



Programma Nazionale per la Ricerca 2021-2027

**GRANDE AMBITO DI RICERCA E
INNOVAZIONE**

**DIGITALE, INDUSTRIA,
AEROSPAZIO**

Documento di lavoro

Versione del 1 ottobre 2020

mur.segretariatpr@miur.it

Questo documento di lavoro riflette lo stato di avanzamento dei gruppi di lavoro di esperti nominati dal Ministero dell'Università e della Ricerca. Si tratta di un documento che non è stato approvato formalmente. Le opinioni espresse sono le opinioni preliminari degli esperti e non possono essere considerate come indicanti una posizione ufficiale.



Ministero dell'Università e della Ricerca



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	13
Articolazione 2. Comunità sostenibili	15
Articolazione 3. Competitività del Paese	18
Articolazione 4. Dispositivi e sistemi eterogenei	23
Articolazione 5. Reti di sistemi intelligenti	27
4.2 High performance computing e big data	30
Il contesto europeo	31
Collocazione nel contesto di Orizzonte Europa	32
Collocazione nel contesto di “Una Strategia Europea per i Dati”	34
Il Rapporto con le Grandi Infrastrutture Europee per HPC&BD	36
Contesto italiano e indirizzi di piano per HPC&BD	38
Infrastrutture Italiane per HPC	40
Innovazione e migrazione I4.0 del sistema produttivo italiano	41
I dati della Pubblica Amministrazione	42
Premesse per un piano sulla ricerca in HPC&BD	43
Tre indirizzi di piano per HPC&BD	45
LE ARTICOLAZIONI DELLA RICERCA	47
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	49
Articolazione 2. Ricerca di base in ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per HPC e BD	50
Articolazione 3. Ricerca per strutture distribuite e decentralizzate di calcolo e dati, per IoT, I4.0 e applicazioni sociali e di rete	51
Articolazione 4. Architettura, ingegneria, scienze e tecnologie informatiche per l’evoluzione dei dati della PA verso sistemi aperti, big data e servizi cloud	52
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	53
4.3 Intelligenza Artificiale	57
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	57
Rilevanza alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	64
Obiettivi 2021 – 2027	67
Articolazione 1. Intelligenza Artificiale per l’Intelligenza Artificiale (IA per IA)	69
Articolazione 2. Intelligenza Artificiale per la persona e la salute	75
Articolazione 3. Intelligenza Artificiale per la società	79
Articolazione 4. Intelligenza Artificiale per l’ambiente e le infrastrutture critiche	84
Articolazione 5. Intelligenza Artificiale per la produzione industriale	89
4.4 Robotica	95
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	95
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	97



Obiettivi 2021–2027	100
Articolazione 1. Robotica in ambienti ostili e non strutturati.....	103
Articolazione 2. Robotica per Industria 4.0.....	109
Articolazione 3. Robotica per l'ispezione e la manutenzione di infrastrutture	112
Articolazione 4. Robotica per il settore agro-alimentare.....	117
Articolazione 5. Robotica per la salute	120
Articolazione 6. Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi	123
Obiettivi e Impatti della Robotica nel grande ambito Digitale, Industria e Aerospazio.....	127
4.5 Tecnologie quantistiche	129
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	129
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	131
Obiettivi 2021 – 2027.....	134
Articolazione 1. Tecnologie quantistiche per computer e simulatori.....	135
Articolazione 2. Tecnologie quantistiche per la comunicazione.....	139
Articolazione 3. Tecnologie quantistiche per la sensoristica e la metrologia	142
Articolazione 4. Tecnologie quantistiche per l'efficienza e la sostenibilità energetica	146
Articolazione 5. Infrastrutture di ricerca per le tecnologie quantistiche.....	150
Articolazione 6. Formazione e capitale umano.....	154
4.6 Innovazione per l'industria manifatturiera.....	158
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	158
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	160
Obiettivi 2021 – 2027.....	163
Articolazione 1. Industria circolare, pulita ed efficiente.....	163
Articolazione 2. Industria inclusiva	168
Articolazione 3. Industria resiliente	172
Articolazione 4. Industria intelligente.....	176
Articolazione 5. Industria competitiva	179
4.7 Aerospazio.....	184
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni	184
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale	186
Obiettivi 2021 – 2027.....	186
Articolazione 1. Velivoli ad ala rotante di nuova generazione.....	188
Articolazione 2. Riduzione impatto ambientale e incremento del benessere in aeronautica.....	192
Articolazione 3. Velivoli autonomi.....	195
Articolazione 4. Strutture intelligenti, supermateriali e tecnologie innovative.....	198
Articolazione 5. Controllo del traffico aereo.....	202
Articolazione 6. Volo sub-orbitale e ipersonico, piattaforme stratosferiche, rientro.....	205
Articolazione 7. Osservazione della terra (OT), telecomunicazioni (TLC) e navigazione	207
Articolazione 8. Esplorazione ed osservazione dell'universo	211
Articolazione 9. Accesso allo spazio.....	214
Articolazione 10. Satelliti di nuova generazione	217
Articolazione 11. Esplorazione umana dello spazio.....	220



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 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 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	• Servizi Human-Centered • Comunità Sostenibili • Competitività del Paese • Dispositivi e Sistemi Eterogenei • Reti di Sistemi Intelligenti
Tecnologie Quantistiche	• 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	• 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	• 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	• Robotica in ambienti ostili e non strutturati • Robotica per Industria 4.0 • Robotica per l’ispezione e la manutenzione di infrastrutture



	● Robotica per il settore agro-alimentare ● Robotica per la salute ● Robotica per la mobilità e i veicoli autonomi
Innovazione per l'Industria Manifatturiera	● Industria circolare, pulita ed efficiente ● Industria inclusiva ● Industria resiliente ● Industria intelligente ● Industria competitiva
Aerospazio	● 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 sub-orbitale 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 neutre 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-esascale, 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.



4.4 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, etc.) 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 impiegavano 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 dirompenti 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 **roboetica** 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 Roboetica 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 meccatronici tradizionali e tipici della robotica *soft* per la **manipolazione destra e la locomozione** in ambienti aerei, acquatici, sotto terra e su suoli di natura diversa e accidentata
- 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, etc. 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'Agenzia 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

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



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 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, etc., 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 mecatronica 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.
11. 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, a 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 TRL4/5, 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

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



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. 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 mecatronica 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, etc.), 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 dal paese 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, etc. 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, etc., 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, etc.
- **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 TRL3/4, cioè dispositivi dimostrati in laboratorio, e alcuni dispositivi a livello TRL5/6, 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 medica 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 mediamente 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, etc.), 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, etc.) ma anche macchine per le costruzioni, macchine movimentazione terra, veicoli battipista, etc.
- 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, meteorologiche, 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, etc.*)**, 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.
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 dirompenti 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 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

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	*	*	*	*	*	*

