industria aerospaziale italiana è settima nel mondo e quarta in Europa e rappresenta il più grande settore manifatturiero in Italia nel campo dei sistemi integrati ad alta tecnologia³. Questo è un indice complessivo della salute del sistema industriale aerospaziale italiano, che è raggiunto grazie alla collaborazione con Università ed Enti di Ricerca, e che il PNR si propone di consolidare, rendendo sempre più solido questo circolo virtuoso fra attività di ricerca, innovazione tecnologica e sviluppo industriale.

Le principali competenze aerospaziali nazionali, a livello di macro-voci, riguardano:

- aerostutture e integrazione di velivoli;
- aviazione generale;
- aeromobili ad ala rotante;
- propulsione aeronautica e gestione dell'energia;
- velivoli a pilotaggio remoto;
- velivoli militari da combattimento e da addestramento;
- avionica, antenne, componenti ed impianti elettrici, elettronici e meccanici, sia di bordo che di terra;
- satelliti scientifici ed applicativi e sottosistemi di bordo nei domini delle telecomunicazioni, dell'osservazione della Terra e della navigazione;
- satelliti e sottosistemi di bordo per la ricerca scientifica e l'esplorazione;
- infrastrutture spaziali abitate;
- sistemi di lancio, rientro e trasporto spaziale;
- segmento terra;
- sistemi per la protezione e la sicurezza nello spazio e/o da eventi di carattere spaziale.

³ https://www.ctna.it/wp-content/uploads/2019/07/CTNA_executivesummary.pdf.



Dietro queste voci c'è una vasta area di competenze, riconosciuta a livello internazionale, in termini di gestione del ciclo di vita del prodotto: dal *procurement* alla manutenzione, e dei materiali e dei processi industriali innovativi, molto spesso specifici del settore aerospazio. A valle delle attività spaziali di carattere *upstream* esiste inoltre una grande e notevole componente *downstream*, basata su servizi di gestione dati di osservazione della Terra, di navigazione e di telecomunicazioni ad alto valore aggiunto.

Partendo da un'analisi di scenario in queste indiscusse aree di competenza italiane, il PNR identifica nell'ambito Aerospazio II articolazioni chiave in cui orientare la ricerca, ciascuna declinata in obiettivi scientifici e tecnologici di dettaglio, caratterizzati da diverso grado Technology Readiness Level (TRL), tutti di grande valore strategico al fine di mantenere e consolidare sia il posizionamento italiano nel panorama scientifico internazionale, sia lo sviluppo industriale del Paese nell'aerospazio.

Inoltre, è interessante ricordare che, in generale, il mercato militare nel settore aerospazio segue logiche diverse dal mercato civile: l'unico legame che si può riscontrare in maniera abbastanza sistematica è il beneficio, diluito nel tempo, per il mercato civile per effetto di alcuni sviluppi tecnologici in campo militare. Questo paradigma va cambiato, soprattutto in una situazione globalizzata e di riduzione di risorse. Di fatto, l'Aerospazio è per sua natura un settore con chiare connotazioni duali, che si presta quindi ad ottimizzazione di obiettivi, infrastrutture, sistemi e finanziamenti. In questo senso l'Italia con la missione COSMO-SkyMed, finanziata da ASI, MIUR e Difesa, ha rappresentato certamente un caso unico di grande successo internazionale. Il PNR raccomanda che ci sia un collegamento sempre più forte fra la ricerca scientifica del MUR e gli obiettivi innovativi del Ministero della Difesa, consentendo sempre di più al Paese di controllare tecnologie critiche anche per la sicurezza nazionale.

In conclusione di questa introduzione è importante commentare i possibili effetti della pandemia COVID-19 sul settore aerospaziale. Ovviamente, solo su tempi più lunghi sarà possibile una valutazione quantitativa assestata, lasciando naturalmente ad altri contesti l'analisi del problema sanitario e sociale. Negli ultimi mesi abbiamo assistito ad una crisi industriale senza precedenti che ha causato una forte recessione dell'economia mondiale. Nell'aviazione commerciale le compagnie stanno vivendo una fase di caduta della domanda che si è tradotta immediatamente in una caduta di ordini per le aziende manifatturiere e per tutta la catena di fornitura ricambi e manutenzione, con conseguenti gravi problemi di liquidità e prospettive non positive sull'occupazione qualificata per tutto il settore. Dal punto di vista della difesa e del settore spazio i produttori sono meglio posizionati, in quanto è prevedibile un minore impatto della pandemia su progetti e fatturato nel breve e medio periodo, in quanto si tratta di attività con *budget* già allocato. Sul lungo termine non si possono escludere anche per questi settori problemi o comunque riduzioni delle curve di crescita, per via delle prevedibili riallocazioni e/o contrazioni di spesa sul piano globale e nazionale. Va rilevato che esistono settori dell'aerospazio per i quali è credibile una crescita di importanza e diffusione nel medio-lungo termine proprio per effetto delle *lessons learned* dalla pandemia COVID-19, quali ad esempio: il volo autonomo, quello in ambienti urbani e complessi per il trasporto merci e passeggeri, quello finalizzato alla sorveglianza in ambito sicurezza e *homeland security*, e infine tutta la filiera spaziale di acquisizione dati ad alta risoluzione, telecomunicazione in banda larga e navigazione. Nel breve periodo, riconosciuto il valore strategico del settore aerospaziale e l'importanza di non disperdere competenze e *asset*, occorre un deciso impegno governativo per garantire continuità, occupazione, stabilità e al contempo favorirne l'innovazione. Un possibile strumento è un deciso incentivo green per tutta la filiera aerospaziale (propulsione, controllo del traffico, produzione, materiali ecc. fino a incentivi per aggiornamento flotte). In aggiunta, è proprio la ricerca in senso lato (i.e. di base e tecnologica) che va finanziata con decisione e con finanziamenti pluriennali stabili, sia a livello nazionale che europeo, in modo da rafforzare le catene strategiche di valore e la sovranità scientifica e tecnologica nazionale e comunitaria nell'aerospazio in vista dell'uscita dall'emergenza. L'operazione richiede un'attenta selezione degli obiettivi, proprio in considerazione delle risorse limitate e della difficile situazione attuale: il PNR identifica appunto le priorità su cui investire.



Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

Sono significative le ricadute della ricerca aerospaziale in altri campi per l'effetto volano legato alle tecnologie sempre più performanti e affidabili richieste nel settore aerospaziale e per il carattere fortemente interdisciplinare dell'aerospazio. Di conseguenza notevole è la rilevanza della ricerca aerospaziale nelle grandi transizioni del ventunesimo secolo. Ad esempio, fra le principali sfide dell'Aerospazio, che devono comunque essere condotte in un contesto di elevata competitività e di perseguimento di prestazioni sempre più di frontiera ma con una parallela riduzione dei costi, si possono porre in evidenza:

- la ricerca di soluzioni sostenibili nell'intero ciclo di vita, in termini di riduzione dell'impatto ambientale e di risparmio energetico;
- la necessità di garantire una adeguata resilienza intrinseca delle infrastrutture spaziali e terrestri in termini di sicurezza, sia fisica che cyber;
- la gestione delle missioni nominali e delle emergenze attraverso l'automazione di funzioni grazie a nuove soluzioni di data fusion di sensori e alla diffusione dello IoT (Internet of Things);
- l'aumento della qualità, la gestione evoluta della manutenzione e l'applicazione di tecniche produttive innovative.

Nel settore specifico dello spazio, grande è la rilevanza dei sistemi spaziali nell'affrontare sfide della società e problemi globali, come il cambiamento climatico, le migrazioni, la mobilità e le reti di trasporto, la gestione di risorse come energia e acqua. La sicurezza e il benessere dell'umanità dipendono sempre di più da informazioni e servizi basati sullo spazio. L'importanza dello spazio in futuro crescerà via via che si andrà verso una società sempre più connessa e con i sistemi bancari, finanziari, assicurativi sempre più inquadrati nella digital economy.

Al tempo stesso, infine, è indubbio che l'Aerospazio concentra in sé tutto il fascino dell'evoluzione tecnologica e dell'anelito dell'uomo verso la conoscenza e l'esplorazione dell'ignoto. Di conseguenza l'Aerospazio è un motore formidabile verso lo studio delle discipline STEM e fonte di ispirazione per le nuove generazioni, in un'ottica di una società sempre più informata su scienza e tecnologia e sempre più consapevole del loro impatto sulla vita quotidiana.

Obiettivi 2021-2027

Questo PNR copre sia obiettivi di ricerca fondamentale, alla base del progresso delle conoscenze, sia obiettivi di sviluppo di nuove tecnologie al fine di rafforzare la competitività del Paese e consolidarne la posizione di eccellenza nel panorama internazionale tramite la valorizzazione delle competenze nazionali. 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. Il raggiungimento di questo obiettivo passa attraverso un'analisi dei punti di forza nazionali e si basa sulla presenza di istituzioni e di infrastrutture di ricerca distribuite sul territorio.

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. Solo puntando su obiettivi al tempo stesso basati su consolidate esperienze nazionali e adeguatamente visionari sarà possibile per l'Italia mantenere una *leadership* che ha come prima concreta conseguenza la creazione di un'occupazione stabile.

Il PNR pone infine 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.

Con riferimento a quanto previsto nel Cluster 4 del programma Horizon Europe e in accordo alle priorità di sistema del PNR, l'obiettivo principale delle attività di ricerca previste nell'ambito Aerospazio è evidentemente:

- OB6: Raggiungere una posizione di leadership nell'aerospazio,



un contributo determinante l'Aerospazio può darlo attraverso le sue articolazioni anche al raggiungimento degli obiettivi:

- OB2: Raggiungere una resilienza economica, sociale ed ambientale,
- OB7: Rafforzare l'ecosistema industria-ricerca e il trasferimento tecnologico.

Dal punto di vista degli impatti, la ricerca nell'ambito Aerospazio ha evidentemente il suo focus principale su:

- IMP7: Migliore posizionamento dell'industria aerospaziale nel contesto europeo ed internazionale.

In aggiunta, grande è il contributo che la ricerca aerospaziale può dare nei seguenti settori di impatto:

- IMP1: Sviluppo e miglioramento di catene del valore industriali e di infrastrutture digitali pulite e neutrali dal punto di vista ambientale,
- IMP2: Raggiungimento di una resilienza sociale, economica ed ambientale e miglioramento della capacità di gestire eventi estremi e inattesi,
- IMP6: Definizione di una società inclusiva nell'uso delle tecnologie per l'individuo e per lo sviluppo dell'economia, ottimizzandone l'impiego e minimizzandone i rischi,
- IMP8: Miglioramento delle relazioni industria-università e creazione di un circolo virtuoso di trasferimento di competenze.

Key Performance Indicators comuni a tutte le articolazioni dell'ambito Aerospazio

Nelle successive articolazioni sono riportati Key Performance Indicators (KPI) specifici dei vari settori, mentre in questa sezione vengono messi in luce KPI trasversali su tutti i temi.

Innanzitutto si rileva che l'Agenzia per la valutazione del sistema universitario e della ricerca (ANVUR) istituzionalmente sovrintende il sistema pubblico nazionale di valutazione della qualità delle Università e degli Enti di ricerca⁴. Come è noto esiste una articolata procedura di valutazione scientifica da parte dell'ANVUR dei cosiddetti prodotti proposti dalle istituzioni (articoli scientifici, brevetti, partecipazione a progetti a seguito di vincita di bandi competitivi ecc.) al fine di raggiungere una valutazione quantitativa che tiene anche conto di aspetti quali la politica di reclutamento dell'istituzione. La valutazione ANVUR riguarda strutture ampie. Nel caso delle Università questo potrebbe comprendere l'intero Ateneo, una intera area CUN, un intero Dipartimento o un intero settore scientifico-disciplinare all'interno dell'Ateneo, e, quindi, in strutture abbastanza grandi è un valore complessivo medio di insiemi di ricercatori anche non tutti del settore aerospaziale. Lo stesso dicasi per gli Enti di Ricerca con le loro articolazioni in termini di osservatori, dipartimenti ecc. Però, laddove la presenza aerospaziale è significativa, il miglioramento della valutazione ANVUR, che viene effettuata analizzando la produzione scientifica dell'istituzione su tempi comparabili con quelli del PNR, può essere un valido strumento di verifica delle performance, perché quantitativo, formulato da un ente terzo e, nel contesto italiano, oramai riconosciuto come uno standard.

Restando nell'ambito produzione scientifica, anche al fine di poter valutare insiemi più limitati ma più omogenei, si possono raccogliere dati di produzione scientifica di gruppi finanziati dal PNR nello specifico ambito Aerospazio e misurare la variazione nel tempo dei principali indici bibliometrici riconosciuti in ambito internazionale, quali: numero delle citazioni e prestigio delle riviste (*impact factor*).

Essendo l'Aerospazio un ambito per sua natura internazionale, avere una significativa produzione scientifica in collaborazione con autori di prestigiose istituzioni estere è un parametro importante per valutare la crescita del livello di internazionalizzazione e dell'impatto scientifico di un gruppo di ricerca nazionale. Naturalmente è anche importante che tale sviluppo di attività scientifiche in contesti internazionali (ad esempio UE con JU SESAR e JTI CleanSky, ESA, NASA, EDA, ERC ecc.) si realizzi nell'ambito di progetti di ricerca che vedono una posizione importante dell'istituzione italiana. Pertanto, un KPI interessante è rappresentato dall'aggiudicazione di bandi/opportunità internazionali, in particolare se l'istituzione italiana è in posizione di capofila. È ovvio che anche la vincita di bandi

⁴ <https://www.anvur.it/anvur/missione/>.



nazionali, ad esempio ministeriali e regionali, è un indicatore di solidità scientifica e tecnologica e di capacità di costituire collegamenti col territorio. Anche in questo caso, essere l'istituzione guida di una cordata è un indice di performance importante.

La collaborazione università, enti di ricerca e industria e la eventuale creazione di consorzi, aggregazioni pubblico-privato, spin-off e startup innovative è un indice importante della capacità dei ricercatori di rispondere ad esigenze della società e di essere in grado di operare a diversi TRL. In questo contesto la presenza di brevetti è sicuramente un KPI di valore.

Infine, per le Università e gli Enti di ricerca importanti indicatori di performance sono il numero di posizioni (ricercatori tempo determinato, assegni, borse) ottenute con finanziamento esterno in tematiche aerospaziali, e in campo formativo più specifico per le Università:

- il numero di corsi di studio (laurea, laurea magistrale, master, corsi di specializzazione, *academy*) attivi nel settore aerospaziale, il numero di iscritti e di laureati e gli esiti occupazionali degli stessi;
- il numero di borse di dottorato autofinanziate, quelle ottenute con finanziamento esterno e quelle per dottorati innovativi con caratterizzazione industriale per attività di ricerca nel settore aerospaziale.

È importante che le attività formative, soprattutto nella loro fase finale, siano condotte in modalità innovativa, ad esempio attraverso *hackathon*, *challenge*, *team working*, accelerazione ed incubazione, con chiara connotazione interculturale, per preparare le nuove generazioni ad un veloce ed efficace inserimento in un mondo del lavoro in continua trasformazione.

Articolazione 1. Velivoli ad ala rotante di nuova generazione

L'Urban Air Mobility (UAM) viene definita come un insieme di veicoli e concetti operativi per fornire servizi di trasporto aereo su richiesta ("*on demand*") o di linea per passeggeri e merci all'interno di un'area metropolitana. Perché questo approccio rivoluzionario alla mobilità possa prendere piede è però necessario sviluppare un sistema di trasporto che sia sicuro, compatibile con gli obiettivi di riduzione dell'impatto ambientale e acustico dei mezzi di trasporto, flessibile per superare le rigidità della rete di trasporto attuale, e accessibile per una fascia significativa della popolazione urbana, ma allo stesso tempo socialmente accettabile. Negli Stati Uniti D'America NASA da anni supporta lo sviluppo dell'UAM ritenendolo un ambito che porterà un sostanziale beneficio all'industria e ai cittadini⁵.

L'idea della "*On-demand mobility*", ossia di un sistema multi-modale di trasporto in cui singoli individui hanno accesso immediato e flessibile a sistemi di trasporto semplici veloci e sicuri, sta prendendo piede da diversi anni in numerose aree urbane con i sistemi di *car* e *bike sharing*. Questi sistemi si sono rivelati molto efficaci per gestire il trasporto per piccole distanze, ma si ritiene che se si vuole aggredire il mercato delle distanze di trasporto incluse fra i 15 e 500 km sia necessario includere sistemi di trasporto aereo basati sulle stesse logiche on-demand. In questo modo si potrebbe effettivamente realizzare l'idea di trasportare chiunque, ovunque, in ogni condizione. Spostare parte del traffico attuale, e una parte del viaggio di ciascun passeggero, dal suolo all'aria implica la possibilità di passare da un sistema di trasporto basato su *percorsi prefissati*, come quello terrestre, ad un trasporto basato su *nodi prefissati* che permetta una maggiore flessibilità di indirizzamento dei flussi. Questo consentirebbe di ridurre le congestioni che affliggono i centri urbani mantenendo la flessibilità, permettendo così di realizzare gli obiettivi di riduzione dei tempi di trasporto porta-a-porta che l'Unione Europea, e più in generale i paesi economicamente più avanzati, si sono assegnati negli ultimi anni⁶. Per molte delle missioni ipotizzate, la classe di aeromobili che meglio potrà soddisfare le richieste sarà quella dei VTOL (velivoli a decollo e atterraggio verticale), relegando la possibilità di considerare aeromobili STOL, ossia a decollo corto, per missioni ai limiti superiori del campo di azione investigato. In particolare, per gli aeromobili dedicati esclusivamente al trasporto metropolitano, la possibilità di una propulsione elettrica, e quindi lo sviluppo dei cosiddetti

⁵ <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/uam-market-study-executive-summary-v2.pdf>.

⁶ <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/doc/flightpath2050.pdf>.



eVTOL, è stata valutata da molti come essenziale per il raggiungimento degli obiettivi, inclusi quelli di ridotto impatto ambientale sull'ambiente metropolitano, che sono oramai imprescindibili per un futuro sistema di trasporto.

Un maggiore utilizzo dello spazio aereo è stato finora limitato da quattro elementi fondamentali: a) costo degli aeromobili e del carburante; b) necessità di utilizzare infrastrutture specializzate, come gli aeroporti; c) richiesta di elevata preparazione di coloro che devono operare l'aeromobile; d) complesse regole di certificazione degli aeromobili, dei piloti, delle operazioni e forte regolamentazione dell'uso dello spazio aereo. Perché il sistema di UAM possa raggiungere gli obiettivi che si propone sarà quindi necessario lavorare per superare questi vincoli senza derogare alla sicurezza, pena la non accettabilità di tali sistemi da parte della popolazione. Il superamento di molte di queste barriere passerà necessariamente attraverso lo sviluppo di aeromobili con un elevato grado di autonomia, capaci di conoscere lo stato interno ed esterno del velivolo attraverso una estesa rete di sensori e in grado di attuare in modo intelligente una gestione autonoma delle emergenze che non crei pericoli per le aree densamente popolate sottostanti e per l'altro traffico aereo.

Si capisce bene quindi come il settore della mobilità aerea urbana sia un settore nuovo, che richiederà di muoversi in direzioni radicalmente diverse da quelle perseguite sino ad oggi dall'aviazione e che promette di rivoluzionare la società intera con grandissime ricadute potenziali su tutto il tessuto economico. Per questa ragione una nazione con una lunga e consolidata tradizione nell'aerospazio e in particolare nel settore degli aeromobili VTOL come l'Italia potrà certamente dare il suo importante contributo che a sua volta potrà contribuire in modo significativo allo sviluppo economico futuro. Il prossimo decennio sarà essenziale per lo sviluppo degli UAMV (*Urban Air Mobility Vehicles*). Uno studio di mercato condotto da NASA in collaborazione con McKinsey, è stato valutato che il settore UAMV on-demand potrebbe diventare profittevole già dal 2028⁷.

Obiettivi

Perché un sistema di UAM possa risultare efficace, arrivando a fornire un servizio sicuro, efficiente e accessibile sarà necessario sviluppare capacità tecniche di progettazione con l'obiettivo di arrivare a proporre soluzioni innovative in diversi settori qui di seguito elencati.

- (1) Progettazione di aeromobili a decollo verticale VTOL e a decollo corto STOL multirottore a basso impatto ambientale, in particolare a bassa rumorosità, facilmente governabili in ambienti complessi in presenza di ostacoli.

Quale sia la configurazione di velivolo ottimale per compiere le missioni richieste da un veicolo per il trasporto urbano è ancora oggetto di dibattito. Le configurazioni proposte però si indirizzano tutte verso sistemi multirottore. Risulta quindi importante sviluppare la capacità di progettare sistemi di questa classe facendo attenzione alle complesse interazioni aerodinamiche fra i rotori e la variegata morfologia dell'ambiente urbano in cui dovranno operare, per quello che riguarda sia le prestazioni del velivolo che l'impatto acustico sull'ambiente operativo. Si dovrà raggiungere la capacità di sviluppare nuovi veicoli in tempi limitati e con bassi costi di sviluppo. Anche il settore delle strutture richiederà un grosso avanzamento nei materiali e nelle tecniche di costruzione per arrivare a veicoli a basso costo, leggeri, ma con livelli di affidabilità persino superiori agli attuali e la possibilità di attuare schemi di manutenzione "on-condition" per ridurre i costi operativi. A questo dovrà essere affiancato un sistema di monitoraggio dello stato del velivolo integrato con le strutture. Gli aeromobili dovranno avere la capacità di operare anche in presenza di condizioni meteorologiche avverse (pioggia, neve, vento, visibilità ridotta). Infine, sarà necessario dotare gli aeromobili di un alto grado di autonomia, per gestire le numerose e complesse situazioni di emergenza minimizzando l'intervento dell'equipaggio o da terra.

- (2) Propulsione elettrica o ibrida per veicoli VTOL

L'utilizzo di un sistema di propulsione elettrica è ritenuto essenziale per questa classe di aeromobili perché comporta la possibilità di ampliare enormemente lo spazio di progetto grazie alla possibilità di distribuire la potenza in molti punti del velivolo senza eccessive penalizzazioni. Inoltre, dato il minore numero di parti in movimento e la minore potenza per singola unità, e le minori vibrazioni prodotte, i sistemi elettrici distribuiti promettono di ridurre i costi operativi e aumentare l'affidabilità. In questo campo sarà necessario lavorare per

⁷ <http://www.nianet.org/ODM/reports/ODM%20Strategic%20Framework%20-%20Final%20170308.pdf>



perseguire i seguenti obiettivi: sviluppo di batterie a lunga durata, elevata energia specifica e sicure, con capacità di ricarica rapida; sistemi di alimentazione ad alta tensione e sistemi di alimentazione ibrida da usare come “*range extender*”; sistemi di controllo adattivi per motori elettrici ad alta affidabilità; sistemi per la gestione termica della propulsione elettrica. Infine, occorrerà sviluppare normative dedicate alle operazioni di volo con sistemi a propulsione elettrica o ibrida.

- (3) Integrazione nel traffico aereo assieme ai droni, governato da sistemi di gestione del traffico a bassa quota in ambienti urbani complessi e congestionati.

La gestione del traffico generato dagli UAMV nel ristretto spazio aereo sopra le aree metropolitane compreso fra le costruzioni civili e diversi ostacoli presenti sino alle quote di circa 1000 m, richiede necessariamente lo sviluppo di nuovi paradigmi. Il sistema per la gestione del traffico, che sarà necessariamente decentralizzato, dovrà essere capace di gestire la pianificazione del percorso più efficiente per ciascun velivolo, evitando ostacoli e spazi aerei riservati; assicurare la separazione adeguata fra i veicoli che eviti collisioni e interferenze; assicurare di avere spazi liberi da cui decollare e atterrare in sicurezza senza entrare in conflitto con altri operatori; applicare regole che permettano di gestire le emergenze in sicurezza per gli occupanti dell’aeromobile e per gli altri aeromobili, la popolazione e i beni sottostanti.

- (4) Sicurezza e certificabilità di queste architetture innovative con costi limitati

Mantenere un volo sicuro durante tutte le possibili emergenze mentre si viaggia a poca distanza da persone e edifici pone sfide estremamente rilevanti. In primis sarà necessario raggiungere livelli complessivi di affidabilità per i vari sistemi almeno un ordine di grandezza superiore agli attuali, andando verso la possibilità di avere malfunzionamento solo 1 volta ogni 10 Milioni di ore di volo. Per questo sarà necessario sviluppare aeromobili che abbiano una costante conoscenza dello stato di tutti i sistemi critici e dell’ambiente esterno unita alla capacità di prendere decisioni in relazione allo svolgimento della missione, anche in presenza di significative incertezze. Affinché gli UAMV possano funzionare come aeromobili a basso costo per un trasporto *on-demand*, sarà necessario ridurre drasticamente i tempi e i costi di sviluppo di nuovi aeromobili. Si dovranno quindi sviluppare nuove metodologie di certificazione che facendo un maggiore uso della simulazione portino ad una contrazione di costi e tempi.

- (5) Sviluppo di *ConOps* per UAMV

Di pari passo allo sviluppo delle tecnologie necessarie a realizzare gli UAMV sarà necessario approfondire la definizione delle modalità operative, e quindi dei profili di missione, in cui tali aeromobili potranno essere meglio sfruttati. Le modalità con cui si deciderà di affrontare e realizzare i compiti associati agli UAMV ne potranno infatti decretare il successo o il fallimento. Per le operazioni passeggeri si spazia da semplici missioni di trasporto individuale casa-lavoro, a operazioni più complesse come *airport-shuttle*, trasferimento fra punti distanti ma nevralgici del tessuto urbano ecc. A queste operazioni si potranno affiancare numerose operazioni di pubblico servizio: monitoraggio, salvataggio, emergenza, operazioni di polizia ecc. Tutti gli scenari andranno accuratamente studiati e ottimizzati al fine di sviluppare il miglior sistema di mobilità urbana integrata, studiando accuratamente anche la fattibilità economica degli scenari proposti.

- (6) Integrazione tecnologica dell’aeronautica (ala rotante, aviazione generale, velivoli regionali, droni) con gli scenari complessivi di mobilità sostenibile per ottenere un sistema globale “zero carbon”

Gli Urban Air Mobility Vehicles, ma più in generale i velivoli ad ala rotante, possono contribuire efficacemente al raggiungimento di un sistema “zero carbon”, garantendo lo sviluppo di veicoli innovativi in un mercato europeo e mondiale nel quale ci si aspetta una rapida crescita. Inoltre, tralasciandone gli sviluppi non limitatamente alle singole tecnologie, bensì in un’ottica di integrazione strategica di sistema è possibile:

- ampliare l’impatto sociale ed industriale degli investimenti tecnologici e rendere più efficace la sinergia con gli investimenti promossi in ambito europeo contestualizzando gli Urban Air Mobility Vehicles e i rotorcraft rispetto alle problematiche generali di Mobilità Sostenibile, Energia e Clima;
- mettere in correlazione il settore dell’ala rotante con i grandi temi della Digitalizzazione, Intelligenza Artificiale, Robotica e Industria 4.0;
- sfruttare l’efficacia delle sinergie con i progetti europei ed in particolare con le partnership Clean Aviation e Integrated Air Traffic Management in preparazione nel contesto del futuro programma quadro Horizon Europe.



- (7) Sviluppo di infrastrutture per UAMV con capacità di integrarsi con gli altri sistemi di mobilità urbana e con il tessuto urbano

Grazie alla flessibilità del eVTOL, gli spazi da cui si potrà decollare e atterrare presenteranno complessità, costi e impatto di diversi ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle associate a un aeroporto che serve una grande area metropolitana. La loro corretta progettazione e collocazione nel tessuto urbano non andrà però trascurata perché anch'essa contribuirà in maniera determinante al successo di questa modalità di trasporto. Gli spazi dovranno essere definiti in modo da essere facilmente inseribili nel tessuto urbano attuale, arrecare il minimo disturbo a coloro che abitano e operano nelle aree circostanti, permettere una facile accessibilità e una ottima integrazione con gli altri sistemi di trasporto urbano, e una facile operatività di aeromobili a propulsione elettrica, considerando anche le fasi della gestione delle ricariche e della manutenzione.

Impatti

Gli impatti che ci si attende dalla ricerca in questi ambiti sono molteplici e possono essere riassunti nei seguenti elementi:

1. Contribuire al mantenimento della leadership italiana nel settore degli aeromobili VTOL permettendo di assicurare una presenza di tutta la filiera italiana del settore aerospaziale grazie all'apertura verso un settore che promette di rivoluzionare significativamente l'aviazione dei prossimi anni.
2. Contribuire a ridurre i tempi di trasporto porta a porta nelle aree metropolitane, e ad aumentare le capacità di intervento tempestivo in queste aree per missioni di soccorso e di sicurezza.
3. Contribuire a decongestionare le aree urbane e a ridurre l'impatto ambientale dei sistemi di trasporto traghettando una porzione significativa dei viaggi giornalieri da sistemi individuali a sistemi collettivi utilizzabili secondo lo schema on-demand della economia condivisa.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Forti interconnessioni sono attese con i settori dell'*high performance computing* e "*big data*", assieme a quello della intelligenza artificiale sia per lo sviluppo dei sistemi di guida e gestione autonoma del velivolo e di gestione e programmazione del traffico aereo, che per lo sviluppo di metodologie di progettazione abilitanti che facciano grande affidamento sui metodi di simulazione per la riduzione dei costi di progettazione e certificazione. L'interazione con il settore dell'Innovazione per l'industria manifatturiera sarà importante perché si arriverà a volumi e caratteristiche di produzione più in scala *automotive* che aeronautica classica, e quindi sviluppare nuovi processi e nuovi prodotti. Poi è essenziale arrivare a sistemi di trasporto urbano integrati, quindi è forte l'interconnessione con l'ambito "Mobilità sostenibile". Restando nell'ambito Aerospazio, ci sono forti interconnessioni con le articolazioni "Velivoli autonomi" per gli aspetti di controllo dell'aeromobile, "Strutture intelligenti" per gli aspetti di monitoraggio dello stato del velivolo, "Controllo del traffico aereo" per gli aspetti di inserimento nel traffico civile. Naturalmente anche la Navigazione satellitare svolgerà un ruolo importante per lo sviluppo degli UAMV.

Key Performance Indicators

Per valutare gli esiti di finanziamenti per l'innovazione nel settore dei Velivoli ad ala rotante di nuova generazione si possono considerare i seguenti indicatori:

1. sviluppo di sistemi di gestione delle emergenze con elevato grado di autonomia che non creino pericoli per le aree densamente popolate in cui operano i velivoli;
2. sviluppo di soluzioni multirottore a basso impatto ambientale e bassa rumorosità, facilmente governabili in ambienti complessi in presenza di ostacoli;
3. sviluppo di propulsori elettrici o ibridi per veicoli VTOL;
4. sviluppo di sistemi di gestione del traffico a bassa quota in ambienti urbani complessi e congestionati con capacità d'integrazione con i velivoli autonomi.



Articolazione 2. Riduzione impatto ambientale e incremento del benessere in aeronautica

Nel futuro del trasporto aereo sono già delineate le linee di sviluppo verso un sistema a ridotto impatto ambientale (vedi Clean Sky Joint Undertaking e The European Green Deal Call, in preparazione). Del resto il programma in corso “Clean Sky” finanziato dallo “EU’s Horizon 2020 programme”⁸, è il più grande programma di ricerca dell’Unione Europea con il chiaro obiettivo di sviluppare velivoli a ridotto impatto ambientale (es. emissione di CO₂) ed acustico, coinvolgendo tutti gli attori dell’industria aeronautica europei al fine di rafforzarne la competitività sia interna alla UE che in ambito globale. Infatti la sensibilità sui temi dell’inquinamento ambientale e la conseguente necessità di rendere il trasporto aereo sostenibile sarà un elemento chiave anche del successo commerciale dei velivoli del futuro.

L’obiettivo di ridurre l’impatto ambientale ed acustico in campo aeronautico passa in modo sostanziale anche attraverso una svolta nei materiali impiegati e dei processi produttivi.

Quindi la sostenibilità del trasporto aereo è affidata a percorsi di progresso scientifico e tecnologico in alcuni ambiti strategici ben definiti che da un lato riguardano lo sviluppo di sistemi di propulsione innovativi essenzialmente basati su fonti elettrochimiche o ibride o full-electric; dall’altra interessano soluzioni tecnologiche in grado di aumentare l’efficienza dei velivoli in modo da ridurre il più possibile le emissioni dirette con benefici sia di tipo economico diretto sui costi di esercizio della flotta per gli operatori che di significativa riduzione dell’inquinamento atmosferico.

Allo scopo di sostenere il processo di transizione verso l’elettrico, nel sistema nazionale è opportuno rafforzare le competenze e il know-how nell’ambito del trasporto regionale e della classe Urban Air Mobility. È quindi da considerare strategica la promozione di azioni per lo sviluppo di tutti i sistemi in grado di favorire tale transizione (es. sviluppo di sistemi innovativi elettrochimici, generatori di energia solare ecc.). Parimenti sono da valorizzare e promuovere tutte le azioni rivolte a soluzioni tecnologiche che ne aumentino l’efficienza quali ad esempio il controllo attivo del flusso aerodinamico, sistemi attivi per garantire efficienza aerodinamica tali da comportare significative riduzioni di emissioni per i sistemi di propulsione tradizionale o di consumo energetico per i velivoli elettrici (es. *riblets* di tipo passivo o dinamiche attivabili tramite materiali e/o strutture intelligenti).

Altri elementi di valenza strategica sono invece relativi allo studio e allo sviluppo di sistemi in grado di generare energia (*energy harvesting*) o recupero dell’energia (*energy scavenging*) in modo indiretto dalle strutture e sistemi durante la normale operatività (es. sistemi piezoelettrici, sistemi piroelettrici ecc.). Inoltre è prioritario definire nuove soluzioni tecnologiche per evitare la formazione del ghiaccio o prevederne la rimozione con sistemi a basso consumo energetico per evitare grosse potenze di picco.

Alla sostenibilità ambientale si affianca in maniera sinergica anche l’esigenza di sviluppo di tecnologie che riguardano il benessere del passeggero durante il volo, sia in termini di comfort che di salute, oggi di drammatica attualità⁹, e che riguardano lo sviluppo di soluzioni tecnologiche avanzate per garantire la salubrità all’interno del velivolo quindi per favorire la ripresa in sicurezza del trasporto aereo.

Obiettivi

In una visione ampia di sostenibilità che coniughi la riduzione dell’impatto ambientale con il benessere e lo sviluppo di tecnologie green nel trasporto aereo del futuro è quindi possibile definire una serie di macro-obiettivi articolati in cinque ambiti, ciascuno con obiettivi più specifici così schematizzabili:

(1) Sistemi di propulsione innovativi essenzialmente basati su fonti elettrochimiche, ibride o full-electric

- Miglioramento dei sistemi propulsivi esistenti e/o impiegando carburanti di nuova generazione, sistemi di combustione più efficienti;
- Sviluppo di sistemi propulsivi ibridi (combustione-elettrico);
- Azzeramento delle emissioni dirette attraverso lo sviluppo di sistemi propulsivi full-electric;

⁸ <https://www.cleansky.eu/>.

⁹ Vedi Covid-19 <https://www.iata.org/en/programs/safety/health/>.



- Sistemi di produzione di energia a bordo (es. fotovoltaico), sistemi di accumulo di energia, sistemi intelligenti di gestione dell'accumulo e distribuzione di energia;
- Sistemi di propulsione a idrogeno (combustione dell'idrogeno nei motori a turbina a gas modificati, celle a combustibile a idrogeno);
- Sviluppo di nuovi sistemi propulsivi con sostituzione totale o parziale dei combustibili fossili;
- Combustibili sintetici (da idrogeno e anidride carbonica) da aggiungere ai combustibili fossili nei motori a turbina a gas convenzionali.

(2) Tecnologie innovative per aumentare l'efficienza e ridurre emissioni

- Miglioramento dell'efficienza aerodinamica attraverso soluzioni tecnologiche avanzate che impattano sui consumi, quali: strutture funzionalizzate intelligenti e sistemi di prevenzione formazione ghiaccio o di rimozione più efficienti;
- Tecnologie di riduzione di consumi energetici

(3) Tecnologie che riducono il rumore dei velivoli in decollo/atterraggio;

Sviluppo di sistemi propulsivi per la riduzione dell'impatto acustico a terra attraverso lo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative quali ad esempio:

- motori ad elevata diluizione,
- aerodinamica dei rotori di elicottero con bassa segnatura acustica al suolo,
- strutture/materiali delle gondole motore con elevato assorbimento acustico.

(4) Generatori di energia solare e integrazione con sistemi di auto-generazione di energia a bordo

Sistemi di produzione e/o recupero di energia (piezoelettrici e piroelettrici) dalle strutture e generatori fotovoltaici.

(5) Tecnologie per evitare la formazione/rimozione del ghiaccio con sistemi a basso consumo energetico per evitare grosse potenze di picco

Tecnologie per evitare la formazione/rimozione del ghiaccio con sistemi a basso consumo energetico per evitare grosse potenze di picco attraverso sistemi intelligenti, passivi o attivi, basati su materiali e/o strutture funzionalizzate attivabili dinamicamente

(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)

- Impiego di materiali compositi: a matrice polimerica termoplastica riutilizzabile, a matrice riciclabile/biodegradabile e con rinforzi costituiti da fibre vegetali;
- Tecnologie produttive a ridotto impatto ambientale (tecniche out-of-autoclave per i compositi)
- Riduzione degli scarti attraverso l'adozione di tecnologie net-shape e che contempli anche la possibilità di impiego su larga scala di tecnologie di Additive Manufacturing, 3D printing;
- Sviluppo di tecnologie e processi produttivi che siano sostenibili dal punto di vista ambientale ma che siano attenti anche alla sicurezza sul lavoro prevedendo che sostituiscano tecnologie/procedure “pericolose” (p.e. tecniche galvaniche di protezione superficiale, fresatura chimica);
- sviluppo di nuove tecnologie e/o sistemi per limitare o evitare procedure di de-icing a terra con fluidi dannosi.

(7) Benessere del passeggero (es. riduzione rumore, sistemi di sanificazione, materiali antibatterici).

- Sviluppo di soluzioni tecnologiche che possano migliorare il benessere del passeggero per riduzione del rumore e vibrazioni a bordo del velivolo sono di fondamentale importanza per il benessere e la salute del passeggero e vanno perseguite con elevata priorità. In questo ambito sono da prendere in considerazione il design, i materiali e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche delle strutture interne (*interiors* intelligenti) al fine da un lato di ridurre il rumore migliorandone il confort e dall'altro di poter realizzare strutture sempre più



- leggere (riduzione consumi), sistemi di facile sanificazione (vedi situazione Covid-19), sviluppo di materiali con azioni battericida ecc. per i quali esiste una sempre maggiore sensibilità da parte dell'utenza.
- Soluzioni avanzate per garantire salubrità dell'aria nella cabina del velivolo.

Impatti

Generali

Il miglioramento sostanziale delle tecnologie esistenti e/o lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche che mirano a garantire la sostenibilità del trasporto aereo attraverso la riduzione dell'impatto ambientale e il miglioramento del benessere avrà sicuramente un riflesso significativo sul mercato dei velivoli. Infatti, da un lato vi è una sempre maggiore presa di coscienza governativa a livello globale che è ormai ineludibile una svolta per garantire la riduzione progressiva delle emissioni di gas nocivi in atmosfera e che avrà come diretta conseguenza il cambio normativo degli attuali limiti di emissioni. D'altra parte, la consapevolezza del passeggero (inteso come consumatore) e la sviluppata sensibilità sociale sulla necessità di orientare tutta la produzione e l'impiego di sistemi basati sui presupposti di economia circolare e sviluppo di tecnologie "green", avrà di sicuro un impatto diretto sul trasporto aereo in quanto spingerà sicuramente i vettori a orientare le scelte di acquisizione e impiego di velivoli che possono essere riconducibili a questi nuovi paradigmi. Gli attori industriali che non riusciranno a sviluppare/impiegare nel breve-medio termine sistemi propulsivi più efficienti sicuramente saranno fuori mercato non per motivi di competizione economica ma per l'appunto a causa dei nuovi e più stringenti limiti normativi e/o di sensibilità sociale. Del resto, nel medio lungo termine si affermeranno sistemi propulsivi di tipo elettrico in grado di abbattere totalmente le emissioni dirette di gas nocivi durante l'esercizio e chi non sarà pronto a tenere il passo con questo nuovo avvento tecnologico sarà progressivamente escluso dal mercato.

Orientare inoltre lo sviluppo tecnologico verso il benessere del passeggero (salvaguardia della salute) e verso le comunità (riduzione impatto ambientale) avrà parimenti impatto sulla competitività dell'industria aeronautica nazionale. Le esigenze di comfort e benessere per il passeggero durante il volo assumeranno via via una importanza crescente che porterà a soluzioni tecnologiche innovative che faranno la differenza nell'assicurare la qualità del trasporto aereo tra i diversi vettori e quindi tra i diversi costruttori di velivoli. Sviluppare ed essere proprietari di un portafoglio di tecnologie avanzate in questo settore fortemente emergente consentirà di configurare velivoli sempre più a misura del benessere in funzione delle diverse esigenze operative garantendo la possibilità di offrire ai vettori in modo flessibile velivoli per ogni tipo di esigenza secondo le richieste della clientela.

Specifici

- abbattimento emissione gas nocivi per l'atmosfera;
- riduzione dell'impatto acustico a terra;
- riduzione impatto ambientale dei processi e cicli produttivi con eliminazione di sostanze tossiche;
- miglioramento della sicurezza per gli addetti ai processi produttivi;
- riduzione dei costi di esercizio di gestione flotte velivoli;
- salvaguardia della salute del passeggero e dell'equipaggio per effetto:
 - della riduzione del rumore a bordo;
 - dell'impiego di tecnologie atte a ridurre la presenza di microorganismi patogeni.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

I contenuti e gli obiettivi della presente articolazione hanno delle evidenti interconnessioni con diversi ambiti tematici. In particolare per quanto concerne la riduzione diretta o indiretta dell'impatto ambientale sicuramente esiste un terreno di intersezione con la "Mobilità sostenibile" e "Cambiamenti climatici e adattamento". D'altro canto lo sviluppo di materiali, tecnologie e processi innovativi con impronta *green* sicuramente hanno un legame con il tema "Innovazione per l'industria manifatturiera" e con le articolazioni dell'ambito Aerospaziale "Velivoli ad ala rotante di nuova generazione" e "Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative". Infine, il benessere del passeggero ha delle interconnessioni significative sia con il tema "Tecnologie per la salute" che con l'articolazione di "Esplorazione umana dello spazio" del sotto-tema "Spazio".



Key Performance Indicators

Principali indicatori per la verifica del raggiungimento di obiettivi sono sicuramente i seguenti:

- riduzione dell'immissione gas nocivi in atmosfera e del rumore sia terra che in volo;
- miglioramento delle prestazioni aerodinamiche;
- attuazione di processi produttivi meno inquinanti;
- sviluppo e certificazione di propulsori ibridi;
- sviluppo e certificazione di sistemi di generazione di energia a bordo innovativi;
- miglioramento delle condizioni di benessere generale e di igiene a bordo.

Articolazione 3. Velivoli autonomi

Gli Unmanned Aerial Systems (UAS) rappresentano una delle innovazioni più radicali degli ultimi anni in campo aeronautico¹⁰. Ad oggi, tuttavia, per ragioni sia tecnologiche sia normative, il loro impiego è limitato agli ambiti del pilotaggio remoto (nel quale l'aeromobile è dotato di alcune funzioni in grado di permetterne il pilotaggio da parte di un pilota remoto) e del volo automatico (nel quale l'aeromobile è in grado di svolgere alcune operazioni senza la necessità di avere il pilota nel loop, reagendo alle sollecitazioni esterne in modo predeterminato).

È generalmente riconosciuto che in numerosi ambiti applicativi sarebbe possibile sfruttare al meglio gli UAS riducendo il più possibile il ruolo del pilota nel loro funzionamento. A questo scopo si prevede, nel prossimo futuro, l'utilizzo di aeromobili semi-autonomi (ovvero capaci di svolgere operazioni in modo autonomo ma sotto la supervisione di un operatore) e autonomi (ovvero capaci di svolgere operazioni in modo autonomo anche senza la supervisione di un operatore e in grado di adattare il proprio comportamento alle caratteristiche dell'ambiente operativo) per supportare un numero sempre più elevato di applicazioni¹¹.

Obiettivi

Le attività necessarie per portare a maturazione le tecnologie abilitanti per il volo semi-autonomo e autonomo riguardano lo sviluppo nelle seguenti aree.

- (1) Sistemi di controllo avanzati (ad es. adattativi) - I sistemi di controllo del volo convenzionali sono dotati della capacità di supportare il pilota o sostituirlo in task predefiniti, ma sempre mediante comportamenti predeterminati e dunque predicibili. La principale limitazione di tali sistemi risiede nel fatto che a fronte di variazioni del contesto operativo non sono in grado di adeguarsi se non nei limiti delle loro intrinseche capacità di robustezza. Allo scopo di superare questa limitazione sarà necessario sviluppare sistemi di controllo più avanzati, in grado di adattare il proprio funzionamento a fronte di cambiamenti delle condizioni operative rispetto a quelle nominali, rilevati mediante l'elaborazione delle misure fornite dai sensori di bordo.
- (2) Sensori avanzati e loro caratterizzazione - I sistemi di controllo del volo convenzionali operano sulla base delle misure fornite da sensori basati su tecnologie molto consolidate (ad es. piattaforme inerziali). Per dotare un aeromobile di un livello di autonomia superiore al volo automatico occorre che questo sia equipaggiato con sensori e logiche di processamento in grado di replicare o migliorare la capacità di percepire l'ambiente circostante e lo stato dell'aeromobile tipiche di un pilota umano. La ricerca in questo ambito fa soprattutto riferimento alle tecnologie della visione artificiale e dei LIDAR nel campo delle lunghezze d'onda del visibile e alle tecnologie *radar forward-looking* nel campo delle microonde, presenti anche nell'ambito della robotica mobile terrestre e oggi in fase di rapida diffusione nel settore automobilistico. Tali tecnologie dovranno essere portate ad un livello di maturità adeguato a poterle impiegare in applicazioni aeronautiche, nelle quali il livello di affidabilità richiesto è significativamente più elevato. Particolare attenzione sarà dedicata allo sviluppo di sistemi di data fusion, in grado di integrare informazioni di diversi sensori che hanno caratteristiche e campi

¹⁰ https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf.

¹¹ https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/uploads/drones_operations_whitepaper.pdf



- di utilizzo diverso, ad esempio la misura di distanza ottenibile coi radar con misure di separazione angolare ottenibile con sensori elettroottici
- (3) Sistemi di guida autonoma, incluse funzionalità di collision avoidance - L'obiettivo di rendere gli aeromobili di nuova generazione capaci di svolgere missioni complesse senza intervento di un operatore umano presuppone la capacità di generare in modo autonomo le traiettorie da seguire al fine di svolgere la missione, garantendo da un lato un adeguato livello di prestazioni rispetto alla missione stessa e dall'altro un corrispondente livello di sicurezza. Tale concetto di sicurezza deve includere l'integrazione nello spazio aereo e la gestione della separazione con altri velivoli, nonché altri aspetti quali il rischio per persone ed infrastrutture nelle aree sorvolate, le condizioni meteo, le problematiche di rumore, le prestazioni dei sistemi di navigazione, la gestione delle condizioni di emergenza. Per raggiungere questo obiettivo dovranno essere sviluppati sistemi di guida autonoma in grado di interagire con l'infrastruttura di controllo del traffico e svolgere questa funzione con un livello di efficienza adeguato alla loro implementazione in tempo reale, requisito imprescindibile se si vuole che il sistema di guida possa aggiornare le proprie decisioni a fronte di mutate condizioni dell'ambiente operativo. Da ultimo sarà necessario anche sviluppare opportune interfacce uomo-macchina per tutte le applicazioni nelle quali gli UAS verranno gestiti in modalità semi-autonoma.
 - (4) Sistemi di navigazione autonoma GNSS-free - Così come è necessario che un sistema autonomo sia in grado di pianificare il proprio moto indipendentemente dalle indicazioni di un operatore umano, in maniera analoga è necessario che sia in grado di determinare la propria posa (posizione e assetto) con accuratezza, integrità, continuità e disponibilità adeguate ai requisiti della missione. Nella maggior parte delle applicazioni odierne ciò è possibile grazie ai sistemi di navigazione satellitare o a loro varianti aumentate. Esiste tuttavia un gran numero di applicazioni, di elevato interesse anche in altri settori oltre quello aeronautico, nelle quali questo approccio non è adeguato, perché l'accuratezza ottenibile mediante sensori inerziali e navigazione satellitare non è sufficiente o la navigazione satellitare non è disponibile. Questo secondo caso corrisponde, ad esempio, alle applicazioni nelle quali occorre volare al chiuso o in prossimità di strutture o in ambienti complessi che ostacolano la ricezione del segnale GNSS (ad esempio con interferenze e riflessioni multiple). Il sistema di navigazione autonoma dovrà quindi supplire alla eventuale mancanza di sistemi di supporto come il GNSS e anche dare all'aeromobile la capacità di percepire l'ambiente circostante, mediante l'utilizzo di schemi di localizzazione e mapping, di segnali di opportunità, fino alla cooperazione con altri velivoli.
 - (5) Piattaforme ad alte prestazioni per l'autonomia - Risulta chiaro dai punti precedenti come l'implementazione dell'autonomia di bordo richieda l'elaborazione di un numero molto più elevato di informazioni, il che a sua volta implica che un aeromobile autonomo deve aver accesso ad una capacità di elaborazione significativamente più elevata rispetto ad un APR convenzionale. Allo stato attuale è possibile immaginare due paradigmi di sviluppo in questo ambito: nel primo la capacità di elaborazione (intelligenza) risiederà a bordo dell'aeromobile, che dovrà quindi imbarcare risorse di calcolo adeguate; nel secondo l'elaborazione avverrà a terra e la chiave di volta del sistema sarà un'infrastruttura di comunicazione veloce come ad esempio il 5G. Sarà quindi necessario esplorare entrambi gli approcci, con particolare riferimento ai singoli ambiti applicativi di interesse, e sviluppare da un lato le necessarie metodologie di integrazione per hardware più sofisticato e dall'altro l'integrazione con le reti di comunicazione.
 - (6) Certificabilità e certificazione di sistemi aeronautici autonomi - L'introduzione nell'architettura di un aeromobile di componenti adattative o, più in generale, dal comportamento non deterministico, ha un impatto molto significativo in termini di certificabilità e certificazione. Se da un lato, ad esempio, un sistema di controllo adattativo ha il potenziale per essere riutilizzato su numerosi aeromobili con caratteristiche differenti grazie alla capacità di adattare il proprio comportamento alla dinamica dello specifico aeromobile, dall'altro le procedure per la certificazione di questo tipo di sistema sono a oggi ancora oggetto di ricerca. A maggior ragione queste considerazioni si applicano al caso di sistemi di guida e navigazione autonoma, ed in generale alla problematica della certificazione di tecniche basate sull'intelligenza artificiale. Sarà quindi necessario sviluppare e sperimentare, coerentemente con le recenti *roadmap* definite dagli enti certificatori come



- l'EASA, approcci innovativi alla definizione della certificabilità e alla certificazione delle nuove tecnologie per l'autonomia¹².
- (7) *Data analytics* a terra e a bordo velivolo - Così come è possibile rendere autonomo il funzionamento dell'aeromobile, in maniera analoga sarà utile sviluppare tecnologie per automatizzare l'analisi dei dati raccolti nel corso della missione, sia per quanto riguarda il funzionamento dell'aeromobile sia relativamente allo svolgimento della missione stessa. L'automazione dell'analisi dei dati sarà resa possibile dall'impiego delle moderne metodologie di *data analytics*, con particolare riferimento al loro utilizzo a bordo velivolo, in modo da fare sì che i dati raccolti ed elaborati in tempo reale possano contribuire ad alimentare il sistema di guida e navigazione autonoma.
 - (8) Manipolazione aerea - Allo stato attuale dell'applicazione industriale degli UAS le missioni per le quali vengono impiegati sono tutte relative alla raccolta di dati, indipendentemente dallo specifico contesto e dalla specifica tecnologia di misura. Al fine di impiegare al meglio gli UAS in ambiti applicativi più generali, come ad es. lo svolgimento di missioni di manutenzione o vero e proprio lavoro aereo automatico/autonomo, dovranno essere sviluppate tecnologie per permettere di interagire in modo attivo con l'ambiente circostante. Ciò presuppone la maturazione di tecnologie specifiche quali piattaforme UAS con controllo indipendente dei 6 gradi di libertà e sistemi di controllo in grado di gestire il contatto con superfici e la manipolazione di oggetti.
 - (9) Volo in formazione e sciami di velivoli autonomi - Per lo svolgimento di missioni complesse sarà necessario sviluppare la capacità di gestione della missione mediante più di un UAS, con particolare riferimento alla capacità di svolgere tali missioni in modalità multi-agente in autonomia. Tali architetture pongono diverse sfide che rappresentano tematiche di ricerca aperte, dalla pianificazione coordinata, alla gestione della missione e del controllo remoto con architettura 1-a-N, fino alla fusione delle informazioni multi-velivolo ed all'applicazione di tecniche di navigazione cooperativa e di volo in formazione per gli scenari che richiedono un moto coordinato di diversi elementi.
 - (10) Configurazioni innovative per velivoli non abitati - La vastità di applicazioni nel breve, medio e lungo periodo dei velivoli autonomi potrà essere soddisfatta solo studiando configurazioni innovative, libere dai vincoli del volo abitato. Un settore di grande sviluppo è quello della miniaturizzazione e, quindi, della realizzazione di velivoli autonomi *insect-like*, per i quali i meccanismi di generazione della portanza e quindi del controllo di volo vanno completamente ridisegnati.

Impatti

I principali impatti attesi dalla ricerca in questi ambiti sono i seguenti:

1. Contribuire a migliorare l'efficienza e l'efficacia dei sistemi UAS, con particolare riferimento alla loro capacità di svolgere un numero di compiti di complessità crescente con un livello di supervisione umana sempre minore.
2. Contribuire all'aumento della sicurezza nel campo degli UAS, mediante l'impiego di tecnologie più avanzate a bordo velivolo.
3. Contribuire allo sviluppo di una filiera nazionale in questo settore, che si rivelerà di importanza strategica nel prossimo futuro.
4. Contribuire alla certificazione dei velivoli autonomi e alla loro integrazione nello spazio aereo civile.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Molte delle tecnologie sopra descritte sono trasversali rispetto ad altri settori, come ad esempio la Robotica, l'Intelligenza artificiale e *High performance computing/big data*. Va tuttavia sottolineato come le tematiche associate all'autonomia richiedono in campo aerospaziale un approccio diverso rispetto ad altri settori. Relativamente alle articolazioni dell'ambito Aerospaziale, il legame più forte è con gli aeromobili ad ala rotante di nuova generazione, per

¹² http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_doc_09_uas_operational_categorization.pdf.



gli aspetti di controllo avanzato, e con il controllo del traffico aereo, per l'integrazione degli UAS nel traffico aereo civile. Naturalmente grande sarà l'intervento della navigazione satellitare nel futuro dei velivoli autonomi.

Key Performance Indicators

Per valutare gli esiti di finanziamenti per l'innovazione nel settore dei Velivoli autonomi si possono considerare i seguenti indicatori

1. Sviluppo di sistemi di controllo avanzati, in grado di adattare il proprio funzionamento a fronte di cambiamenti delle condizioni operative rispetto a quelle nominali
2. Maturazione e applicazione delle tecnologie di visione artificiale e dei LIDAR
3. Maturazione e applicazione di sistemi *radar forward looking* per applicazioni *obstacle detection & identification*
4. Sviluppo di sistemi di guida autonoma in tempo reale basati su tecniche di *data fusion*
5. Sviluppo di tecnologie affidabili per la localizzazione e il mapping in assenza di GNSS
6. Potenziamiento della capacità di elaborazione dati a bordo
7. Sviluppo delle capacità di volo in formazione e di interazione

Articolazione 4. Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative

Lo sviluppo di nuovi materiali e di nuovi componenti strutturali ad alta prestazione è generato dalla necessità di produrre velivoli di nuova concezione che siano in grado di svolgere nuovi profili di missione per il volo atmosferico, per il volo spaziale ma anche per missioni tipicamente aerospaziali, operanti cioè alle quote di atmosfera più rarefatta nelle quali si manifestano sia le condizioni del volo atmosferico che quelle del volo spaziale. Queste nuove missioni generano un ambiente meccanico di sollecitazioni rispetto alle quali i componenti strutturali devono offrire prestazioni sempre più spinte di resistenza, rigidità, leggerezza compatibili con le condizioni fisico-chimiche proprie di queste condizioni di volo, tra le quali spicca la presenza di condizioni termiche estreme.

Contestualmente alla richiesta di elevate prestazioni meccaniche, i componenti strutturali dei velivoli del futuro devono rispondere ad esigenze legate alla loro economicità e funzionalità operativa. In primo luogo, come per i velivoli nel loro complesso, i componenti strutturali devono rispondere a criteri di *affordability*, cioè di costi compatibili con le prestazioni offerte, in una generale riduzione di costi che il mercato dei mezzi aeronautici e spaziali richiede con sempre maggiore enfasi. Il costo dei componenti strutturali diventa un fattore determinante del progetto, come risulta evidente dal mercato dei sistemi di lancio, caratterizzato da costi per unità di massa lanciata sempre più bassi. Inoltre le generali esigenze di sostenibilità ambientale, particolarmente sentite nel contesto aeronautico, richiedono anche una riduzione di costi ambientali, come la riduzione di emissioni nocive ed un ridotto consumo di materiali, da ricondurre ad una logica di riutilizzabilità.

Ciò comporta da un lato la necessità per i componenti strutturali di garantire oltre ad una specifica affidabilità (*reliability*) anche una adeguata *durability*, cioè la necessità di contribuire al mantenimento delle piene condizioni operative lungo tutto ciclo di vita dei sistemi aeronautici e spaziali ed un allungamento della vita operativa stessa. Le esigenze operative, legate alla necessità di mantenere i velivoli nelle condizioni di servizio senza interruzioni e con ridotti interventi di riparazione, rendono indispensabile lo sviluppo di processi e di tecnologie innovative di *maintenability* per i componenti strutturali.

Le strutture intelligenti si caratterizzano proprio per queste funzionalità multiple e intrinsecamente integrate nel componente così da offrire capacità operative che allargano in modo significativo lo scenario delle prestazioni strutturali di resistenza, rigidità e leggerezza tipiche delle strutture aeronautiche e spaziali.

In parallelo ed in sinergia con lo sviluppo di sistemi strutturali una analoga evoluzione è necessaria nei processi e nelle tecnologie di produzione. Per i sistemi spaziali tali tecnologie si riferiscono alle fasi normalmente descritte con l'acronimo MAIT (*manufacturing, assembly, integration and test*), un acronimo che può essere assunto come riferimento anche nell'ambito aeronautico. Le innovazioni tecnologiche nella produzione si riferiscono agli ambienti



di produzione industriale ma, più in generale, anche alla produzione nelle prossimità dei siti operativi sia a terra, che in ambienti di volo, quali quello orbitale, o su altri pianeti. Nel campo spaziale, la necessità di produzione di grandi numeri di veicoli, come nel caso delle costellazioni satellitari, induce la necessità di far evolvere i sistemi di produzione da una produzione prototipale, tipica del settore, ad una produzione di serie. I processi innovativi di produzione delle strutture dovranno sempre più integrarsi con le logiche della digitalizzazione del processo produttivo (Industria 4.0).

Obiettivi

A queste esigenze di incremento nelle prestazioni meccaniche e nelle condizioni operative, da garantire nel rispetto delle condizioni di sicurezza rispetto a danni e cedimenti strutturali, la ricerca e sviluppo di strutture e materiali innovativi per l'aeronautica e lo spazio risponde con soluzioni innovative in diversi filoni di ricerca di seguito indicati, con specifici obiettivi da perseguire.

(1) *Health and usage monitoring systems*

- monitorare con continuità lo stato di integrità dei componenti, grazie alla intrinseca funzionalizzazione con la presenza di diffusa di sensori strutturali integrati nella struttura in grado di generare dati e produrre informazioni utili a determinare il grado di affaticamento strutturale;
- migliorare il ciclo manutentivo dei velivoli con allungamento della vita operativa;
- ridurre il costo e aumentare la flessibilità logistica per interventi sia nelle fasi di manutenzione programmata che di riparazione straordinarie (es. sistemi di intervento e riparazioni al di fuori di infrastrutture e con modalità di interventi guidati da remoto).

(2) *Self-healing materials*

- produrre in linea di volo e senza rientro a terra riparazioni rispetto a danneggiamenti prodotti durante la vita operativa, anche grazie a materiali compositi multifase con elementi idonei a interrompere la nucleazione e generazione di cricche o altre tipologie di danneggiamento;
- sviluppare materiali e componenti strutturali che possano autoripararsi o contenere i danni fino al rientro a terra procurati da impatti con oggetti anche di piccole dimensioni ma ad elevate velocità.

(3) *Morphing* delle strutture

- generare la variazione della forma strutturale nel corso del volo sulla base della necessità legate alle manovre, alle condizioni aerodinamiche, al comfort di volo e anche allo scopo di minimizzare le vibrazioni;
- contribuire alla concezione di nuove funzionalità di velivoli di nuova concezione a geometria variabile.

(4) Tecniche di *energy harvesting*

- estrarre energia dalle vibrazioni strutturali o da altre condizioni fisiche (gradienti di temperatura o di pressione) per utilizzare tale energia a sostegno del funzionamento delle reti di sensori, delle variazioni di forma, dei sistemi di controllo della dinamica strutturale, e della componentistica integrata.
- contribuire allo smorzamento delle vibrazioni grazie alla trasformazione di energia meccanica in energia elettrica.

(5) *Smart composite materials*

- sviluppare *smart composite materials*, caratterizzati dall'inclusioni di fasi attive quali i piezoelettrici, i materiali a memoria di forma, materiali piroelettrici e fibre ottiche, materiali oggetto essi stessi di una possibile evoluzione verso prestazioni più avanzate, anche con il ricorso alle opportunità offerte dalla nanostrutturazione/strutturazione gerarchica dei materiali ottenute impiegando le nanotecnologie;
- sviluppare materiali compositi con capacità di estrazione, conversione, immagazzinamento ed utilizzo di energia grazie a fasi del materiale ed a dispositivi immersi nel materiale;
- sviluppare concezioni innovative di materiali compositi alle diverse scale dimensionali per migliorare le prestazioni in termini di rigidità e resistenza nelle diverse condizioni di carico.

(6) Materiali di frontiera (supermateriali)



- sviluppo di materiali di frontiera (supermateriali), per utilizzo in condizioni ambientali estreme (quali quelle relative alle temperature), incentivando la ricerca di base nella scienza dei materiali e lo sviluppo di tecnologie abilitanti, ad esempio (ma non limitatamente) nei campi della chimica, della fisica dei materiali opto-elettronici, della metallurgia e dei materiali per alte temperature.

(7) Tecniche innovative di produzione (*additive manufacturing*)

- sviluppare tecnologie additive per le applicazioni aeronautiche e spaziali per diversi materiali dai materiali plastici, ai ceramici alle leghe metalliche;
- ridurre le masse grazie ad ottimizzazioni topologiche delle forme strutturali;
- ridurre il numero dei componenti strutturali ed ottenere conseguenti miglioramenti nei processi di assemblaggio ed integrazione;
- consentire la realizzazione di sistemi spaziali e di habitat da realizzare in orbita e su siti diversi dalla Terra;
- consentire la realizzazione nelle sedi operative di parti di ricambio in sostituzione di parti danneggiate;
- sviluppare tecnologie innovative di realizzazione dei compositi (sia termoisolanti che termoplastici) con particolare attenzione alla riduzione dei costi ed alle produzioni *out-of-autoclave*;
- realizzare nuove tecnologie di produzione di strutture in materiale metallico, con particolare attenzione alla qualità del processo ed alla riduzione dei costi;
- sviluppare processi di lavorazioni con produzione ridotta di scarti industriali e a ridotto impatto ambientale.

Impatti

Gli impatti generali delle attività di R&D di strutture e materiali innovativi per l'aeronautica e lo spazio riguarderanno:

- l'elevazione delle prestazioni di velivoli per missioni innovative;
- il miglioramento delle condizioni generali di sicurezza del volo;
- la generazione di nuovi standard di manutenzione caratterizzati da maggiore efficienza e minor costo;
- il miglioramento dell'efficienza energetica con il recupero di energia dalle vibrazioni o altra forma di energia disponibile;
- il miglioramento della sostenibilità del trasporto aereo e dei voli spaziali, sia in termini di costi ambientali che di costi economici;
- la possibilità di costruzione di componenti al di fuori dell'ambiente della fabbrica, in contesti operativi che, per le applicazioni spaziali dovranno riguardare la produzione nell'ambiente spaziale, in condizioni orbitali o di crociera fino alla realizzazione di componenti sulla superficie lunare o in altri ambienti quali quello di Marte;
- l'evoluzione dei processi produttivi per la realizzazione di componenti a prestazioni strutturali più elevate ed allineate con le logiche di digitalizzazione dei processi produttivi tipici dell'industria 4.0;
- una maggiore competitività delle imprese nazionali nel contesto internazionale;
- l'innalzamento dei livelli di *readiness* tecnologica (TRL) di soluzioni strutturali innovative per una diretta applicazione sui prodotti;
- il mantenimento della posizione di *leadership* nazionale delle costruzioni in materiale composito che caratterizzano a livello internazionale sia il comparto aeronautico-elicotteristico che quello spaziale (dei satelliti come dei lanciatori);
- garantire la competitività industriale nazionale sui processi di manifattura additiva per strutture in materiali metallico, plastico e ceramico;
- consentire al sistema Paese di partecipare allo sviluppo di velivoli innovativi nei quali, come i velivoli per volo suborbitale ed ipersonici, gli aspetti strutturali e termostrutturali sono critici.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

La ricerca e sviluppo nelle strutture aeronautiche e spaziali assume una dimensione tipicamente interdisciplinare e multifunzionale per le connessioni fisiche che tutti i dispositivi e componenti di bordo hanno necessariamente con la struttura che ne costituisce il supporto e l'alloggiamento fisico. I velivoli aeronautici e spaziali sono sistemi



ingegneristici complessi le cui prestazioni sono garantite da tutte le parti che operano in modo integrato. Peraltro le strutture, integrate di sensoristica e di componenti elettroniche di varia natura, assumono le caratteristiche essi stessi di sistemi (sistemi materiali) dove la componente di generazione e gestione dei dati assume un ruolo sempre più rilevante. Tra le interconnessioni di maggiore rilevanza si possono citare:

- l’Innovazione per l’industria manifatturiera (ad es. per le applicazioni delle tecnologie additive);
- l’*High performance computing and big data* (ad es. per le analisi strutturali a supporto del progetto e per la gestione dei dati sullo stato di integrità strutturale);
- le *Green technologies* (la riduzione della massa strutturale dei velivoli è uno dei maggiori fattori di riduzione dell’impatto ambientale del volo atmosferico);
- la transizione digitale e la *cybersecurity*, considerando che l’intera vita dei componenti strutturali sarà soggetta ad un monitoraggio che in prospettiva le seguirà per tutta la vita operativa, avranno una interconnessione di grande rilievo (es. grazie al 5G).

Forte è l’interconnessione con tutte le altre articolazioni dell’ambito Aerospazio nelle quali è importante l’aspetto strutturale e manutentivo e la necessità di utilizzo di nuovi materiali, ad esempio i Velivoli ad ala rotante di nuova generazione, la Riduzione dell’impatto ambientale, il Volo suborbitale e ipersonico, l’Accesso allo spazio, i Satelliti di nuova generazione, l’Esplorazione umana dello spazio e l’Esplorazione ed osservazione dell’Universo.

Key Performance Indicators

Per valutare gli esiti di finanziamenti per l’innovazione del settore delle Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative si possono considerare i seguenti indicatori:

- contributo all’incremento delle prestazioni generali di volo degli aeromobili e dei veicoli spaziali ed aerospaziali o alla possibilità di sviluppo di velivoli di nuova concezione;
- riduzione delle masse strutturali dei velivoli aeronautici e spaziali;
- riduzione del numero di componenti da assemblare e dei relativi tempi di produzione;
- riduzione dei costi di produzione;
- riduzione degli scarti di produzione industriale;
- aumento dei tempi operativi e simultanea riduzione dei tempi di *maintenance* (fuori servizio);
- innalzamento delle condizioni di esercizio dei componenti strutturali in condizioni ambientali estreme (ad esempio temperature molto elevate o molto basse).

Articolazione 5. Controllo del traffico aereo

Lo sviluppo di soluzioni innovative nell’ambito del controllo e della gestione del traffico aereo (*ATM Air Traffic Management*) costituisce un elemento fondamentale per garantire lo sviluppo complessivo del trasporto aereo. Sono stati attivati diversi programmi di sviluppo a livello internazionale che definiscono le linee guida per la ricerca in questo settore. Si cita, anzitutto, il programma europeo SESAR (Single European Sky ATM Research Joint Undertaking) che ha appena riportato le linee guida per i prossimi anni nel documento *Masterplan 2020*, ma anche quello statunitense *NextGEN* che ha definito priorità simili nel documento *NextGEN Priorities Joint Implementation Plan CY2019-2021*. Esperienze simili sono presenti a tutti i livelli internazionali, includendo aree in cui il traffico aereo ha avuto uno sviluppo più forte proprio negli ultimi anni, quale l’area del Sud Est Asiatico.

Dalla documentazione di tali programmi possono essere definite tre linee guida principali che determinano lo sviluppo delle attività di ricerca nel controllo del traffico aereo:

- I. L’impiego di soluzioni tecnologiche avanzate, a bordo ed a terra, utili a gestire le condizioni di congestione del traffico e di incremento di specifiche tipologie di traffico, quali l’aviazione generale. Tali soluzioni fanno riferimento al volo in rotta ma anche e soprattutto alla situazione di *bottleneck* determinata dagli aeroporti; si inseriscono in questa linea guida i successivi obiettivi di dettaglio (1) (2) (5) (7).



- II. L'individuazione di procedure e tecnologie utili a mitigare l'impatto ambientale e sociale dell'aeronautica, non solo per quanto attiene le emissioni inquinanti, ma anche per la definizione accurata del rischio e dell'impatto delle operazioni aeronautiche; si inseriscono in questa linea guida i successivi obiettivi di dettaglio (2) (3) (4).
- III. L'integrazione di nuove forme di traffico aereo, quali i velivoli *Unmanned* ed i velivoli *Urban Air Mobility*; si inseriscono in questa linea guida i successivi obiettivi di dettaglio (6) (8).

L'impatto della pandemia Covid19 ha determinato uno scenario critico a livello mondiale per l'utilizzo dei sistemi di trasporto aereo. Anche se si tratta di un problema molto recente e sperabilmente temporaneo, tale situazione ha messo in evidenza le principali debolezze del traffico aereo. In questo caso, le prime due linee guida devono orientare la ricerca verso l'individuazione di soluzioni che permettano di incrementare la flessibilità e la resilienza del traffico aereo, con particolare riferimento alle procedure di imbarco ed alla capacità di riprogrammare i flussi di traffico in breve tempo anche su grande scala.

Obiettivi

Obiettivo fondamentale del PNR è mantenere la posizione nazionale di protagonista a livello mondiale nel campo dei sistemi per la gestione e la sicurezza del traffico aereo. A tal fine gli obiettivi di dettaglio della ricerca nel settore del controllo del traffico aereo partono dalle linee guida descritte e identificano delle attività specifiche utili ad incrementare la capacità del sistema e a gestire adeguatamente le problematiche e le emergenze, anche attraverso l'automazione delle funzioni critiche e l'implementazione di sistemi di supporto decisionale al pilota per migliorare la sicurezza del volo e la protezione da minacce fisiche e cyber. La digitalizzazione e l'automazione saranno punti chiave dell'evoluzione dell'ATM nei prossimi anni¹³ e in maggiore dettaglio si possono elencare i seguenti filoni di attività:

- (1) Algoritmi di predizione traiettorie dei velivoli basati, ad esempio, su tecniche di machine learning per il miglioramento delle prestazioni, per la riduzione rischi di congestione, per il Collaborative Decision Making, per forme avanzate di navigazione come il Continuous descent/climb, la performance based navigation e la 4D navigation.
- (2) Modelli di simulazione per utilizzo in fase strategica (progettazione delle rotte, delle nuove procedure, analisi dell'impatto degli aeroporti) e in fase tattica (soluzione delle situazioni critiche - Digital Twins); sviluppo di metodologie di fleet management che permettano alle compagnie aeree di trovare soluzioni resilienti che rispondano al meglio in scenari disruptive.
- (3) Procedure per rilevare errori umani e suggerire soluzioni di recovery basate su soluzioni di Decision Making.
- (4) Realtà Aumentata/Virtuale per lo sviluppo di remote/virtual towers, per permettere una gestione del traffico anche da siti non co-locali e garantire una maggiore flessibilità operativa, e per il supporto alle operazioni in condizioni di scarsa visibilità, sviluppo di Advanced Surface Movement Guidance & Control Systems;
- (5) Data fusion per aumento delle prestazioni di integrità della navigazione satellitare, anche in configurazione integrata con sistemi inerziali; miglioramento dell'accuratezza, delle modalità di acquisizione e della gestione integrata delle informazioni meteorologiche; misure carrier-phase, soprattutto per il supporto al decollo e all'atterraggio in alternativa all'ILS (Instrument Landing System);
- (6) Sviluppo di soluzioni See and avoid ibride per sistemi unmanned ed ACAS di velivoli tradizionali;
- (7) ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast) per incrementare l'autonomia dei velivoli (self-separation);
- (8) Unmanned Traffic Management (UTM) e interazioni tra ATM ed UTM in prossimità degli aerodromi; tali soluzioni potranno riferirsi al dominio CNS (Communication Navigation Surveillance) considerando l'utilizzo di tecnologie già disponibili per altre applicazioni, quali la telefonia mobile 5G.

Impatti

Il traffico aereo europeo, nella condizione standard riferita al 2019, prevede la gestione di un numero di voli medio pari a circa 30000 voli al giorno, di cui circa 4000 riguardano il traffico che sorvola l'Italia. La situazione italiana presenta

¹³ <https://www.sesarju.eu/news/new-call-launched-sesar-exploratory-research>.



delle peculiarità, poiché l'Italia ha una posizione di frontiera rispetto allo spazio aereo europeo ed è caratterizzata da una ancora limitata integrazione del traffico aereo con gli altri sistemi di trasporto, quali quello terrestre e navale.

Questi numeri hanno subito un brusco ridimensionamento dall'avvento della pandemia Covid19 che ha determinato, ad oggi, una riduzione fino al 90% del traffico. Fino a prima della pandemia, il traffico aereo era in costante crescita con una tendenza a concentrarsi su specifiche direttrici, divenendo il mezzo di trasporto prevalente per tutti gli spostamenti superiori alle 500 miglia nautiche. La tipologia di innovazioni introdotte in tale settore riguarda principalmente l'introduzione di nuove tecnologie, specialmente quelle intese ad incrementare l'autonomia operativa dei velivoli, l'uso di nuove infrastrutture e lo sviluppo di nuove procedure. Lo scopo di tale innovazione è, principalmente, quello di ridurre al minimo gli impatti negativi del traffico in termini ambientali, economici e sociali mantenendo standard adeguati di sicurezza. Tali impatti riguardano, ad esempio, i ritardi, la gestione delle condizioni meteorologiche, il rischio sulla sicurezza e le emissioni inquinanti.

Un altro impatto importante nell'innovazione del traffico aereo è la capacità di interconnessione con altre forme di trasporto. Tipicamente, un viaggio aereo costituisce solo un segmento di uno spostamento di persone e merci. Pertanto, l'ottimizzazione dell'integrazione del traffico aereo con le altre forme di traffico terrestri e marittime costituisce un obiettivo fondamentale per l'ottimizzazione complessiva del trasporto nazionale ed europeo. Un'integrazione efficiente prevede, anzitutto, la definizione di standard operativi uniformi. Questa necessità va temperata con le caratteristiche peculiari del traffico aereo che prevede limitazioni, anche importanti, legate a problemi come meteo e visibilità che possono essere meno significativi in altri ambiti, quali la logistica a terra.

Un ultimo impatto importante è quello individuato dall'integrazione con nuove forme di traffico, quali quelle dei velivoli *Unmanned*. In tale ambito, è possibile distinguere due filoni di riferimento: l'integrazione dei velivoli medio-grandi nello spazio aereo standard garantendo il mantenimento dei livelli di sicurezza e l'integrazione dello spazio aereo standard con quello riservato ai piccoli velivoli *Unmanned*, i droni, al fine di garantire operatività in sicurezza in tutti e due i contesti. In tal caso, si considera il cosiddetto protocollo *Unmanned Traffic Management* che riveste un'importanza fondamentale soprattutto nelle regioni in prossimità degli aeroporti e delle aree urbane. La disponibilità di sistemi, infrastrutture e procedure abilitanti per tale integrazione potranno determinare un notevole beneficio in termini di ricadute economiche, possibilità di sviluppo e sicurezza

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'articolazione Controllo del traffico aereo e le attività di ricerca elencate presentano diverse interazioni multidisciplinari con ambiti tematici contigui.

Anzitutto, vanno considerati l'ambito tematico "Mobilità sostenibile", relativamente all'integrazione del traffico aereo nello sviluppo di sistemi di trasporto innovativi e interconnessi, l'ambito tematico "Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti" per la condivisione di standard nella sicurezza e nella resilienza dei sistemi e l'ambito tematico "Cybersecurity" per gli aspetti di sicurezza informatica, ad esempio data link sicuri.

Per quanto riguarda il grande ambito "Informatica, Industria, Aerospazio" esiste una interconnessione molto forte con gli ambiti "High Performace Computing, Big Data" e "Intelligenza artificiale" per tutti gli aspetti di gestione dei big-data e per i processi di data fusion in attività come il miglioramento delle prestazioni di navigazione, di *decision-making* per la risoluzione dei problemi quali la congestione dovuta a questioni di natura antropica o meteorologica e, infine, di analisi dati e immagini per applicazioni quali il rilevamento di ostacoli.

Nell'ambito Aerospazio, forti interconnessioni di tipo scientifico e tecnologico esistono con le articolazioni "Velivoli ad ala rotante di nuova generazione" e "Velivoli autonomi", per quanto riguarda lo sviluppo e l'inserimento di queste nuove piattaforme aerospaziali nel traffico civile, e con l'articolazione "Osservazione della Terra (OT), Telecomunicazioni (TLC) e Navigazione" per gli aspetti di navigazione satellitare, in particolare con riferimento al sistema europeo Galileo. Mentre un forte impatto sarà rilevabile sull'articolazione "Riduzione impatto ambientale in aeronautica" grazie alla riduzione dei consumi ottenibile dall'ottimizzazione dell'ATM e più in generale dalla semplificazione e dalla velocizzazione dell'accesso dello spazio aereo. Infine, interconnessioni ci sono anche con Esplorazione ed osservazione dell'Universo per gli aspetti legati allo *Space Weather*.



Key Performance Indicators

Per valutare gli esiti di finanziamenti per l'innovazione del settore del Controllo del traffico aereo si possono considerare i seguenti indicatori:

- 1) Miglioramento della capacità del traffico aereo, ad esempio in termini di:
 - a. aumento delle opportunità di accesso allo spazio aereo;
 - b. aumento del volume economico del settore.
- 2) Aumento dei livelli di sicurezza e riduzione dell'impatto ambientale per effetto dell'aumento di efficienza di tutte le fasi di volo.
- 3) Aumento dell'autonomia del traffico aereo, intesa come aumento dell'automazione e dell'impiego di sistemi elettronici a terra e in volo, con piloti e controllori in carico solo di operazioni di alto livello.
- 4) Integrazione con altre forme di traffico (unmanned e urban air mobility) in termini di tecnologie e di standardizzazione delle procedure.
- 5) Sviluppo di soluzioni See and avoid ibride

Articolazione 6. Volo suborbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro

I recenti sviluppi nel settore hanno posto l'attenzione su una nuova tipologia di piattaforme e regimi di volo grazie all'introduzione di nuove tecnologie e la vasta gamma di possibili applicazioni che rendono l'accesso allo spazio più economico e frequente a quote oggi inaccessibili ad aerei e satelliti.

Queste piattaforme possono essere classificate in due categorie principali:

- Piattaforme stratosferiche, palloni e *High Altitude Platforms* (HAP). Sono sistemi che operano nella fascia atmosferica, generalmente tra circa 20 e 50 km, al di sopra dello spazio aeronautico controllato. Le condizioni ambientali rendono particolarmente sfidanti diversi aspetti del volo, quali la dinamica in considerazione dei forti venti in quota che possono raggiungere i 100 km/h, e il comportamento dei materiali in considerazione della forte esposizione alle radiazioni ionizzanti.
- Piattaforme suborbitali. Sono sistemi che raggiungono circa 100 km di quota e velocità pari a Mach 3 e comprendono diversi elementi comuni, sia a livello di design del sistema che delle tecnologie abilitanti, con il rientro atmosferico e il volo ipersonico, che avviene comunque a quote e numeri di Mach superiori. Tali sistemi necessitano di una continua ed incrementale acquisizione di sviluppi tecnologici fino alla maturazione attraverso dimostrazione e validazione in volo, che consentano di raggiungere l'ambizioso traguardo dei sistemi di volo suborbitale point-to-point.
- Piattaforme stratosferiche. Negli ultimi anni, alla tradizione del lancio di palloni stratosferici si è registrato un nuovo interesse verso le HAP grazie alle loro caratteristiche di complementarità con le piattaforme satellitari. Uno dei vantaggi della piattaforma stratosferica è la capacità di persistenza su un obiettivo *target* da osservare. Infatti, mentre un satellite di osservazione della Terra in orbita LEO, ha un *revisit time* legato all'orbita, la piattaforma stratosferica è in grado di adattarsi alle diverse condizioni e situazioni che necessitano una osservazione e monitoraggio continuativo di un determinato *target*. Inoltre, a differenza dei lunghi tempi di sviluppo di un satellite, quelli per una piattaforma stratosferica sono alquanto limitati anche in termini di gestione operativa, cui si aggiunge l'ulteriore vantaggio del recupero della piattaforma stessa per un nuovo riutilizzo in diversi scenari di missione. Per quanto riguarda le HAP, recentemente la NASA ha proposto il *Centennial Challenge Opportunity*. In particolare nel contesto internazionale ci sono diverse iniziative che, per garantire l'accesso ad internet anche in zone non accessibili via terra, o per monitoraggio e osservazione del territorio prevedono lo sviluppo e l'utilizzo di piattaforme stratosferiche. In particolare citiamo:
 - AIRBUS Defence che ha acquisito dalla Qinetiq la piattaforma sperimentale ad ala fissa ZEPHYR, che grazie a sostanziali evoluzioni tecnologiche, è diventato il primo prodotto stratosferico propulso ad energia solare oggi disponibile. Ulteriori evoluzioni sono indirizzate ad un aumento del *payload* fino a 20 kg.



- Thales Alenia Space francese che sta sviluppando un prototipo di piattaforma stratosferica denominata Stratobus, una piattaforma con peso al decollo di 6900 kg e payload di osservazione della Terra e telecomunicazioni e che potrebbe avere valenza duale anche in ambito di Difesa europea.
- Piattaforme suborbitali. A livello mondiale, gli Stati Uniti hanno incontestabilmente e storicamente una incontrastata *leadership*, avendo sviluppato diversi programmi per la realizzazione di una capacità di volo aerospaziale in ambito ipersonico e suborbitale con capacità di rientro. In particolare gli sviluppi tecnologici sul rientro atmosferico sono da sempre stati focalizzati sul concetto di riutilizzabilità a partire dal programma dello Space Shuttle fino ad arrivare ai moderni progetti di trasporto spaziale che hanno visto l'entrata di operatori commerciali, tra i quali: (i) Space X, che, dopo il volo effettuato con successo del Crew Dragon con astronauti verso la ISS, ha come prossimo *target* la messa in opera della navetta Starship per missioni verso Marte, (ii) Virgin Galactic che ha saputo realizzare sistemi per volo pseudo-suborbitale compreso uno spaziorporto commerciale dedicato al turismo spaziale denominato 'Spaceport America' nel New Mexico. In Europa sono stati avviati diversi progetti sia a livello europeo che nazionale: nell'ambito del rientro atmosferico si annoverano i programmi ESA a guida italiana, EXPERT, I-XV e SPACE RIDER, che, capitalizzando su sfide tecnologiche crescenti, hanno portato al successo della missione I-XV e che stanno contribuendo oggi in maniera significativa alla progettazione e allo sviluppo del veicolo orbitale e di rientro, Space Rider. Vanno menzionate anche le attività svolte dal CIRA con il progetto USV con i due veicoli di rientro Castore e Polluce negli anni 2000. La leadership italiana nel volo ipersonico e suborbitale è confermata anche dalla presenza di realtà nazionali capofila di progetti europei che analizzeranno nel medio termine sistemi prototipali. Tali sviluppi sono accompagnati da collaborazioni, sia nazionali sia internazionali, di regolamentazioni dedicate alle nuove forme di trasporto. A titolo esemplificativo si rammenta la partecipazione ai progetti HEXAFLY (2011-2014) e HEXAFLY-INT che miravano all'analisi ed al test ad alte velocità di tecnologie adatte allo sviluppo di velivoli ipersonici, al progetto STRATOFly, studio di fattibilità per veicolo ipersonico, la partecipazione al FAST 20XX, al LAPCAT, al ATTLAS aventi l'obiettivo di studiare e sviluppare tecnologie abilitanti per i voli suborbitali ed ipersonici. È inoltre importante evidenziare per la *leadership* italiana nel settore per le infrastrutture di terra a supporto del volo suborbitale la scelta di Grottaglie come potenziale spaziorporto europeo.

Obiettivi

- Piattaforme stratosferiche. L'obiettivo nel medio termine è lo sviluppo di competenze nazionali per il lancio, la gestione autonoma e lo sviluppo di nuovi sistemi in grado di operare in persistenza nella stratosfera, aprendo allo sviluppo di nuove applicazioni.
L'obiettivo principale è lo sviluppo delle tecnologie abilitanti nei seguenti ambiti: (a) sistemi di puntamento ad alta precisione; (b) Sistemi di *on-board processing* avanzato con ausilio di intelligenza artificiale; (c) Sistemi di telemetria che utilizzino anche sistemi satellitari; (d) Sistemi di potenza e alimentazione; (e) Analisi e previsione della dinamica di volo stratosferica e relativa traiettoria; (f) Sviluppi di strutture e materiali idonei alle condizioni ambientali ed alle variazioni volumetriche di configurazione.
- Piattaforme suborbitali. A livello nazionale le competenze già sviluppate riguardanti il rientro sono costantemente mantenute ed aggiornate grazie a continue attività di Ricerca e Sviluppo che consentono di mantenere la *leadership* nel settore. In considerazione del contesto di sviluppo, l'Agenzia Spaziale Italiana sta definendo una *roadmap* strategica nazionale delle tecnologie abilitanti che armonizzi la collaborazione tra le realtà tecnico-scientifiche nazionali e gli interessi del nostro Paese.
L'obiettivo principale è lo sviluppo delle tecnologie abilitanti nei seguenti ambiti: (a) Sistemi propulsivi; (b) avionica avanzata; (c) Strutture e protezioni termiche; (d) Aerodinamica e Aero-termodinamica; (e) riusabilità.

Impatti

I principali impatti di questa articolazione saranno:

- Controllo in tempo reale dei confini nazionali, monitoraggio di attività di inquinamento e sviluppo di capacità osservativa di eventi anomali in aree sensibili con strumenti e algoritmi di '*Scene Recognition*';



- Trasferimento tecnologico delle competenze e sistemi dal settore spaziale che consolidino la *leadership* nazionale anche in altri campi;
- Sviluppo abilitante per sistemi orbitali riutilizzabili per *In-orbit Servicing*;
- Sviluppo di capacità di *In-Flight Demonstration*.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Numerose sono le interconnessioni di questa articolazione con altri ambiti, quali:

- Innovazione per l'Industria Manifatturiera per gli aspetti di produzione di nuovi materiali con nuovi processi;
- Intelligenza Artificiale, *High performance Computing* e *Big Data* per gli aspetti di processamento dati;
- Sicurezza delle Strutture, Infrastrutture, Reti, Sistemi Naturali e *Cybersecurity* per le opportunità di operare in questi campi offerti da queste piattaforme.

Numerose le interconnessioni anche nell'ambito, con l'articolazione Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative per gli aspetti connessi a materiali e tecnologie, Controllo del traffico aereo per gli aspetti di interazione nello spazio aereo civile, Velivoli autonomi per gli aspetti connessi con le tecnologie per il volo autonomo, e con tutte le altre articolazioni a maggiore caratterizzazione spaziale.

Key Performance Indicators

La valutazione del raggiungimento degli obiettivi individuati per lo sviluppo del settore sarà effettuata con:

- A. Sviluppo di un dimostratore, in grado di volare nella stratosfera per dimostrare in volo lo svolgimento di una missione di monitoraggio persistente e sviluppo delle capacità di lancio, gestione e recupero.
- B. Sviluppo di un prototipo *unmanned* di accesso allo spazio a decollo orizzontale con rientro e atterraggio su pista e lo sviluppo delle capacità di lancio, gestione e recupero.

Articolazione 7. Osservazione della terra (OT), telecomunicazioni (TLC) e navigazione

Le tecnologie spaziali per l'Osservazione della Terra (OT), le Telecomunicazioni (TLC) e la Navigazione sono state importanti motori dello sviluppo tecnologico e della trasformazione che ha investito il mondo negli ultimi decenni. Senza di esse non avremmo la localizzazione e navigazione satellitare, la televisione satellitare ed i sistemi osservativi alla scala globale per l'ambiente e la sicurezza del pianeta che oggi ci permettono di misurare dallo Spazio grandezze che prima erano al di là delle nostre capacità osservative¹⁴.

Nei settori delle TLC, della Navigazione GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) e soprattutto dell'OT, l'Italia ha una posizione di eccellenza su tutta la catena del valore, dal segmento spaziale a quello dei servizi e delle applicazioni, riconosciuta a livello internazionale grazie alle sue competenze tecnologiche, metodologiche, scientifiche, industriali e organizzative. Ciò si sviluppa con una sinergia consolidata tra l'ASI, le Aziende del Settore, il Sistema della Ricerca (Università, Enti Pubblici e Centri di Ricerca), il Sistema degli Utenti Pubblici e Privati. L'Italia contribuisce in modo sostanziale nei settori dell'OT, delle TLC e della Navigazione ai programmi dell'ESA (che vede nell'Italia il terzo contributore dell'Agenzia) ed a quelli dell'Europa. In particolare, l'Italia partecipa ai programmi EGNOS e Galileo nella navigazione, ARTES nella comunicazione ed al futuro programma GovSatCom per le telecomunicazioni satellitari governative. Inoltre, l'Italia è attualmente il secondo contributore del programma Europeo Copernicus per l'OT attraverso lo sviluppo di sensori e costellazioni satellitari, denominate Sentinel, oltre che di servizi avanzati; si segnala altresì che il nostro paese ha recentemente ottenuto un importante risultato, acquisendo il ruolo di leadership nello sviluppo delle nuove Sentinel ROSE-L e CIMR ed una importante partecipazione nella realizzazione del payload della

¹⁴ [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614560/EPRS_STU\(2018\)614560_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/614560/EPRS_STU(2018)614560_EN.pdf),
https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/EPRS_BRI_Copernicus_matters.pdf



sentinella CHIME. Inoltre l'Italia è presente, anche con funzioni di coordinamento, in infrastrutture di ricerca europee (EPOS, ACTRIS ecc.). A livello nazionale l'Italia sta dando vita ad un ambizioso programma di sviluppo della Space Economy¹⁵. Una prima attuazione di tale iniziativa è il "Piano a Stralcio Space Economy" nel cui ambito è in corso lo sviluppo del programma Ital-GovSatCom, "Mirror" di quello europeo. Inoltre, nel settore di OT il nostro paese ha sviluppato per il tramite dell'ASI missioni nazionali all'avanguardia quali la costellazione di sensori SAR in banda X, denominata COSMO-SkyMed di I e II generazione (*best practice* di missione duale in collaborazione con i Ministeri della Difesa e della Ricerca), il satellite iperspettrale PRISMA, e sta programmando quelle basate sulla nuova piattaforma PLATINO.

Queste eccellenze nazionali esistono solo in pochi altri Paesi e rappresentano un valore aggiunto fondamentale per lo sviluppo di nuovi sistemi, sensori, prodotti e servizi. Si ritiene pertanto fondamentale sostenere lo sviluppo delle attività di ricerca nei settori dell'OT, delle TLC e della Navigazione attraverso le seguenti tre linee guida principali:

- I. Rafforzamento della partecipazione nazionale ai programmi europei e delle collaborazioni internazionali, valorizzazione e promozione delle iniziative nazionali, sviluppo di sensori innovativi di OT (vedi successivi obiettivi di dettaglio 1 e 2)
- II. Sviluppo di nuove metodologie per l'estrazione di informazioni da dati di OT e di servizi innovativi e tecniche satellitari (vedi successivi obiettivi di dettaglio 3 e 4);
- III. Sviluppo di componentistica avanzata per sistemi di OT, TLC e GNSS e di tecnologie per nuovi canali di comunicazione (vedi successivi obiettivi di dettaglio 5 e 6).

Obiettivi

Al fine di rafforzare il posizionamento nazionale è necessario focalizzare l'azione di sviluppo sui seguenti principali obiettivi di dettaglio:

- (1) Consolidare il ruolo dell'Italia rafforzando la partecipazione ai programmi europei e valorizzando le iniziative nazionali. Per far ciò è cruciale: a) essere attivi con ruoli di *primeship* nell'evoluzione dei programmi europei Copernicus, Galileo, EGNOS e di quello Earth Explorer dell'ESA (come ad esempio nel caso della missione FORUM), contribuendo alla realizzazione di sistemi spaziali e di terra, payload e servizi innovativi; b) valorizzare le iniziative nazionali (COSMO-SkyMed Second Generation, PRISMA, PLATINO, Ital-GovSatCom), anche in un'ottica evolutiva, e consolidare le collaborazioni bilaterali quali SHALOM (Israele), SAOCOM (Argentina), GEOSAR (Russia), TIR-SBG (USA); c) per quanto concerne i sensori di OT già realizzati permettere un accesso ai dati acquisiti, sia grezzi, sia processati, che ne consenta una piena fruizione, superando le limitazioni che attualmente ne penalizzano il pieno utilizzo.
- (2) Sviluppo di sensori innovativi di OT. In questo contesto sono numerosi gli ambiti di grande interesse: a) realizzazione di sensori ottici pancromatici e multi/iper-spettrali ad alta risoluzione, di sensori IR, lidar, radiometri a microonde multi-banda e multi-fascio; b) sviluppo di sensori SAR avanzati (ad esempio con modalità operative che rendono compatibili grandi *swath* e risoluzioni spaziali spinte), dotati di capacità multi-canale, polarimetrici, distribuiti su costellazioni/formazioni di satelliti; in questo ambito è interessante ricordare il SAR fotonico, nel quale grazie all'impiego delle tecnologie fotoniche si prevede una significativa riduzione di pesi, ingombri e richieste di potenza e una maggiore riconfigurabilità; c) potenziamento dei sistemi esistenti e di quelli di nuova generazione tramite l'affiancamento di ricevitori passivi a basso costo, ad esempio basati su formazioni di CubeSat riceventi in grado di sfruttare trasmettitori di opportunità; d) sviluppo di SAR geosincroni in grado di garantire la disponibilità quasi continua di dati radar su scale regionali.
- (3) Nuove metodologie basate su tecnologie ICT (HPC, AI, IoT) per l'estrazione automatica di informazioni da dati di OT in servizi *downstream* ad alto valore aggiunto. Molto rilevante è il tema dell'estrazione dell'informazione da dati multiplatforma e/o multi-sensore (ottico, infrarosso, microonde, passivi/attivi), integrati con quelli geo-localizzati mediante GNSS (in-situ, terrestri/marini, satellitari, aereo, droni); è però anche importantissimo favorire l'integrazione tra osservazioni e modelli (ad esempio climatici, radiativi, previsionali, assimilazione ecc.). In questo contesto si raccomanda di promuovere l'utilizzo di metodologie,

¹⁵ https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/all_6_Piano_Strategico_Space_Economy_master_13052016_regioni_final.pdf.



standard e tecnologie ICT quali HPC (*cloud computing*, GPU), *web sensors* e *web services*, IoT, tecniche di *Machine* e *Deep Learning* e più in generale di metodologie basate sull'Intelligenza Artificiale (AI), mantenendo alta l'attenzione alla *security* delle infrastrutture informatiche e di telecomunicazione. Tutto ciò va accompagnato dallo sviluppo di segmenti terra di nuova generazione, in grado di gestire crescenti *rate* e volumi di dati, inclusi quelli acquisiti da costellazioni e formazioni di satelliti.

- (4) Applicazioni innovative e tecniche satellitari. Un altro elemento particolarmente importante è rappresentato dallo sviluppo di nuove applicazioni spaziali e terrestri, che sfruttino anche le nuove tecnologie di AI, basate sulla integrazione tra tecnologie di OT, SATCOM ed ICT, dallo sviluppo di applicazioni innovative nel settore del GNSS (e.g. la guida autonoma in ambito ferroviario, automotive, marittimo e per i droni, la *smart mobility*), l'utilizzo innovativo dei segnali riflessi del GNSS come tecnica di *remote sensing* (GNSS-R), il posizionamento e la sincronizzazione con GNSS, l'estensione della copertura GNSS allo Space Service Volume. Tali sviluppi permettono di abilitare servizi innovativi in contesti ambientali, anche di emergenza e di sicurezza, ma richiedono anche interventi infrastrutturali. Ad esempio lo sviluppo di servizi integrati rende necessaria una infrastruttura nazionale, basata su reti di monitoraggio locale e *augmentation* (sia GNSS, sia SATCOM), includendo algoritmi e tecniche innovative PPP (*Precise Point Positioning*) basate sui prossimi nuovi servizi di Galileo (Autenticazione e *High Accuracy*).
- (5) Componentistica avanzata, miniaturizzata, ad alte prestazioni e costo ridotto per sistemi di OT, TLC e GNSS. Gli sviluppi della componentistica in questi settori sono molteplici e risulta essenziale promuovere tecniche manifatturiere innovative, quali la manifattura additiva (3D e 4D) e tecnologie di micro-fabbricazione (su metallo o su silicio). Si raccomanda ad esempio, in ambito OT, lo sviluppo di antenne dispiegabili a riflettore di grandi dimensioni, o ultraleggere e/o antenne *array* planari, per operazioni sia nella banda delle microonde (bande L, C, X e a salire fino a Ka), sia nell'ottico (dal vicino ultravioletto fino all'infrarosso termico). Rilevanti in ambito TLC sono per esempio gli sviluppi relativi ad antenne planari a meta-superficie ad alta efficienza e ingombri ridotti e quelli in ambito GNSS di ricevitori multi-costellazione, multi-frequenza ibridizzati con diversi sensori (inerziali, ambientali, ottici), di orologi atomici di bordo ad alte prestazioni ed orologi ottici trasportabili.
- (6) Tecnologie per nuovi canali di comunicazione Risulta molto importante supportare lo sviluppo di tecnologie innovative, ancora a TRL molto basso, ma che rappresentano la sfida del futuro come le comunicazioni quantistiche, la componentistica fotonica e gli studi propagativi per comunicazioni ottiche (in particolare intra-satellitari). In questo ambito, obiettivi rilevanti sono lo sviluppo di tecnologie per l'utilizzo di nuovi canali di comunicazione orientati ai sistemi di telecomunicazioni ad elevata capacità aggregata e riconfigurabilità in orbita, con particolare riferimento all'utilizzo delle bande Q/V/W per i canali *gateway* delle piattaforme VHTS (*Very High-Throughput Satellites*) ed alle comunicazioni ottiche e quantistiche per collegamenti intra-satellitari in applicazioni *near real-time*.

Infine, nel prossimo decennio è indispensabile sviluppare una maggiore integrazione tra la comunità scientifica ed il sistema della utenza istituzionale e commerciale nella catena di definizione dei prodotti/sensori di OT/TLC/GNSS-Navigazione, consolidare la filiera Utenti-finali/Ricerca/Imprese, il rapporto tra Ricerca e Difesa avviando nuovi programmi duali, e potenziare lo sviluppo di infrastrutture di ricerca.

Impatti

Il principale impatto è certamente rappresentato dal mantenimento (possibilmente il miglioramento) dell'attuale posizionamento italiano nel contesto internazionale dei settori delle TLC, della Navigazione e dell'OT. In questi ambiti la competizione è molto accentuata e il mantenimento del posizionamento non può essere dato assolutamente per scontato. È pertanto necessario che si individuino nuovi percorsi formativi specifici in campi così nuovi e in rapida evoluzione e che si prevedano linee di finanziamento adeguate e stabili nel tempo per la ricerca di base ed industriale, unico modo per permettere al paese di rimanere competitivo in questi settori.

In questo quadro un impatto cruciale è quello rappresentato dai servizi applicativi in quanto essi rappresentano il settore in cui vi è il maggior ritorno dell'investimento. Il raggiungimento degli obiettivi apre la strada ad ulteriori applicazioni di nuova generazione per i settori produttivi (e.g. *smart cities*, guida autonoma, agricoltura di precisione) ed economici



(e.g. nuovi modelli “*pay per use*” o “*on-demand*” per i trasporti, applicazioni nel campo assicurativo) ed in generale per il miglioramento della sicurezza dei cittadini (e.g. monitoraggio del costruito e delle infrastrutture, gestione del rischio).

Lo sviluppo di questa nuova generazione di servizi può avere a sua volta un ulteriore impatto. Il loro allargarsi, aggiungendo nuovi settori, potrà infatti far sì che il sistema della domanda pubblica possa configurarsi come un “*anchor tenancy*” in grado di far crescere servizi commerciali ed a valore aggiunto, innescando un circolo virtuoso in grado di favorire lo sviluppo della filiera complessiva Utenti-finali/Ricerca/Imprese.

Vi è poi un impatto strettamente tecnologico. Il settore spazio è stato da sempre un motore per l’innovazione con ampie ricadute al di fuori del settore spaziale stesso. Questo vale certamente per i settori delle TLC, della Navigazione e dell’OT dove l’investimento nazionale non si limita solo allo sviluppo del Paese in settori tecnologicamente di punta, ma mette a disposizione di altri settori l’innovazione scientifico/tecnologica conseguita.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L’articolazione Osservazione della Terra, Telecomunicazioni e Navigazione presenta numerose interazioni multidisciplinari con ambiti tematici contigui. In particolare, per quanto riguarda il grande ambito “Informatica, Industria, Aerospazio” esiste una interconnessione molto forte con “*High Performace Computing, Big Data*”, “Intelligenza artificiale” e “Transizione digitale” per tutti gli aspetti di gestione ed analisi di *big data* provenienti da dati di OT, di navigazione GNSS e provenienti da altre sorgenti eterogenee. Molto significativa è poi l’interconnessione con “Tecnologie quantistiche” per quanto riguarda lo sviluppo di nuovi canali di comunicazione e con “Robotica” e “Innovazione per l’industria manifatturiera” in riferimento alla realizzazione di nuovi sistemi, sensori e di componentistica avanzata nei settori di OT, TLC e GNSS. Per quanto riguarda poi specificatamente l’ambito “Aerospazio”, forti interconnessioni esistono con le articolazioni relative a “Velivoli autonomi”, “Volo suborbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro”, “Satelliti di nuova generazione”, “Controllo del traffico aereo”, ed “Esplorazione ed osservazione dell’Universo”.

Con riferimento ad ambiti tematici diversi da “Informatica, Industria, Aerospazio”, vanno segnalate le interazioni con l’ambito tematico “Mobilità sostenibile”, relativamente alla automazione del traffico grazie ai servizi Galileo ed alla integrazione tra Galileo e sistemi di TLC e con gli ambiti “Cambiamenti climatici e adattamento”, “Gestione delle risorse agricole” e “Gestione delle risorse marine” per quanto concerne gli sviluppi dei servizi basati su dati di OT. Inoltre, vanno menzionate le interazioni con gli ambiti tematici relativi alla “Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti”, e “Sicurezza sistemi naturali” per quanto riguarda il tema del monitoraggio satellitare, con particolare riferimento all’ambiente costruito ed agli ambiti legati ai rischi sismico, vulcanico ed idrogeologico. Naturalmente le TLC spaziali hanno un ruolo determinate e al tempo stesso sono un *asset* da proteggere per tutti gli aspetti collegati alla “*Cybersecurity*”.

Key Performance Indicators

Per valutare gli esiti di finanziamenti per lo sviluppo del settore della Osservazione della Terra, Telecomunicazioni e Navigazione si possono considerare i seguenti indicatori:

1. Sviluppo di almeno due nuove missioni nazionali di OT;
2. Consolidamento e possibilmente allargamento della partecipazione alla evoluzione dei programmi Copernicus e Galileo ed Earth Explorer;
3. Miglioramento dell’accesso agli archivi dei dati acquisiti dalle missioni di OT nazionali e sviluppate nell’ambito di collaborazioni internazionali (COSMO-SkyMed di I e II generazione, PRISMA, SAOCOM, SHALOM ecc.), attraverso la semplificazione delle procedure utilizzate, l’incremento dei volumi accessibili e la disponibilità di servizi ICT;
4. Consolidamento e standardizzazione dei servizi applicativi realizzati, in stretto collegamento con gli utenti, e sviluppo di nuovi servizi che garantiscano il ritorno degli investimenti effettuati;
5. Sviluppo di software open source per l’estrazione delle informazioni e l’integrazione di dati di OT, di navigazione GNSS e provenienti da ulteriori sorgenti eterogenee (ad esempio IoT).



- Incremento del TRL di sistemi per comunicazioni ottiche e quantistiche.

Articolazione 8. Esplorazione ed osservazione dell'universo

L'esplorazione del Sistema Solare (con sonde interplanetarie o con elementi robotici di superficie) e lo studio dell'Universo alle lunghezze d'onda (o con risoluzioni) inaccessibili da Terra sono punti di eccellenza nazionale. Grazie all'efficace azione di coordinamento dell'ASI in sinergia con gli Istituti/Centri di Ricerca (INAF stakeholder principale con contributi determinanti da INFN e CNR) e delle Università, il nostro Paese ha consolidato nel tempo la sua posizione di primissimo piano nelle missioni scientifiche sia a livello Europeo che mondiale, spesso ricoprendo posizioni di leadership.

Esplorazione ed Osservazione dell'Universo dallo spazio: come?

Programmi dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA). L'Italia è uno dei Paesi fondatori dell'ESA, con una quota annuale che la pone al terzo posto per contribuzione. L'ESA prevede, per statuto, un programma scientifico obbligatorio (al momento in vigore è *Cosmic Vision 2015-2035*) ed uno opzionale (e.g. ExoMars, Hera ecc.), i cui ritorni per il Paese, sia in termini industriali che scientifici, sono garantiti dal coordinamento dell'ASI in collaborazione con una comunità scientifica nazionale (Enti/Centri di Ricerca e Università) di altissimo profilo. In particolare l'ESA coinvolge le istituzioni scientifiche su base competitiva: a seguito di bandi periodici, le istituzioni e i gruppi di ricerca si auto-organizzano in consorzi internazionali che propongono missioni spaziali e/o la strumentazione scientifica da alloggiare a bordo delle missioni stesse, realizzano e qualificano i modelli, e infine elaborano e pubblicano i dati raccolti. In quasi tutte le prossime missioni scientifiche ESA l'Italia ha ruoli significativi e, in alcuni casi, di assoluta leadership, frutto di una grande tradizione in tutti i settori scientifici.

Programmi bilaterali con altre agenzie spaziali. L'Italia partecipa inoltre alle missioni scientifiche attraverso collaborazioni bilaterali con agenzie spaziali internazionali. Gli USA rimangono il partner storico principale, sebbene siano in aumento le richieste di collaborazione bilaterale da parte di altri paesi (e.g. Federazione Russa, Giappone, Cina, Australia, Israele), a testimonianza del fatto che il Paese è percepito come partner affidabile e competente in ambito spaziale, con il quale investire in nuovi progetti comuni.

Programmi nazionali. L'Italia è stata tra le prime grandi nazioni a sviluppare tecniche di osservazione dallo spazio nei raggi X e gamma, con la successiva ideazione, costruzione e messa in opera di missioni spaziali nazionali in banda X/Gamma quali BeppoSAX ed AGILE o di fisica gravitazionale, e.g. LARES. Oltre alla grande rilevanza dei risultati scientifici raggiunti ciò ha consentito ai ricercatori italiani di acquisire un *know-how* ed una posizione di leadership in molte missioni via via realizzate (o in fase di realizzazione) da altre agenzie spaziali (e.g. ESA, NASA, JAXA, CNSA), anche in ambiti molto diversi dall'astrofisica delle alte energie, con importanti contributi dell'industria spaziale nazionale.

Palloni e piattaforme stratosferiche. Consolidata tradizione nazionale nel settore per osservazioni astrofisiche/astro-particellari, cosmologiche e per la raccolta di polveri interplanetarie e interstellari.

Space Situational Awareness (SSA)

L'Italia ha una posizione di eccellenza nel settore SSA, inteso come conoscenza e caratterizzazione degli oggetti e/o fenomeni spaziali di origine naturale o artificiale e delle loro interazioni con l'ambiente circumterrestre. L'obiettivo, in linea con gli Indirizzi di Governo in materia, è quello di garantire un adeguato livello di continuità nella fornitura di servizi e di acquisire una adeguata resilienza intrinseca delle infrastrutture spaziali e terrestri da eventi quali e.g. collisioni accidentali dei satelliti con detriti pericolosi, effetti dello *space weather*, *Near-Earth Objects* (NEO) ecc. Fondamentali le attività di ricerca nel campo della fisica solare e il ruolo strategico rivestito dell'asset esistente di infrastrutture nazionali di osservazione da terra (e.g. rete di piccoli telescopi ottici, ISOC, COMet, CGS, radiotelescopi).



Centri spaziali nazionali nel settore

Fra le grandi infrastrutture astronomiche da terra, esistono una serie di asset nazionali con grandi potenzialità in campo spaziale. Space Science Data Center (SSDC) di proprietà ASI: l'INAF è l'ente maggiormente coinvolto nella gestione del centro, con un importante contributo anche da INFN. Le attività sono rivolte a garantire l'accesso ai dati da missioni spaziali astronomiche (multi-frequenza, multi-missione, multi-messaggero), in corso o passate, e a sviluppare servizi di alto livello per il loro utilizzo. Centro ASI di Geodesia Spaziale (CGS) a Matera: nella presente articolazione fondamentale il suo contributo nel tracciamento dei detriti spaziali. Centro ASI "Luigi Broglio" (Malindi, Kenya): ruolo strategico per il Paese. La sua posizione in latitudine (quasi equatoriale) ed in longitudine (adeguatamente spaziatto rispetto ai principali siti di lancio internazionali) lo rende particolarmente adeguato (e richiesto) per il supporto e controllo in orbita dei satelliti, con particolare riguardo a quelli scientifici. Sardinia Radio Telescope (SRT): grande radio telescopio di proprietà INAF, censito dal MUR fra le Infrastrutture di ricerca di interesse nazionale, SRT è un polo della rete radioastronomica europea VLBI che l'INAF, in collaborazione con l'ASI, con la Difesa, e con alcuni Atenei, sta equipaggiando per attività di *Deep Space Network e Space Surveillance & Tracking Tracking* e che quando utilizzato a questo scopo prende il nome di Sardinia Deep Space Antenna (SDSA). Centri ISOC (Italian SST Operation Centre, Pratica di Mare) e COMet (Centro Operativo per la Meteorologia) di proprietà dell'Aeronautica Militare.

Destinazione Luna (ed oltre...)

Vi è oggi un rinnovato interesse alla Luna, sia da parte di agenzie spaziali internazionali che di privati, con lo scopo di stabilire una presenza umana sostenibile su di essa (e/o in orbita cis-lunare). Le future attività lunari di esplorazione robotica e/o scientifiche saranno quindi principalmente funzionali alla validazione di nuove tecnologie di aiuto per la costruzione di avamposti autosufficienti di supporto delle successive missioni umane, banco di prova per le più ambiziose missioni umane su Marte.

Obiettivi

L'Italia possiede eccellenti capacità nazionali su tutta la filiera dei progetti spaziali (ambiti strategici: *upstream, midstream, downstream*), dall'ideazione della missione, allo sviluppo della strumentazione, alla gestione delle missioni in orbita e sulle superfici dei corpi rocciosi, al supporto da terra alle missioni (simulazioni in laboratorio e/o su siti analoghi, osservazioni da terra dei target di missione ecc.), all'analisi e sfruttamento scientifico dei dati acquisiti. Sei gli interventi principali da perseguire per mantenere alto sia il tenore della produzione scientifica del Paese che il ritorno industriale/tecnologico/sociale e consolidare/migliorare la posizione internazionale acquisita.

(1) Sviluppare strumentazione all'avanguardia. L'Italia ha una notevole esperienza, riconosciuta a livello internazionale, nello sviluppo e gestione di strumentazione spaziale per missioni in ambiti molto diversi tra di loro, i.e. dall'esplorazione del Sistema Solare, all'Astrofisica, alle astro-particelle, agli Exo-planets, alla cosmologia ecc. Le tecnologie costituiscono l'elemento chiave della competitività ed avere strumentazione all'avanguardia è fondamentale per favorire collaborazioni bilaterali con altri paesi ed in ambito ESA. In ambito ESA, in particolare, la realizzazione degli strumenti (payload) è a carico degli stati membri; è la partecipazione a questa componente che assicura il ritorno scientifico e tecnologico avanzato sia alla comunità scientifica che alle industrie nazionali. La mancata partecipazione allo sviluppo degli strumenti equivarrebbe a pagare lancio e operazioni per il solo beneficio di altre nazioni. **È necessario:** mantenere un alto profilo di sviluppo, sia scientifico che tecnologico (i.e. supportare strumentazione innovativa a bassi TLR), che consenta il potenziamento della strumentazione scientifica per le missioni spaziali, in modo da renderla competitiva in termini di prestazioni scientifiche al fine di sostenere le fasi di consolidamento della *readiness* tecnologica richieste da ESA (con particolare attenzione al prossimo programma scientifico obbligatorio ESA, Voyage2050) ed essere coinvolti in missioni bilaterali con altri Paesi.

(2) Aumentare il contributo nazionale in ambito ESA e nell'ambito di collaborazioni internazionali. **È necessario:** **a)** offrire al Paese un adeguato ritorno nell'ambito del programma scientifico ESA, in cui l'Italia ha un indiscusso primato di partecipazione/leadership alle prossime missioni programmate; **b)** assicurare le opportunità di volo e l'accesso ai dati scientifici intensificando le collaborazioni con le maggiori Agenzie spaziali internazionali,



(NASA, JAXA, ASA, CNSA, Roscosmos ecc.) anche come strumento per accrescere la visibilità internazionale del Paese; **c)** definire missioni tecnologiche e scientifiche a beneficio della comunità nazionale per continuare lo sfruttamento delle orbite circumterrestri LEO e la valorizzazione dell'infrastruttura in orbita bassa (ISS e future stazioni spaziali); **d)** assicurare un ritorno industriale significativo della partecipazione italiana alle missioni spaziali (ambito ESA, bilaterale, nazionale), con particolare attenzione alla realtà delle PMI.

(3) Creare le opportunità per missioni spaziali nazionali innovative. È necessario: **a)** mantenere e potenziare le opportunità di missioni spaziali nazionali (e.g. tipo classe SMEX NASA) regolari, in modo sia di capitalizzare il ritorno scientifico sia di permettere l'acquisizione di *know-how* per future posizioni da leadership in missioni scientifiche internazionali di punta; **b)** potenziare l'utilizzo di costellazioni di CubeSat e/o nanosatelliti per esplorazione e osservazione spaziale; **c)** mantenere e potenziare la pluriennale tradizione nazionale nei palloni/piattaforme stratosferici in ambito scientifico e della relativa infrastruttura di supporto, anche per partecipare a progetti di respiro internazionale, quali e.g. HEMERA finanziato dall'Unione Europea.

(4) Potenziare i programmi/missioni in ambito SSA: SST/NEO/SWx e difesa planetaria. È necessario: **a)** monitorare, studiare e modellare i fenomeni di Space Weather (SWx), includendo gli effetti dell'attività solare sulla magnetosfera terrestre e l'interazione distruttiva sugli *asset* terrestri e spaziali (es. reti di satelliti, GPS), nonché il flusso di particelle energetiche/ionizzanti ed i suoi effetti sulle infrastrutture critiche spaziali e terrestri e sulla salute umana; **b)** monitorare lo spazio "profondo" (i.e. oltre l'orbita lunare), in relazione al rischio di avvicinamento e/o impatto catastrofico di corpi celesti di dimensioni rilevante (100-1000 m), includendo asteroidi NEO e meteoroidi. Consolidare i programmi NEO potenziando l'asset delle reti di piccoli telescopi nazionali; **c)** potenziare le attività di *Space Surveillance & Tracking* (SST) per il monitoraggio, tracciamento e catalogazione di satelliti artificiali operanti e dismessi (*space debris*), prodromico allo Space Traffic Management (STM). **d)** promuovere la partecipazione ai programmi scientifici/tecnologici legati a debris removal.

(5) Potenziare i Centri Spaziali Nazionali di settore. È necessario: potenziare i Centri Spaziali Nazionali per **a)** assicurare al Paese una propria capacità tecnologica di telecomunicazione Deep e Near Space, in connessione con la Deep Space Network (NASA) e la ESTRACK (ESA), per consolidare la partecipazione nazionale alle missioni lunari/interplanetarie e per la fornitura di dati di osservazione dell'Universo; **b)** migliorare la posizione internazionale acquisita in ambito SSA; **c)** sviluppare nuove metodologie/tecniche per analisi dati multi-lunghezza d'onda e multi-messaggero; **d)** supportare l'analisi dati delle missioni spaziali (e le attività su campo e di laboratorio, compresa data curation di campioni riportati a terra) a livello nazionale per massimizzare il ritorno scientifico.

(6) Promuovere missioni robotiche sulla Luna (ed oltre). È necessario: **a)** promuovere le opportunità di una presenza robotica sulla Luna con finalità sia scientifiche che tecnologiche, con apparati di nuova generazione basati sulla *physical intelligence*, in modo da essere pronti per le prossime iniziative di esplorazione della Luna, Marte ed asteroidi anche in termine di potenziale sfruttamento delle loro risorse naturali; **b)** promuovere la partecipazione italiana al programma Artemis della NASA che utilizzerà, come avamposto, la Deep Space Gateway (la futura stazione spaziale internazionale in orbita cis-lunare) in modo da contribuire allo sviluppo di tecnologie abilitanti e.g. allunaggio; **c)** promuovere lo sviluppo di tecnologie per la costruzione di una base lunare e per l'estrazione ed uso delle risorse; **d)** promuovere le attività per future missioni su Marte.

Impatti

La conoscenza delle leggi fondamentali che regolano il nostro universo resta ovviamente il primo obiettivo delle imprese spaziali in campo astrofisico/planetologico, ma tali ricerche storicamente hanno dimostrato di essere una fonte formidabile di innovazioni tecnologiche (sempre più performanti richieste dai nuovi obiettivi scientifici) con enormi impatti industriali e sociali, spesso inaspettati. Di particolare nota, tenuto conto del periodo, sono i progetti dove la tecnologia spaziale è stata riadattata a supporto dell'emergenza sanitaria legata al COVID19. In questo processo gli Istituti/Centri di Ricerca e le Università italiane giocano un ruolo di primo piano **a)** individuando prodotti della ricerca spaziale che possano essere oggetto di trasferimento tecnologico a beneficio del progresso della società; **b)** favorendo la nascita di start-up ad alto contenuto tecnologico; **c)** valorizzando l'alta formazione, il Dottorato di Ricerca e lo studio delle materie STEM.



Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Le interconnessioni con ambiti tematici contigui sono tutte quelle legate all'applicazione nei diversi campi (e.g. medico, sociale ecc.) di tecnologie sviluppate in campo spaziale. Nel grande ambito "Informatica, Industria, Aerospazio", l'interconnessione è molto forte con gli ambiti: a) "High Performance Computing, Big Data" e "Intelligenza artificiale" (per tutti gli aspetti di acquisizione, analisi e gestione di grandi moli di dati e per i processi di *data-fusion* sempre più importanti e rilevanti nel settore scientifico) e b) "Robotica" (per tutti gli aspetti legati alle missioni di esplorazione del Sistema Solare con elementi robotici). Nell'ambito "Aerospazio" esistono evidenti e forti connessioni, sia scientifiche che tecnologiche, con le articolazioni: "Volo suborbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro"; "Satelliti di nuova generazione"; "Strutture Intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative"; "Osservazione della Terra, Telecomunicazioni e Navigazione"; "Esplorazione umana dello spazio"; e con "Controllo del traffico aereo" per gli aspetti legati allo *Space Weather*.

Key Performance Indicators

Ai *Key Performance Indicators* riportati nella sezione comune dell'ambito "Aerospazio" possiamo aggiungere: **a)** miglioramento della partecipazione nazionale nei programmi scientifici ESA; **b)** aumento delle collaborazioni scientifiche internazionali in ambito spaziale; **c)** aumento della partecipazione delle industrie in programmi di punta; **d)** aumento delle collaborazioni scientifiche tra Enti/Centri di Ricerca ed Università; **e)** miglioramento della visibilità internazionale del Paese.

Articolazione 9. Accesso allo spazio

Oggi solo un ristretto novero di nazioni può accedere in maniera completamente indipendente allo Spazio, e recentemente stiamo assistendo all'ingresso di realtà private, principalmente negli USA. In tale contesto, l'Italia si annovera nel ristretto numero di paesi, cosiddetti *spacefaring nations*, che dispongono di quasi tutte le competenze e tecnologie per aspirare ad un accesso autonomo allo spazio.

Negli anni il nostro Paese ha sostenuto una duplice azione: (i) in ambito ESA e tramite iniziative nazionali, attraverso il consolidamento del programma Vega, il sostenimento del ruolo italiano ed il coinvolgimento dell'intera filiera nazionale, (ii) attraverso l'avvio di attività complementari che hanno migliorato le prestazioni, la versatilità e lo sviluppo di configurazioni evolutive.

In ambito nazionale, l'impegno italiano, per il tramite dell'Agenzia Spaziale Italiana, è stato particolarmente rivolto a sostenere attività di ricerca e sviluppo tecnologico ad alto contenuto innovativo, con una particolare attenzione a creare competenze nazionali (industriale, universitaria e di ricerca) a sviluppi di lungo termine, consolidandone competenze e competitività.

L'accesso indipendente allo Spazio si configura come il prossimo obiettivo nazionale, e comporta una serie di valutazioni di carattere strategico-politico da una parte e tecnico-economico dall'altra. Il comparto di riferimento nazionale, ma più in generale, tutto quello europeo, è cresciuto prevalentemente con il supporto istituzionale. L'indipendenza nazionale può essere raggiunta solo tramite: (a) il possesso delle tecnologie critiche e proprietà del *know-how*; (b) la disponibilità nazionale di accesso a infrastrutture di lancio e *test*; (c) una credibile analisi di opportunità di lancio sia in termini istituzionali sia in termini commerciali, che tenga in conto le opportunità offerte da operatori privati.

In ambito ESA è in atto un nuovo assetto organizzativo dell'intero settore dei lanciatori che offra una maggiore autonomia e affidi la responsabilità alle società private '*prime Contractor*', compresa la nostra industria nazionale, che possa espandere il proprio perimetro di attività operative e di autonomia, con conseguenti maggiori responsabilità gestionali presso il sito di lancio in Guyana Francese, onde garantire la sostenibilità e la competitività dell'offerta commerciale senza supporto pubblico.



In una prospettiva di indipendenza nazionale e visto l'estendersi dell'interesse da parte di realtà private, che intendono replicare l'esperienza americana, sono allo studio diverse iniziative per la realizzazione di mini/micro-lanciatori e spazioporti.

Lo sviluppo di un mini/micro-lanciatore che completi l'offerta VEGA nella fascia 10-500 kg, grazie a innovazioni tecnologiche manifatturiere, costituisce non solo un elemento fondamentale per servizi istituzionali anche in ottica "New Space Economy", ma anche una grande opportunità di ricerca e sviluppo nazionale. Questa iniziativa è sostenuta da una richiesta crescente di servizi di lancio di costellazioni di mini/micro/nano-satelliti e, pertanto, è necessario avviarne lo sviluppo in base alle realtà, sia di ricerca che industriali, per un posizionamento strategico nazionale in questo segmento a cui aspirano anche altri paesi in Europa.

Il successo del lanciatore VEGA ha permesso al nostro Paese di raggiungere un ottimo livello di autonomia nel settore, conseguentemente i risultati ottenuti e il *know-how* acquisito devono essere capitalizzati per perseguire l'indipendenza in linea con le indicazioni dell'Autorità Politica. Il quadro di sviluppo è un programma a lungo termine e necessita di un finanziamento stabile e duraturo onde: (1) recepire le necessità istituzionali; (2) costituire una filiera industriale completa che includa PMI; (3) favorire il mondo della ricerca; (4) sviluppare le tecnologie critiche; (5) dotarsi delle necessarie infrastrutture di *test* e lancio.

In considerazione dell'elevata competizione internazionale, è necessario procedere nei prossimi anni alla crescita delle competenze su sistemi di lancio e di propulsione innovativi in un'ottica di riduzione costi tramite lo sviluppo, ad esempio, di nuove tecnologie produttive, nuovi materiali, modelli affidabili e diagnostiche di test. È fondamentale poi rafforzare la *leadership* nazionale nella propulsione a metano, poiché questa rappresenta in termini di innovazione, il vero elemento di vantaggio competitivo che, capitalizzando sugli investimenti nazionali, salvaguarda la posizione che oggi l'Italia, unico paese in Europa, detiene su questa tecnologia. Contemporaneamente, va sviluppata anche l'acquisizione delle competenze necessarie allo sviluppo di uno stadio criogenico Ossigeno-Metano che rappresenta in prospettiva un elemento importante nella crescita delle competenze nazionali. Raggiungere presto e con successo questi due obiettivi può permettere all'Italia di consolidare una posizione di *leadership* nei sistemi propulsivi a metano-ossigeno, che può essere efficacemente riversata anche in spin-off nel settore dei mini-lanciatori e delle tecnologie abilitanti per la riutilizzabilità del primo stadio.

Obiettivi

Sono pertanto individuati i seguenti obiettivi, che tengono conto ed ampliano gli obiettivi di settore già individuati nel Documento di Visione Strategica Spaziale dell'ASI¹⁶:

- (1) **consolidare la competitività del 'Sistema Vega'**, tramite le seguenti linee di intervento:
 - supportare i programmi di evoluzione e di competitività in ambito ESA;
 - consolidare in ambito nazionale la *leadership* di sistema, promuovendo sviluppi innovativi e competitivi nel campo delle tecnologie strategiche;
 - promuovere approcci di sviluppo e test in volo, quali elementi propedeutici a precursori di mini-lanciatori nazionali;
- (2) **consolidare la *leadership* nazionale nella propulsione**, tramite le seguenti linee di intervento:
 - consolidare la *leadership* nella propulsione solida;
 - completare lo sviluppo della propulsione liquida ossigeno-metano per lo stadio alto e successivamente per i primi stadi delle evoluzioni Vega (anche in configurazione mini-lanciatore);
 - sviluppare competenze nella propulsione ibrida per applicazioni a micro-lanciatori;
 - supportare attività di ricerca su concetti e tecnologie disruptive di accesso allo spazio.

Impatti

I principali impatti attesi sono:

¹⁶ https://www.asi.it/wp-content/uploads/2020/04/DVSS-2020-2022-Finale_compressed_compressed.pdf.



- (3) **migliorare in maniera incrementale la capacità di accesso allo spazio ‘indipendente’ nazionale**, tramite le seguenti linee di intervento:
- acquisire una capacità nazionale di lancio di micro- e mini-lanciatori che promuova il dialogo tra le realtà industriali e mondo della ricerca/Università;
 - sviluppare una capacità indipendente di infrastrutture di test ed infrastrutture di lancio nazionali;
- (4) **supportare il ‘Green New Deal Europeo**, tramite le seguenti linee di intervento:
- estendere l’utilizzo di sistemi di propulsione liquida ossigeno-metano anche agli stadi bassi dei lanciatori della ‘famiglia Vega’, tramite lo sviluppo di propulsori in forma ‘modulare’;
 - perseguire la riutilizzabilità, sviluppando tecnologie e competenze per il recupero ed il riutilizzo di componenti strategici del lanciatore, quali gli stadi bassi ed il *fairing*.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Numerose sono le interconnessioni di questa articolazione con altri ambiti, quali:

- Innovazione per l’Industria Manifatturiera per gli aspetti di produzione di nuovi materiali con nuovi processi;
- *High performance Computing e Big Data* per gli aspetti di processamento dati;
- *Cybersecurity* per gli aspetti di telecomunicazione sicura;
- *Green technologies* per gli aspetti legati alla propulsione *green*.

Numerose le interconnessioni anche nell’ambito Aerospazio, con l’articolazione Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative per gli aspetti connessi a materiali e tecnologie, Velivoli autonomi per gli aspetti connessi con le tecnologie per il volo autonomo, e con tutte le altre articolazioni a caratterizzazione spaziale.

Key Performance Indicators

La valutazione del raggiungimento degli obiettivi individuati per lo sviluppo del settore potrà essere effettuata tramite i seguenti indicatori

1. Avvio dello sviluppo di una capacità nazionale indipendente di lancio con un **micro-lanciatore** che includa l’analisi della fattibilità, la valutazione delle diverse possibili configurazioni quali il veicolo a lancio verticale, aviolancio, lancio da altre piattaforme.
2. Sviluppo di infrastrutture di *test* corredata da sistemi diagnostici innovativi, inclusi dimostratori in volo, e di codici di modellizzazione ad alta fedeltà che facciano uso estensivo di HPC e intelligenza artificiale.
3. Avvio degli **sviluppi di tecnologie critiche abilitanti** nei seguenti settori:
 - a) **Avionica innovativa:**
 - sviluppo di una architettura avionica innovativa di tipo modulare (Avionica 3.0) per i mini/micro-lanciatori; fattibilità e sviluppo di tecnologie *wireless* applicate al lanciatore ed al *ground segment*; sviluppo di tecnologie di data fusion; componentistica avanzata quali sistemi di guida inerziale.
 - algoritmi e sistemi di guida, navigazione e controllo specifici per (a) rientro degli stadi (b) mini/micro-lanciatori.
 - b) **Propulsione primaria:**
 - sviluppo di un motore a liquido ossigeno-metano di media spinta e riutilizzabile da impiegare in maniera modulare sia quale 1° stadio del mini-lanciatore che in progressiva sostituzione del 2° stadio di Vega e, in configurazione ‘cluster’ (ad alta spinta), anche del 1° stadio.
 - sviluppo estensivo di tecnologie per la manifattura additiva di alcuni specifici componenti (valvole, regolatori di pressione) del sistema propulsivo.
 - proseguimento delle iniziative volte a consolidare, nel breve termine, la *leadership* e l’indipendenza nella propulsione solida ed in quella ibrida.
 - c) **Strutture:**
 - sviluppo dei **serbatoi per propellenti criogenici** (ossigeno e metano) in composito.
 - sviluppo di un *fairing*; con capacità di recupero e riutilizzo, per mini/micro-lanciatore in materiale composito con tecnologia *grid*.



- Sviluppo della capacità di **dimostrazione in volo** (*In Flight Demonstration*, IFD) quale precursore del mini-lanciatore e quale test anticipato di tecnologie critiche, proponendosi quindi come leader europeo nel IOV/IOD (*In Orbit Validation/In Orbit Demonstration*).
- Sviluppo della capacità di **riutilizzabilità dei primi stadi** dei veicoli di lancio con la possibilità di effettuare verifiche delle tecnologie in condizioni di volo (in quota e anche suborbitale) durante il corso dello sviluppo.

Articolazione 10. Satelliti di nuova generazione

La maggioranza delle missioni spaziali è, ad oggi, implementata tramite sistemi teleguidati da remoto, con un ingente dispiegamento di risorse e mezzi allocati per i sistemi di terra dedicati alla gestione della fase di volo. Le importanti prospettive di crescita del prossimo decennio, in termini di missioni di osservazione della Terra, esplorazione dello spazio profondo, *in-orbit servicing*, mega-costellazioni per telecomunicazioni e internet globale ecc., pone problematiche tecnologiche che potrebbero rendere questo approccio non più sostenibile. L'impiego di tecniche che consentano di automatizzare e rendere il più possibile autonome le operazioni di bordo, sia dal punto di vista della gestione del sistema stesso sia del punto di vista della determinazione e controllo della traiettoria, rappresenta quindi una prospettiva molto invitante. Al contempo, da almeno un decennio si osserva un crescente interesse della comunità scientifica ed industriale verso missioni spaziali interplanetarie e/o di osservazione dell'Universo basate su micro- e nano-satelliti (CubeSats) da utilizzare quali *payload* secondari ed in grado di comunicare direttamente con la Terra. Il valore di questo approccio è duplice: da una parte consente un arricchimento degli obiettivi principali di missioni tradizionali, dall'altra abilita al conseguimento di nuovi traguardi scientifici in ambienti particolarmente critici e con costi contenuti (10-25 M€, <5-10% del costo della missione primaria). Un esempio recente di questa nuova frontiera dell'esplorazione spaziale sono i Mars Cube One (MarCO-A e MarCO-B) lanciati il 5 Maggio 2018 nell'ambito della missione InSight per Marte. Un altro esempio è rappresentato dalla missione proposta da ESA e denominata Miniaturised – Asteroid Remote Geophysical Observer (M-ARGO) che ha l'obiettivo di studiare una nuova classe di asteroidi di dimensioni ridotte e caratterizzata da una elevata velocità di rotazione. Ulteriori esempi sono i 13 CubeSat che verranno messi in orbita lunare o cis-lunare mediante il lancio inaugurale del nuovo lanciatore statunitense Space Launch System (SLS), la missione Artemis-1 o i 6 CubeSat 3U del progetto a guida italiana HERMES per il monitoraggio di transitori cosmici ad alta energia come i lampi di raggi gamma e le controparti elettromagnetiche di eventi gravitazionali.

Nell'ambito delle future missioni in orbita terrestre bassa, per scopi di osservazione della terra, *in-orbit servicing*, o per esperimenti in microgravità, le necessità tecnologiche riguardano la capacità di una formazione di satelliti di determinare e controllare la propria posizione relativa con grandissima accuratezza, tale da consentire applicazioni di interferometria o osservazioni SAR (*Synthetic Aperture Radar*) basate sul concetto di sensori distribuiti. Inoltre, sono già state dispiegate in orbita LEO (e numerose altre se ne prevedono nel prossimo futuro) mega-costellazioni di satelliti dedicate a diversi scopi come la disponibilità globale di una connessione Internet a banda larga e il miglioramento della localizzazione e del posizionamento in condizioni estreme sulla Terra. Una mega-costellazione implica la gestione di centinaia, talvolta migliaia, di satelliti che, essendo in LEO, si muovono rapidamente e devono essere controllati frequentemente. La complessità delle mega-costellazioni e il loro ambiente spaziale potrebbero implicare alti costi operativi per controllare i satelliti in orbita, data la necessità di frequenti manovre orbitali per mantenere la configurazione della costellazione contro le perturbazioni orbitali. In secondo luogo, la presenza di detriti spaziali nella regione LEO è molto significativa da richiedere un avviso sistematico di potenziale collisione e procedure di prevenzione delle collisioni. La gestione di una struttura così complessa richiede una forza lavoro significativa a terra, una grande quantità di tempo di localizzazione a terra e la disponibilità di potenti strutture informatiche per propagare le traiettorie dei veicoli spaziali, se affrontate con un approccio convenzionale. Pertanto, sarebbe auspicabile progettare e sviluppare sistemi di gestione autonoma a bordo dei satelliti, in grado di ridurre significativamente i costi operativi. Infine, anche in orbita terrestre bassa il trend verso la miniaturizzazione e verso lo standard CubeSat è continuo e vede l'Italia con un ottimo posizionamento a livello internazionale che deve essere mantenuto e consolidato.



Obiettivi

Obiettivo fondamentale del PNR è mantenere la posizione nazionale di protagonista a livello mondiale nel campo della ricerca, progettazione e sviluppo di satelliti e piattaforme orbitanti che inglobino soluzioni tecnologicamente all'avanguardia. A tal fine gli obiettivi di dettaglio della ricerca nel settore dei satelliti di nuova generazione partono dalle linee guida descritte e identificano delle attività specifiche utili ad incrementare la capacità e ridurre il tempo di implementazione di missioni spaziali innovative, anche basate su piccoli satelliti, orientate a servizi ed esperimenti in orbita bassa terrestre, osservazione della Terra e dell'Universo. In maggiore dettaglio si possono elencare i seguenti filoni di attività:

- (1) Per i veicoli spaziali di nuova generazione aumentare il livello di efficienza energetica, in modo da aumentare la capacità di trasmissione dati e la vita operativa, e l'autonomia ed i sistemi di autodiagnostica per ridurre la dipendenza dal segmento di terra.
- (2) Proseguire ed incrementare il processo di miniaturizzazione dei componenti e sottosistemi di bordo al fine di consentire l'implementazione di missioni scientifiche complesse mediante CubeSat e *smallsat*, sia autonome sia complementari a missioni con piattaforme tradizionali.
- (3) Sviluppare sistemi di bordo e tecnologie abilitanti avanzate per mini/micro/nano/pico-satelliti in grado di volare in formazione per missioni di *in-orbit servicing*, di *active debris removal*, di osservazione della Terra (per servizi *near-real-time*) della corona solare e dell'Universo, di protezione degli assetti satellitari di interesse nazionale, per esperimenti in regime di microgravità, per comunicazione a banda larga a copertura globale e/o regionale, per aumentarne l'agilità orbitale e di assetto e per prevedere eventuali collisioni in orbita e calcolare ed eseguire le manovre di prevenzione in modo totalmente autonomo. In questo contesto ed in linea con il Green New Deal UE, attenzione va posta a sistemi propulsivi elettrici a bassa potenza.
- (4) Per l'esplorazione dello spazio profondo, in particolare in missioni di esplorazione planetaria nel sistema solare, incrementare le capacità di guida autonoma, la resistenza alle radiazioni e la possibilità di determinare a bordo, mediante osservazioni ottiche o radiometriche, l'orbita del veicolo spaziale.
- (5) Sviluppare e standardizzare metodi di analisi di missione e di gestione di progetto basati su *concurrent engineering*, per ridurre i tempi ed i costi di sviluppo e consentire maggiore flessibilità alla progettazione e alla produzione, ed estendere l'impiego di metodi digitali di analisi dei sistemi spaziali (*digital twin models*).

Impatti

Gli impatti attesi dalle attività previste nell'ambito di questa articolazione possono essere categorizzati come segue:

- Le operazioni a terra rappresentano una porzione importante nel costo delle missioni spaziali. Consentire ai satelliti di operare in autonomia, con minimo o nullo intervento umano comporta una notevole riduzione dei costi complessivi della missione.
- Utilizzando piattaforme miniaturizzate per dimostrazioni in orbita, anche i satelliti di grandi dimensioni saranno soggetti a meno rischi tecnologici e potranno avere prestazioni migliori. I mini/micro/nano/pico-satelliti consentiranno il concepimento di un maggior numero di missioni scientifiche e tecnologiche e permetteranno contemporaneamente di incrementare il ritorno scientifico di missioni tradizionali.
- L'uso di sciami e costellazioni satellitari per missioni distribuite, con eventuale volo in formazione dei satelliti, migliorerà i servizi offerti a terra, per le crescenti esigenze nel campo dell'osservazione della Terra, delle telecomunicazioni e dell'*in-orbit servicing*.
- Consolidamento ed aumento della *leadership* italiana nella attuale *roadmap* di futura esplorazione (a medio-lungo termine) e sfruttamento (a lungo termine) spaziale su scala globale.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'articolazione Satelliti di nuova generazione e le attività di ricerca elencate presentano diverse interazioni multidisciplinari con ambiti tematici contigui.



Anzitutto, va considerato l'ambito tematico "Cambiamenti climatici e adattamento", relativamente ai contributi che le missioni spaziali di osservazione della Terra, nelle diverse bande spettrali, e con diverse configurazioni (singolo satellite vs missioni distribuite) riescono ad offrire al monitoraggio dei più importanti parametri di cambiamento climatico.

Per quanto riguarda il grande ambito "Informatica, Industria, Aerospazio" esiste una interconnessione molto forte con gli ambiti "Intelligenza artificiale" e "Robotica" per tutti gli aspetti di automazione della gestione delle piattaforme satellitari e di incremento dell'autonomia di bordo per consentire una diminuzione della necessità di gestione da terra delle missioni satellitari stesse.

Nel medesimo ambito "Aerospazio", esistono forti interconnessioni di tipo scientifico e tecnologico esistono con l'articolazione "Volo suborbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro", per gli aspetti legati all'automazione delle piattaforme stesse, con l'articolazione "Osservazione della Terra (OT), Telecomunicazioni (TLC) e Navigazione", per gli aspetti legati alle nuove tipologie di missioni consentite dagli sviluppi tecnologici descritti in questa articolazione e "Esplorazione ed osservazione dell'universo" per quanto riguarda la possibilità di incrementare il ritorno scientifico le missioni di esplorazione ed osservazione mediante l'utilizzo di mino/micro/nano/pico-satelliti.

Key Performance Indicators

Per valutare gli esiti di finanziamenti per l'innovazione del settore "Satelliti di nuova generazione" si possono considerare i seguenti indicatori:

- 1) Aumento del numero di missioni scientifiche nazionali *standalone* o a complemento di missioni tradizionali.
- 2) Dimostrazione in volo del concetto di *formation flying* basato su piattaforme CubeSat.
- 3) Diminuzione della complessità del segmento di terra per missioni in orbita LEO ed in Deep Space.
- 4) Diminuzione del numero di potenziali collisioni in orbita legate all'implementazione di sistemi di *collision detection and avoidance* automatici ed autonomi.
- 5) Diminuzione del tempo necessario al *design lifecycle* di una missione, grazie all'implementazione di metodi di progetto ed analisi basati su soluzioni innovative.

Articolazione 11. Esplorazione umana dello spazio

Le linee strategiche nazionali attribuiscono alla esplorazione umana dello spazio una rilevanza e una priorità assolute. In particolare nel Documento Strategico di Politica Spaziale Nazionale (DPSN) approvato dal COMINT si declama "L'esplorazione umana dello spazio è sia uno strumento di politica estera a disposizione del paese ...". La rilevanza è in linea con i documenti strategici del prossimo Programma Quadro Horizon Europe di ESRE (in preparazione), con le iniziative governative promosse nel corso della "Ministeriale ESA 2019" e con il DVSS e PTA dell'Agenzia Spaziale Italiana¹⁷. Tutti gli indirizzi concordano sulla necessità e opportunità di mantenere il primato del paese in questo ambito strategico.

Tra le necessità scaturisce quindi, come naturale conseguenza, lo sviluppo di tecnologie abilitanti nel campo della salute e, in particolare, della biomedicina e biotecnologie, della diagnostica a distanza, della telemedicina per consentire l'esplorazione umana e in prospettiva la presenza umana su basi sulla Luna e Marte in piena sicurezza e in condizioni di benessere ed efficienza del personale coinvolto relativamente ad aspetti quali e.g. isolamento e/o confinamento per periodi di lunga durata.

In particolare sono di grande importanza gli aspetti che riguardano la diagnostica da remoto per l'identificazione di "biomarcatori". Tale tematica assume particolare significato non solo nel campo dell'esplorazione spaziale ma ha fondamentali implicazioni anche nel campo della sicurezza del volo civile ed efficacia nelle operazioni di volo della Difesa.

¹⁷ <https://www.asi.it/2020/03/approvati-i-documenti-di-programmazione-strategica-e-operativa-dellagenzia/>.



Assumono inoltre fondamentale importanza tutte le sperimentazioni di ricerca di base e applicata “*life-science*” collegate alla “salute nello spazio” quali la biomedicina spaziale e la protezione dalle radiazioni cosmiche. Altro aspetto fondamentale riguarda lo sviluppo di tecnologie abilitanti per la realizzazione di insediamenti e infrastrutture abitabili, sia orbitanti che su suolo lunare/marziano, con soluzioni tecnologiche che consentano di preservare la salute e garantire il benessere, e.g. la definizione di soluzioni innovative per prevenire/evitare la proliferazione di agenti patogeni, lo sviluppo di soluzioni tecnologiche per il “ciclo” dell’acqua e dell’aria, la manipolazione dei liquidi, la sviluppo di coltivazioni vegetali.

Infine rientra tra gli obiettivi nazionali il mantenimento e accrescimento del primato scientifico e industriale nell’ambito della realizzazione di strutture pressurizzate e *payload* in microgravità.

Obiettivi

L’esplorazione umana dello spazio richiede una serie di sviluppi tecnologici innovativi a forte carattere interdisciplinare che vanno, e.g., dalle scienze della vita fino alla realizzazione degli ambienti nei quali rendere sostenibile e garantire il benessere degli astronauti, in un’ottica di missioni di lunga permanenza. La ricerca e l’innovazione in questi ambiti assumono il carattere di una sfida globale e trasversale, sia dal punto di vista scientifico che tecnologico, mai affrontata precedentemente per tener conto di tutti i vincoli di ambienti estremi e per dar luogo a vere e proprie colonie umane quali avamposti di ricerca e/o sfruttamento di risorse extraterrestri. Assume particolare importanza la realizzazione in situ di infrastrutture e moduli abitativi di nuova generazione che siano resilienti e accoglienti per piccole comunità di umani e che garantiscano sostenibilità energetica, ambientale, e benessere. Tali moduli dovranno essere sia di tipo orbitanti (con orbita cis-lunare) che stabili su suolo lunare. Tra gli obiettivi prioritari sono da contemplare i seguenti:

(1) Strutture e sperimentazioni di ricerca di base e applicata. La realizzazione di laboratori per la sperimentazione nel campo dell’esplorazione umana è di fondamentale importanza in quanto consente di studiare e comprendere gli effetti della permanenza nello spazio di forme di vita sia semplici che complesse, dai batteri fino all’organismo umano, passando per la biologia vegetale e animale, nonché per testare il comportamento di strumentazione e *payloads*. Lo sviluppo di simulatori terrestri, che possano replicare i parametri più significativi delle reali condizioni ambientali, aspetto propedeutico alla sperimentazione nello spazio, è da considerare un elemento strategico. Inoltre, bisogna valutare l’ambiente spaziale quale luogo di elezione per la formulazione e produzione di farmaci e sviluppo di nuovi materiali.

(2) Sostenibilità di insediamenti e infrastrutture abitabili in gravità ridotta o microgravità (es. tecnologie per la costruzione in-situ). Particolare importanza assume lo sviluppo di tecnologie e di nuovi processi che consentano di impiegare materiali reperibili in loco (es. regolite sul suolo Lunare) per la realizzazione di moduli abitativi e/o di infrastrutture usando, e.g. tecnologie additive 3D, con lo sviluppo di macchine robotiche adatte allo scopo. Questo implica lo sviluppo di ricerche finalizzate a sviluppare nuove forme di *design* architettonico di tipo spaziale. La condizione di microgravità o di gravità ridotta dovrà prevedere l’ideazione di tecnologie innovative in grado di consentire una agevole manipolazione di volumi liquidi (es. sistemi basati su campi elettrici e pressioni elettro-idrodinamiche). Si ascrivono in questo obiettivo infrastrutture mobili quali ad esempio veicoli per la mobilità su suoli extraterrestri (asteroidi, Luna, Marte)

(3) Tecnologie per evitare formazione e proliferazione di agenti patogeni, “ciclo” dell’acqua, dell’aria e sviluppo di coltivazioni vegetali. Sono sicuramente da sviluppare approcci tecnologici innovativi che possano consentire di garantire un uso appropriato dell’aria e dell’acqua. In particolare il riciclo dell’acqua per la sopravvivenza di essere viventi in sicurezza e senza sprechi. Tali sistemi dovranno garantire la salubrità attraverso tecnologie e/o biotecnologie innovative. Particolare rilievo assume la realizzazione di coltivazioni vegetali per la produzione di cibo in-situ.

(4) Tecnologie miniaturizzate a basso costo e compatte per la diagnostica bio-chimica a distanza. Di grande importanza gli aspetti che riguardano la diagnostica da remoto con identificazione di “biomarcatori” di tipo cellulare e



biochimico (es. nel sangue, urine, saliva, liquido lacrimale) e, in particolare, che prevedano la possibilità di effettuare le analisi con volumi molto piccoli dell'analita. Per questo è necessario sostenere in modo significativo la ricerca a terra orientata sia allo sviluppo di tali dispositivi che all'identificazione di nuove tipologie di biomarcatori. Tali tecnologie di tipo "Lab on chip", che hanno la caratteristica di essere compatte, di basso peso e di facile utilizzo, potranno sostituire i laboratori diagnostici garantendo un adeguato sviluppo di telemedicina. Sono da privilegiare sistemi diagnostici *Lab on Chip* che non prevedano l'impiego di reagenti chimici (es. basati su imaging e microscopia o elettronici) per gli ovvi motivi di difficoltà di approvvigionamento e/o difficoltà di smaltimento dei reagenti.

(5) Tecnologie per la protezione dalle radiazioni cosmiche. La protezione dalle radiazioni è un aspetto fondamentale per rendere possibile le missioni umane di lunga permanenza nello spazio, riducendo al minimo gli effetti di tali radiazioni a livello biologico. Le radiazioni possono inoltre avere un effetto dannoso oltre che sulla salute umana anche sui materiali e quindi i sistemi e le infrastrutture. Ideare e ottenere soluzioni tecnologiche in grado di schermare dalle radiazioni è una delle sfide più difficili per l'esplorazione umana dello spazio.

(6) Identificazione "biomarcatori" (affaticamento, stress) di interesse aeronautico per la sicurezza del volo (es. computer vision e intelligenza artificiale). La sicurezza per i piloti e per gli astronauti passa anche per il monitoraggio del loro stato di salute. Nuove tipologie di "biomarcatori" di tipo comportamentale, che utilizzino sistemi di *computer vision* supportati da processi di Intelligenza Artificiale (es. riconoscimento dello stato emotivo da espressione del volto), possono costituire uno strumento indispensabile per la sicurezza attraverso l'identificazione di fattori dello stato di salute in generale (stato clinico generale, patologico, stress ecc.).

(7) Soluzioni per controllo missione e avionica di bordo di futura generazione. Le nuove tecnologie per il controllo delle missioni in ambito di esplorazione spaziale devono prevedere necessariamente anche lo sviluppo di innovative soluzioni avioniche, per il controllo autonomo e semi-autonomo, ad esempio tramite opportune interfacce di guida, sia per i velivoli spaziali e moduli orbitanti che per veicoli su suoli extraterrestri.

Impatti

L'esplorazione umana dello spazio offre una inestimabile varietà di prospettive di sviluppo e di opportunità per la comunità scientifica anche in ambito internazionale. Infatti, lo sforzo scientifico e tecnologico per realizzare colonie umane extraterrestri di lunga permanenza offrirà nuove possibilità tecnologiche in tutti i campi. Ad esempio numerose saranno le ricadute attese nei settori dei nuovi materiali, delle biotecnologie, dell'industria farmaceutica, dell'energia ecc.

Particolarmente importanti saranno le ricadute nel campo della salute. Per esempio lo sviluppo di tecnologie avanzate quali i dispositivi *Lab On Chip* per la diagnostica da remoto potranno avere effetti positivi e diretti sia sui costi che sull'efficienza del sistema sanitario, garantendo, a costi ridotti, una assistenza medica anche a persone lontane da presidi ospedalieri (es. le cosiddette Aree Interne).

In particolare, si prospettano i seguenti impatti e ricadute per il sistema nazionale:

- sviluppo di tecnologie per infrastrutture pilotate da remoto e con sistemi robotici riducendo rischio degli addetti ai lavori;
- sviluppo/produzione di nuovi materiali grazie ad ambienti con ridotta o assenza di gravità;
- sviluppo di biotecnologie nelle scienze della vita;
- sviluppo di tecnologie intelligenti per l'uso ed il riciclo dell'acqua che potranno essere impiegate in situazioni di scarsità di risorse idriche sulla Terra;
- sistemi di gestione aria in ambienti chiusi con caratteristiche di filtraggio o sanificazione di agenti patogeni (esportabili in tutti i mezzi di trasporto) che sarà una tecnologia decisiva e strategica per il futuro anche sulla Terra (e.g. il caso recente di COVID-19) oltre che nello spazio;
- ricaduta sull'assistenza sanitaria sia in termini di riduzione dei costi sia in termini di maggiore accessibilità alla diagnostica medica;
- ricadute sui processi e cicli produttivi con eliminazione di sostanze tossiche;



- sviluppo di sistemi per identificazione di biomarcatori comportamentali per sicurezza in tutti i luoghi di lavoro onde evitare/ridurre incidentalità dovuta a situazioni di stress.
- incremento della sicurezza del volo sia in campo civile che in ambito militare.

Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

I contenuti e gli obiettivi della presente articolazione hanno delle evidenti interconnessioni con gli ambiti tematici di “Robotica”, “Innovazione per l’industria manifatturiera” e “Sicurezza delle strutture, infrastrutture e reti. Inoltre, il benessere degli astronauti ha delle interconnessioni significative sia con il tema “Tecnologie per la salute”.

Per quanto riguarda poi specificatamente l’ambito “Aerospazio”, forti interconnessioni esistono con le articolazioni relative a “Esplorazione ed osservazione dell’universo” per quanto concerne le missioni umane alla Luna, Marte ed Asteroidi di carattere sia scientifico che tecnologico, e con “Velivoli autonomi” per quanto riguarda i sistemi autonomi di navigazione, guida e controllo.

Key Performance Indicators

Principali indicatori per la verifica del raggiungimento di obiettivi sono sicuramente i seguenti:

- realizzazione di simulatori terrestri;
- realizzazione di basi cislunari;
- realizzazione di moduli abitativi orbitanti di nuova generazione;
- identificazione di nuovi biomarcatori;
- sviluppo di dispositivi *lab on chip* per diagnostica remota;
- sistemi efficaci di schermatura da radiazioni.
- realizzazione di sistemi efficienti per gestione aria e acqua in ambienti chiusi.

