

ROADMAP

PER LA RICERCA
E L'INNOVAZIONE

D U E M I L A V E N T I T R E



ROADMAP

PER LA RICERCA
E L'INNOVAZIONE

D U E M I L A V E N T I T R E



Sommario

	Prefazione	4
	Introduzione	6
	1. L'evoluzione del manifatturiero italiano e gli obiettivi della roadmap	9
	1.1 Contributo della roadmap agli obiettivi europei e agli obiettivi di Sviluppo Sostenibile	11
	1.2 Approccio metodologico e gli attori coinvolti	13
	1.3 Struttura della roadmap	16
	2. Analisi di contesto del settore manifatturiero	22
	2.1 Dati di settore	23
	2.2 Posizionamento Globale	26
	2.3 Focus Macchine utensili e beni strumentali	28
	2.4 Competitività di sistema	30
	2.5 Il manifatturiero e i Sustainable Development Goals	33
	3. Il manifatturiero e la crisi pandemica	34
	3.1 Situazione globale	35
	3.2 La reazione della manifattura italiana	36
	3.3 Proposta di un nuovo modello collaborativo: Produrre un Paese Resiliente	37
	4. La strategia europea per la ricerca	38
	4.1 Horizon Europe	39
	4.2 La partnership Made in Europe	40
	4.3 Il Chips Act	41
	5. La strategia nazionale di Ricerca	42
	5.1 Il Programma Nazionale della Ricerca	43
	5.2 Il Piano Nazionale per la Ripresa e la Resilienza	44
	6. Le strategie di specializzazione territoriale del manifatturiero italiano	45
	7. Scenari di riferimento per il futuro	50
	7.1 Scenario 1: Mobilità elettrica: una sfida di filiera	51
	7.2 Scenario 2: Nuovi modelli di consumo	53
	7.3 Scenario 3: Economia circolare	54
	7.4 Scenario 4: La gestione della conoscenza e Internet of Action	57
	7.5 Scenario 5: Le Piattaforme digitali	58
	7.6 Scenario 6: I cambiamenti climatici	60
	8. La nuova roadmap	62
	8.1 LI1: Produzione personalizzata	65
	8.2 LI2: Sostenibilità industriale	75
	8.3 LI3: Valorizzazione delle persone nelle fabbriche	85
	8.4 LI4: Alta efficienza e zero-defect	93
	8.5 LI5: Processi produttivi innovativi	105
	8.6 LI6: Produzione evolutiva e resiliente	119
	8.7 LI7: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity	129



Prefazione

Il manifatturiero è il pilastro fondamentale di molte economie moderne, capace di generare vantaggi sociali, economici ed ambientali e di contribuire al superamento delle grandi sfide del nostro tempo.

Gli ultimi due anni sono stati particolarmente sfidanti per le economie di tutto il mondo e l’Italia, grazie alla presenza di aziende flessibili, una diversificata cultura industriale e la capacità di riconvertire velocemente i propri processi è riuscita a rispondere alle criticità derivanti dal mercato.

Già nel documento “Produrre un Paese Resiliente”, il Cluster ha proposto una riflessione sulla crisi pandemica, evidenziando la necessità del sistema Italia di dotarsi di strategie che, grazie al solido sistema industriale, permettano di consolidare e sviluppare processi, settori e applicazioni attraverso la creazione di ecosistemi di collaborazione che mettono a fattor comune le eccellenze delle aree di specializzazione regionali capaci di lavorare su filiere a perimetro nazionale e internazionale.

Il presente documento di roadmap è il risultato dell’intenso lavoro di questo ultimo biennio che ha visto la partecipazione di Imprese, Università, Enti di ricerca, Associazioni intorno alla costruzione di una visione sistemica sulle tematiche di ricerca e innovazione tecnologica con una prospettiva a medio-lungo termine.

Il documento ha l’obiettivo di indicare percorsi per migliorare il posizionamento del manifatturiero nel contesto internazionale, cogliendo le sfide e aprendo nuove opportunità strategiche per rafforzare la specifica leadership industriale italiana nel mondo.

La roadmap è sviluppata in coerenza e continuità con le politiche di ricerca europee di Horizon Europe e in armonia con quanto definito nell’ambito delle Smart Specialization regionali.

Essa si basa su un approccio congiunto in cui l’analisi top down dei trend e degli scenari di sviluppo mondiali da cui derivano le sfide per il manifatturiero è integrata con un approccio bottom up che vede coinvolti i soci del Cluster nel portare le loro necessità di ricerca per i prossimi anni.

Le proposte della roadmap sono strutturate su 7 linee di intervento strategiche per le quali sono state identificate specifiche priorità in grado di cogliere e sviluppare le opportunità offerte dalle emergenti e potenziali tecnologie abilitanti (individuare anche grazie al supporto dei Pathfinder) rispetto alle modificate sfide che le aziende ricevono dal mercato (individuare anche grazie al supporto dei Lighthouse).

La roadmap è uno strumento fondamentale per supportare gli associati nel definire propri percorsi di sviluppo per il futuro e ha al contempo l’obiettivo di ispirare specifiche politiche e azioni a supporto della ricerca e innovazione e internazionalizzazione ai vari livelli di interlocuzione anche governativa.

Infatti, viene usata per colloquiare con le istituzioni, in

primis i Ministeri, rappresentando le visioni messe a fuoco dai soci del Cluster Fabbrica Intelligente.

A livello europeo può divenire un qualificato punto di vista da proporre alla Commissione attraverso le piattaforme Manufuture e Processes4Planet, la partnership Made in Europe, la KIC Manufacturing, il Chips Act e tutte le iniziative interessate ai temi del manifatturiero. Infine questo documento può essere ulteriormente utilizzata per supportare le azioni di raccordo tra le politiche nazionali e regionali.

Nel presentare quindi questo documento, l’Organo di Coordinamento e Gestione (OCG) del Cluster Fabbrica Intelligente desidera ringraziare:

Il Comitato Tecnico Scientifico:

- Tullio A.M. Tolio (Presidente)
- Paolo Calefati
- Sauro Longhi
- Marco Taisch
- Gianluigi Viscardi

Gli editor della roadmap:

- Tullio A.M. Tolio
- Rosanna Fornasiero

Il gruppo Roadmapping del Cluster composto da:

- Rosanna Fornasiero, Coordinatore
- Marcello Colledani
- Guido Colombo
- Melissa Demartini
- Paolo Dondo
- Luca Giorleo
- Cristian Secchi
- Flavio Tonelli
- Marcello Urgo

I membri degli Steering Committee dei Gruppi Tematici Tecnico-Scientifici e loro collaboratori:

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| • Accurso Damiano | • Chiabert Paolo |
| • Auricchio Ferdinando | • Colledani Marcello |
| • Baglietto Marco | • Colombo Guido |
| • Barberio Grazia | • Cotti Piccinelli Renato |
| • Beghi Alessandro | • Crippa Marino |
| • Biele Enrico | • Demartini Melissa |
| • Benatti Paolo | • Dondo Paolo |
| • Biglia Mauro | • D’Orazio Tiziana |
| • Bonaiti Giacomo | • Fornasiero Rosanna |
| • Bortoluzzi Davide | • Galassi Carmen |
| • Bosi Gildo | • Ghignone Antonello |
| • Calefati Paolo | • Gilioli Edmondo |
| • Callegati Enrico | • Giorleo Luca |
| • Campatelli Gianni | • Giuliani Fabio |
| • Caramella Nicola | • Golinelli Fabio |
| • Cardinali Fabio | • Iacobucci Donato |
| • Catalano Antonio | • Macchi Marco |
| • Ciarapica Filippo Emanuele | • Melchiorri Claudio |



- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| • Messina Angelo | • Scippa Antonio |
| • Monti Marina | • Secchi Cristian |
| • Munaro Roberto | • Semeraro Luigi |
| • Parrini Mauro | • Sortino Marco |
| • Pellicciari Marcello | • Susto Gianantonio |
| • Peruzzini Margherita | • Tomesani Luca |
| • Petrali Pierluigi | • Trotta Gianluca |
| • Picone Nicoletta | • Urgo Marcello |
| • Pontrandolfo Pierpaolo | • Virgilito Giuseppe |
| • Previdi Fabio | • Viscardi Mauro |
| • Previtali Barbara | • Viscardi Michele |
| • Rampa Vittorio | • Vistoli Maria Cristina |
| • Salmoiraghi Sandro | • Zanichelli Francesco |
| • Salvio Marcello | • Ziprani Francesco |
| • Scandelli Nadia | • Zuffada Roberto |

I rappresentanti dei Lighthouse plant

- Fabio Golinelli di ABB
- Luca Manuelli di Ansaldo
- Fulvio Rinaldi di Hitachi
- Paolo Galli di HSD
- Maurizio Zanforlin di Ori Martin
- Enrico Malfa di Tenova
- Giuseppe Saragò di Wärtsilä

I rappresentanti delle aziende Pathfinder:

- Michele Dalmazzoni di Cisco
- Fabio Bonanni e Andrea Muggetti di Deloitte
- Stefano Venchi di Ernst &Young
- Andrea Pagliari di SAP
- Franco Megali di Siemens

Gli Enti rappresentanti le Regioni:

- AFIL per la Regione Lombardia
- ART-ER per Regione Emilia-Romagna
- Cluster Lucano Automotive per Regione Basilicata
- Cluster Marche Manufacturing per Regione Marche
- COMET per Regione Friuli Venezia Giulia
- HIT per Provincia Autonoma di Trento
- MEDISDIH per Regione Puglia
- MESAP per Regione Piemonte
- SIIT per Regione Liguria
- Sviluppumbria per Regione Umbria
- VenetoInnovazione per la Regione Veneto

I soci sostenitori:

- Autodesk
- Cefriel S.C.R.L.
- Comet S.C.R.L.
- Cosberg Spa
- Dassault Systemes Italia Srl
- Efeso Consulting Srl
- Enel Spa
- Feralpi Siderurgica Spa
- Fondazione Bruno Kessler
- Itelyum Regeneration Srl
- Masmec Spa
- Menarini Manufacturing Logistics & Services Srl
- Nokia Solutions And Networks Italia
- Nuova Icom Srl
- Oracle Italia Srl
- Sacmi Coop. Meccanici Imola
- Smart Track Srl
- Unioncamere
- Università Politecnica delle Marche
- Università degli Studi Guglielmo Marconi
- Wärtsilä Italia Spa

Infine, un ringraziamento va al Cluster Manager Paolo Vercesi e a tutte le imprese, Università, Enti di Ricerca e Associazione che a vario titolo hanno messo a disposizione le proprie competenze che il Cluster ha coinvolto, partecipando ai webinar, alle survey, alle consultazioni e ai vari incontri che sono stati organizzati durante tutto l’arco del biennio.

L’OCG del Cluster Fabbrica Intelligente

Introduzione

Il manifatturiero è il pilastro fondamentale di molte economie moderne, capace di generare vantaggi sociali, economici ed ambientali e di contribuire al superamento delle grandi sfide del nostro tempo.

Da una prospettiva più ampia, la disponibilità di competenze avanzate, la cultura industriale, l'immagine, i marchi e la reputazione, la disponibilità di risorse per l'innovazione e la ricerca e le condizioni per attrarre talenti costituiscono elementi capaci di determinare il successo di una nazione.

È apparso ancora più chiaro negli ultimi due anni come, in funzione delle caratteristiche e della disponibilità di risorse (come competenze, impianti produttivi, materie prime), sia necessario che ogni Paese sviluppi una strategia per dotarsi di un settore industriale forte puntando su processi, settori e applicazioni che caratterizzano l'unicità delle caratteristiche del territorio, con l'obiettivo di raggiungere l'eccellenza in aree strategiche di specializzazione.

L'Italia, in particolare, possiede un patrimonio unico di tradizione, cultura, competenze, immagine, design e tecnologie che rappresentano l'ambiente ottimale per un settore manifatturiero che produce prodotti e servizi ad alto valore aggiunto esportati in tutto il mondo.

Il motore della evoluzione continua non può che essere un piano per la ricerca e l'innovazione accompagnata da un piano di formazione capace di reindirizzare l'insieme delle conoscenze del tessuto industriale nazionale in linea anche con gli obiettivi delle politiche europee.

Un tale piano di ricerca pluriennale deve far leva sulle prerogative delle risorse produttive italiane disponibili e deve essere allineato con le sfide di ricerca e con le tendenze internazionali nel campo produttivo.

La pandemia ha messo a dura prova tutte le società e le economie e l'analisi dei dati storici deve essere accompagnata anche dai dati della congiuntura che rende comunque più difficile qualsiasi previsione per il futuro e richiede grande cautela in un contesto che è ancora in fase evolutiva caratterizzato da forte incertezza.

Da un lato è necessario evitare il rischio di produrre valutazioni legate alle tendenze del momento che il mutevole scenario attuale può facilmente ribaltare, dall'altro è necessario definire dei percorsi che considerino le sfide e le opportunità che ne stanno scaturendo per un rinnovamento del manifatturiero italiano.

La strategia del Cluster si basa sul fatto che lo sviluppo e l'applicazione dei risultati della ricerca scientifica viene riconosciuto come una delle leve più efficaci per il miglioramento della competitività e la realizzazione di prodotti e processi più efficienti e sostenibili e in generale più adatti ai fabbisogni delle persone.

Inoltre questo ha un notevole impatto sulla società perché può contribuire a migliorare la qualità della vita dei cittadini e la competitività del sistema nel suo complesso, affrontando le sfide sociali quali per esempio la sostenibilità, la personalizzazione dei prodotti, la valorizzazione delle persone.

Un tale processo è complesso e coinvolge varie componenti e diversi ruoli, considerando diverse prospettive, interessi e fabbisogni.

Negli ultimi 15 anni, i modelli capaci di supportare un tale processo di innovazione sono stati fortemente discussi ed analizzati a livello scientifico, industriale e politico con l'obiettivo di trovarne di più efficaci.

Oggi uno dei modelli di innovazione più diffusi è il cosiddetto modello a tripla elica.

Secondo tale modello, lo sviluppo effettivo di un certo territorio, capace di considerarne fabbisogni e caratteristiche, può essere ottenuto attraverso la fattiva collaborazione tra mondo scientifico, business e organi di governo.

L'attività di ricerca deve avere come obiettivo identificare risultati che siano applicabili a diversi contesti.

Il business deve renderli economicamente convenienti, profittevoli e competitivi.

Le istituzioni devono fornire ad entrambi il contesto normativo per una effettiva collaborazione, accompagnandoli durante la prima fase dalla ricerca all'innovazione all'effettiva industrializzazione, in quanto spesso non risultano fattibili con le sole forze del mercato

Inoltre, un sistema virtuoso dovrebbe essere basato sul miglioramento sociale ed economico, che i ricercatori e le aziende dovrebbero considerare all'interno dei modelli di sviluppo tecnologico magari supportati anche dagli organi di governo.

In un contesto di questo tipo, il ruolo del cluster diventa estremamente importante quale facilitatore di processi di networking per la ricerca e l'innovazione, agendo

come organo di soft-governance per mettere insieme le esigenze di tutti questi attori attraverso processi di supporto alla definizione di opportune politiche di sostegno e incentivazione alla ricerca e all'innovazione e alla implementazione delle stesse con il supporto di documenti strategici quale la roadmap.

Con l'obiettivo quindi di definire la nuova roadmap per la ricerca e l'innovazione, il presente documento si apre con una contestualizzazione del ruolo del cluster, la definizione dell'approccio metodologico e un riassunto della roadmap (cap.1).

Il documento prosegue quindi con un'analisi del contesto del settore manifatturiero italiano, confrontandolo con altri paesi a livello europeo e mondiale (cap.2), proponendo anche un focus sulla risposta del settore alla crisi pandemica (cap.3) che è stata caratterizzata per certi versi da performance migliori rispetto ad altri paesi europei.

Vengono quindi analizzati i documenti di riferimento che stanno indirizzando le politiche industriali a livello europeo (cap.4), a livello nazionale (cap.5) e a livello regionale (cap.6).

Nel capitolo successivo (cap.7), facendo riferimento ad alcuni importanti trend politici, ambientali, sociali, e tecnologici vengono proposti alcuni scenari di riferimento che potrebbero avere un impatto rilevante sul settore manifatturiero in termini di modelli di produzione con diversi orizzonti temporali.

Nel cap. 8 si sviluppano i contenuti della roadmap in termini di linee di intervento e di priorità di ricerca e innovazione.



1. L'evoluzione del manifatturiero italiano e gli obiettivi della roadmap

L'apparente paradosso italiano dato dall'alta capacità di innovazione congiunta con una bassa spesa in ricerca e sviluppo ha diverse spiegazioni.

Innanzitutto, la dimensione media ridotta delle imprese manifatturiere nel Paese, che comporta una prevalenza di attività non formalizzate di innovazione; la forte presenza del sistema industriale italiano in settori in cui l'innovazione avviene per lo più sotto forma di sviluppo incrementale dei processi produttivi e dei prodotti (learning by doing, learning by using e learning by interacting), incorporando le nuove tecnologie nei macchinari o nei brevetti e licenze, mentre in misura minore si basa sull'introduzione di tecnologie radicalmente nuove per le quali è indispensabile una sottostante attività di ricerca scientifica (da quella di base a quella applicata).

È in corso una riorganizzazione delle catene di fornitura che collegata alle discontinuità tecnologiche derivanti dalla duplice transizione digitale ed ecologica rappresentano fattori di cambiamento strutturale nel contesto competitivo, che stanno portando a una trasformazione profonda nei meccanismi di creazione del valore.

Stanno infatti emergendo modelli collaborativi che chiedono alle aziende una nuova capacità di innovare dal momento che è sempre più necessario:

- i) rapportarsi al cliente per fornire soluzioni a problemi produttivi complessi piuttosto che produrre semplicemente su commessa;
- ii) aumentare il grado di coordinamento con gli altri attori della filiera per accrescere la capacità di resilienza agli shock e di massimizzare gli spillover della conoscenza;
- iii) non perdere il passo dell'evoluzione costante nei bisogni del mercato.

L'investimento in questa chiave non si limita agli aspetti direttamente legati all'efficienza del processo produttivo, ma abbraccia sempre di più le diverse funzioni aziendali a monte e a valle, dalla progettazione alla configurazione fino alla distribuzione e alle fasi post-vendita, in una logica di accrescimento della componente immateriale del valore del prodotto.

Questo orientamento verso nuove strategie richiede oggi forme sempre più strutturate e "visibili" di innovazione, che affianchino agli scambi di informazioni non codificate, una valorizzazione delle attività formali di ricerca, sviluppo e progettazione dei prodotti, un uso sistematico dei dati a disposizione delle aziende basato su tecnologie digitali per attività quali per esempio il monitoraggio dei processi e dei prodotti anche in ottica di sostenibilità, l'analisi dei cambiamenti di mercato, il coinvolgimento dei lavoratori nella formalizzazione e uso della conoscenza e nello sviluppo di conoscenze e competenze tramite la formazione.

Questo serve anche per dare risposte alla crescente richiesta di conoscere la sostenibilità dei processi produttivi e delle catene di fornitura da parte dei consumatori finali, dei mercati finanziari, del legislatore.

L'Italia possiede un patrimonio unico di tradizione,

cultura, competenze, immagine, design e tecnologie che rappresentano l'ambiente ottimale per un settore manifatturiero che produca prodotti e servizi ad alto valore aggiunto.

In particolare, le risorse distintive sulle quali l'Italia può contare sono:

- La capacità di personalizzare prodotti e servizi rendendoli unici agli occhi dei clienti.
- Un'alta flessibilità nella produzione ottenuta attraverso un approccio estremamente creativo e uno spirito imprenditoriale largamente diffuso.
- L'elevato livello tecnologico dei sistemi di produzione prodotti in Italia, che facilita i produttori nazionali nell'acquisizione di apparati avanzati.
- La capacità di combinare il design e l'alta tecnologia.
- La tradizione del Made in Italy, che genera credibilità internazionale e un'immagine di rilievo.
- L'elevato livello delle risorse umane e delle competenze professionali in diversi settori ed in nicchie industriali, presenti in comunità industriali profondamente radicate sul territorio.
- La capacità delle piccole e medie imprese di aggregarsi in distretti e reti per ottenere massa critica con l'obiettivo di competere a livello internazionale.
- Un sistema formativo di elevato livello capace di sostenere i processi produttivi e l'innovazione.

Il motore di questa trasformazione dovrebbe essere la ricerca e l'innovazione centrata sulla fabbrica estesa, accompagnata da un piano di formazione capace di reindirizzare l'insieme delle conoscenze del tessuto industriale nazionale.

Un tale piano di ricerca pluriennale deve far leva sulle prerogative delle risorse produttive italiane disponibili e deve essere allineato con le sfide di ricerca e con le tendenze internazionali nel campo produttivo.

Alla luce di questo, la missione dichiarata del Cluster Fabbrica Intelligente è proporre, sviluppare e attuare una strategia basata sulla ricerca e l'innovazione, in grado di:

- indirizzare la trasformazione del settore manifatturiero italiano verso nuovi prodotti-servizi, processi e tecnologie in grado di sfruttare e sviluppare con successo il patrimonio unico di risorse offerte dal nostro paese.
- creare una comunità manifatturiera nazionale stabile e più competitiva nella progettazione, esecuzione e valorizzazione dei risultati della ricerca.
- collegare le politiche di ricerca nazionali e regionali con quelle internazionali, con lo scopo di creare nuove sinergie tra fondi ed opportunità offerte da diversi soggetti erogatori di risorse per la ricerca e innovazione.



1. L'evoluzione del manifatturiero italiano e gli obiettivi della roadmap



Per questo motivo, il Cluster si pone come obiettivo la definizione di percorsi per l'evoluzione della manifattura italiana, aggregando a livello nazionale attori provenienti da mondo dell'industria e della ricerca per attivare e supportare un dialogo continuo con i Ministeri, le Regioni e le istituzioni anche a livello europeo e internazionale con una visione nazionale del sistema produttivo definita attraverso attività di roadmapping.

Per posizionarsi in modo stabile all'interno dell'arena competitiva globale nell'ambito della produzione, l'Italia deve innovare il proprio settore manifatturiero per far leva sulle risorse a sua disposizione e generare valore aggiunto nei mercati sia tradizionali che nuovi.

Questa innovazione dovrà comprendere da un lato il raggiungimento di una maggiore produttività, e dall'altro lo sviluppo di nuove industrie strategiche facendo leva sull'esistente struttura produttiva di successo. In considerazione di ciò, la roadmap definisce visioni sul manifatturiero del futuro che permettano:

- Il supporto all'azione dei policy maker (ministeri, regioni, UE) attraverso la proposta di un quadro coerente di ricerca sviluppo e innovazione che tenga conto dell'evoluzione a livello internazionale e consideri al tempo stesso la specificità della situazione nazionale e delle singole regioni.
- Il riferimento per la definizione di iniziative progettuali che permettano nel complesso il raggiungimento di final

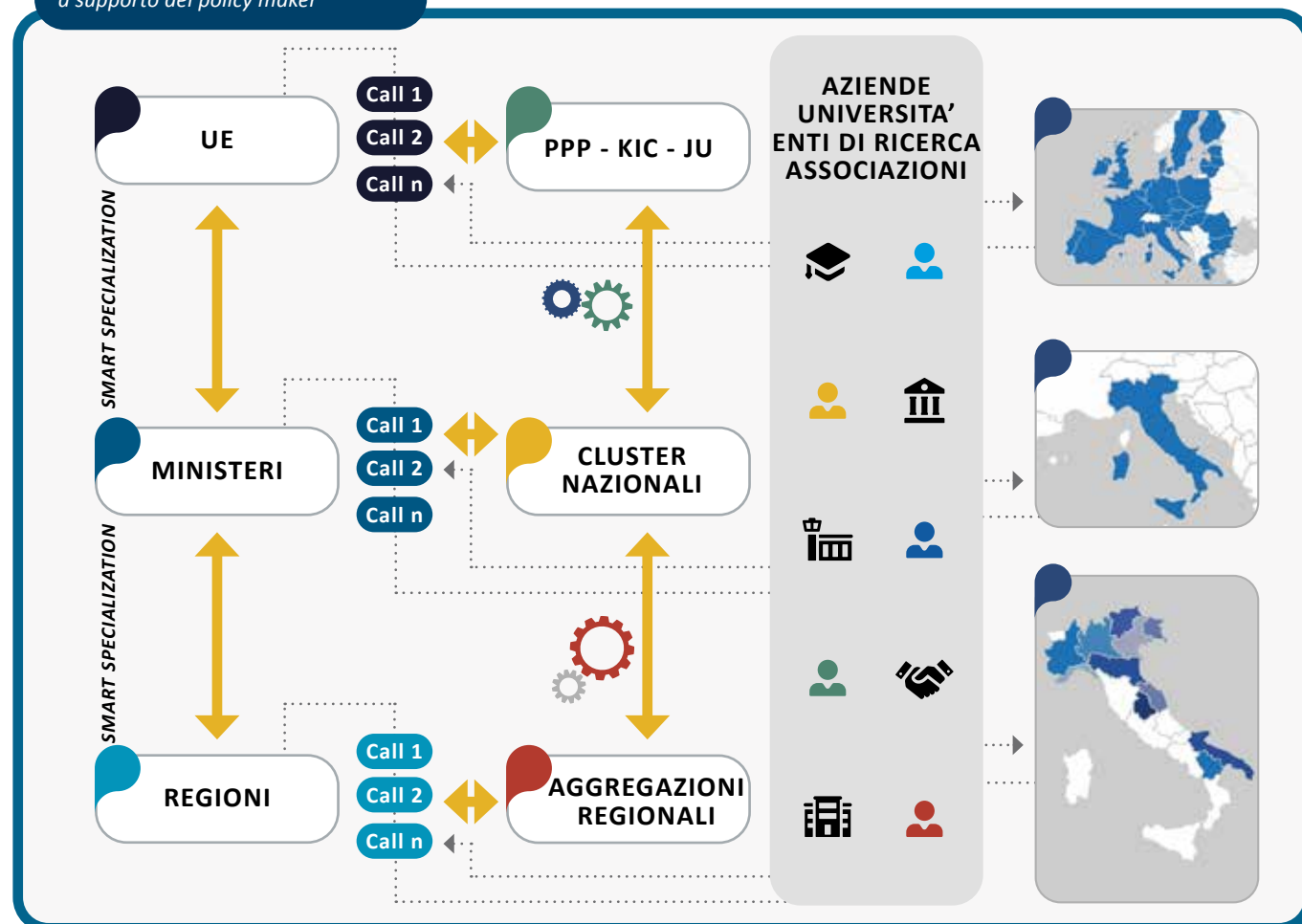
ità comuni a beneficio del posizionamento strategico e della competitività del Paese.

- Un punto di partenza nelle relazioni bilaterali e multilaterali con gli altri Stati per definire programmi di cooperazione e azioni condivise.
- Un riferimento per l'elaborazione delle S3 nazionale e regionali.

Questo ruolo del Cluster favorisce la coerenza tra i soggetti attuatori, per superare problemi di frammentazione, e migliorare la capacità di implementare azioni che siano coordinate e, ove possibile, congiunte in modo da garantire una crescita armonica del settore. Questo quadro unitario è a vantaggio delle imprese e delle università ed enti di ricerca cioè dei soggetti attuatori delle azioni di ricerca e innovazione.

La presenza di un quadro unitario consente, infatti, al singolo attore di partecipare a iniziative regionali, nazionali, europee attraverso progetti che a partire da quelli locali muovendosi verso quelli nazionali e infine internazionali fanno tesoro delle esperienze via via sviluppate in questo percorso di crescita. Al contrario risultati a TRL basso a livello europeo o nazionale possono trovare ulteriore evoluzione nei territori delle Regioni anche attraverso dimostratori e impianti pilota (Fig.1.1). Infine iniziative multiregionali di diversi Paesi possono portare ad iniziative a livello europeo (ad es. Vanguard).

Figura 1.1: il sistema di interazione a supporto dei policy maker



1.1 Contributo della roadmap agli obiettivi europei e agli obiettivi di Sviluppo Sostenibile

Nel definire gli obiettivi della roadmap, il Cluster ha preso a riferimento alcuni documenti strategici di livello internazionale ed europeo. In particolare, il Cluster si prefigge di contribuire a definire tematiche di ricerca e innovazione coerenti oltre che agli obiettivi definiti nel PNR e del PNRR anche ad alcune importanti politiche europee quali ad esempio: una nuova strategia industriale per l'Europa¹, Il Green Deal europeo², Un'Euro-ropa pronta per l'era digitale³, Un'economia al servizio delle persone⁴.

Per quanto riguarda gli obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (Sustainable Development Goals-SDG)⁵, nel definire le priorità di ricerca e innovazione, il Cluster ha cercato di analizzare in che modo il manifatturiero possa concorrere direttamente al perseguimento dei seguenti obiettivi:

- **Obiettivo 8:** Crescita economica e condizioni di lavoro
- **Obiettivo 9:** Imprese, Innovazione e infrastrutture
- **Obiettivo 12:** Modelli sostenibili di produzione e di consumo
- **Obiettivo 13:** Lotta contro il cambiamento climatico

Inoltre, il cluster opera in stretto legame con la Co-programmed partnership Made in Europe e con la piattaforma europea Manufuture dal momento che alcuni attori che sono presenti nel cluster sono anche attivi a livello europeo e si pone l'obiettivo di definire le priorità di ricerca e innovazione che facilitino il manifatturiero nel raggiungimento dei seguenti obiettivi europei:

- **Rendere il manifatturiero un settore neutro dal punto di vista delle emissioni di carbonio entro il 2050;**
- **Arrivare ad una quota di manifatturiero sul PIL al 20%;**
- **Ridurre l'uso di materie prime vergini del 20% nella prossima decade;**
- **Aumentare la leadership tecnologica e la resilienza degli ecosistemi.**

Nelle Tabelle 1.1 qui sotto sono evidenziati i legami tra gli obiettivi del Cluster, i documenti strategici della UE e gli obiettivi UN.

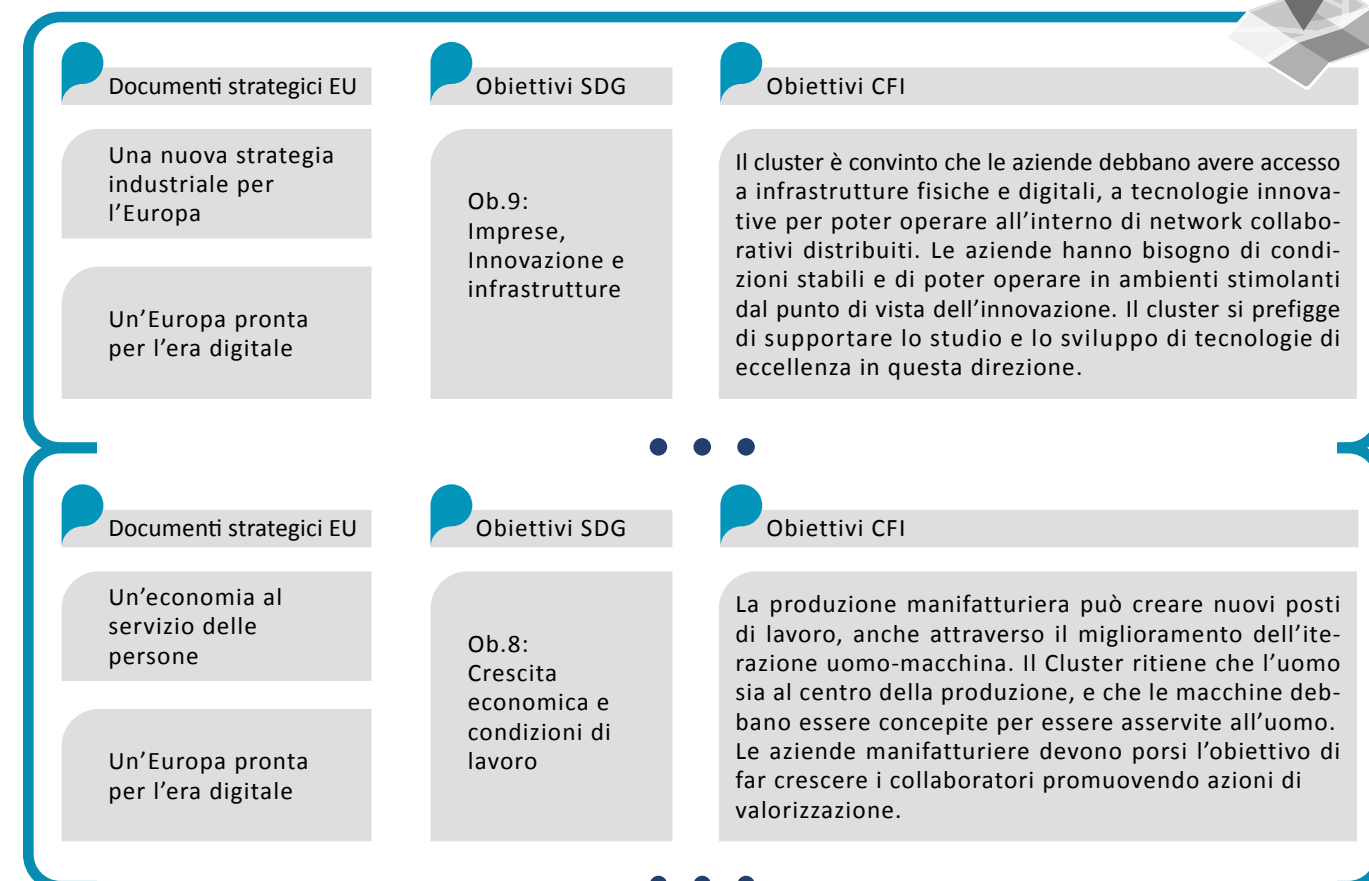




Tabelle 1.1: declinazione degli Obiettivi UE e SDG per il Cluster

¹ European Commission. Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery (May 2021)
² European Commission. The European Green Deal (Dec2019)
³ European Commission. 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade (Mar2021)
⁴ European Commission. Communication and Annex on a Strong Social Europe for Just Transitions (Jan2021)
⁵ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

1.2 Approccio metodologico e gli attori coinvolti

Il percorso seguito dal Cluster per la definizione della roadmap si è basato sulla messa a punto di una metodologia che integrando diversi approcci riconosciuti anche dalla letteratura scientifica ha permesso di raccogliere e formalizzare le convinzioni di diversi attori del cluster o che gravitano intorno al cluster stesso.

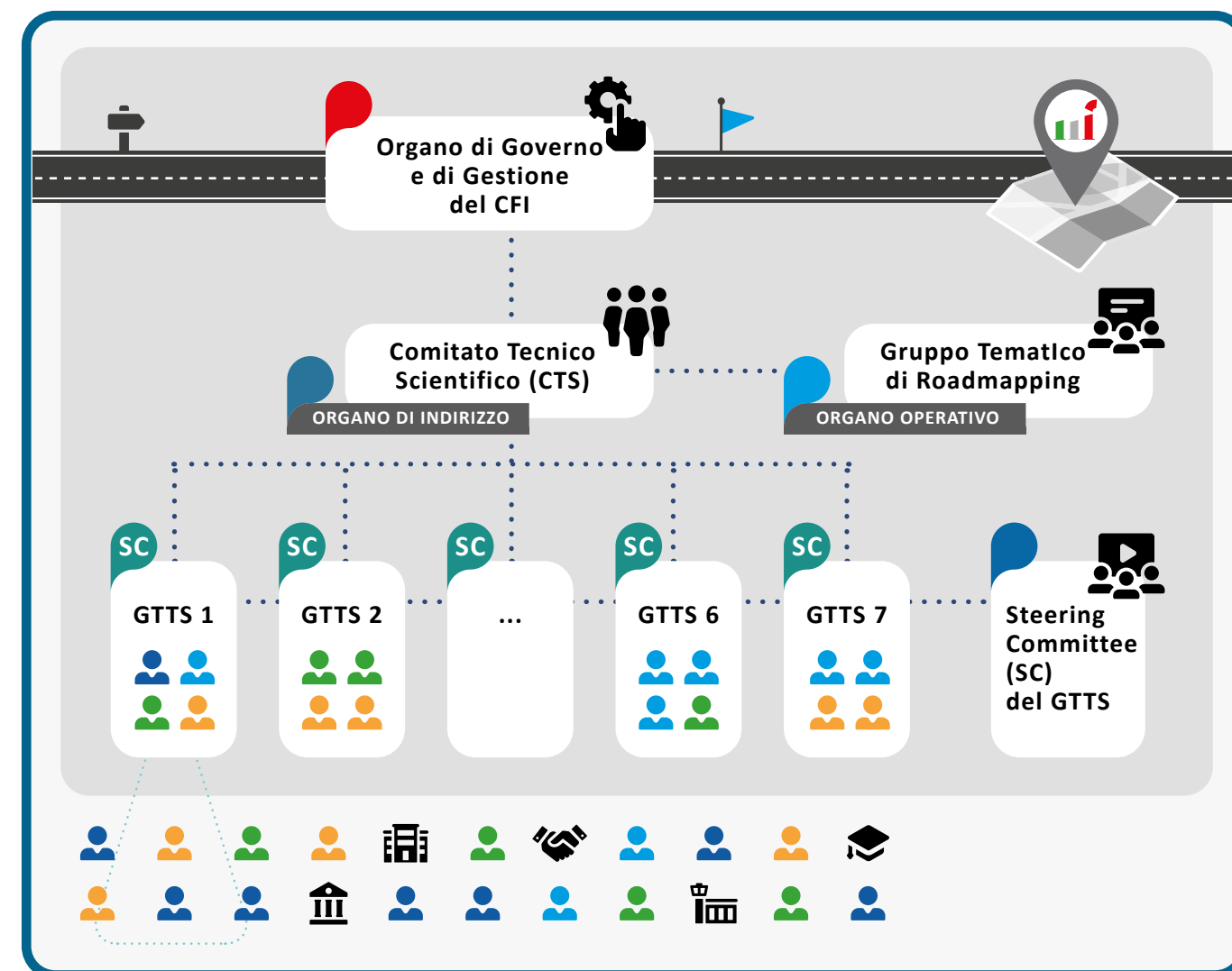
L'analisi del contesto attuale è stata una fase preparatoria che ha permesso di fotografare la situazione italiana e mondiale e di capire in che modo il manifatturiero sta reagendo alle condizioni mutevoli dei mercati cercando di estrapolare punti di forza e punti di debolezza del settore.

Sul piano dei dati empirici sono stati utilizzati diversi database quali per esempio la Banca Mondiale, OCSE, Eurostat, ISTAT che hanno permesso di disegnare la situazione generale e dati Federmacchine e UCIMU per un focus su meccanica e macchine utensili. Sul piano delle politiche, i punti di riferimento della Roadmap sono i documenti europei (come per es. Next Generation EU, la SRIA di Manufuture, e i documenti programmatici della partnership Made in Europe), i documenti nazionali del PNR e del PNRR e le Strategie di Specializzazione Regionale.

Sono poi stati utilizzati documenti di analisi dei trend quali i report consulenziali (per es. Roland Berger, McKinsey, Deloitte, PwC e EY), e report di associazioni (per es. Centri studi Confindustria, Fondazione Edison, associazioni di categoria) per capire quali sono le traiettorie sociali, economiche, ambientali e politiche e definire degli scenari di riferimento che raccolgono alcuni importanti cambiamenti radicali di contesto dai quali il manifatturiero non può prescindere.

Gli scenari definiti costituiscono un punto di partenza per comprendere quali siano i fattori di cambiamento della società e della struttura economica globale che possono influenzare il settore ed evidenziano che gli effetti combinati di alcuni trend quali l'invecchiamento della popolazione, la scarsità delle risorse e il loro sfruttamento eccessivo, i cambiamenti climatici, l'accelerazione tecnologica e l'apertura di nuovi mercati creano sfide senza precedenti che richiedono la trasformazione del sistema manifatturiero italiano.

Figura 1.2: struttura organizzativa CFI



Alla luce di questi scenari, le attività di roadmapping tecnologico condotte dal Cluster CFI per individuare le priorità e le traiettorie tecnologiche dell'area di specializzazione si sono basate sulle indicazioni emerse dall'interazione intercorsa negli ultimi due anni con tutti gli attori che fanno parte della compagine del cluster stesso.

In particolare, un ruolo rilevante nella stesura delle linee di intervento strategiche della roadmap è stato ricoperto dagli Steering Committee dei Gruppi Tematici Tecnico Scientifici (GTTS), che hanno guidato il processo di definizione delle tematiche specifiche.

In particolare, sono stati costituiti 7 Steering Committee, all'interno dei quali siedono dalle 7 alle 10 persone nominate dalle loro istituzioni a rappresentarle a seguito di un processo di selezione in cui sono stati coinvolti gli attori dal mondo industriale (attraverso Confindustria, Confartigianato) dal mondo della ricerca (Università ed Enti di ricerca,...) e dai territori (associazioni e cluster regionali).

Gli altri attori coinvolti nelle varie fasi della definizione della roadmap sono:

- **Comitato Tecnico Scientifico (CTS)** con il ruolo di indirizzare e coordinare le attività del gruppo roadmap e dei Gruppi Tematici Tecnico Scientifici (GTTS); inoltre CTS si coordina con l'OCG (Organo di Coordinamento e di Gestione) del cluster per la validazione dei documenti e per lanciare le consultazioni ai soci.

- **Gruppo Roadmap (GRM)** con il ruolo di supportare il CTS nella definizione e sviluppo della metodologia da utilizzare nel processo di roadmapping e di supporto operativo agli steering committee e ai GTTS per la identificazione delle tematiche da sviluppare e per la stesura del documento.

- **Gruppi Tematici Tecnico Scientifici (GTTS):** 7 gruppi organizzati sulle diverse tematiche individuate in seno al Cluster composti dai soci e che vengono coinvolti nelle attività di roadmapping attraverso seminari, consultazioni, attività di brainstorming e workshop per la definizione delle sfide e delle tematiche di ricerca e innovazione.

- **Aziende con Lighthouse plant (o impianti Faro):** Aziende emblematiche che con il supporto del CFI sviluppano progetti Lighthouse (con finanziamento dal MISE e regionale) a partire da impianti all'avanguardia sulle tecnologie 4.0.

Figura 1.3: i passi per lo sviluppo della roadmap



I progetti Lighthouse sono selezionati dal MISE e sono strutturati tenendo conto delle priorità definite nella roadmap e al contempo aiutano ad indirizzare le nuove tematiche per le linee di intervento.

- **Pathfinder:** aziende che hanno una posizione di rilievo nel panorama nazionale e internazionale per lo sviluppo di tecnologie abilitanti per il manifatturiero. Vengono coinvolti anche nei processi di Roadmapping per supportare l'individuazione delle traiettorie di sviluppo di una specifica tecnologia di cui sono tra i soggetti leader e nelle attività di dimostrazione delle medesime tecnologie abilitanti nell'ambito dei Lighthouse plant e delle attività di Filiera e di Open Innovation ad essi collegate.

- **Soci e soci sostenitori** coinvolti periodicamente attraverso diverse iniziative nelle varie fasi di sviluppo della roadmap come per esempio consultazioni, survey online, workshop e seminari.

- **Organo di Coordinamento e Gestione (OCG)** che oltre al ruolo di gestire dal punto di vista strategico il cluster, in questa specifica attività ha il ruolo di approvare e indirizzare le attività di roadmapping in costante coordinamento con il CTS.

Nella tabella sottostante sono stati indicati i passi più importanti di questo biennio e che hanno coinvolto gli attori elencati.

Step che hanno portato alla definizione della roadmap - Q: quadrimestre



1.3 Struttura della roadmap

Nella precedente edizione, la roadmap del cluster ha definito 7 linee di intervento che rappresentano i percorsi lungo i quali si sviluppano le priorità di ricerca e innovazione per il manifatturiero italiano.

Le linee di intervento definite dal Cluster hanno l'obiettivo di rispondere a sfide specifiche derivanti dal mercato e dall'accelerazione dello sviluppo tecnologico.

In particolare, esse rappresentano delle traiettorie lungo le quali le aziende possono riconoscersi e sviluppare dei percorsi di ricerca e innovazione anche tenendo conto degli scenari di contesto quali per esempio i nuovi modelli di consumo, l'economia circolare, la mobilità elettrica, la gestione della conoscenza, le piattaforme digitali e i cambiamenti climatici.

Ogni linea di intervento si compone di Priorità di Ricerca e Innovazione (PRI) all'interno delle quali sono definiti obiettivi di studio e sviluppo che possono aiutare a programmare degli interventi di breve, medio e lungo periodo sia a livello di aziendale che a livello di filiera produttiva ma soprattutto a livello di sistema Paese.

La nuova roadmap si basa su una revisione di queste linee di intervento sia dal punto di vista dei contenuti ma anche dal punto di vista della struttura.

Infatti, sono state individuate alcune Linee di Intervento guidate dal mercato e dalle necessità di studiare e sviluppare nuovi modelli, metodi e tecnologie per rispondere a sfide della società che le aziende si trovano ad affrontare e sono:

LI1:
Produzione personalizzata

LI2:
Sostenibilità industriale

LI3:
Valorizzazione delle persone

LI4:
Alta efficienza e zero-defect

Sono poi state individuate altre 3 linee di intervento guidate dalla necessità di studiare e sviluppare nuove tecnologie che supportino il settore manifatturiero a diversi livelli e in particolare:

LI15:
Processi produttivi innovativi

LI6:
Produzione evolutiva e resiliente

LI17:
Piattaforme digitali, modellazione, AI, security

L'impatto previsto all'implementazione dei contenuti della roadmap abbraccia diversi aspetti quali:

- La creazione di nuovi posti di lavoro nel manifatturiero e la maggiore attrattività di questi posti, grazie alla maggior sicurezza, ergonomia e inclusione; inoltre sarà facilitata l'integrazione dell'industria in un contesto urbano per soddisfare in modo mirato le esigenze specifiche di confort, salute e benessere dei consumatori.

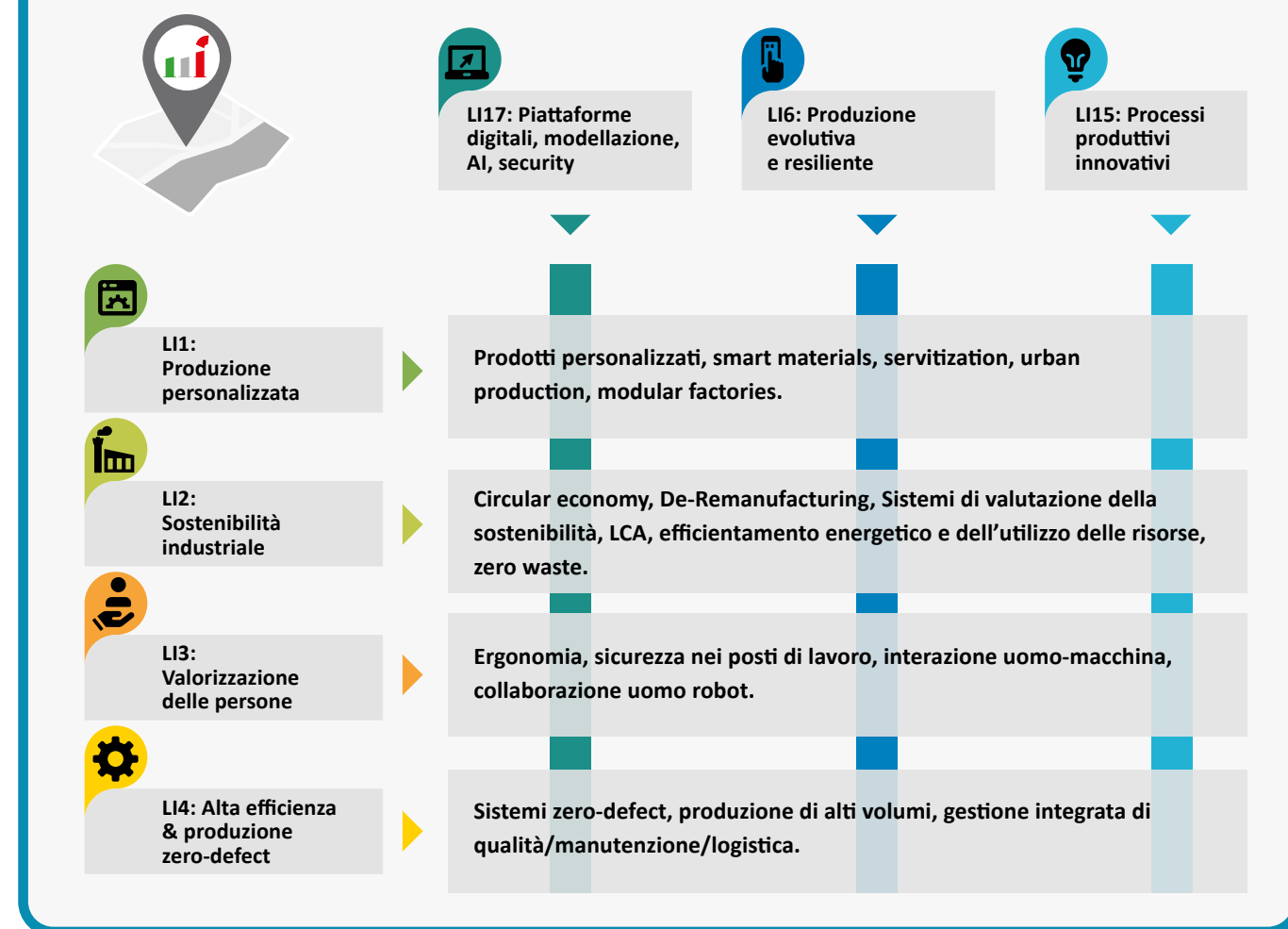
- L'aumento del valore aggiunto ottenuto dal manifatturiero, attraverso un miglior posizionamento delle imprese italiane nella catena globale del valore per rispondere ai bisogni dei mercati emergenti migliorando la posizione competitiva delle aziende stesse.

- La riduzione dell'impatto ambientale del manifatturiero attraverso la riduzione dell'emissione dei gas ad effetto serra derivanti dalle attività manifatturiere, la riduzione del consumo di energia, e di materiali derivante dalle attività manifatturiere, la riduzione degli scarti prodotti dalle attività manifatturiere e la realizzazione di eco-prodotti ed eco-tecnologie.

- La crescita degli investimenti in ricerca e sviluppo nel manifatturiero, sfruttando le opportunità offerte dall'accelerazione tecnologica in corso legate principalmente allo sviluppo e l'integrazione delle tecnologie digitali; inoltre sarà favorita la creazione di percorsi di ricerca e innovazione integrati che partendo dalla ricerca di base e attraverso la ricerca e l'innovazione portino alla valorizzazione delle conoscenze in ambiti industriali.

- La valorizzazione delle competenze territoriali specifiche attraverso l'integrazione tra le azioni a livello nazionali e quelle a livello regionale.

Figura 1.4: keyword per le linee di intervento market pull



Di seguito si riporta un breve riassunto di ogni linea con le relative priorità di ricerca e innovazione che verranno descritte in dettaglio nel capitolo 8.

LI1-Produzione personalizzata: l'obiettivo di questa linea di intervento è proporre priorità di ricerca e innovazione finalizzate allo studio e sviluppo di sistemi e modelli industriali per la produzione efficiente di prodotti personalizzati che siano in grado di riconfigurarsi in tempi ridotti per soddisfare requisiti specifici raccolti dal singolo cliente o da gruppi ristretti, e che garantiscano un elevato grado di integrazione con i clienti stessi fino a farli diventare artefici principali della soluzione prodotta.

Tali sistemi di progettazione e produzione devono essere dotati della capacità di riconfigurarsi anche per prodotti che possono essere necessari in particolari periodi di emergenza (come per es. emergenze sanitarie) o di eventi che possono cambiare improvvisamente le priorità del sistema e che richiedono al sistema industriale di riposizionarsi su fasce di prodotto diverse da quelle che vengono abitualmente prodotte. In questa linea di intervento sarà importante lo studio di nuovi modelli di gestione delle filiere di produzione e modelli di produzione in locale.

Priorità di ricerca e innovazione della LI1

PRI 1.1	Strumenti avanzati per la configurazione e progettazione di soluzioni personalizzate
PRI 1.2	Soluzioni per la produzione efficiente di prodotti personalizzati funzionali ad alto valore aggiunto
PRI 1.3	Soluzioni avanzate per la gestione della produzione customer-driven
PRI 1.4	Mini-factories: un modello per riorganizzare la filiera di produzione e distribuzione
PRI 1.5	Sistemi di produzione per smart materials (sensor-based, bio etc) per la personalizzazione del prodotto/servizio

LI2-Sostenibilità industriale: l'obiettivo di questa linea di intervento è proporre priorità di ricerca e innovazione finalizzate alla trasformazione dei processi industriali di progettazione e produzione dei nuovi prodotti del futuro in ottica di economia circolare, al fine di ridurre sensibilmente le emissioni di carbonio e di migliorare l'efficienza energetica, ridurre e razionalizzare i consumi di risorse, favorirne e promuovendone il recupero.

Oltre al recupero dei materiali è importante indirizzare i futuri modello di produzione verso il recupero delle funzioni del prodotto e il recupero delle materie prime.

Queste azioni devono essere indirizzate a non perdere il valore delle attività che sono state spese per trasformare la materia in prodotto.

Questi cambiamenti richiedono l'introduzione di nuovi processi, di nuove macchine e di nuovi sistemi creando una profonda rivisitazione della base produttiva nazionale aprendo nuovi mercati di beni strumentali che vedano il paese in posizione di leadership.

Priorità di ricerca e innovazione della LI2

- PRI 2.1 Progettazione e sviluppo in ottica life cycle thinking
- PRI 2.2 Monitoraggio dell'impronta ambientale dei prodotti e dei processi
- PRI 2.3 Sistemi per le materie prime seconde, sottoprodotti, sistemi di riutilizzo di rimanenze di magazzino e cespiti aziendali
- PRI 2.4 Tecnologie, processi e strumenti per il riutilizzo, re-manufacturing e riciclo di prodotti, componenti e materiali, re-marketing
- PRI 2.5 Modellazione e simulazione per la supply chain sostenibile e reti di simbiosi industriale
- PRI 2.6 Modelli e strumenti per l'economia circolare



LI3-Valorizzazione delle persone: l'obiettivo di questa linea di intervento è proporre priorità di ricerca e innovazione finalizzate alla progettazione e allo sviluppo di nuove soluzioni che permettano di valorizzare le persone e le loro competenze e contribuire alla loro soddisfazione e benessere; lo studio e la sperimentazione di nuove tecnologie per la riduzione dello sforzo fisico, la cooperazione con sistemi di supporto avanzati, con robot collaborativi e con tecnologie basate su AI; la mappatura della conoscenza generata nell'attività lavorativa, e in particolare quella tacita, in modo compatibile con le esigenze di privacy, portando vantaggi sia al livello di benessere delle persone siano esse utenti,

operatori, manager, sia a livello di strategie e procedure aziendali. In questo modo, le fabbriche innovative dovranno essere sempre più inclusive, fortemente orientate al coinvolgimento e alla partecipazione delle persone (utenti, operatori, manager).

Tali modelli devono avere la persona come elemento centrale nella definizione delle nuove tecnologie e di tutte le dimensioni attraverso cui è definita la nuova fabbrica.

Priorità di ricerca e innovazione della LI3

- PRI 3.1 Nuove Tecnologie, Metodi e Strumenti per l'ottimizzazione dell'ambiente di lavoro, delle interazioni uomo-macchina e del carico cognitivo della Persona
- PRI 3.2 Nuovi approcci alla gestione della conoscenza, della privacy e del capitale umano dell'azienda
- PRI 3.3 Nuove Tecnologie e Metodi per l'evoluzione e la valorizzazione/certificazione delle competenze e delle professionalità della persona e del capitale umano nell'era del Life Long Learning (LLL)

LI4-Alta efficienza e zero-defect: l'obiettivo di questa linea di intervento è proporre priorità di ricerca e innovazione finalizzate allo studio di modelli per l'efficienza in termini di: zero difetti con modelli e tecnologie per la riduzione delle non conformità considerando il monitoraggio dei processi nelle diverse fasi, la gestione della qualità, la manutenzione e la logistica interna di un sistema produttivo, l'aggiornamento e il miglioramento della capacità delle attrezzature e dei beni industriali; robustezza/flessibilità come capacità di operare in pre-

senza di disturbi, dovuti a variabilità dei materiali e dei pezzi in entrata, e le caratteristiche specifiche del materiale (anisotropia, bassa rigidità, ecc.); sistemi intelligenti per l'uso ottimizzato delle risorse disponibili (attrezzature, operatore umano, conoscenza) e per il controllo e la gestione dei sistemi di produzione attraverso modelli (CPS, modelli empirici, ecc.).

Priorità di ricerca e innovazione della LI4

- PRI 4.1 Monitoraggio e controllo avanzato dei processi di produzione
- PRI 4.2 Approcci per la gestione integrata di qualità/manutenzione/logistica
- PRI 4.3 Aggiornamento, retrofitting e valorizzazione dei beni strumentali
- PRI 4.4 Alta efficienza per la riparazione/re-manufacturing
- PRI 4.5 Modellazione e pianificazione avanzata di robot industriali
- PRI 4.6 Sistemi cyber-fisici (CPS) per la fabbrica intelligente
- PRI 4.7 Intelligenza umana-artificiale a supporto dell'alta efficienza
- PRI 4.8 Pianificazione della produzione e scheduling avanzati



LI5: Processi produttivi innovativi: l'obiettivo di questa linea di intervento è proporre priorità di ricerca e innovazione su diversi aspetti dei processi produttivi quali: la digitalizzazione dei processi produttivi consolidati al fine migliorarne le interazioni e gestire diversi tipi di lavorazioni anche attraverso processi ibridi; il ruolo crescente dell'additive manufacturing e le sfide che ne derivano sia in termini di progettazione che di produzione; lavorazioni di materiali standard e innovativi, o

a geometrie meso/macro considerando anche produzioni su scala nano e micro. Inoltre, l'innovazione di processo deve essere anche innovazione a supporto dei processi di re- e de-manufacturing in primis fino allo sviluppo di modelli di trasformazione ispirati ai sistemi biologici.

Priorità di ricerca e innovazione della LI5

- PRI 5.1 Tecnologie, processi e materiali per la produzione additiva
- PRI 5.2 Tecnologie e processi di produzione bio-inspired
- PRI 5.3 Innovazione dei processi produttivi consolidati
- PRI 5.4 Processi di produzione tramite tecnologie ibride
- PRI 5.5 Processi di produzione e di lavorazione di materiali innovativi
- PRI 5.6 Processi, prodotti e funzionalità su scala micro

LI6-Produzione evolutiva e resiliente: l'obiettivo di questa linea di intervento è proporre priorità di ricerca e innovazione finalizzate allo studio e sviluppo di sistemi evolutivi e resilienti grazie ad un elevato grado di automazione e autoapprendimento da parte delle macchine, con livelli di autonomia e di intelligenza adattativa tali da agevolare notevolmente il compito degli operatori.

Le tematiche prioritarie di ricerca riguardano: la modellazione e simulazione per la progettazione e

gestione di sistemi produttivi e le tecnologie hardware e software per la ri-configurabilità dei sistemi produttivi. Gli abilitatori tecnologici sono legati alla disponibilità di dispositivi modulari e intelligenti, integrabili via wireless in modo trasparente e autonomo, in grado di monitorare e controllare gli asset produttivi, i prodotti e di supportare le decisioni rendendo disponibili tutti i dati operativi, di configurazione, guasto e manutenzione necessari.

Priorità di ricerca e innovazione della LI6

PRI 6.1	Progettazione e controllo di sistemi di produzione riconfigurabili
PRI 6.2	Componenti, sensori e macchine intelligenti per la produzione adattativa ed evolutiva
PRI 6.3	Digital Twin per la predizione delle prestazioni e la gestione operativa di sistemi produttivi e logistici ad elevata flessibilità
PRI 6.4	Smart Inspection & Machine Learning
PRI 6.5	Collaborazione uomo-robot

...

LI7-Piattaforme digitali, modellazione, AI, cybersecurity: l'obiettivo di questa linea di intervento è proporre priorità di ricerca e innovazione finalizzate allo studio e sviluppo di architetture digitali innovative per il monitoraggio, il controllo e la gestione dell'avanzamento della produzione e dei suoi asset, la modellazione di nuovi prodotti/servizi e processi produttivi, l'utilizzo di soluzioni di AI, Big data e adeguati sistemi di Cyber Security.

In particolare, le priorità di ricerca e innovazione della linea LI7 partono dal presupposto che sia necessario

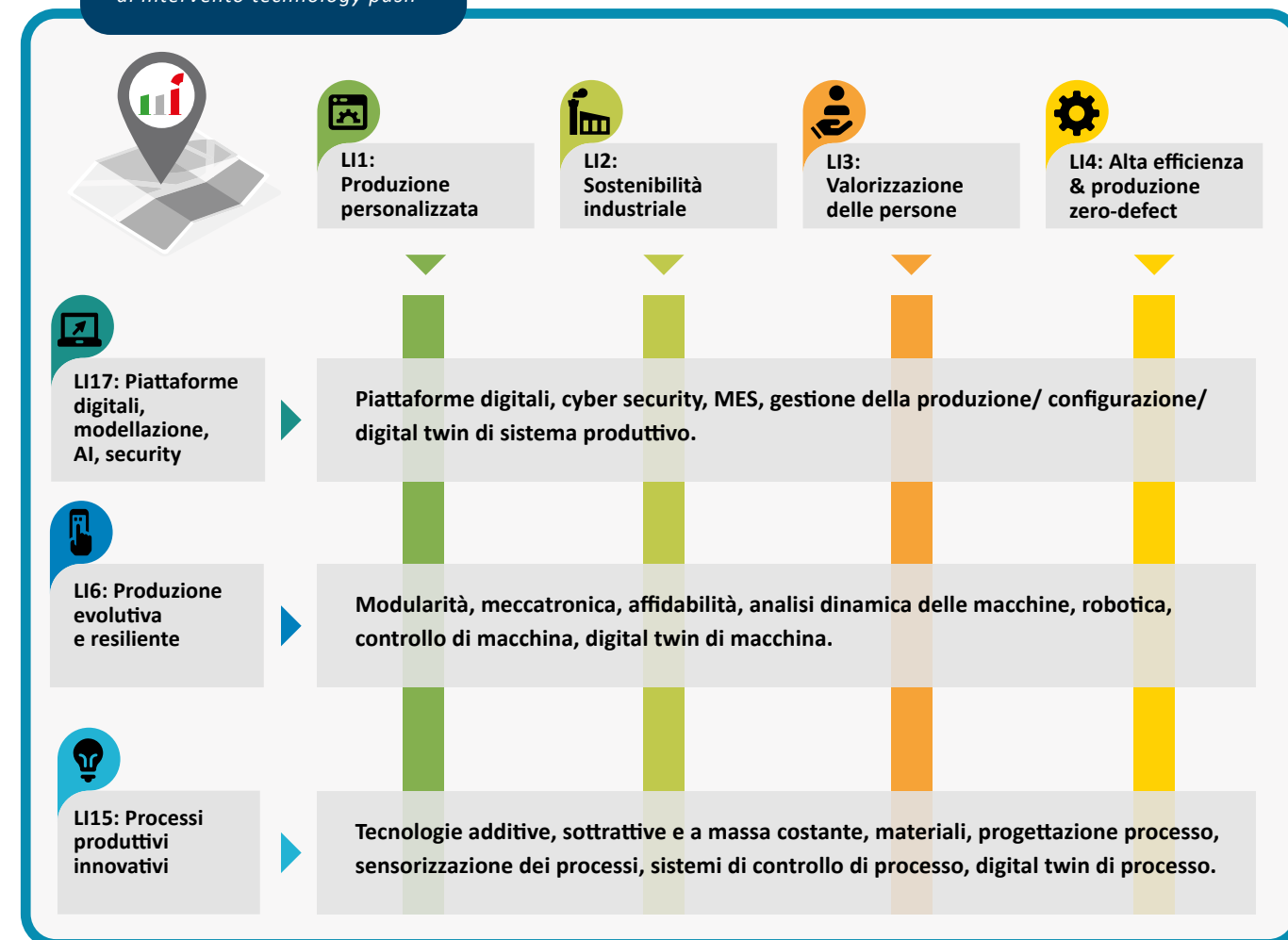
definire dei criteri per la gestione e la trasformazione del dato grezzo di produzione in informazione strategica per i decision maker, individuando le informazioni da raccogliere da ogni punto di accesso digitale tramite le idonee tecnologie abilitanti e da veicolare quindi in modo opportuno.

Le piattaforme digitali e la cybersecurity giocano un ruolo rilevante anche nella definizione di modelli di supply chain dinamica.

Priorità di ricerca e innovazione della LI7

PRI 7.1	Modelli e strumenti per la gestione di imprese collaborative e supply chain dinamiche
PRI 7.2	Progettazione di offerte integrate di prodotto-servizio
PRI 7.3	Modelli e strumenti per il monitoraggio della produzione e la gestione degli asset produttivi
PRI 7.4	Modelli e strumenti IIoT per la raccolta dei dati di fabbrica
PRI 7.5	Metodologie di business e industrial analytics
PRI 7.6	Tecniche di modellizzazione e fruizione delle informazioni basate su Digital Twin
PRI 7.7	Modelli e strumenti a supporto dell'Information and Cyber-Security

Figura 1.5: keyword per le linee di intervento technology push



2. Analisi di contesto del settore manifatturiero



2.1 Dati di settore

In Italia, il settore manifatturiero ha raggiunto nel 2019 quasi 1.000 miliardi di euro di fatturato, impiegando 3,8 milioni di persone con un valore aggiunto di oltre 250 miliardi di euro.

Anche a livello europeo il settore manifatturiero risulta essere il più importante settore dell'economia non finanziaria della classificazione NACE EU-27 in termini di valore aggiunto e persone impiegate, mentre si attesta al secondo posto per fatturato (Tabella 2.1).

Nel 2019, il settore ha impiegato il 23% del totale della forza lavoro europea ed ha generato il 29% del valore aggiunto.

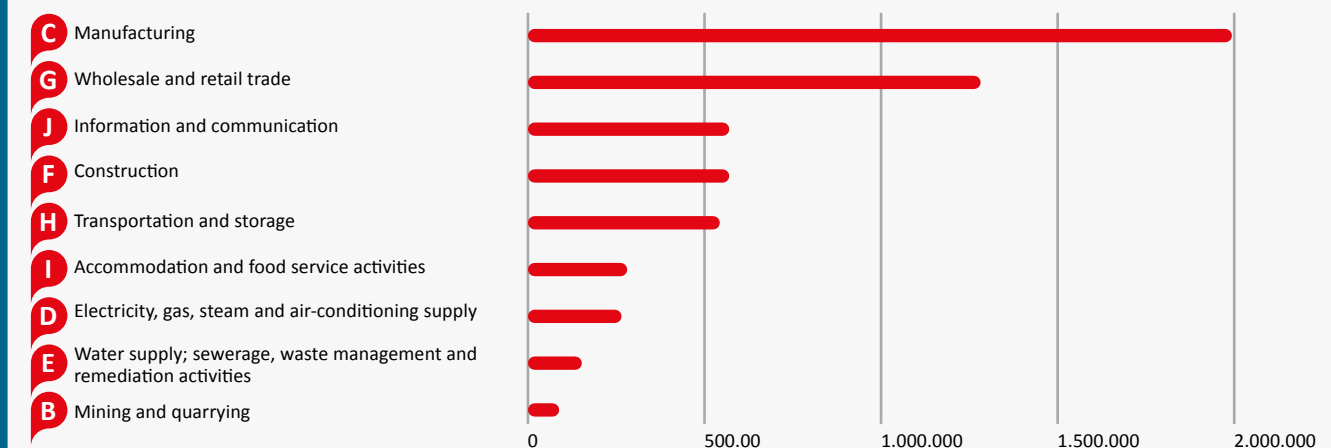
Nel complesso, più di 30 milioni di persone hanno lavorato nei 2 milioni di imprese manifatturiere generando un fatturato di circa 7.800 miliardi € e un valore aggiunto di quasi 2 miliardi €.

Tabella 2.1: posizionamento del manifatturiero europeo nell'economia non finanziaria, 2019

		2019			
Non Financial Business Economy EU27 (from 2020)		Enterprises	Turnover (M€)	Value Added (M€)	Employees
B	Mining and quarrying	16.932	86.394,3	33.055,3	392.246
C	Manufacturing	2.051.074	7.846.344,2	1.998.858,5	30.158.203
D	Electricity, gas, steam and air-conditioning supply	173.000	1.470.000,0	229.000,0	1.300.000
E	Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	77.000	257.000,0	100.000,0	1.560.000
F	Construction	3.413.290	1.702.986,7	548.969,2	12.687.246
G	Wholesale and retail trade	5.718.891	9.028.880,1	1.281.510,7	29.428.945
H	Transportation and storage	1.251.019	1.437.385,3	510.297,6	10.448.964
I	Accommodation and food service activities	1.888.142	593.309,1	252.368,6	10.978.430
J	Information and communication	1.118.646	1.298.469,7	549.679,6	6.341.468

Fonte: Eurostat

Valore aggiunto settori non finanziari EU (M€), 2019



Il valore aggiunto del settore manifatturiero dei primi 4 paesi europei rappresenta il 60% del valore totale del manifatturiero europeo, mentre quello dei primi 10 rappresenta l'87%.

Negli ultimi 10 anni, il valore aggiunto della industria manifatturiera dei primi 10 paesi europei è aumentato fino a superare i 1.800 miliardi complessivi e l'Italia continua comunque a giocare un ruolo di primissimo livello nello scenario europeo posizionandosi al secondo posto dopo la Germania per valore aggiunto (Figura 2.1).

In Italia, nell'ambito del settore manifatturiero ci sono alcuni settori che hanno avuto prestazioni particolarmente brillanti in termini di valore aggiunto e fatturato (Figura 2.2).

In particolare il settore della produzione delle macchine utensili, dei prodotti in metallo, dell'alimentare e dell'industria della moda rappresentano il 46% del valore aggiunto, il 42% del fatturato e il 41% delle esportazioni.

Tali settori rappresentano tradizionalmente, insieme all'industria del mobile e del legno, il "made in Italy" tanto da permettere al nostro Paese di posizionarsi a livello europeo sempre tra i primi paesi per fatturato e valore aggiunto.

Nel corso degli anni, le economie mature hanno perso il loro primato in termini di quote globali della produzione manifatturiera ma ora si sta disegnando una nuova mappa dei poli manifatturieri mondiali dopo due anni di cambiamenti dovuti alla pandemia e all'impatto dovuto alla crisi ucraina.

La crescita della produzione non è più spinta solo dalla domanda estera, ma anche dall'aumento dei consumi interni stimolato dalle potenzialità della digitalizzazione e dal bisogno di sviluppare modelli di produzione e distribuzione in cui la distanza geografica potrebbe avere ancora un ruolo rilevante.

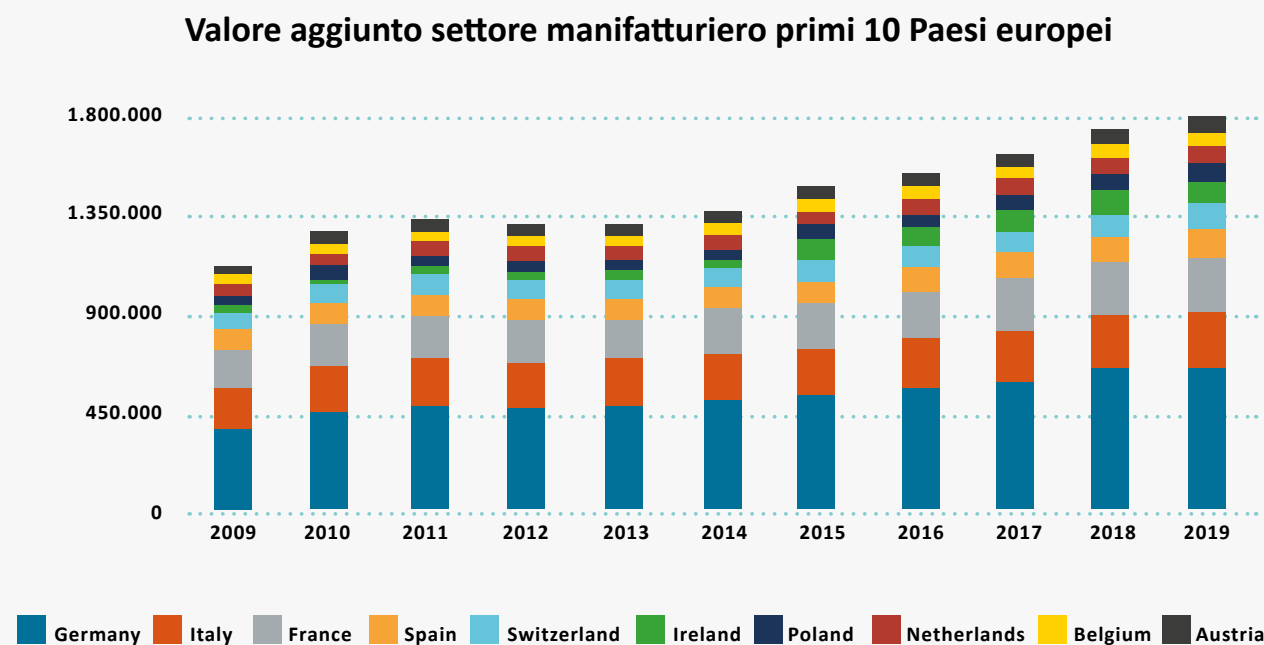
Un elevato livello di richiesta di nuovi prodotti ha condotto ad una evoluzione e ridefinizione dei modelli di produzione, con orizzonti di pianificazione e cicli di vita del prodotto più brevi, riduzione delle dimensioni dei lotti, richiedendo quindi un'ottimizzazione dell'uso delle risorse in termini di snellezza, flessibilità, agilità e riconfigurabilità del processo produttivo.

L'uso intensivo delle risorse del Pianeta, le nuove produzioni nei Paesi emergenti e l'accorciamento dei cicli di vita dei prodotti hanno reso gli aspetti ambientali sempre più stringenti e la necessità di implementare l'economia circolare sta facendo emergere importanti opportunità di business a livello globale.

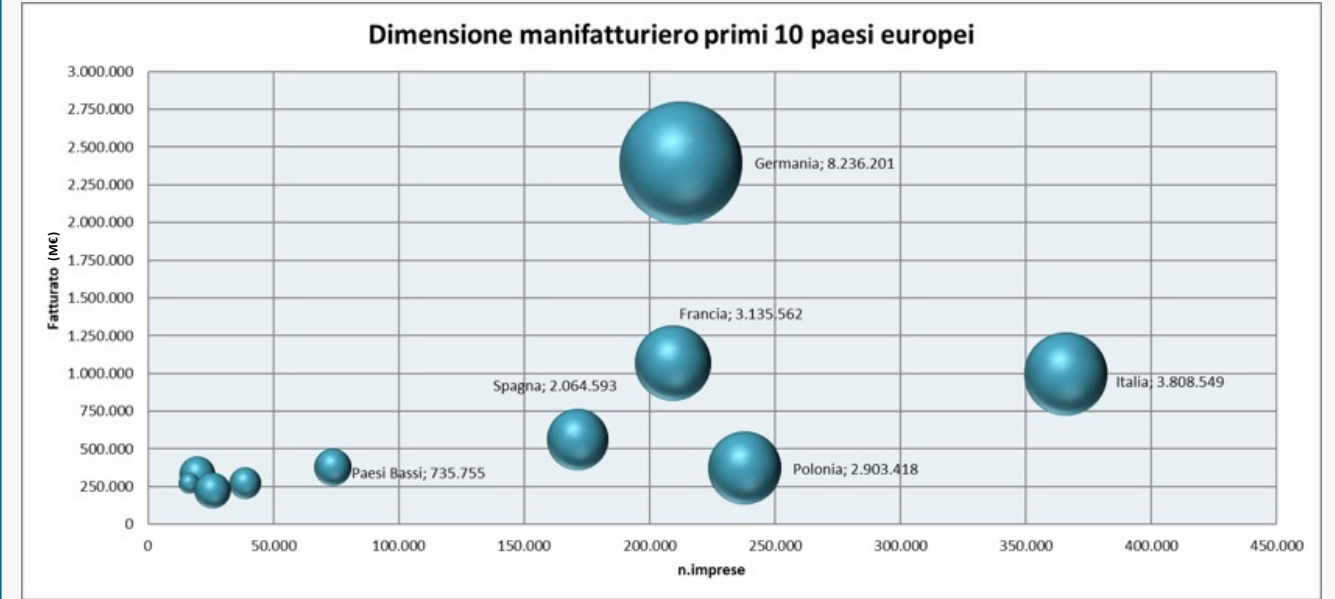
Infine, nuovi standard impattano pesantemente sui processi produttivi, ma la disomogeneità tra differenti Stati determina vantaggi sbilanciati, aggravati dalla difficoltà di proteggere la proprietà intellettuale nel contesto globale.

Gli shock causati nel sistema dal COVID-19 e dalla vicina guerra in Ucraina, la spinta verso la sostenibilità di prodotti e processi richiedono al Paese un nuovo approccio alla resilienza per essere in grado di rispondere in modo adeguato agli eventi critici e inaspettati che avvengono lungo tutta la filiera che si è rivelata estremamente fragile.

Figura 2.1/a: valore aggiunto (M€) del manifatturiero primi 10 paesi europei, 2009-2019



Fonte: Eurostat

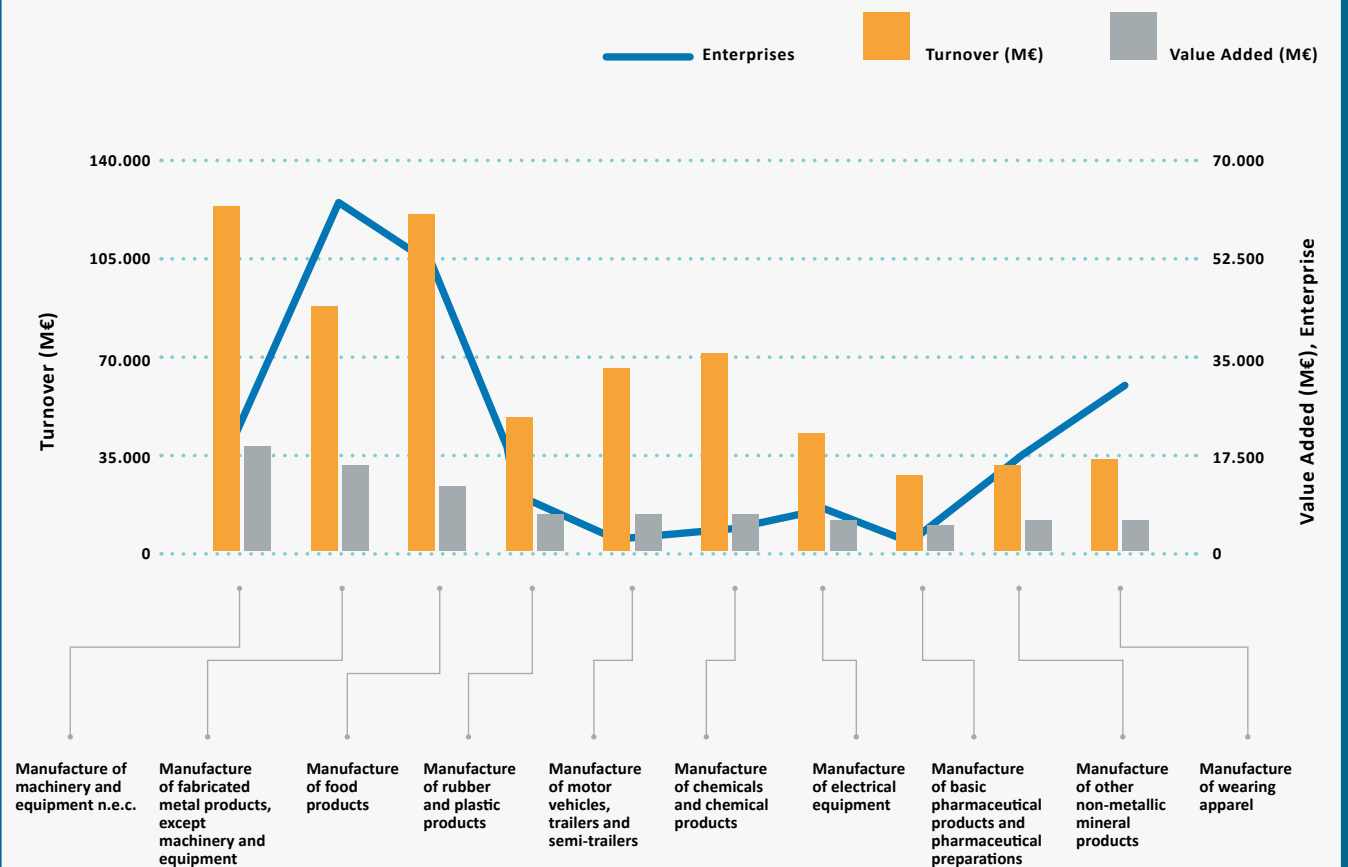


Dimensione bolla: Valore aggiunto (M€)

Fonte: Eurostat

Figura 2.1/b: dimensione manifatturiero primi 10 Paesi europei, 2019

Figura 2.2: settori del manifatturiero italiano per fatturato al 2019 - Eurostat



Fonte: Eurostat

2.2 Posizionamento Globale

La classifica dei produttori manifatturieri mondiali

L'insorgere della crisi pandemica ha determinato in tutto il mondo una caduta dell'attività manifatturiera nel primo semestre del 2020 a cui ha fatto seguito un recupero nella restante parte dello stesso anno.

Sostanzialmente le posizioni dei vari paesi confrontate in termini % sulle quote di valore aggiunto manifatturiero globale (calcolate a prezzi correnti) mostrano una sostanziale stabilità con il settore cinese che rappresenta il 30% del valore aggiunto mondiale e l'Italia che è sempre tra i primi 7 Paesi per produzione manifatturiera con un 2,2% (Figura 2.3).

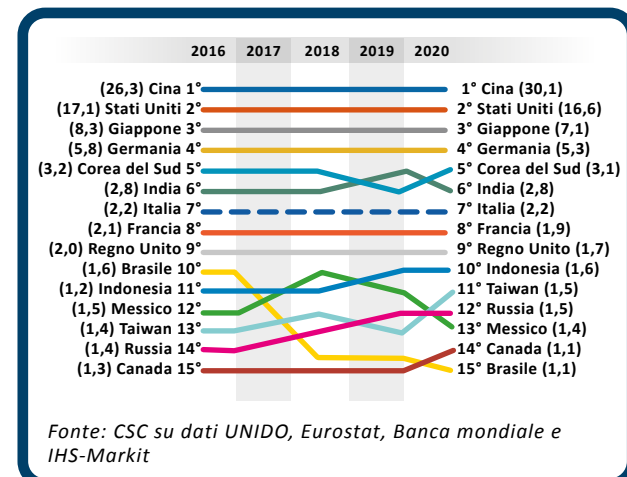


Figura 2.3: classifica produttori manifatturieri mondiali (valore aggiunto in \$ correnti)

Countries	2020 Value Added (\$) at current prices
China	3.853.826.532.846
United States	2.272.000.000.000
Japan	1.033.602.190.884
Germany	697.292.449.376
Republic of Korea	406.373.281.725
India	383.714.449.103
Italy	280.398.636.543
France	247.025.036.875
Great Britain	239.677.053.149
Indonesia	210.396.303.053

Fonte: UNDATA

Tabella 2.2: valore aggiunto del settore manifatturiero a prezzi correnti dei primi 10 paesi a livello mondiale, dati 2020

Non sono però mancate alcune eccezioni quali per esempio la Cina che ha registrato una crescita di quasi due punti percentuali della propria quota di mercato, passata dal 28,6% del valore aggiunto totale nel 2019 al 30,1% nel 2020 facendo crescere ulteriormente il distacco dagli Stati Uniti (16,6%).

Anche Corea del Sud e Taiwan, i cui sistemi manifatturieri hanno sviluppato una forte specializzazione nelle produzioni legate all'elettronica sono riuscite lo scorso anno a guadagnare posizioni in classifica (rispettivamente una e due).

L'Italia si conferma settimo produttore mondiale, con una quota, stabile rispetto al 2019, del 2,2%, seguita dalla Francia (1,9%) e dal Regno Unito (1,7%).

Analizzando i paesi dal punto di vista dell'evoluzione delle quote mondiali delle esportazioni e delle importazioni manifatturiere nel 2019, i primi 20 paesi esportatori mondiali si confermano stabilmente da 20 anni al 80% delle esportazioni mondiali e quasi la metà di loro (47%) appartiene al continente asiatico. L'Italia si colloca al nono posto con una quota pari al 3,4% del commercio mondiale e con un saldo di bilancio sempre positivo (Tabella 2.3).

Ranking 2019	Var. rispetto ranking 2018		2000 - 2010	2016	2019
1°	=	Cina	10,4	17,8	18,2
2°	=	Germania	11,5	10,5	10,2
3°	=	Stati Uniti	10,0	8,8	8,1
4°	=	Giappone	7,3	5,1	4,8
5°	+1	Hong Kong	3,7	4,0	3,9
6°	+1	Paesi Bassi	3,6	3,5	3,8
7°	-2	Corea del Sud	3,5	4,0	3,7
8°	=	Francia	5,0	3,6	3,6
9°	=	Italia	4,4	3,5	3,4
10°	=	Messico	2,3	2,7	2,8
11°	=	Belgio	3,5	2,8	2,7
12°	=	Regno Unito	3,7	2,8	2,6
13°	=	Taiwan	2,4	2,3	2,4
14°	=	Singapore	2,4	2,3	2,3
15°	=	Spagna	2,0	1,9	1,8
16°	=	Svizzera	1,7	1,8	1,8
17°	=	India	1,0	1,7	1,8
18°	+2	Vietnam	0,3	1,3	1,8
19°	=	Canada	2,6	1,9	1,7
20°	=	Polonia	1,0	1,5	1,7

Fonte: CSC su dati WTO

Tabella 2.3: quote di mercato mondiale dei principali paesi, beni manufatti

Esportazioni manifatturiere per tipologia di prodotto - 2019



Figura 2.4: esportazioni manifatturiere per tipologia di prodotto - 2019 (€).

In particolare, per quanto riguarda le esportazioni del settore manifatturiero italiano (Figura 2.4) si può vedere che i macchinari si confermano essere la categoria merceologica più esportata delle varie sottocategorie delle attività manifatturiere, con un valore pari a 82 miliardi di euro per il 2019 mantenendo un peso pari al 14,5% di tutto il valore esportato dall'Italia anche nel 2021 nonostante le pesanti contrazioni avute a seguito della pandemia.

Per quanto riguarda i settori che trainano lo sviluppo, confrontando i contributi settoriali alla variazione del valore aggiunto manifatturiero nei diversi paesi, si osserva una netta prevalenza di due comparti che hanno esercitato un ruolo trainante nello sviluppo industriale globale.

Entrambi costituiscono una componente importante dell'attuale transizione verso il nuovo paradigma dell'economia digitale: da un lato, la produzione di macchinari e apparecchiature a uso industriale, che incorporano al loro interno le tecnologie abilitanti per l'industria 4.0; dall'altro, la produzione di componenti elettroniche e beni high-tech, grazie alla diffusione

di tecnologie quali sensoristica avanzata, Internet of Things (IoT), intelligenza artificiale e Big data. I contributi di ogni settore alla crescita percentuale del valore aggiunto del settore manifatturiero di Cina, Stati Uniti, Giappone, Germania e Corea del Sud evidenziano che entrambi i comparti compaiono tra i primi quattro nella lista dei settori che trainano lo sviluppo industriale.

Come ampiamente sottolineato nello studio confindustria sull'industria italiana⁽⁶⁾, la forte spinta alla digitalizzazione dei processi industriali ha avuto riflessi molto significativi sulle produzioni nazionali della meccanica strumentale (primo settore per contributo alla crescita nell'ultimo biennio) e sulle attività ad esso collegate di installazione e riparazione di macchinari industriali (al terzo posto); ma, al tempo stesso, non sembra aver stimolato il comparto dell'elettronica, che continua ad avere un peso marginale sul totale del valore aggiunto manifatturiero italiano con una quota invariata da circa 20 anni intorno al 3,5% (in termini nominali) con un elevato deficit commerciale.

6- Studio Confindustria "Dove va l'industria italiana" Rapporto, 2019

2.3 Focus Macchine utensili e beni strumentali

Dopo una crescita robusta degli anni scorsi in cui il settore delle macchine utensili ha consolidato la propria posizione nel mercato mondiale, nel 2019, la produzione italiana di macchine utensili, robot e automazione si è attestata a 6.510 milioni di euro, registrando un calo del 3,9% rispetto al 2018.

Il consumo è diminuito, del 6%, a 4.855 milioni, per effetto della contrazione delle consegne sul mercato interno (-6,5%, 2.911 milioni).

A livello di produzione mondiale, nel 2020 la produzione di macchine utensili è crollata sotto i 59 miliardi di euro con l'Asia che si conferma come primo produttore mondiale con il 55% seguita dall'Europa con il 35%.

Nella classifica dei produttori la Cina è seguita dalla Germania, Giappone e al quarto posto l'Italia (Figura 2.5).

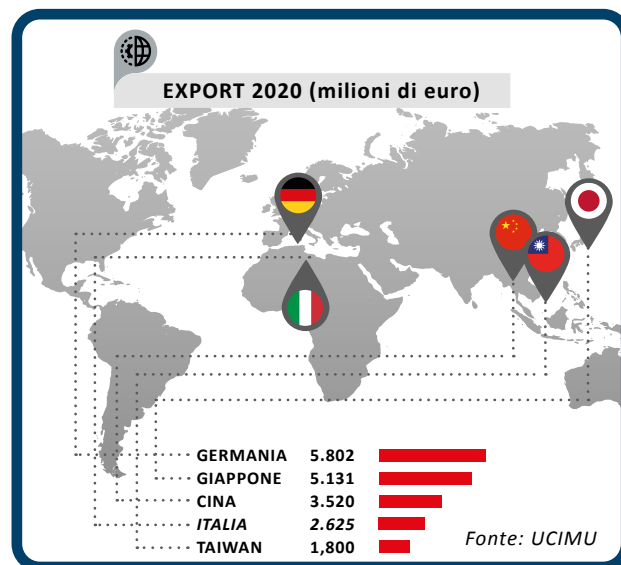
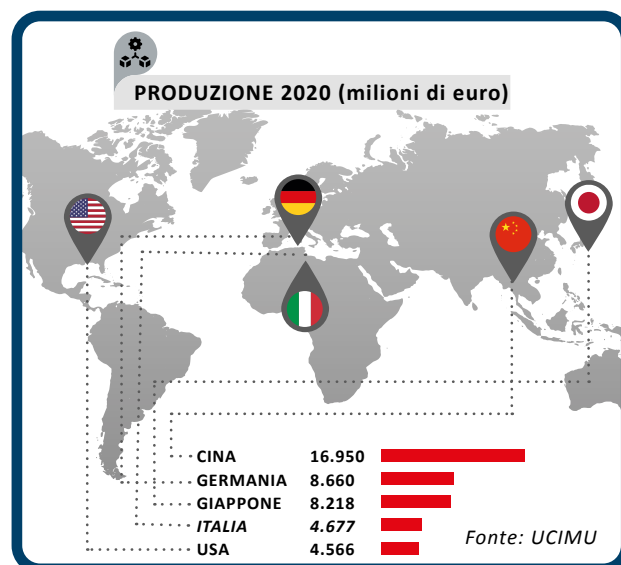


Figura 2.5: produzione e quote export 2020 (in milioni di euro)

Anche l'export ha subito un crollo, complici le restrizioni di mobilità di cose e persone, con la Germania che si attesta primo paese per esportazioni, e Italia sempre al quarto posto con 2.625 milioni di euro.

Secondo l'elaborazione UciMu sui dati Istat, nel periodo gennaio-giugno 2020 i principali mercati di sbocco dell'offerta italiana sono risultati essere: Stati Uniti (152 milioni di euro -18,2%), Germania (113 milioni di euro -39%), Cina (105 milioni di euro -36,4%), Francia (73 milioni di euro -39%), Spagna (48,6 milioni di euro, -28,4%).

Per quanto riguarda la meccanica strumentale in generale, rappresentata da 12 comparti che compongono Federmacchine, il fatturato complessivo delle 5 mila imprese si attesta leggermente superiore ai 41 miliardi di euro nel 2020, che corrispondono al 2,5% del PIL (Figura 2.6).

Il contributo più rilevante fornito all'economia italiana dal settore è dato dalle vendite all'estero: con 27,8 miliardi di euro, le vendite di macchinari all'estero coprono una quota del 5,7% sul totale delle esportazioni italiane, che sale al 6,4% prendendo in considerazione le sole esportazioni di merci.

Gli addetti alla meccanica strumentale, nel 2020, rappresentavano il 4,3% degli addetti nell'industria manifatturiera italiana.

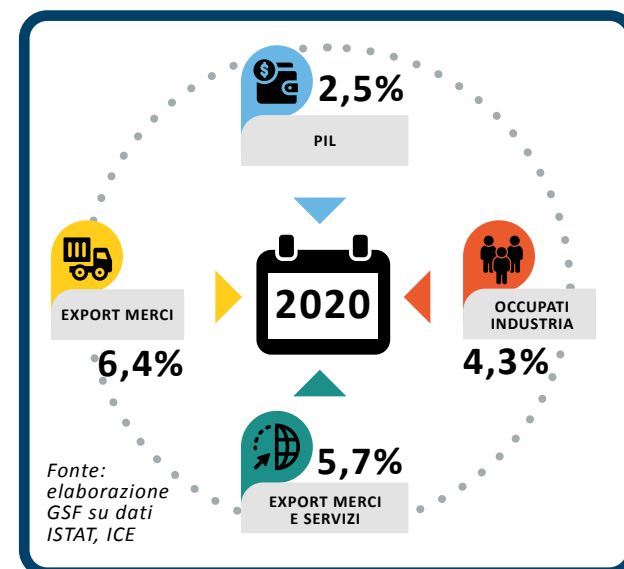


Figura 2.6: dati meccanica strumentale, 2020

Una caratteristica distintiva dell'industria italiana di beni strumentali è la propensione all'export, che, nel 2020, si è attestata al 67,1% del fatturato con un saldo commerciale complessivo sempre positivo.

Il primo mercato di sbocco è quello italiano, con una quota del 32,9% delle vendite complessive, al secondo

posto, con il 29%, del totale, ci sono gli altri paesi dell'Unione Europea: il peso complessivo dell'area UE è pari al 61,9% del fatturato totale.

Altre aree primarie di sbocco dei macchinari italiani sono l'Asia (10,3%), l'America settentrionale (10,3%) e l'Europa orientale (9%). Quote minori per Sud America, Africa, Medio Oriente.

Il settore della meccanica strumentale italiana occupa stabilmente i posti di testa nelle graduatorie mondiali,

posizionandosi tra i migliori settori industriali del paese per fatturato, esportazioni e valore aggiunto.

Questo conferma la specializzazione e la forza dell'Italia nel settore dei beni strumentali, in un contesto europeo che vede il predominio tedesco e la marginalizzazione degli altri paesi.

	Numero di imprese	Fatturato medio (milioni di euro)	Numero medio di addetti	Fatt. x addetto (euro)
Germania	15.393	18,9	77	246.603
Francia	4.294	13,9	50	277.188
Regno Unito	7.592	8,5	26	332.560
Italia	22.587	5,6	22	259.031
Spagna	5.552	4,0	20	196.467
Altri UE	34.582	5,6	28	203.893
UE 28	90.000	8,4	35	241.198

Fonte: elaborazione GSF su dati EUROSTAT

Tabella 2. 4: il settore machinery ed equipment in Europa

2.4 Competitività di sistema

L'attività di ricerca e sviluppo (R&S) rappresenta una variabile strategica della competitività dei sistemi economici, in quanto permette di incorporare elevati contenuti di conoscenza nella produzione di beni e servizi, con impatti positivi sui risultati economici complessivi.

Ci sono molti indicatori che possono essere utilizzati per valutare la capacità di innovazione di un paese.

Le informazioni sulle attività di R&S intra-muros rappresentano la componente principale degli indicatori statistici sulla R&S utilizzati in ambito europeo per valutare le politiche di sostegno alla ricerca e di miglioramento della capacità innovativa e competitiva di un paese.

Anche gli indicatori dello Sviluppo Sostenibile dell'ONU tengono conto di alcuni indicatori legati alle attività di R&S.

Nel panorama globale, solo Stati Uniti, Giappone e Corea mostrano performance superiori dell'Europa in termini di miglioramento degli indicatori di innovazione tra il 2014 e 2021.

L'innovation scoreboard del 2021 ha aggiornato gli indicatori includendone anche alcuni relativi alla digitalizzazione e alla sostenibilità ambientale per renderlo in linea con le priorità politiche dell'UE.

Nella tabella 2.5 emerge come l'Italia abbia migliori prestazioni rispetto alla media europea su alcuni indicatori legati all'innovazione ma anche su alcuni indicatori di sostenibilità ambientale.

L'Italia è tra i cinque paesi che hanno avuto un miglioramento della performance dal 2014 di oltre il 25% pur rimanendo ancora nella categoria "moderate innovators" ma riducendo lo scarto rispetto alla media europea.

Tabella 2. 5: confronto Italia-EU indicatori relativi all'European Innovation Scoreboard (2021)

Innovation profiles	IT	EU
In-house product innovators with market novelties	10.0	10.7
In-house product innovators without market novelties	22.3	12.3
In-house business process innovators	16.0	11.0
Innovators that do not develop innovations themselves	8.4	11.6
Innovation active non-innovators	5.2	3.3
Non-innovators with potential to innovate	7.4	19.9
Non-innovators without disposition to innovate	30.8	31.3
Climate change indicators	IT	EU
Circular material use rate	18.8	11.7
Greenhouse gas emissions intensity of energy consumption	84.9	86.6
Eco-Innovation Index	112.0	100.0

I dati del censimento dell'ISTAT raccolti nel 2019 offrono un quadro aggiornato del grado di evoluzione nelle strategie innovative perseguite dalle imprese manifatturiere italiane, che consente di valutare se e in che misura la leva degli investimenti in asset intangibili (nelle sue diverse componenti) sia effettivamente utilizzata all'interno del sistema manifatturiero nazionale e, soprattutto, come essa si combini con quella degli investimenti tangibili in una logica di complementarità.

In particolare, per quanto riguarda le attività di ricerca e innovazione svolte nel triennio 2016-2018 dalle imprese manifatturiere italiane con almeno 10 addetti, sono state considerate le seguenti leve:

- i) ricerca e sviluppo (R&S), realizzata in proprio o acquisita da terzi;
- ii) acquisizione di licenze, software e database;
- iii) formazione del personale;
- iv) acquisizione di macchinari, attrezzature, hardware.

sopra menzionate con il 36% degli innovatori nel manifatturiero italiano ha, infatti, attivato una sola leva d'investimento innovativo tra le quattro considerate, e un ulteriore 33% solo due di esse; le forme più complesse di strategia innovativa sono quindi appannaggio di una minoranza di imprese (9%).

Come si vede dalla Tabella 2.6, le leve per l'innovazione più utilizzate dalle imprese manifatturiere italiane sono costituite per il 71% da investimenti in beni tangibili ma è alta anche la frequenza delle imprese innovatrici impegnate in attività di R&S (59%) e nell'acquisto di capacità di analisi dei dati (46%).

In media solo il 29% delle aziende, invece, prevede attività di formazione del personale per i progetti innovativi.

Gradi crescenti di complessità nelle strategie innovative sono associati a una maggiore capacità di effettuare la duplice transizione digitale ed ecologica.

Tra le imprese innovatrici, infatti, circa un terzo ha investito in tecnologie digitali 4.0 (IoT, robotica avanzata,

Tabella 2. 6: leve di investimento del manifatturiero

Leve di investimento	Imprese che investono in innovazione	Imprese che utilizzano contemporaneamente:			
		1 leva	2 leve	3 leve	4 leve
Macchinari, attrezzature, hardware	71%	48%	73%	93%	100%
R&S	59%	39%	55%	80%	100%
Software, licenze, database	46%	9%	49%	79%	100%
Formazione per l'innovazione	29%	4%	23%	49%	100%

Fonte: elaborazione CSC su dati ISTAT

Le prime tre voci catturano l'importanza degli investimenti in asset intangibili, la quarta di quelli in asset tangibili.

Le informazioni raccolte dalle aziende riguardano l'esistenza o meno di ognuna di queste attività all'interno dei progetti di innovazione, e non anche all'ammontare di risorse economiche destinate a ciascuna di esse.

Il primo elemento che emerge dall'analisi dei dati è che i due terzi delle 69 mila aziende censite dichiarano di aver investito in almeno una delle quattro attività

analisi dei big data, manifattura additiva, realtà virtuale e aumentata) e questa percentuale varia dal 20% per gli innovatori che hanno attivato una sola leva d'investimento al 58,3% di quelli che hanno attivate tutte e quattro le leve analizzate.

Inoltre, tra le imprese innovatrici l'82,0% è stato impegnato nella riduzione dell'impatto delle proprie attività sull'ambiente, con punte di quasi il 90% all'interno del gruppo degli innovatori che perseguono le strategie più complesse (Tabella 2.7).

Misure di performance	Imprese non innovatrici	Imprese innovatrici	Imprese che utilizzano contemporaneamente:			
			1 leva	2 leve	3 leve	4 leve
Investimenti in tecnologie 4.0	–	32,6%	19,5%	29,3%	42,6%	58,3%
Riduzione impatto ambientale	67,6%	81,8%	77,2%	82,4%	85,6%	89,5%
Crescita tendenz. dei ricavi giu-sett.2020	12,0%	17,6%	16,3%	16,3%	18,7%	21,1%

Fonte: elaborazioni CSC su dati ISTAT

Tabella 2.7: complessità delle strategie innovative

Inoltre, le aziende che riescono ad attivare contemporaneamente più azioni nelle strategie innovative risultano associate anche migliori performance di crescita del fatturato, e la percentuale di quelle che hanno registrato variazioni tendenziali positive dei ricavi nel trimestre giugno-settembre 2020 è stata superiore rispetto a quella delle imprese non innovatrici; ed è stata massima, ancora una volta, all'interno del gruppo di imprese innovatrici che hanno investito con strategie più complesse (ossia attivando contemporaneamente tutte e quattro le leve considerate).

L'analisi suggerisce quindi che il maggiore ritorno degli investimenti innovativi si ottiene affiancando agli asset tangibili, su cui ad oggi si concentrano gli sforzi maggiori delle imprese manifatturiere italiane, quelli intangibili.

Le ragioni per cui queste strategie non sono ancora così diffuse sono molteplici, e riguardano sia il diverso contesto esterno di riferimento in cui esse operano (qualità dell'ecosistema per l'innovazione, vincoli finanzia-

ri agli investimenti, struttura del mercato) sia la loro diversa capacità di gestire con profitto la complessità collegata all'innovazione, che a sua volta dipende dalla qualità delle conoscenze tecniche e organizzative accumulate all'interno dell'organizzazione.

In generale, potremmo dire che il sistema italiano di R&I è caratterizzato da una serie di limiti che incidono sulla gestione delle politiche in materia:

- frammentazione delle strategie, con numerose iniziative a livello sia nazionale che regionale;
- ritardi nell'attuazione delle misure;
- instabilità per quanto riguarda la disponibilità e le dotazioni di bilancio.

Uno degli obiettivi da raggiungere con la prossima programmazione è appunto quello di ridurre le disparità territoriali e velocizzare la crescita nel meridione, ancora segnato da una forte disuguaglianza in termini di sviluppo per esempio di attività tecnologiche, reddito e infrastrutture.

2.5 Il manifatturiero e i Sustainable Development Goals

Nel 2015, le Nazioni Unite hanno adottato l'agenda per lo sviluppo intitolata: "Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile"⁷.

I 17 Sustainable Development Goals (SDG) che la compongono si riferiscono a diversi ambiti dello sviluppo sociale, economico e ambientale, e in questo anche i processi industriali hanno un ruolo nel favorire tale sviluppo in maniera sostenibile.

Nella lista degli SDG sono presenti numerosi riferimenti al benessere delle persone e a un'equa distribuzione dei benefici dello sviluppo, chiari riferimenti all'utilizzo delle risorse e all'impatto ambientale delle attività.

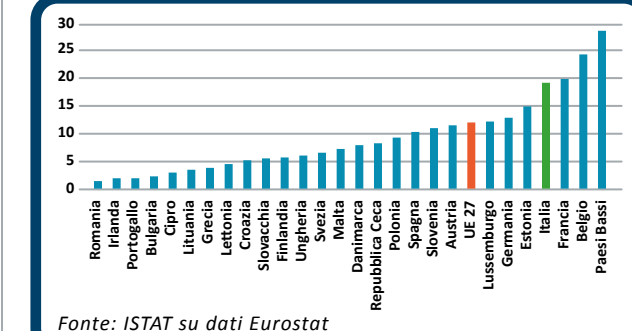
Per ogni SDG sono stati definiti degli obiettivi specifici da raggiungere nel corso degli anni che vengono monitorati attraverso quasi 250 indicatori di sistema.

In particolare, per quanto riguarda l'obiettivo 9 "Imprese, Innovazione e infrastrutture", dall'analisi degli indicatori in questa area emerge che nel 2020 le misure di contenimento della pandemia hanno determinato una riduzione del valore aggiunto per abitante dell'industria manifatturiera, ma che il peso dell'industria sul totale dell'economia in termini di valore aggiunto e occupazione è rimasto immutato.

Come si vede dalla Tabella 2.8 qui sotto, il contributo delle imprese agli indicatori legati alla spesa in ricerca e sviluppo è migliorato rispetto a 10 anni fa su tutti i fronti, mentre rispetto all'anno precedente è aumentato in termini di intensità di ricerca, numero di imprese con attività innovative di prodotto e di processo, e investimenti in ricerca e sviluppo sugli investimenti totali.

Per quanto riguarda invece l'obiettivo 12 "Consumo e produzione responsabili", nell'ultimo quinquennio,

biennio 2017-2018 (0,28 tonnellate per 1.000 euro). Per contro, il tasso di utilizzo circolare dei materiali - pari alla quota di materiale recuperato e restituito all'economia sul totale dei materiali utilizzati - segnala un miglioramento tra il 2010 e il 2019, in Italia, che si porta così al 19,3%, a fronte di una media dell'UE27 del 11,9% e si evidenzia un miglioramento delle performance italiane superiori al profilo medio UE27, sia nell'ultimo decennio, sia nell'ultimo anno, portando il nostro Paese al quarto posto nella graduatoria europea dopo Paesi Bassi (28,5%), Belgio (24,0%) e Francia (20,1%) (Figura 2.7).



Fonte: ISTAT su dati Eurostat

Figura 2.7: tasso di utilizzo circolare dei materiali. Anno 2019 (valori %)

Per quanto riguarda l'obiettivo 13 "Lotta contro il cambiamento climatico", nel periodo dal 2009 al 2019 si è registrata una costante riduzione delle emissioni, sia

Rif. SDG	Indicatore	Rispetto all'indicatore SDG	Valore	Rispetto a 10 anni prima	Rispetto all'anno precedente
9.5.1	Spese in ricerca e sviluppo in % PIL				
	Intensità di ricerca (Istat, 2019, %)	Identico	1,45		
	Imprese con attività innovative di prodotto e/o processo (per 100 imprese) (Istat, 2016/2018, %)	Di contesto nazionale	55,6		
	Investimenti in apparecchiature ICT sugli investimenti totali (Istat, 2019, %)	Di contesto nazionale	4,1		
	Investimenti in prodotti di proprietà intellettuale sugli investimenti totali (Istat, 2019, %)	Di contesto nazionale	17,5		
	Investimenti in ricerca e sviluppo sugli investimenti totali (Istat, 2019, %)	Di contesto nazionale	8,2		
	Investimenti in software sugli investimenti totali (Istat, 2019, %)	Di contesto nazionale	8,7		

Tabella 2.8: indicatori di riferimento per l'SDG9

i progressi nel contenimento del consumo di materia che hanno caratterizzato l'Italia a partire dal 2010, consentendo alla nostra economia guadagni di efficienza nei processi produttivi, si sono stabilizzati ma l'Italia risulta tra i Paesi dell'Unione Europea con il più basso consumo di materia (CMI), sia per abitante sia per unità di Pil, guadagnando la prima posizione nella graduatoria pro capite e la quarta posizione rispetto al Pil. Nel 2019, il CMI per unità di Pil è stabile rispetto al

tra i settori istituzionali (famiglie e imprese), sia all'interno delle diverse attività, seppure con intensità eterogenee. Per le imprese in generale, nel 2019, il livello dell'indice delle emissioni è pari a 81,8 (2009=100) mentre per il settore dell'industria manifatturiera l'indice ha raggiunto livelli anche più bassi rispetto al 2009 (75,4). Il manifatturiero quindi è un attore principale nel raggiungimento di questi obiettivi di sviluppo sostenibile e nel definire le strategie di medio-lungo termine per ricerca e innovazione nel settore è necessario tener conto di questi stessi obiettivi e di come possono essere declinati in priorità di ricerca e innovazione concreti.

⁷ Nazioni Unite. Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. 2015

3.1 Situazione globale

Negli ultimi due anni, lo scenario internazionale è stato dominato dalla crisi economica indotta dagli effetti della pandemia di COVID-19 e al momento è in atto la guerra in Ucraina che potrebbe ulteriormente stravolgere gli scenari di riferimento che presentavano comunque importanti dinamiche di cambiamento.

Per quanto riguarda la crisi pandemica, le necessarie misure per arginare la diffusione del virus, adottate a partire fin da subito con tempistiche eterogenee tra paesi, hanno inciso profondamente sul tessuto sociale ed economico, determinando uno shock di natura reale che ha investito contemporaneamente l'offerta (chiusura di attività e interruzione temporanea delle catene del valore) e la domanda (crollo dei consumi, aumento della disoccupazione, riduzione dei redditi).

Per contrastare gli effetti del lockdown sull'economia, tutte le principali banche centrali sono intervenute tempestivamente e ripetutamente con misure straordinarie a sostegno della domanda, immettendo liquidità nel sistema economico.

Allo stesso tempo, molti Governi hanno introdotto provvedimenti fiscali espansivi mirati al supporto dei redditi dei cittadini e delle attività produttive colpite dai provvedimenti di fermo amministrativo.

Nonostante ciò, lo scorso anno, con l'eccezione della Cina, tutte le maggiori economie hanno registrato una decisa flessione del Pil⁸.

I fattori incidentali (chiusura temporanea di alcuni scali portuali in Cina o il blocco del canale di Suez), si sono sommati ai ritardi strutturali (applicazione di protocolli sanitari più stringenti per lo scarico delle merci, carenze di personale nel settore dei trasporti e della logistica), nonché a una

crescita "anomala" della domanda di beni causata dalla necessità per le imprese manifatturiere e commerciali di ricostituire le scorte, che si erano azzerate nel corso del 2020.

Tutto questo ha portato ad un notevole aumento dei costi di trasporto e in ulteriori strozzature nelle catene internazionali di approvvigionamento, che hanno inciso negativamente sulla crescita della produzione industriale mondiale.

Il recupero della produzione manifatturiera dopo la fase più acuta della pandemia si sta sviluppando su traiettorie molto disomogenee a livello settoriale.

L'esplosione dell'emergenza sanitaria ha sospinto fortemente la domanda per l'industria farmaceutica, in prima linea nello sviluppo di medicinali e vaccini contro il Covid-19, e dei dispositivi elettronici (per effetto di una digitalizzazione accelerata imposta prima dall'isolamento e poi dalle misure di distanziamento sociale), registrando una espansione dei volumi produttivi a livello mondiale tra il quarto trimestre 2019 e i mesi di giugno-luglio 2021 rispettivamente pari al 15,4% per la farmaceutica e al 12,2% per l'elettronica.

Il recupero della meccanica strumentale è stato trainato dai settori in crescita che chiedono macchinari nuovi o riconfigurati a supporto delle produzioni richieste dalla contingenza della pandemia (come ad esempio mascherine, farmaci, packaging dedicato) (Tabella 3.1).

8 Rapporto CSC, 2021: La manifattura globale al tempo della pandemia

Tabella 3.1: andamento dei volumi di produzione rispetto al pre-pandemia, media mondiale (indice ott-dic2019=100, dati destagionalizzati)*

Settore	Ott.-Dic. 2020	Giu.-Lug. 2021	Confronto 2019-2021**
Farmaceutica	105,6	115,4	+++
Elettronica	106,5	112,2	+++
Meccanica strumentale	102,9	110,2	+++
Apparecchiature elettriche	104,0	107,3	++
Chimica	103,9	107,0	++
Legno	101,7	104,8	+
Lavorazione minerali non metalliferi	102,3	104,1	+
Metallurgia	100,3	103,4	+
Gomma-plastica	104,4	102,6	+
Prodotti in metallo	100,8	100,9	=
Alimentari	99,9	100,9	=
Altra manifattura	95,9	100,8	=

** Si confronta la variazione dell'indice di produzione tra il quarto trimestre 2019 e i mesi di giugno-luglio 2021.
Legenda: +++ aumenti superiori al 10%; ++ aumenti compresi tra 5% e 10%; + aumenti compresi tra 1% e 5%; = variazioni positive o negative comprese entro 1%; - contrazioni comprese tra 1% e 5%; -- contrazioni comprese tra 5% e 10%

Fonte: CSC su dati UNIDO e EUROSTAT

3. Il manifatturiero e la crisi pandemica



3.2 La reazione della manifattura italiana

In Italia dopo la drastica contrazione di oltre 40 punti percentuali della produzione registrata dopo due mesi dall'introduzione delle misure restrittive di marzo 2020, i volumi di attività sono cresciuti già a partire dal secondo trimestre del 2021, con la produzione che è tornata stabilmente sui livelli di fine 2019 con un recupero dei livelli pre-crisi che non si è ancora verificato nelle altre principali economie industriali europee.

È dunque un dato del tutto nuovo quello che caratterizza la fase attuale, che sottrae l'Italia al ruolo di paese "inseguitore" delle altre grandi economie dell'Eurozona sul piano della crescita manifatturiera, e che, a differenza di quanto accaduto negli anni successivi alla precedente crisi economica globale (biennio 2008-2009), vede mutare il comportamento del Paese anche sul piano della capacità di reazione allo shock, collocandolo nella posizione di chi, questa volta, si trova a trainare la ripresa dei volumi di produzione dell'area.

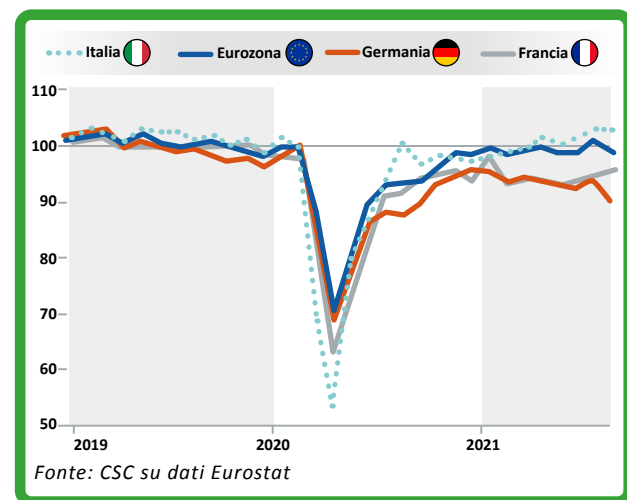


Figure 3.1: indice di produzione manifatturiera (dati mensili destagionalizzati, febbraio 2020=100)

Questa performance è spiegata innanzitutto da una dinamica della componente interna della domanda di beni che, grazie alle misure governative di sostegno ai redditi da lavoro prima e di stimolo alla spesa dopo, ha dato un contributo decisivo alla ripresa della produzione, segnando una forte discontinuità con quanto accaduto dopo lo scoppio della crisi finanziaria del 2008, quando proprio il venir meno di una parte della domanda interna aveva frenato strutturalmente la crescita dell'industria nazionale. Così, a fronte di un fatturato estero che, a causa del perdurare di un difficile contesto internazionale, ad agosto di quest'anno ha segnato non più che un +2,8% in valore rispetto al picco pre-crisi di febbraio 2020, il fatturato interno ha registrato nello stesso arco temporale un aumento del 7,0%.

Principali criticità e fattori di ripresa

A partire dagli ultimi mesi del 2020 lo scenario mondiale è stato caratterizzato da aumenti rilevanti nei prezzi

delle commodity: i rincari sono molto diffusi e riguardano non solo i metalli (rame a +51% rispetto a fine 2020 e ferro a +73%), ma anche alimentari, cotone, legno, petrolio (dati Banca Mondiale). Questi rincari incidono molto su imprese e consumatori italiani, perché l'Italia è un paese di trasformazione manifatturiera e i volumi di commodity importate sono elevati.

Tra gennaio e marzo 2021, l'aumento del fatturato ha interessato molti dei settori manifatturieri, con varia-

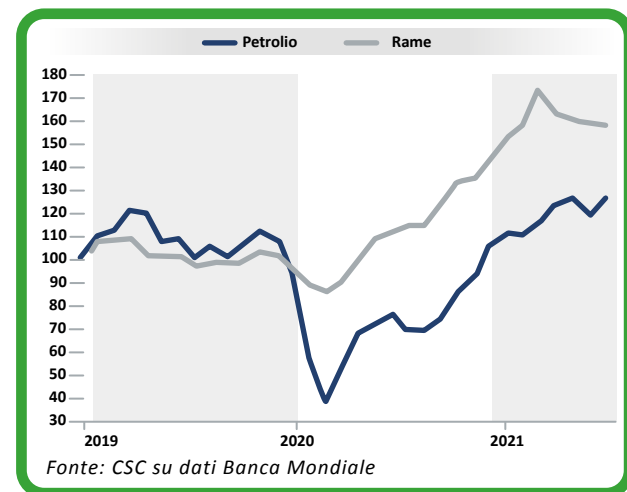


Figure 3.2: prezzi delle materie prime (quotazioni internazionali in \$, indici gennaio 2019=100)

zioni tendenziali molto eterogenee: a fronte di una buona performance dei comparti di arredamento, metallurgia e apparecchiature elettriche che si attestano a quasi 30% e automotive e macchinari che si attestano sul 25% in più rispetto al primo trimestre del 2020, si segnala un recupero molto più contenuto, o un andamento stagnante, delle vendite di alcuni settori della manifattura tradizionale (tessile, abbigliamento) che nel primo trimestre 2020 avevano subito cadute di fatturato tra le più severe di tutto il comparto⁹.

Un fattore fondamentale nella ripresa è stato il basso grado di esposizione delle imprese manifatturiere italiane alle strozzature che stanno affliggendo le catene globali del valore in questo frangente. Da un'analisi Confindustria, con riferimento all'inizio del terzo e quarto trimestre del 2021, "solo" il 15,4% ha lamentato vincoli di offerta alla produzione per mancanza di materiali o insufficienza di impianti, contro una media UE del 44,3% e a fronte addirittura del 78,1% dei rispondenti in Germania. Gli scambi italiani di beni con l'estero, dopo il crollo registrato nel secondo trimestre del 2020, sono ripartiti in modo rapido e robusto, tornando nettamente sopra i livelli pre-crisi. Nei mesi giugno-agosto 2021, le esportazioni a prezzi costanti hanno superato del 2,6% i livelli di fine 2019 (+7,3% le esportazioni in valore). Positivo soprattutto l'andamento dell'export di input intermedi e di beni d'investimento, mentre è ancora parziale il recupero per i beni di consumo. Tra i beni d'investimento la crescita è trainata soprattutto dalle apparecchiature elettriche, mentre il recupero per la meccanica strumentale non è ancora completo.

⁹ ISTAT, Rapporto annuale 2021. Cap.4



Sul fronte occupazionale, l'aumento della produzione industriale a partire dall'estate 2020 si è riflesso in un recupero significativo delle ore lavorate anche se, alla fine del secondo trimestre 2021 risultano ancora al di sotto dei livelli pre-pandemici (-4,2%). Le attese delle imprese manifatturiere sul fronte della domanda di lavoro appaiono in costante e significativo miglioramento, a cui si associa l'aumento della quota di imprese che segnalano crescenti difficoltà nel reperimento della manodopera necessaria per il ciclo produttivo, in un contesto di aumento progressivo del grado di utilizzo degli impianti. La situazione congiunturale è in continua evoluzione e dopo l'emergenza pandemica, si evidenzia come sia ancora difficile prevedere quali possono essere le conseguenze del conflitto Russia-Ucraina che oltre a generare una crisi in alcune catene di fornitura (si veda ad esempio laminati metallici, fusioni metalliche e grano) ha anche generato una serie di misure economiche senza precedenti nei confronti della Russia e un aumento parallelo dei costi di approvvigionamento di gas i cui impatti sulla società e sul settore manifatturiero sono ancora difficili da prevedere.



3.3 Proposta di un nuovo modello collaborativo: Produrre un Paese Resiliente

L'Italia si conferma quindi caratterizzata da un consolidato settore manifatturiero che, nonostante le criticità congiunturali del mercato sia in termini di offerta che di domanda, ha saputo anche nel corso di questi ultimi due anni evolvere e rinnovarsi cogliendo le opportunità del mercato per far fronte alle criticità e ai momenti congiunturali più difficili. La presenza di siti produttivi di diverso tipo offre innumerevoli vantaggi economici e sociali per il sistema paese e la "fabbrica intelligente" (qui intesa come fabbrica che adotta le emergenti tecnologie abilitanti atte a supportare in modo efficace il capitale umano) sta diventando una realtà consolidata grazie anche al lavoro di diversi attori sul territorio, tra cui il Cluster stesso, promotori di azioni per migliorare la riconoscibilità del manifatturiero a livello nazionale ed europeo.

In particolare, il Cluster nella prima fase della pandemia ha creato una task force dedicata a definire delle azioni strategiche a supporto del manifatturiero arrivando a redigere e proporre il documento "Produrre un Paese Resiliente".

Il documento propone tre categorie di intervento per rendere il manifatturiero protagonista della ripartenza del Paese in una situazione di emergenza.

Tali interventi sono classificati in:

- Interventi immediati atti a favorire la trasformazione delle aziende nella direzione della resilienza e della competitività tenuto conto dello stato emergenziale utilizzando soluzioni disponibili sul mercato;
- Interventi specifici di medio termine basati su attività di ricerca e innovazione che possano produrre nuove soluzioni per gestire in modo appropriato le emergenze e a permettere ai sistemi di migliorare le prestazioni in contesti competitivi mutati;

	2021*	2019	2016
Manifatturiero	9,8	9,5	9,7
Tessile, abbigliamento e pelli	21,2	22,2	22,3
Macchinari e impianti	14,8	14,9	15,9
Mobili e altri manifatturieri	13,6	13,4	13,6
Metalli	13,4	12,6	12,5
Plastica e minerali non metalliferi	11,6	11,5	11,9
Alimentare, bevande e tabacco	10,1	9,7	9,0
Apparecchi elettrici	8,5	8,7	9,4
Petroli e prodotti	7,9	7,6	7,8
Farmaceutica	7,4	8,8	7,5
Autoveicoli e altri mezzi di trasporto	6,9	5,6	6,2
Chimica	6,4	6,4	6,6
Legno, carta e stampa	6,1	6,5	6,6
Elettronica e ottica	3,8	3,5	3,6

Fonte: CSC su dati Eurostat

*2021: primi sette mesi

Figure 3.3: quota export italiano in % su quello europeo (*2021 solo i primi 7 mesi)

iii) Interventi di lungo termine a carattere sistemico in cui l'intervento diretto del pubblico sia supportato da partnership con le imprese e con Università ed Enti di ricerca.

In particolare, il Cluster propone che, partendo dalla forte base manifatturiera già presente nel Paese sfruttando e combinando le migliori competenze esistenti, si definisca un modello per sfruttare una certa quota della capacità manifatturiera esistente e metterla in condizioni di poter rapidamente intervenire su obiettivi definiti in periodi emergenziali.

Per capacità manifatturiera si intendono tutte le attività necessarie a realizzare e portare il prodotto nei tempi giusti e nelle giuste condizioni nel punto di uso. Viene quindi proposto un modello attuativo che deve essere basato sulla creazione di nuove opportunità di collaborazione che siano utilizzabili per l'attività in questione ma siano anche sfruttabili per altre iniziative.

Si propone di creare un modello di collaborazione pubblico-privato che, se attivato in presenza di una crisi emergenziale, permetta di produrre in tempi brevi e nei volumi necessari tutti i prodotti richiesti per gestire la situazione e aiutare le aree geografiche, che non dispongono di tale sistema di pronto intervento, fornendo prodotti necessari in situazioni di interesse globale aumentandone la resilienza.

Quando invece viene attivato in situazioni normali permette di far progredire il Paese grazie all'ideazione spontanea di nuovi prodotti che nascono dall'interazione creativa tra diversi stakeholder, alla creazione di prodotti e macchinari per i settori di frontiera, alla creazione di nuovi prodotti nel settore sanitario, della protezione civile e, più in generale, prodotti e soluzioni per le sfide della società nei casi in cui le regole di mercato non siano sufficienti a creare le condizioni di innesco in modo automatico.

4. La strategia europea per la ricerca



4.1 Horizon Europe

Se Horizon2020 si poneva l'obiettivo di sostenere tutti i passi della "catena dell'innovazione", con particolare riferimento ad attività più prossime al mercato che comprendessero strumenti finanziari innovativi, ed aspirava a soddisfare i fabbisogni di ricerca ponendo enfasi su un utilizzo diffuso della conoscenza generata attraverso le attività supportate fino alla fase commerciale, il nuovo piano Horizon Europe è un ambizioso programma di ricerca e innovazione che consentirà all'UE sia di consolidare i risultati raggiunti con H2020 che di rafforzare la posizione dell'Europa in prima linea nel settore della ricerca e dell'innovazione a livello mondiale.

Horizon Europe ha lo scopo di accrescere l'impatto scientifico, sociale ed economico dei fondi europei per la ricerca.

L'Europa parte dalla posizione di produrre 17% della ricerca globale e il 25% delle pubblicazioni scientifiche di alta qualità a fronte di un investimento medio in ricerca e sviluppo pari al 1,5% del PIL, ancora molto basso rispetto ad altre potenze tecnologiche quali gli USA (2,1%), il Giappone (2,6%) e la Corea (3,6%)¹⁰.

Con un budget di 95,5 miliardi di euro, il nuovo programma verrà implementando nel corso degli anni 2021-2027 attraverso 3 pilastri (Excellence Science, Global Challenges and European Industrial Competitiveness, Innovative Europe).

Horizon Europe si differenzia dai precedenti programmi per un approccio più integrato tra i vari strumenti di cui si compone e soprattutto molto più diretto a raggiungere risultati applicativi concreti.

Dei tre pilastri, due sono espressamente orientati rispettivamente alla ricerca applicata in aree definite prioritarie per la competitività industriale europea in risposta alle grandi sfide globali (Pilastro II) e alle innovazioni radicali di prodotto e di processo da parte delle imprese europee (Pilastro III), con l'obiettivo di supportare la loro affermazione commerciale sui mercati globali.

Nell'ambito del pilastro II, l'area più importante per il settore manifatturiero è il cluster 4 "Digital, Industry and Space" che ha l'obiettivo di supportare investimenti su tecnologie competitive e affidabili per la leadership globale dell'industria europea in aree chiave, con modelli di produzione e consumo che rispettino il pianeta massimizzando i benefici per la società nei diversi contesti sociali, economici e territoriali in Europa.

Ciò è finalizzato alla creazione di un'industria competitiva, digitale e circolare, a basse emissioni di carbonio, con l'obiettivo di garantire l'approvvigionamento sostenibile di materie prime, di sviluppare materiali avanzati e di portare l'innovazione a servizio delle sfide globali nella società.

In particolare, nell'ambito del programma del Cluster 4, sono definiti degli obiettivi di medio termine (denominati destinazioni) che a loro volta sono declinati in bandi per progetti collaborativi (di tipo RIA, IA e CSA) e per i primi due anni di Horizon Europe sono:

- Climate neutral, circular and digitised production;

- Increased autonomy in key strategic value chains for resilient industry;

- World leading data and computing technologies;

- Digital and emerging technologies for competitiveness and fit for the green deal;

- Open strategic autonomy in developing, deploying and using global space-based infrastructures, services, applications and data;

- A human-center and ethical development of digital and industrial technologies.

10-R&D investment comparison (source: EU Commission, 2020)

4.2 La partnership Made in Europe

Made in Europe è la nuova partnership del settore manifatturiero con la Commissione Europea nell'ambito del Programma Quadro Horizon Europe (2021-2027).

La creazione del partenariato Made in Europe è stata discussa tra gli organi competenti coinvolti, Commissione europea, Stati membri e l'associazione EFFRA a partire dal 2019. La portata e le ambizioni della Partnership sono state definite nel documento di orientamento Made in Europe e nel 2021 è stata pubblicata l'Agenda strategica per la ricerca e l'innovazione.

Il partenariato europeo coinvolge l'intera catena del valore manifatturiero in Europa per supportare la diffusione dell'eccellenza manifatturiera tra le aziende, in particolare le PMI, e garantire la competitività e la sostenibilità dell'industria manifatturiera europea, difendendo la leadership tecnologica dell'Europa nel mondo, nonché la prosperità e il benessere dei dipendenti, dei consumatori e della società.

Made in Europe contribuirà fortemente all'interazione tra i principali attori che guidano e/o attuano iniziative di innovazione manifatturiera anche a livello nazionale e regionale e si pone l'obiettivo di dialogare con nuovi attori, come le autorità locali incaricate di attirare l'industria nelle città e nei comuni.

L'obiettivo della partnership Made In Europe è quello di spingere gli ecosistemi manifatturieri europei verso la leadership globale nella tecnologia di produzione in ottica di sostenibilità.

Il partenariato contribuirà a creare un'industria manifatturiera competitiva, verde, digitale, resiliente e incentrata sull'uomo in Europa. In particolare, il manifatturiero sarà al centro di una doppia transizione ecologica e digitale in linea con il Green Deal della Commissione Europea, dal momento che il settore è sia un motore di questi cambiamenti in altri settori che esso stesso soggetto a queste innovazioni.

4.3 Il Chips Act

Un'altra iniziativa europea molto importante collegata agli interventi che possono interessare il manifatturiero è il Chips Act.

La Commissione Europea ha proposto una serie completa di misure volte a garantire la sicurezza dell'approvvigionamento, la resilienza e la leadership tecnologica dell'UE nelle tecnologie e nelle applicazioni dei semiconduttori.

L'European Chips Act ha l'obiettivo di rafforzare la competitività e la resilienza dell'Europa e può contribuire a realizzare sia la transizione digitale che quella verde.

La Commissione Europea si pone l'obiettivo di mobilitare oltre 43 miliardi di euro di investimenti pubblici e privati attraverso misure per prevenire, preparare, anticipare e rispondere rapidamente ad eventuali future interruzioni delle catene di approvvigionamento, insieme agli Stati membri e ai nostri partner internazionali con l'obiettivo di raggiungere la sua ambizione di raddoppiare la sua attuale quota di mercato al 20% nel 2030 in questo settore.

In particolare, gli obiettivi dello European Chips Act sono:

- **Rafforzare la leadership europea nella ricerca e nello sviluppo tecnologico verso chip più piccoli e più veloci;**

- **Costruire e rinforzare la capacità di innovazione nel design, manifattura e packaging di chips avanzati;**

- **Mettere in atto una struttura per aumentare la capacità di produzione al 20% del mercato globale entro il 2030;**

- **Affrontare la carenza di competenze, attrarre nuovi talenti e supportare l'emergere di forza lavoro qualificata;**

- **Sviluppare una comprensione approfondita della catena di fornitura globale dei semiconduttori.**

L'iniziativa Chips for Europe riunirà le risorse dell'Unione, degli Stati membri e dei paesi terzi associati ai programmi dell'Unione esistenti, nonché del settore privato, attraverso la "Chips Joint Undertaking" ovvero derivante dal ri-orientamento strategico dell'attuale Key Digital Technologies Joint Undertaking.

Ben oltre 11 miliardi di euro saranno messi a disposizione per supportare la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione nel settore e per garantire l'impiego di semiconduttori avanzati, in applicazioni innovative.

Verranno ulteriormente identificate azioni volte alla formazione e alla riqualificazione nel settore e allo sviluppo dell'ecosistema di ricerca e innovazione e della relativa catena del valore.

È previsto un nuovo quadro per garantire la sicurezza degli approvvigionamenti attirando maggiori investimenti e capacità di produzione, necessari per promuovere l'innovazione nei nodi avanzati, chip innovativi ed efficienti dal punto di vista energetico.

Inoltre, un Chips Fund faciliterà l'accesso ai finanziamenti per le start-up al fine di supportarle nel maturare le loro innovazioni e attrarre investitori. Includerà, inoltre, un meccanismo di investimento azionario dedicato ai semiconduttori nell'ambito di InvestEU per sostenere le scale-up e le PMI per facilitare l'espansione del loro mercato.

5. La strategia nazionale di ricerca



5.1 Il Programma Nazionale della Ricerca

Il Programma Nazionale per la Ricerca¹¹ (PNR) è il documento che orienta la politica di ricerca in Italia individuando priorità, obiettivi e azioni volti a sostenere la coerenza, l'efficienza e l'efficacia del sistema nazionale della ricerca definendo le linee di indirizzo a livello nazionale.

Il nuovo PNR 2021-2027 è stato strutturato dal punto di vista dello sviluppo temporale e delle tematiche per essere in continuità con il programma Horizon Europe, declinando i sei cluster che ci sono all'interno del pillar II in sei grandi ambiti di ricerca e innovazione sviluppati attraverso aree di intervento quali:

• **Salute**

• **Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione**

• **Sicurezza per i sistemi sociali**

• **Digitale, industria, aerospazio**

• **Clima, energia, mobilità sostenibile**

• **Prodotti alimentari, bioeconomia, risorse naturali, agricoltura e ambiente**

In questo modo, la visione strategica nazionale è allineata con la programmazione europea, inserendo degli elementi di complementarietà rivolti a promuovere interventi funzionali a rendere il nostro sistema della ricerca sempre più competitivo e protagonista a livello europeo.

I vantaggi che ne possono risultare non si limitano alla possibilità di ottenere una compartecipazione al finanziamento delle attività R&I, ma ci sono dei benefici intrinseci della ricerca collaborativa, in particolare quelli derivanti dalla condivisione dei risultati e dal confronto con i sistemi nazionali R&I degli altri Paesi.

Questi ambiti di ricerca e innovazione trattati nel PNR permettono anche di stabilire connessioni con gli obiettivi del Green Deal europeo rendendo quindi il PNR uno strumento per fornire un contributo rilevante alla transizione ecologica in cui la conservazione del capitale naturale, della biodiversità e dei processi che da essa dipendono e da cui dipende la vita sul pianeta, diventa una condizione necessaria e trasversale al perseguimento degli obiettivi di prosperità e benessere

identificati dal Green Deal europeo.

Tra le priorità di sistema individuate nel piano c'è anche la promozione della circolazione della conoscenza e competenze tra il mondo della ricerca e il sistema produttivo e la valorizzazione dei risultati della ricerca attraverso un processo virtuoso di contaminazione per garantire la competitività del Paese, ancor più nell'attuale scenario delle transizioni, verde e digitale.

Nel documento si dichiara che "l'intervento pubblico è necessario per favorire l'innescio di questa contaminazione, [...] indicando le sfide da affrontare, condividendo gli obiettivi da raggiungere e predisponendo linee d'azione coerenti [...]".

Il PNR sottolinea che per progettare il futuro è necessario tenere in considerazione le condizioni di partenza e in particolare il divario che l'Italia sconta rispetto ad altri Paesi europei nella propensione delle imprese a cooperare in tema di innovazione.

Questo divario è evidenziato anche nel rapporto European Innovation Scorecard (EIS, 2020), che da anni colloca il nostro Paese tra gli "innovatori moderati", con performance inferiori alla media europea in termini di collaborazione tra imprese e fra queste e il sistema della ricerca pubblica.

La promozione dell'innovazione non può, quindi, prescindere da un potenziamento dei rapporti tra ricerca e sistema produttivo, favoriti da programmi di mobilità tra mondo accademico e industria e strategie mirate di trasferimento tecnologico che agevolino la transizione dalla ricerca fondamentale e applicata alle idee che arrivano al mercato con maggior successo.

Nel PNR, viene anche sottolineata l'importanza di facilitare l'interconnessione tra sistema produttivo e ricerca pubblica anche grazie appunto a nuovi modelli di collaborazione pubblico-privato, e il Cluster rappresenta un valido strumento in questa direzione.

Dal momento che il manifatturiero rappresenta una voce importante del PIL e dell'occupazione sarebbe importante riuscire a superare il limite strategico del PNR stesso fornendo adeguato spazio ai settori che hanno dimostrato con i numeri il proprio valore quali produttori di ricchezza.

Inoltre, sarebbe necessario assegnare un ruolo importante ai partenariati attivi da anni sul territorio nazionale come per esempio i Cluster e studiare dei meccanismi per dare evidenza a priorità specifiche per i beni strumentali.

¹¹ <http://www.miur.gov.it/programma-nazionale-della-ricerca>

5.2 Il Piano Nazionale per la Ripresa e la Resilienza

L'Unione Europea ha risposto alla crisi pandemica con il Next Generation EU (NGEU) che prevede investimenti e riforme per accelerare la transizione ecologica e digitale; migliorare la formazione delle lavoratrici e dei lavoratori; e conseguire una maggiore equità di genere, territoriale e generazionale.

Per l'Italia, il NGEU rappresenta un'opportunità imperdibile di sviluppo, investimenti e riforme.

L'Italia deve modernizzare la sua pubblica amministrazione, rafforzare il suo sistema produttivo e intensificare gli sforzi nel contrasto alla povertà, all'esclusione sociale e alle disuguaglianze.

Il NGEU può essere l'occasione per riprendere un percorso di crescita economica sostenibile e duraturo rimuovendo gli ostacoli che hanno bloccato la crescita italiana negli ultimi decenni.

Per questo motivo è stato predisposto il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) quale documento programmatico di investimenti e riforme.

Il PNRR è stato elaborato a conclusione di un'intensa fase preliminare di analisi e studio e si articola in sedici Componenti, raggruppate in sei Missioni:

Missione 1:

Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo

Missione 2:

Rivoluzione verde e transizione ecologica

Missione 3:

Infrastrutture per una mobilità sostenibile

Missione 4:

Istruzione e ricerca

Missione 5:

Coesione e inclusione

Missione 6:

Salute

Il PNRR è parte di una più ampia e ambiziosa strategia per l'ammodernamento del Paese. Il Governo intende aggiornare le strategie nazionali in tema di sviluppo e mobilità sostenibile; ambiente e clima; idrogeno; automotive; filiera della salute.

Inoltre, il PNRR ha anche un capitolo molto importante per quanto riguarda la formazione per le imprese per garantire la crescita del capitale umano necessario per garantire la doppia transizione digitale-sostenibile.

Con riferimento alla competitività e resilienza del sistema produttivo, il PNRR prevede di agire su diverse leve per rafforzare e modernizzare la capacità operativa delle imprese del nostro Paese.

In particolare si prevede di favorire e potenziare i processi di trasformazione digitale e ecologica del sistema produttivo italiano anche attraverso il miglioramento delle infrastrutture che facilitino un approccio di filiera.



6. Le strategie di specializzazione territoriale del manifatturiero italiano

2019				
REGIONE	N. AZIENDE	FATTURATO (M€)	VALORE AGGIUNTO (M€)	DIPENDENTI
Lombardia	84.912	257.055.437	66.024.163	903.826
Veneto	47.750	130.946.007	35.244.765	537.800
Emilia-Romagna	37.976	123.065.073	33.741.998	452.620
Piemonte	32.884	97.613.276	24.767.236	359.063
Toscana	40.558	72.457.306	17.743.987	303.263
Lazio	22.043	45.159.262	10.144.480	143.622
Campania	28.767	35.768.375	8.740.878	185.153
Marche	16.684	29.135.676	8.188.043	154.772
Friuli-Venezia Giulia	8.239	26.930.981	7.503.655	106.809
Puglia	22.070	29.635.209	6.111.431	144.032
Abruzzo	9.379	19.747.087	4.694.134	81.725
Liguria	7.894	21.546.332	4.378.840	59.138
Sicilia	21.735	24.240.246	3.491.126	90.364
Umbria	6.787	12.408.055	3.310.975	57.681
Provincia Autonoma Bolzano	3.424	8.957.025	2.596.016	36.470
Provincia Autonoma Trento	3.406	8.803.324	2.268.035	33.473
Basilicata	3.083	6.346.891	1.265.372	26.538
Sardegna	7.539	8.954.785	1.483.287	32.114
Calabria	8.281	3.181.759	901.368	26.683
Molise	1.771	2.585.958	618.852	12.159
Valle d'Aosta	669	1.082.831	278.027	4.659
	415.851	965.620.895	243.496.668	3.751.964

Fonte: Istat

Tabella 6. 1: manifatturiero italiano, dettaglio regione per regione n° aziende e addetti

La distribuzione del settore manifatturiero nelle regioni italiane vede un forte concentramento di aziende di produzione in Lombardia, che per fatturato e valore aggiunto rappresentano il 27% del valore italiano con valore sulle 4 dimensioni (aziende, fatturato, valore aggiunto e numero di persone impiegate) che rappresenta almeno il doppio del valore che esprimono le 3 regioni singolarmente e che la seguono in classifica (Veneto, Emilia-Romagna e Piemonte).

Nel confronto internazionale, tra le prime dieci regioni manifatturiere dell'Unione europea quattro sono italiane: Veneto, Emilia-Romagna Lombardia e Piemonte. In linea con la classificazione NUTS2, la Lombardia è la seconda regione dell'Ue per numero di occupati delle imprese manifatturiere, dietro alla regione francese di Parigi, Île de France.

Tra le prime dieci regioni manifatturiere europee, il Veneto è al secondo posto per rapporto tra occupati manifatturieri e popolazione, registrando 10,6 addetti delle imprese della manifattura ogni 100 abitanti, dietro a Stoccarda (14,4 addetti imprese manifattura per 100 abitanti).

L'Emilia-Romagna, la Lombardia e il Piemonte si collocano rispettivamente al 4°, al 6° e all'8° posto con 9,9, 8,9 e 8,1 addetti per 100 abitanti.

Inoltre, a fronte di un valore del valore aggiunto manifatturiero di 4.278 euro per abitante come media italiana, l'Emilia-Romagna ha un valore di 7.899 euro per abitante, seguita da Veneto con 7.335 euro per abitante e Lombardia con 7.030 euro per abitante.

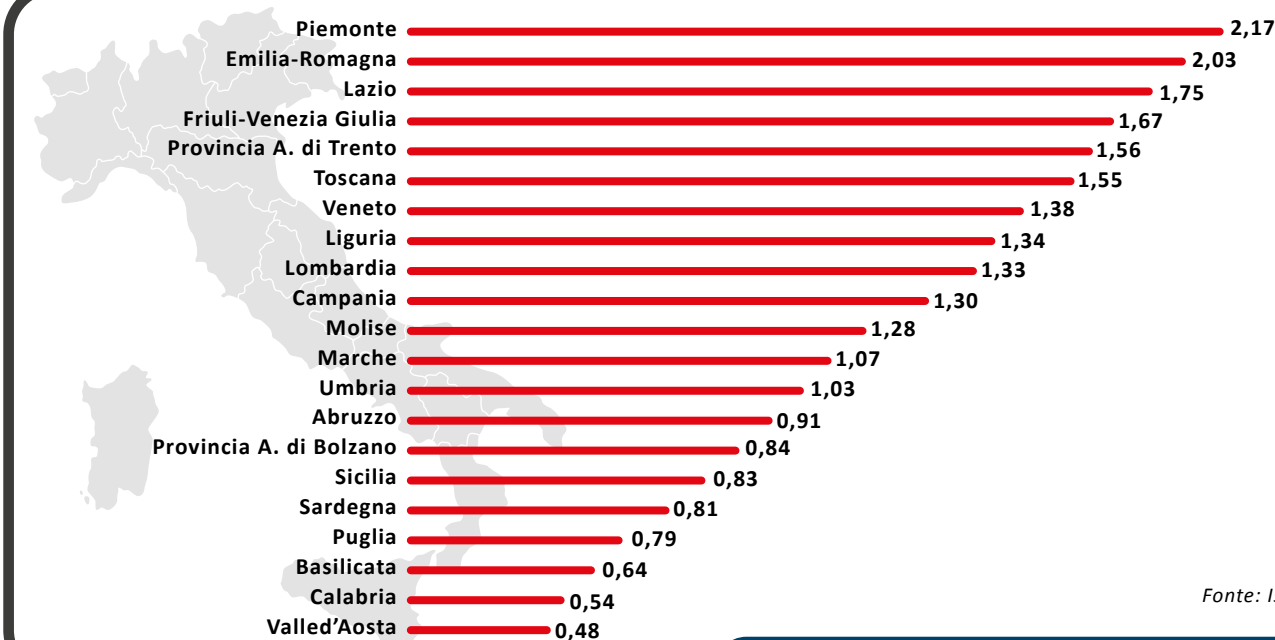
Guardando alla spesa per ricerca nel 2018 (Figura 6.1), poco più di un terzo della R&S è svolta nel Nord-ovest mentre le regioni del Sud e delle isole contribuiscono con una quota pari a quasi il 15%. In particolare, il 68,1% della spesa totale, pari a circa 17,2 miliardi di euro, è concentrato in cinque regioni con la Lombardia al 20,6%, il Lazio al 13,7%, l'Emilia-Romagna al 13,0%, il Piemonte al 11,8% e il Veneto al 9,0%.

Complessivamente le imprese delle cinque regioni manifatturiere più importanti contribuiscono al 75% della ricerca nazionale nel settore.

In particolare, tra le regioni più virtuose la Lombardia contribuisce maggiormente alla spesa complessiva con il 25%.

Anche nel 2018, tra le regioni dove le università hanno investito di più in attività di R&S si confermano la Lombardia, il Lazio e l'Emilia-Romagna che, insieme a Campania e Toscana, coprono il 55,7% della spesa complessiva destinata alla R&S in questo settore. Considerando l'incidenza della spesa per R&S in percentuale sul Pil, la graduatoria delle regioni varia dal valore massimo del Piemonte (2,17%) al minimo della Valle d'Aosta (0,48%). Oltre al Piemonte, le regioni con la spesa per R&S sul Pil più alta sono Emilia-Romagna (2,03%), Lazio (1,75%), Friuli-Venezia Giulia (1,67%), Provincia di Trento (1,56%) e Toscana (1,55%).

Dal punto di vista delle politiche per la ricerca, le strategie di ricerca e innovazione nazionali e regionali di specializzazione intelligente (RIS3) sono programmi di trasformazione economica integrati e basati sulle specifiche caratteristiche del territorio pensati per svolgere cinque azioni importanti:



Fonte: Istat

Figura 6.1: spesa per R&S intra-muros per regione. Anno 2018 (% sul PIL)

1) Incentrare il sostegno della politica e gli investimenti su fondamentali priorità, sfide ed esigenze di sviluppo basate sulla conoscenza a livello nazionale e regionale.

2) Valorizzare i punti di forza, i vantaggi competitivi e il potenziale di eccellenza di ogni paese o regione.

3) Supportare l'innovazione tecnologica e promuovere gli investimenti nel settore privato.

4) Assicurare la piena partecipazione dei soggetti coinvolti e incoraggiare l'innovazione e la sperimentazione.

5) Partire da esperienze concrete che includono validi sistemi di monitoraggio e valutazione.

Tutte le regioni di riferimento del Cluster nazionale Fabbrica Intelligente hanno definito nelle loro strategie di specializzazione, priorità e obiettivi che riguardano la promozione dei modelli, metodi e delle tecnologie connesse con la fabbrica intelligente, in quanto strumenti per la crescita economica e industriale del territorio così come il miglioramento dell'integrazione sociale con un ruolo nuovo per l'industria.

Tali politiche sono basate in larga parte sull'analisi delle condizioni locali del sistema industriale e di ricerca, confrontate con lo stato dell'arte tecnologico e le tendenze globali, supportate dall'applicazione di metodologie di foresight e roadmapping.

Le strategie regionali analizzate nell'ambito delle attività

del Cluster hanno in comune un'ampia visione dell'innovazione, con approcci basati, ma certamente non limitati, alla tecnologia e ai drivers principali e trasversali ad essa connessi.

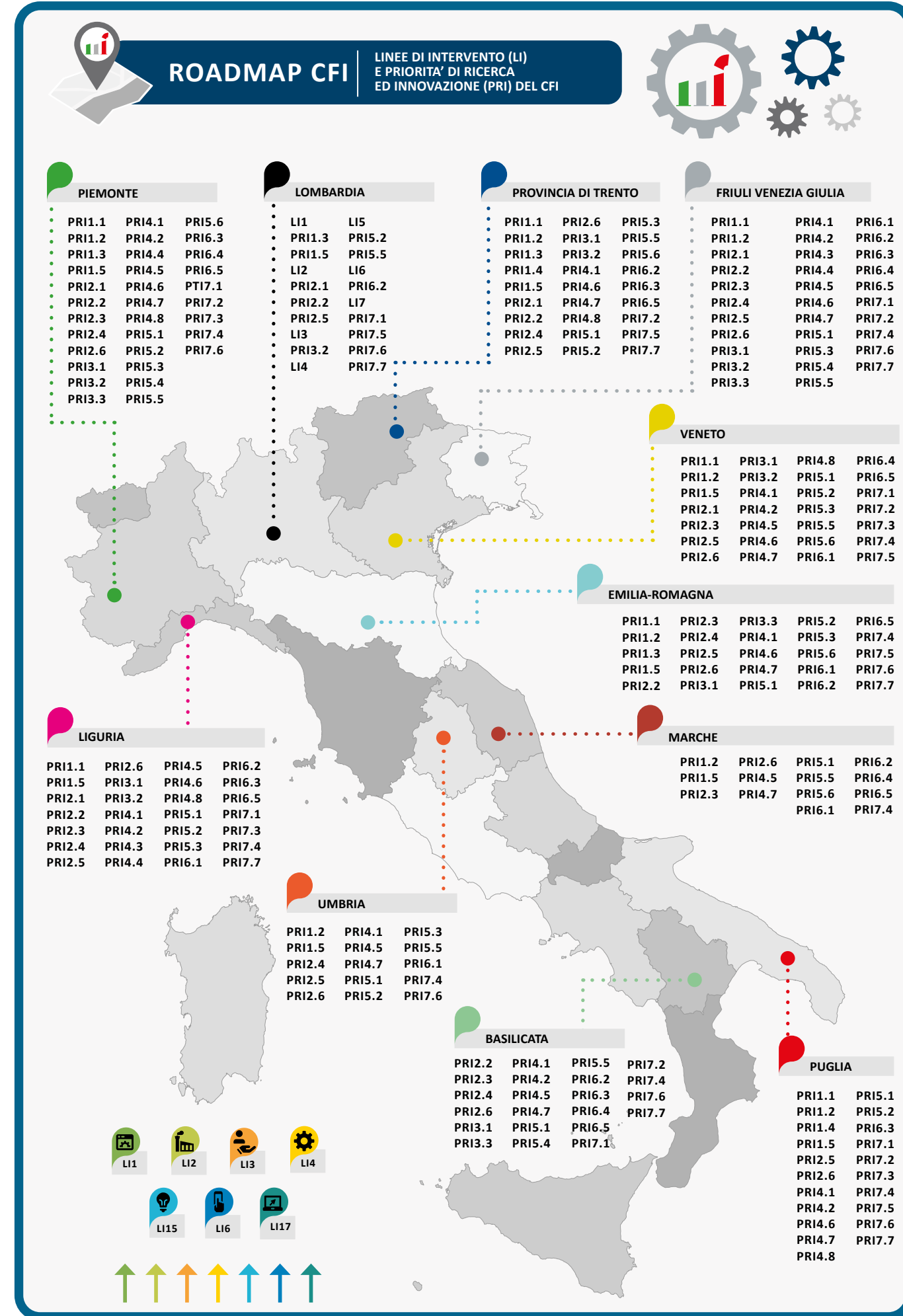
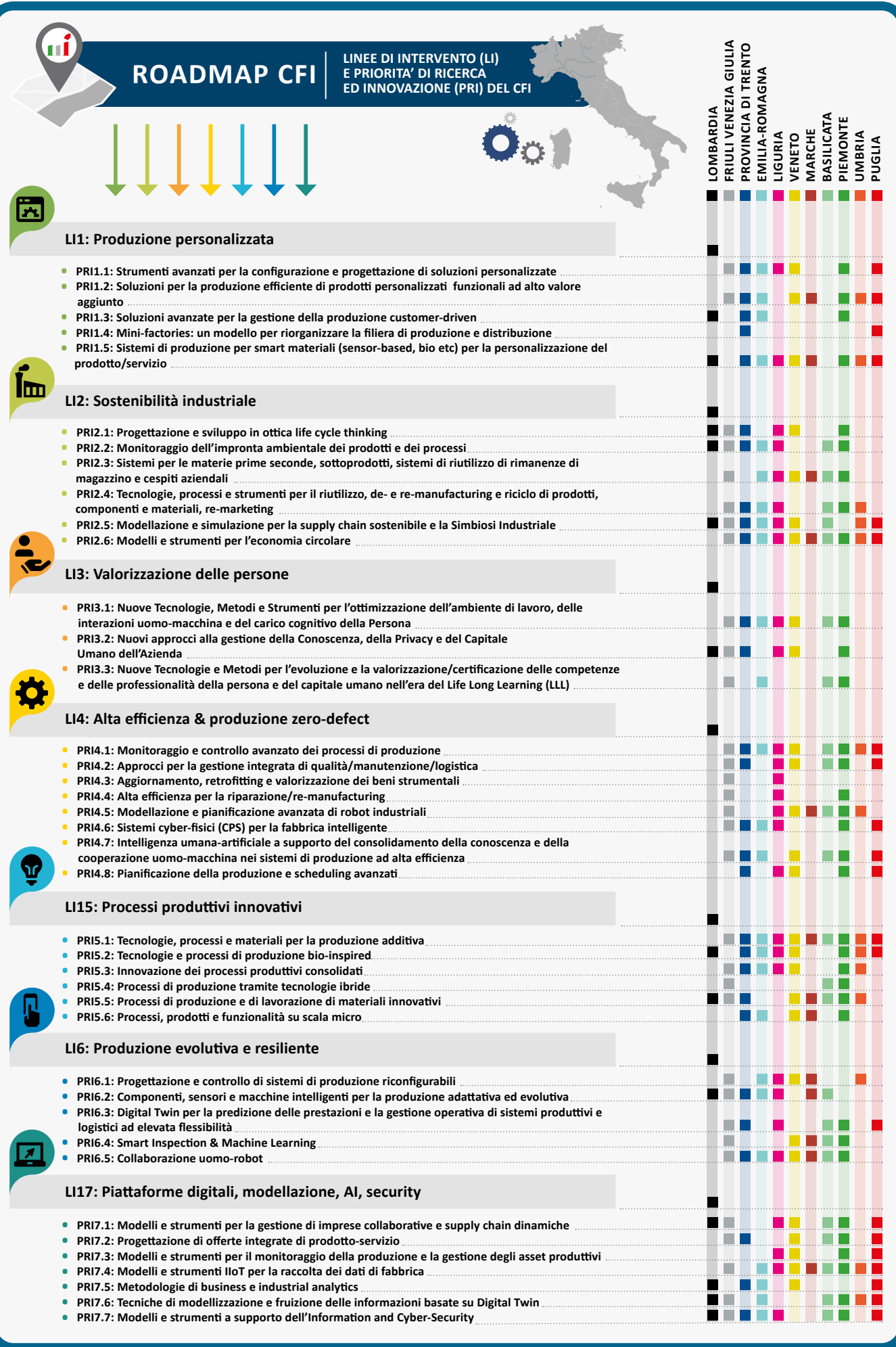
Tutte hanno agganciato un sistema di monitoraggio con indicatori condivisi di output, specializzazione, transizione e risultato e coordinati a livello nazionale per il monitoraggio della S3 nazionale.

Tutte le Regioni hanno lavorato in questo periodo nella definizione della proposta di aggiornamento della propria S3 per il periodo 2021-2027, elaborata alla luce dei cambiamenti osservati nel sistema produttivo regionale e delle relative sfide per l'innovazione individuate, del quadro di riferimento strategico-programmatico a livello europeo, nazionale e regionale, delle risultanze di diversi momenti di confronto e ascolto con gli stakeholder regionali, nonché facendo tesoro dell'esperienza del periodo di programmazione 2014-2020.

Nell'arco del 2020, sotto l'egida dell'Agenzia di Coesione, il CFI ha posto particolare enfasi al tavolo interregionale che vede coinvolte sia le Regioni già formalmente socie del Cluster ma anche le Regioni candidate (Friuli Venezia Giulia, Provincia di Trento, Umbria e Basilicata) per la condivisione delle nuove strategie di specializzazione.

Con il supporto degli organi preposti a rappresentare le Regioni nel Cluster, è stata effettuata una mappatura per l'allineamento tra quanto proposto dal cluster e quanto si sta sviluppando nelle nuove RIS3-2021/2027 cercando di mappare le priorità di ricerca e le linee strategiche dei due livelli di analisi (regionale e nazionale).

Come risulta dallo schema qui sotto riportato, le priorità di ricerca e innovazione del Cluster (che verranno descritte nei prossimi capitoli) possono essere considerate un macro contenitore che raggruppa anche gli interessi dei vari stakeholder regionali. Ogni regione ha una sua specificità e alcune priorità regionali sono state mappate su diverse linee di intervento.



7. Scenari di riferimento per il futuro



7. Scenari di riferimento per il futuro

La previsione di scenari futuri è un approccio che permette ad aziende, governi e stati di interpolare i trend più importanti che si verificano in un certo contesto per avere un valido supporto nel far fronte alle incertezze di un mondo che cambia sempre più rapidamente¹².

La pianificazione degli scenari è utilizzata per supportare decisioni di politica pubblica, e politica industriale in diversi contesti utilizzando sia metodi qualitativi per raccogliere consenso di esperti del settore che metodi quantitativi per la previsione dei fenomeni basata sull'interpretazione di dati storici¹³.

È importante creare diversi scenari tenendo conto delle dimensioni di trend economico, sociale, tecnologico, ambientale e politico quali fonti di possibili cambiamenti per avere una visione sul futuro basata su relazioni causali costruite con il supporto di esperti di vari settori o con l'utilizzo di metodi di previsione.

La pandemia ha ulteriormente accelerato i cambiamenti repentini e la crisi legata alla guerra Russia-Ucraina parimenti avrà un impatto profondo sugli scenari energetici, sull'approvvigionamento dei materiali e sulle filiere produttive oltre che un impatto in termini di mercati di sbocco per specifici settori.

In questo contesto diventa ancora più importante, al di là dei singoli trend, capire le possibili interazioni tra i cambiamenti in corso e attesi e ipotizzare degli scenari futuri che possono fungere da riferimento per lo sviluppo del manifatturiero.

La creazione di scenari futuri facilita la capacità di predisporre strategie per affrontare i cambiamenti in corso e può dare vantaggio competitivo ad un Paese e al suo sistema produttivo. Inoltre, tale capacità, se guidata da appropriate azioni di politica industriale che intervengano a livello nazionale e regionale, rappresenta un punto di partenza per il futuro.

7.1 Scenario 1: Mobilità elettrica: una sfida di filiera

Nel 2019, sono stati venduti più di 2,1 milioni di auto elettriche a livello globale, superando il 2018 - già un anno record - arrivando ad un totale di 7,2 milioni di auto elettriche (incluso anche auto ibride del tipo plug-in hybrid vehicle).

Pur rappresentando solo il 2,6% delle vendite globali di auto e circa l'1% del parco auto globale nel 2019, le auto elettriche registrano un aumento del 40% su base annua¹⁴.

Con l'avanzare di nuove tecnologie nel campo dell'elettificazione di veicoli, autobus e camion e il loro mercato in crescita, i veicoli elettrici si stanno espandendo in modo significativo.

Negli ultimi anni, interventi politici ambiziosi sono stati fondamentali per stimolare il lancio di veicoli elettrici nei principali mercati.

Inoltre, le indicazioni del 2019 di un passaggio dalle sovvenzioni dirette ad approcci più sistemici basati maggiormente su misure normative sui veicoli a emissioni zero e i nuovi standard di risparmio di

carburante, hanno fornito chiari segnali all'industria automobilistica e ai consumatori che una transizione economicamente sostenibile può realizzarsi nel medio-lungo termine anche con l'aiuto dei governi.

Le aziende di auto italiane stanno lavorando anche sui veicoli elettrici e le relative tecnologie, per far fronte ad una richiesta in crescita esponenziale.

In Italia, abbiamo un ricco ecosistema sia di produttori di componenti elettrici sia di elettronica di potenza e possiamo contare sull'esperienza di alcuni poli per la progettazione e l'ingegnerizzazione dei prodotti. Molto importante è anche il ruolo delle imprese di fabbricazione di macchinari per le produzioni industriali proprio dei componenti e che già forniscono soluzioni produttive all'industria della mobilità elettrica.

¹² Amer M, Daim TU, Jetter A (2013) A review of scenario planning. Futures 46:23-40

¹³ Georghiou, L. (Ed.). (2008). The handbook of technology foresight: concepts and practice. Edward Elgar Publishing.

¹⁴ <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>

Per facilitare il passaggio alla mobilità elettrica sono necessari degli interventi strutturali importanti su diversi fronti:

- Sviluppo di infrastrutture adeguate per il caricamento dell'auto elettrica con investimenti per rendere "intelligente" la rete elettrica (smart grid) e per differire la ricarica nelle ore notturne, quando la richiesta di energia e il prezzo sono inferiori.

- Necessità di far crescere l'ecosistema della produzione di celle agli ioni di litio e del loro riuso, recupero e riciclo sul nostro territorio di batterie, dal momento che queste rappresentano una parte importante delle emissioni di CO2 legate alla fabbricazione dell'auto elettrica, il cui divario viene recuperato durante il suo utilizzo. In particolare sono necessari investimenti in impianti per trattamento ai fini del re-purposing, del riuso per usi statici e del riciclo dei materiali, di batterie da varie applicazioni.

- Investimenti sui motori elettrici che rappresentano una parte rilevante nel panorama dell'elettrificazione della mobilità e richiedono importanti investimenti per garantire da un lato prestazioni sempre crescenti a fronte di una riduzione dei pesi e dall'altro la realizzazione di soluzioni di economia circolare che permettano il riutilizzo delle funzioni e dei materiali (alcuni dei quali rientrano tra i materiali critici per l'Europa come ad esempio i magneti permanenti).

- Revisione della filiera di produzione e delle relazioni tra produttori e fornitori di componentistica a causa della svolta tecnologica.

Per capire i potenziali effetti sull'indotto automotive, si pensi che il 50% del costo industriale di un'auto elettrica non è presente all'interno di un'auto tradizionale endotermica. E gli effetti non si limitano alla powertrain, ma si estendono anche a carrozzeria, telaio e interni. Per assemblare un motore termico e la trasmissione per le macchine a combustione interna servono mediamente 6,2 ore di manodopera. Nel caso di auto ibrida plug-in, le ore salgono a 9,2, perché occorre assemblare anche il motore elettrico e le batterie. Invece, per un'auto full electric le ore scendono a 3,7, ossia il 40% in meno, poiché il motore e la trasmissione sono più semplici¹⁵.

È necessario quindi a livello italiano organizzare e orientare le competenze accademiche e industriali, coordinando il mondo della ricerca, quello del design e dell'ingegneria di prodotto, le industrie (automotive, della componentistica elettrica ed elettronica, le eccellenze della chimica e dello sviluppo SW), le utility e le aziende di trasporto, per "fare sistema" e favorire la creazione di filiere volte allo sviluppo e alla produzione di veicoli elettrici made in Italy e non solo assemblati nel nostro paese proprio per l'enorme contributo al PIL e alla tenuta industriale del paese che questo settore può rappresentare (100 miliardi di fatturato della filiera industriale automotive che, incluso l'indotto, coinvolge 258.000 lavoratori (con un fattore moltiplicativo dei lavoratori pari a 3) nonché agli investimenti in ambito industriale (3,9 miliardi di euro l'anno) che dovrebbero essere orientati dalla politica industriale nazionale proprio verso la produzione di componenti e SW dei mezzi elettrici¹⁶.

¹⁵ La filiera della mobilità elettrica "Made in Italy" Imprese, territori e tecnologie della e-Mobility. MOTUS-E (Luglio 2019)

¹⁶ La grande occasione per la mobilità a zero emissioni. MOTUS-E (Gennaio 2021) https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2021/03/MOTUS-E-La-grande-occasione-per-la-mobilit%C3%A0-a-zero-emissioni_Proposta-per-PNRR.pdf

Per quanto riguarda le filiere attuali, la crescita dell'elettrico è veloce anche se come detto i numeri restano per ora contenuti rispetto all'auto tradizionale.

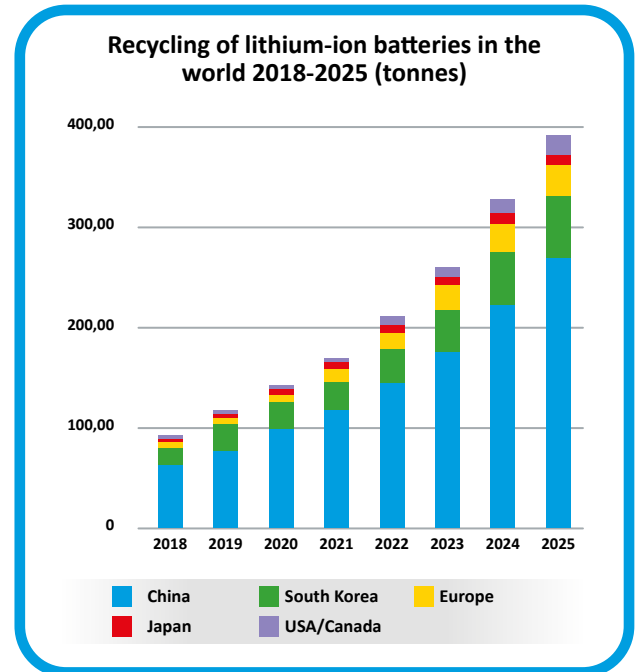
Non si può perdere di vista quindi anche il business dell'auto tradizionale in quanto rimarrà comunque il maggiore mercato per almeno un altro decennio, mercato sul quale siamo posizionati molto bene come sistema Italia soprattutto dal punto di vista della componentistica automotive.

Inoltre, è necessario monitorare lo sviluppo della mobilità elettrica dal momento che questa potrebbe essere non il punto di arrivo ma semplicemente una tappa nella transizione verso una mobilità più rispettosa dell'ambiente, dove la combinazione dell'idrogeno con l'elettrico, ad esempio, sembra essere la soluzione per la parte di veicoli industriali.

Impatto previsto dal punto di vista delle attività di R&S: gli investimenti nella mobilità elettrica hanno un impatto già nel breve termine, ma sono necessari interventi di tipo strutturale che potrebbero portare dei cambiamenti rilevanti nel medio-lungo termine in modo da minimizzare la dipendenza implicita che questa transizione comporterebbe a livello nazionale rispetto ai possessori di materie prime necessarie.

Linee di intervento della roadmap che possono supportare lo sviluppo di questo scenario:

LI2: Sostenibilità industriale,
LI4: Produzione ad alta efficienza,
LI5: Processi innovativi,
LI7: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity.



Riciclo delle batterie agli ioni di litio nel mondo. Trend 2018-2025 (ton)

7.2 Scenario 2: Nuovi modelli di consumo

Prima della pandemia Covid-19, 30-40% delle vendite di lusso era generata dai consumatori in transito e all'estero. Tuttavia, con le restrizioni ai viaggi e agli spostamenti del lockdown, la spesa turistica globale si è dimezzata a fronte di un raddoppio degli acquisti di lusso domestici.

In generale, ci sono dei modelli di consumo che stanno radicalmente cambiando e prendendo il sopravvento rispetto ad altri. Uno di questi è il mercato del lusso in Cina dove le vendite lo scorso anno sono aumentate del 48% attestandosi a circa 350 miliardi di yuan (\$54 miliardi), sostenute dai consumi interni per la riduzione dei viaggi all'estero (e di conseguenza degli acquisti)¹⁷.

Anche attraverso i "pop up store" utilizzati dai brand per vendere direttamente sul social, i cinesi hanno aumentato gli acquisti da oltre confine favoriti da una tassazione molto più bassa rispetto ai portali cinesi (si parla del 9% contro il 40-50 per cento).

A beneficiare di questo trend non sono stati solo i big brand del lusso italiano ma anche i marchi di nicchia dal momento che chi ha saputo comunicare bene attraverso i canali giusti proprio durante il lockdown ha visto aumentare notevolmente le vendite¹⁸.

Questo aumento ha contribuito a raddoppiare la quota complessiva della Cina nel mercato globale del lusso nel 2020, passando da circa l'11% nel 2019 al 20% nel 2020, con ulteriore crescita prevista entro il 2025. Un calo del turismo internazionale ha contribuito ad aumenti a due o addirittura a tre cifre del tasso della spesa domestica di lusso per alcuni marchi.

I tassi di crescita variavano ampiamente a seconda delle regioni, dei marchi e delle categorie.

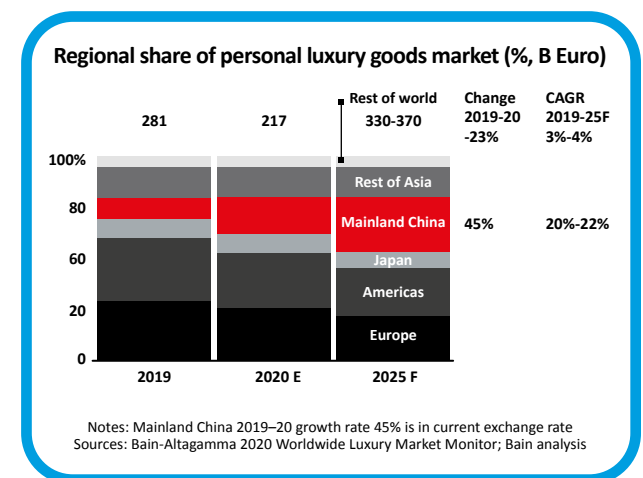


Figura 7.1: quota dei prodotti di lusso nella Cina e previsioni al 2025 (% miliardi di euro)

¹⁷ Bain. China's Unstoppable 2020 Luxury Market. Report 2021

¹⁸ McKinsey. Understanding Chinese Consumers: Growth Engine of the World. Report 2021

In generale, per quanto riguarda i motori che alimentano la nascita di nuovi modelli di consumo, si prevede che la generazione Z e i consumatori millennial continueranno a spendere per il lusso e prodotti personalizzati dal momento che quasi tre quarti di loro dichiarano che aumenteranno o manterranno la loro spesa per questa tipologia di prodotti.

Il comportamento di acquisto online dei consumatori è cambiato in modo permanente, avendo superato gli ostacoli degli scorsi anni (i.e. digitalizzazione).

La maggior parte dei marchi inoltre percepisce che la penetrazione del lusso online (omnicanales compreso) raggiungerà circa il 20% - 25% entro tre anni.

Dal 2019 al 2020, la dimensione dell'e-commerce è aumentata di almeno il 50 per cento sia in Europa che in Cina che negli Stati Uniti, secondo a McKinsey.

Farfetch ha aumentato le vendite del secondo trimestre del 2020 di quasi il 75% rispetto all'anno precedente arrivando a un fatturato di \$ 365 milioni.

Marchi come Nike e Louis Vuitton hanno visto un aumento delle vendite online, attribuendolo anche alla personalizzazione della shopping experience che viene garantita in ogni canale di vendita.

Per fare questo, i marchi di moda stanno definendo attraverso un mix di intelligenza artificiale e altre tecnologie a supporto della comunicazione con i clienti.

Questo deve essere supportato anche da sistemi di progettazione e produzione adeguati che siano in grado di fornire i prodotti di lusso o personalizzati richiesti dal mercato.

Il Social shopping può sostenere il lusso e la personalizzazione dei prodotti, ma anche la presenza di consumatori sempre più consapevoli e interessati alle tematiche ambientali porta a cambiare il tipo di offerta che deve essere basata su prodotti tracciabili e rispettosi dell'ambiente.

Questo scenario può rappresentare un traino per la manifattura Made in Italy in diversi settori e apre nuove sfide legate alla necessità di avere a disposizione dei sistemi di produzione che permettano di aumentare la capacità di personalizzare i prodotti, di soddisfare le esigenze di determinate aree geografiche sia definendo dei prodotti specifici per le loro esigenze, sia proponendo dei sistemi di configurazione prodotto che siano interfacciati con i sistemi produttivi.

Le potenzialità di Internet of Action (IoA) permetteranno alle aziende di rivedere la loro offerta facilitando l'esperienza sensoriale legata all'acquisto di determinati prodotti proponendo una nuova customer experience in negozio e online grazie allo sviluppo di sistemi di visione e di realtà virtuale e aumentata.

La crescita della componente social nella fase di vendita e di fidelizzazione del cliente attraverso canali multi-channel apre una sfida ma allo stesso tempo è un'opportunità dal momento che le aziende possono avere a disposizione grandi moli di dati per poter prevedere e conoscere la domanda sulla quale basare la progettazione e la produzione di prodotti sempre più adeguati alle richieste dei clienti.

Impatto previsto dal punto di vista delle attività di R&S: i nuovi modelli di consumo sono già in fase di evoluzione e richiedono interventi urgenti a supporto del manifatturiero già dal breve periodo.

Linee di intervento della roadmap che possono supportare lo sviluppo di questo scenario:

LI1: Produzione personalizzata,
LI5: Processi innovativi,
LI6: Produzione evolutiva e resiliente,
LI7: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity.

7.3 Scenario 3: Economia circolare

La costante crescita della popolazione degli ultimi due secoli (da 1 miliardo nel 1800 a 7,9 miliardi nel 2022) ha portato a un aumento progressivo della domanda di risorse naturali, che include materie prime, acqua, energia e terra coltivabile come evidenziato dal calcolo de "overshoot day" (Figura 7.2).

Questo valore misura l'impronta ecologica dell'umanità e la capacità della Terra, sia a livello globale che delle singole nazioni, di rigenerare le risorse consumate in 365 giorni anche in termini di capacità di assorbimento delle emissioni rilasciate in atmosfera.

Figura 7.2: overshoot Day 2021 e relativi consumi

Negli ultimi 50 anni, l'overshoot day si è progressivamente ridotto, ciò significa che stiamo consumando risorse più velocemente rispetto alla capacità rigenerativa della terra.

L'aumento della domanda di queste risorse esercita forti pressioni sull'ambiente e a questi ritmi si prevede che il consumo di materiali in tutto il mondo aumenterà di circa otto volte entro la fine del 2050.

Un'altra importante tendenza che aggiunge pressione sull'ambiente è l'incremento dell'urbanizzazione, la quale comporta un aumento nell'utilizzo di materie prime per l'edilizia come strade, ponti, dighe, fognature e la necessità di potenziare i sistemi di trasporto.

Inoltre, il rapido cambiamento dello scenario globale caratterizzato da crisi come la pandemia di COVID-19, i conflitti socioeconomici e la scarsità di materie prime ed energia, hanno messo in luce la fragilità del nostro attuale sistema lineare.

Gli appelli a "ricostruire meglio" con una ripresa verde, riparando così gli impatti della pandemia e includendo la crisi climatica, sono forti come documentato dal recente stanziamento del Recovery Plan for Europe.

Pertanto, il modo in cui le risorse sono attualmente gestite deve essere migliorato per individuare opportunità di maggiore ricchezza per gli individui pur mantenendo pratiche rispettose dell'ambiente.

Questo cambiamento si basa sul concetto di economia circolare (MacArthur 2015) che, considera fattori in grado di ridurre gli sprechi e monitorare più da vicino il consumo di risorse.

L'economia circolare riduce la necessità di nuove materie prime riutilizzando le funzioni dei prodotti e i materiali esistenti, pratica che può essere realizzata ripensando il funzionamento del prodotto in un circuito chiuso.

Ciò prolunga la durata delle risorse e include strategie come il riutilizzo, la riparazione, la rigenerazione, il riciclaggio e la riduzione degli effetti negativi complessivi delle attività di produzione sull'ambiente, che richiedono una profonda rivisitazione delle attività delle imprese.

L'economia circolare non solo comporta sfide per aziende ma permette di ottenere benefici economici, ambientali e sociali come impulso all'innovazione e alla crescita economica, l'aumento di resilienza e competitività, la riduzione della pressione sull'ambiente,

l'ottimizzazione della disponibilità di materie prime e la creazione di posti di lavoro.

Inoltre, i consumatori potranno avere a disposizione prodotti più durevoli, che consentono un risparmio economico, e innovativi, in grado di migliorare la qualità della vita.

Abbracciare i sistemi e le strategie di economia circolare richiede quindi cambiamenti a livello macro e micro.

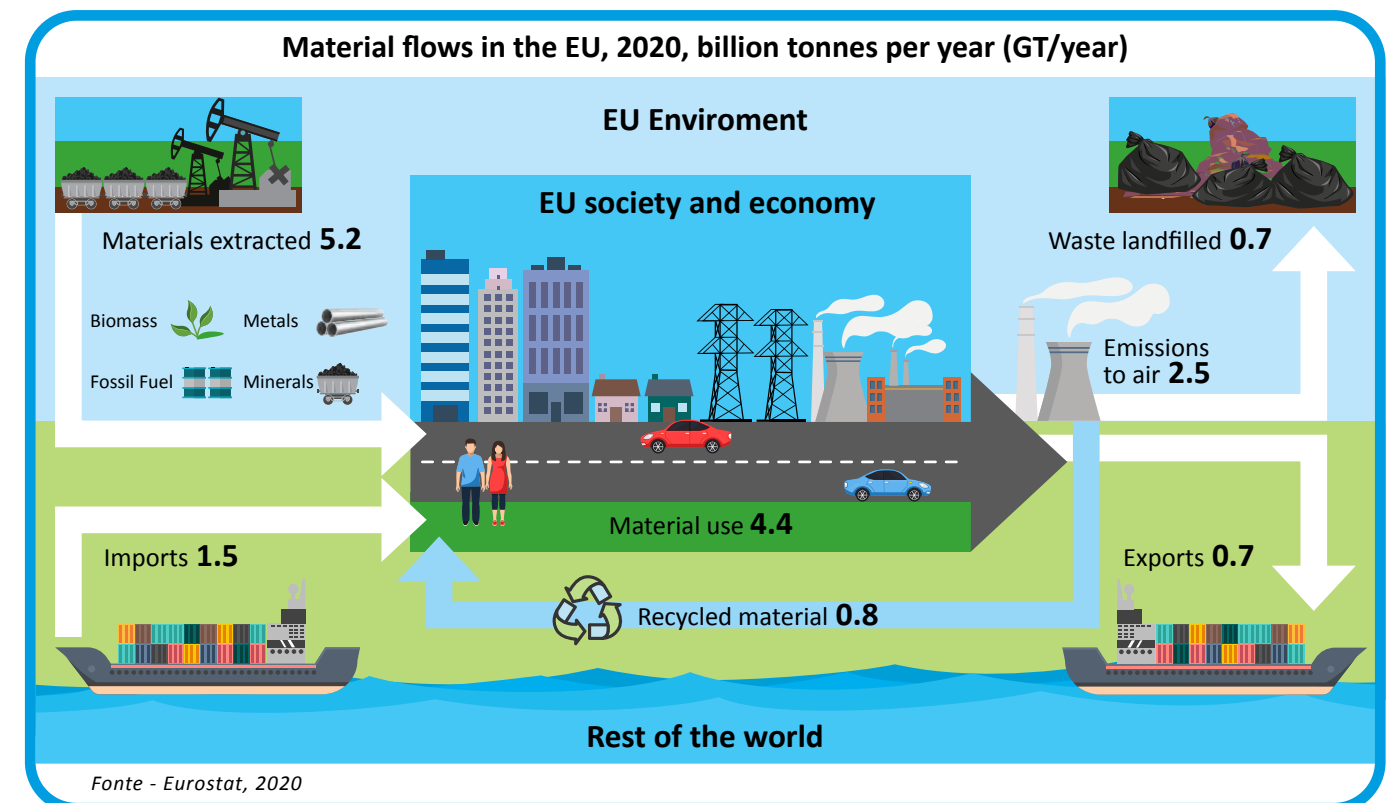
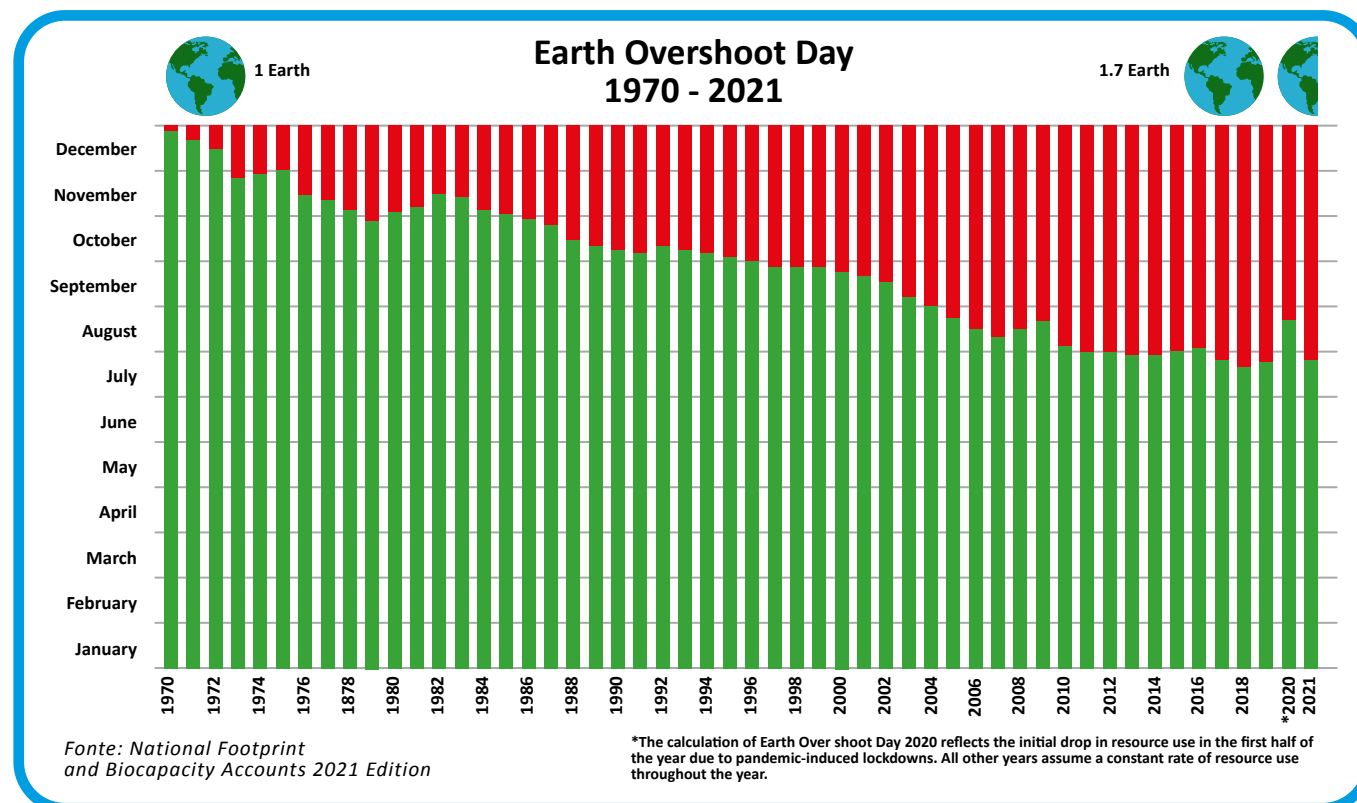
A livello micro le aziende devono ripensare e riprogettare i propri processi produttivi al fine di utilizzare fonti energetiche e materiali rinnovabili, prolungare la vita utile dei prodotti, creare piattaforme di condivisione, riutilizzare e rigenerare prodotti o componenti, e ripensare i prodotti come servizi.

A livello macro, l'Unione Europea ha sponsorizzato il Circular Economy Action Plan nel 2015 per sollecitare i paesi ad investire nell'area dell'economia circolare e monitorare gli investimenti attraverso il Circular Economy Monitoring Framework.

Questo strumento permette di analizzare e confrontare i diversi paesi in termini di economia circolare.

La Figura 7.3 ad esempio mostra un diagramma Sankey dei flussi di materiali nell'Unione Europea e il tasso di utilizzo del materiale circolare o tasso di circolarità, ovvero la quota di materiale riciclato e reimmesso nell'economia.

Figura 7.3: analisi dei flussi di materiali in EU



Sia il diagramma di Sankey che il tasso di circolarità fanno parte del quadro di monitoraggio dell’UE per l’economia circolare.

Lo scopo di un’economia circolare è quello di mantenere il valore di prodotti, materiali e risorse il più a lungo possibile reintegrandoli nel ciclo del prodotto dopo che hanno raggiunto la fine del loro ciclo di vita, riducendo al minimo la generazione di rifiuti.

Materiali come biomassa, metalli, minerali e combustibili fossili vengono estratti dall’ambiente per realizzare prodotti o per produrre energia. Al termine del loro ciclo di vita, i prodotti possono essere riciclati, inceneriti o scartati come rifiuti residui. Questi flussi di materiale sono una parte essenziale, l’unica, dell’economia circolare. Meno prodotti scartiamo e più ricicliamo, meno materiali estraiamo, a vantaggio della società e dell’ambiente.

Questo scenario può rappresentare quindi un’opportunità per aumentare la resilienza e la competitività delle aziende ma è allo stesso tempo una sfida per la manifattura italiana - da un lato c’è l’opportunità di trarre benefici da un sistema circolare (i.e., riduzione costi di produzione, incremento resilienza, creazione posti di lavoro, benefici ambientali e sulla qualità della vita) dall’altro questo cambiamento richiede sforzi economici e strutturali con forti impatti su prodotti, processi, governance e catena di fornitura, quali per esempio:

- Impatti su prodotti/processi: I prodotti svolgono un ruolo chiave nell’economia, al servizio dei bisogni della società e contribuiscono all’identità delle persone. Progettare meglio i prodotti, estenderne la durata utile e cambiare il loro ruolo all’interno del sistema sarà cruciale per lo sviluppo di un’economia circolare.

Inoltre, lo studio di nuove tecnologie e nuovi impianti per l’economia circolare può contribuire a migliorare i processi produttivi e può rappresentare una grande opportunità per l’Italia e per L’Europa. Questo si traduce in un miglioramento dell’efficienza e in una nuova capacità di riutilizzare, riparare e rigenerare i prodotti, i componenti e le relative funzioni.

- Impatti sulle strategie: L’adozione di un approccio di economia circolare richiede alle aziende di passare dalla produzione lineare, verso modelli di business che consentono di progettare e produrre beni per un uso prolungato, lo smontaggio, il riutilizzo e il riciclaggio. Oltre ad un impatto sul modello di business delle aziende, questo cambiamento può comportare la richiesta di nuove competenze ed abilità.

- Impatti sulla catena di fornitura: le catene di fornitura consentono il coordinamento con i partner che considerano anche le pratiche ambientali. Questo coordinamento diventa un elemento chiave per ottenere un’economia circolare di successo poiché le catene di fornitura consentono alle aziende di allinearsi anche in termini di obiettivi ambientali e sociali.

Le catene di fornitura circolari implicano nuovi approcci di progettazione che incorporano il concetto di estensione della vita utile, processi di riutilizzo / riciclaggio nonché attività di ritiro, ristrutturazione e rivendita.

Impatto previsto dal punto di vista delle attività di R&S: diverse iniziative di economia circolare sono già avviate e hanno già un forte impatto nel breve ma sono previsti investimenti in R&S principalmente nel medio periodo.

Linee di intervento della roadmap che possono supportare lo sviluppo di questo scenario:

LI2: Sostenibilità industriale,
LI4: Produzione ad alta efficienza,
LI5: Processi innovativi,
LI7: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity.

7.4 Scenario 4: La gestione della conoscenza e Internet of Actions

La rapida e pervasiva diffusione di Internet, della digitalizzazione, e dei sistemi Cyber fisici (CPS) apre la strada a un nuovo cambiamento tecnologico abilitato dall’Internet delle cose (IoT).

Inoltre sta aumentando sempre di più la necessità di utilizzare la conoscenza anche in situazioni di lavoro remoto e di dare la possibilità agli operatori, ai consumatori e in generale all’utente di interagire con gli oggetti in modo attivo a distanza.

Sta sempre più affermandosi uno scenario di sviluppo basato su Internet delle Azioni (Internet of Actions-IoA) quale soluzione che permette di condividere non solo informazioni ma anche sensazioni e azioni grazie alla presenza di sensori e attuatori intelligenti di nuova generazione¹⁹.

I sistemi IoA efficaci dovranno riprodurre accuratamente le sensazioni, in modo che le (re)azioni appropriate da parte degli esseri umani e dei device possano essere generate in modo interattivo e adattivo.

In particolare, lo sviluppo di nuovi sensori e attuatori sarà fondamentale per abilitare il senso di presenza a distanza e facilitare azioni a distanza precise e sicure.

I dispositivi impiegati nelle architetture IoA dovranno gestire adeguatamente l’interazione con l’ambiente e gli esseri umani.

Le fabbriche rappresentano un luogo ideale in cui studiare e sviluppare appropriati sistemi di Internet of Actions (IoA) e successivamente estenderla ad altri domini dal momento che ci sono installate già molte delle tecnologie alla base dell’IoA.

L’IoA può consentire agli operatori di impianti industriali situati anche a distanze considerevoli tra loro di condividere dati, informazioni e azioni, garantendo allo stesso tempo a tutti gli operatori la stessa visione e percezione.

Un’assistenza e manutenzione completamente a distanza può essere vantaggiosa sia in caso di mancanza di personale specializzato in loco come pure quando sia necessario operare in ambienti intrinsecamente malsani e non sicuri (quale per esempio il caso del lockdown).

Tale scenario consentirebbe al settore manifatturiero di sviluppare soluzioni per consentire un’assistenza e una manutenzione completamente remote per gli impianti di produzione²⁰.

La tecnologia digitale può quindi supportare efficacemente gli operatori per avere un impatto sul mondo reale con azioni generate in un mondo di realtà mista.

A lungo termine quando la tecnologia sarà più matura, si potranno prevedere applicazioni anche in molti altri ambienti non strutturati, come la casa, l’intrattenimento, i processi di acquisto, l’ispezione e l’esplorazione.

Questo scenario richiede lo sviluppo di dispositivi e sistemi IoA con processori, sensori e attuatori e l’ulteriore sviluppo e integrazione di diverse tecnologie abilitanti, ad es. realtà aumentata e virtuale (AR/VR), High Performance Computing, Cloud e Fog Computing, Sistemi di produzione cyber-fisici, Big Data Analytics, infrastrutture e standard di comunicazione ultraveloci, intelligenza artificiale, archiviazione dati, sensori e monitoraggio, dispositivi indossabili e tecnologie di attuatori.

In particolare, nel contesto italiano, caratterizzato da fabbriche principalmente di piccole medie dimensione dove prodotti, processi e tecnologie sono oggetto di una trasformazione digitale attraverso dinamiche anche articolate, una sfida fondamentale è rappresentata dalla capacità di interpretare fenomeni produttivi complessi e individuare soluzioni basate sull’esperienza dove l’operatore può avere un ruolo centrale.

Pertanto, è essenziale investire strategicamente anche in Italia in queste tecnologie abilitanti per supportare attività centrate sull’utente come la formazione dell’operatore e il supporto alla manutenzione attraverso feedback e interazioni visive, uditive, tattili, nonché appropriate semantiche e rappresentazioni ontologiche di informazioni e conoscenze a supporto della formalizzazione e del riutilizzo di tali esperienze.

Questa sfida è importante per l’Italia che essendo costituita da molte PMI potrebbe beneficiare molto dalla possibilità di vendere in tutto il mondo i propri prodotti, soprattutto beni durevoli e beni strumentali, garantendo la possibilità di agire su di essi a distanza.

Alla base dell’approccio IoA, c’è anche la possibilità di operare fisicamente in tutto il mondo pur concentrando la conoscenza dei prodotti e dei processi in specifici luoghi e l’Italia può essere uno di questi.

Impatto previsto dal punto di vista delle attività di R&S: alcuni sistemi per la gestione della conoscenza sono già in fase di sviluppo con un forte impatto nel breve in termini di miglioramento della capacità di interagire con gli operatori e i consumatori, ma sono previsti investimenti rilevanti principalmente nel medio-lungo periodo per quanto riguarda i sensori, gli attuatori e la cybersecurity.

Linee di intervento della roadmap che possono supportare lo sviluppo di questo scenario:

LI1: Produzione personalizzata,
LI3: Valorizzazione delle persone nelle fabbriche,
LI6: Produzione evolutiva e resiliente,
LI7: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity.

¹⁹ <https://www.forbes.com/sites/jenniferhicks/2017/12/29/the-next-technology-shift-the-internet-of-actions/?sh=e068bad32270>

²⁰ Tollo T., Copani G., Terkaj W. (2019) Key Research Priorities for Factories of the Future—Part I: Missions. In: Tollo T., Copani G., Terkaj W. (eds) Factories of the Future. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94358-9_20



7.5 Scenario 5: Le Piattaforme digitali

In un contesto economico come quello attuale, sempre più interconnesso e complesso, le aziende si trovano a operare in una dimensione globale dove le piattaforme digitali permettono di far incontrare virtualmente i consumatori e aziende per interagire e condividere informazioni, soddisfare i bisogni dei clienti e migliorare la capacità di gestire i processi delle aziende.

Questo significa che per gli attori della platform economy è possibile creare rapidamente nuovi prodotti e servizi che tengono conto dei gusti e delle abitudini dei consumatori, ma anche che è possibile creare offerte completamente nuove ricombinando prodotti e servizi innovativi sulla base delle informazioni acquisite grazie alle piattaforme stesse²¹.

KPMG stima che il giro d'affari legato alla platform economy passerà dai 7mila miliardi di dollari realizzati nel 2018 a oltre 60mila miliardi nel 2025²².

Nei modelli di business fondati sul concetto di piattaforma, la vendita di prodotti e servizi si integra - in modo trasparente per l'utente - grazie alla fornitura di servizi a valore aggiunto (progettazione condivisa, configurazione prodotto, manutenzione, assicurazioni, assistenza post-vendita...) offrendo soluzioni modulari, che fanno leva sull'offerta combinata di diversi operatori spesso attivi in settori diversi, ma che è percepita come unica dall'azienda cliente/consumatore finale.

In particolare, la progressiva implementazione dell'economia delle piattaforme attraverso le tecnologie di-

gitali (quali sistemi di sensoristica, Internet of Things, Big Data, Intelligenza Artificiale) è stata una caratteristica discriminante delle aziende che hanno prosperato durante la crisi.

Infatti, alcune aziende high-tech hanno sfruttato le piattaforme digitali come parte fondamentale del loro modello di business per passare dalla progettazione, alla prototipazione rapida in remoto, alla gestione della manutenzione e alla commercializzazione dei prodotti, e sono riuscite a far fronte alle richieste del mercato anche nei momenti in cui non era possibile garantire la presenza in loco degli operatori.

Allo stesso modo, nell'e-commerce, i grandi rivenditori hanno potuto sfruttare piattaforme digitali anche diverse tra di loro per modello di gestione dei dati (alcune più centralizzate e rigide, altre più aperte e flessibili per gestire i propri processi) per gestire questi processi.

Le piattaforme digitali a supporto dei processi manifatturieri devono essere usate per fornire un'estensione "digitale" delle funzionalità alle risorse fisiche²³.

I servizi forniti attraverso le piattaforme digitali possono mirare a supportare:

- Collaborazione nella fase di progettazione degli impianti produttivi.
- Monitoraggio dei processi produttivi.
- Analisi dei dati attraverso tecniche avanzate di data science.

- Controllo della produzione basata su interazione tra diversi agenti, compresa la comunicazione da macchina a macchina.

- Introduzione di capacità di autoapprendimento da parte delle macchine.

- Simulazione dei processi produttivi.

- Assistenza agli operai e agli ingegneri, inclusa la realtà aumentata.

- Pianificazione della produzione, manutenzione predittiva e automatizzata, ecc.

- Integrazione digitale delle catene del valore (ad es. condivisione in real-time o near real time dei dati di produzione, di distribuzione e di vendita).

- Interoperabilità di processi e di sistemi di produzione decentralizzati.

Questi servizi possono essere forniti da diversi provider in un ecosistema multi-attore, supportando sia i processi interni che esterni alla fabbrica.

I prerequisiti per migliorare lo sviluppo di piattaforme digitali nei contesti di produzione italiana includono la necessità di accordi sia tra aziende provider che tra provider e aziende manifatturiere su interfacce e protocolli di comunicazione industriale, modelli di dati comuni e interoperabilità dei dati, e quindi su scala più ampia, intercomunicazione e interoperabilità tra piattaforme garantendo un approccio open.

Questo tipo di modello ha ancora margini di espansione in Italia e ci sono parecchie sfide ancora da affrontare per poter proporre soprattutto a livello di sistema manifatturiero soluzioni aperte a supporto della gestione dei processi.

La possibilità di sviluppare soluzioni federate tra diversi fornitori è promossa anche dalla Commissione Europea attraverso il finanziamento di diversi progetti europei (Gaia-X)²⁴ e il ruolo dell'Italia è fondamentale quale portatrice degli interessi delle aziende che in qualità di produttori di macchine o di utilizzatori di macchine devono far emergere i requisiti utente di queste piattaforme.

Alcuni degli aspetti sui quali è necessario lavorare nei prossimi anni per migliorare l'economia digitale per il settore manifatturiero sono:

- La possibilità di connettersi a servizi aggiuntivi secondo la filosofia "plug-and-play" tenendo in considerazione l'ecosistema di fornitori di servizi, fornitori di piattaforme e aziende manifatturiere.

- I meccanismi per la fornitura commerciale o open-source dei servizi digitali attraverso opportuni marketplace.

- La modularità delle piattaforme utilizzando standard

quali RAMI4.0 o altri.

- L'integrazione di dati e informazioni da e verso i sistemi legacy (hardware e software).

- La creazione di sistemi fiduciari che faciliti lo scambio di informazioni tra aziende.

- La definizione di nuove semantiche a supporto della interoperabilità.

- Le specifiche dei processi di diversi settori manifatturieri (industria di processo, beni di consumo, beni strumentali, ...).

Appare quindi chiaro che la Platform Based Manufacturing (PBM) deve puntare non solo alla gestione della logistica ma anche alla gestione dei processi di trasformazione vera e propria. Questo cambia totalmente le filiere produttive e il modo di relazionarsi tra imprese e con i clienti.

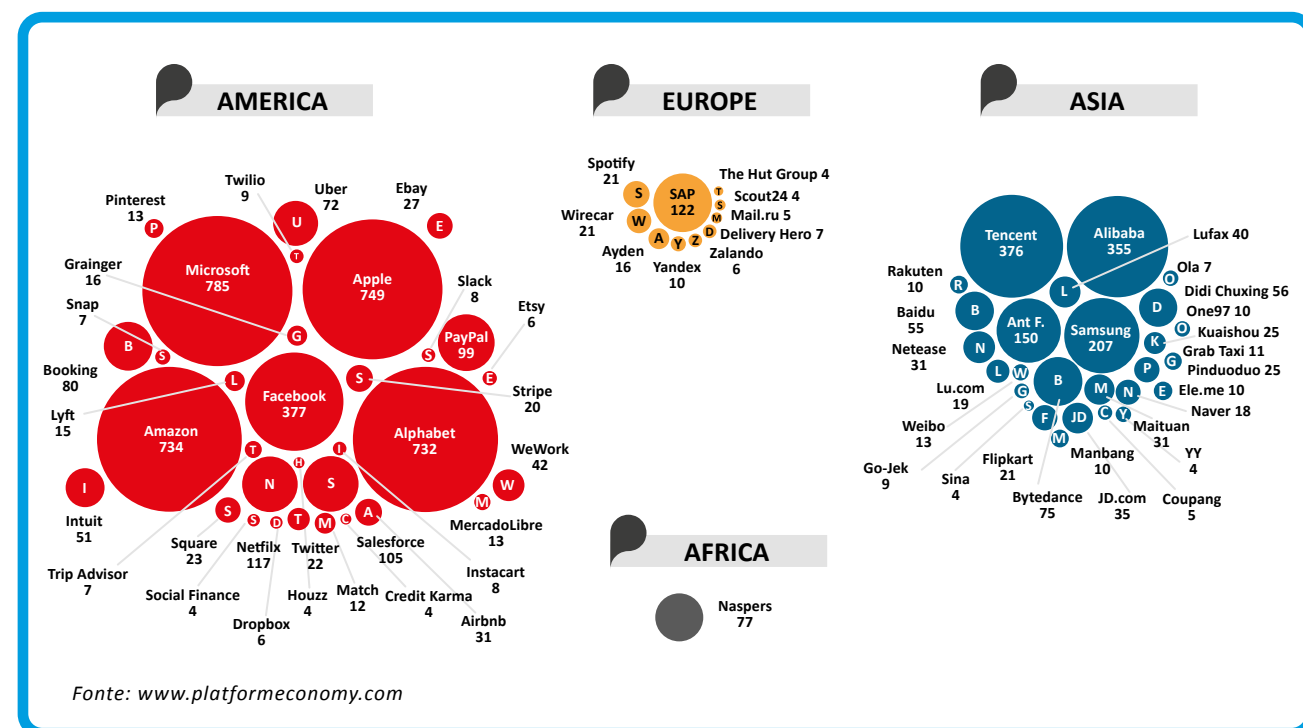
Nascono quindi nuovi attori (che gestiscono le piattaforme) e gli attori esistenti cambiano le loro funzioni e il loro modo di operare. Un cambiamento radicale che può offrire nuove opportunità di mercato e può essere essenziale anche per i produttori di macchinari. Inoltre, tali piattaforme diventano facilmente globali ponendo anche domande di strategia industriale dei Paesi

Impatto previsto dal punto di vista delle attività di R&S: le piattaforme digitali hanno un forte impatto nel breve in termini di miglioramento della comunicazione e collaborazione a diversi livelli della produzione ma sono necessari degli investimenti in R&S anche nel medio periodo per supportare le PMI e i fornitori di tecnologie nello sviluppo e implementare di soluzioni aperte che facilitino la comunicazione tra diverse entità.

Linee di intervento della roadmap che possono supportare lo sviluppo di questo scenario:

L17: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity.

Figura 7.4: la dimensione della platform economy a livello globale, 2018 (market cap in mld di dollari)



7.5 Scenario 5: Le Piattaforme digitali

quali RAMI4.0 o altri.

- L'integrazione di dati e informazioni da e verso i sistemi legacy (hardware e software).

- La creazione di sistemi fiduciari che faciliti lo scambio di informazioni tra aziende.

- La definizione di nuove semantiche a supporto della interoperabilità.

- Le specifiche dei processi di diversi settori manifatturieri (industria di processo, beni di consumo, beni strumentali, ...).

Appare quindi chiaro che la Platform Based Manufacturing (PBM) deve puntare non solo alla gestione della logistica ma anche alla gestione dei processi di trasformazione vera e propria. Questo cambia totalmente le filiere produttive e il modo di relazionarsi tra imprese e con i clienti.

Nascono quindi nuovi attori (che gestiscono le piattaforme) e gli attori esistenti cambiano le loro funzioni e il loro modo di operare. Un cambiamento radicale che può offrire nuove opportunità di mercato e può essere essenziale anche per i produttori di macchinari. Inoltre, tali piattaforme diventano facilmente globali ponendo anche domande di strategia industriale dei Paesi

Impatto previsto dal punto di vista delle attività di R&S: le piattaforme digitali hanno un forte impatto nel breve in termini di miglioramento della comunicazione e collaborazione a diversi livelli della produzione ma sono necessari degli investimenti in R&S anche nel medio periodo per supportare le PMI e i fornitori di tecnologie nello sviluppo e implementare di soluzioni aperte che facilitino la comunicazione tra diverse entità.

Linee di intervento della roadmap che possono supportare lo sviluppo di questo scenario:

L17: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity.

21 McKinsey. How do companies create value from digital ecosystems? Article published April 2020.

22 KPMG. Unlocking the value of the platform economy. Article published 2019.

23 <https://www.effa.eu/digital-manufacturing-platforms>

24 <https://www.gaia-x.eu/>



7.6 Scenario 6: I cambiamenti climatici

Il riscaldamento climatico a cui assistiamo da circa 150 anni è innescato principalmente dalle attività dell'uomo, portando quindi ad un effetto serra antropico che si aggiunge all'effetto serra naturale.

Con la rivoluzione industriale l'uomo ha improvvisamente rovesciato in atmosfera milioni di tonnellate di anidride carbonica e altri gas serra portando la quantità di CO₂ presente in atmosfera ad aumentare notevolmente.²⁵

Rispetto ai livelli preindustriali, la temperatura media del Pianeta è aumentata di 1 grado e la tendenza osservata dal 2000 a oggi fa prevedere che, in mancanza di interventi, potrebbe arrivare a +1,5 °C entro il 2050.

Le "stagioni degli incendi" sono diventate più lunghe e intense, dal 1990 a oggi e ogni anno sono aumentati gli eventi meteorologici estremi, come i cicloni e le alluvioni, che colpiscono anche in periodi dell'anno atipici rispetto al passato e sono sempre più devastanti.

A provocare più danni è soprattutto il consumo di carbone, petrolio e gas, che rappresentano la maggior parte delle emissioni di gas serra.

Nel 2019, secondo il Global Energy Perspective 2019 di McKinsey le fonti fossili erano responsabili dell'83% delle emissioni totali di CO₂ e la sola produzione di elettricità attraverso il carbone incideva per il 36%²⁶, anche se nel 2020 - per effetto della pandemia dal Covid-19 - le emissioni sono poi scese drasticamente²⁷.

È stato stimato che l'attuale tendenza delle emissioni di CO₂ dovute alla combustione del carbone è responsabile di circa un terzo dell'aumento di 1 grado centigrado delle temperature medie annuali al di sopra dei livelli preindustriali, rendendola la principale fonte di emissioni nella storia umana.

In assoluto il petrolio è la seconda fonte di emissioni, avendo prodotto nel 2019 12,54 miliardi di tonnellate di CO₂ (l'86% di quanto prodotto dal carbone).

Sui combustibili fossili, si pone in questo periodo anche un problema politico, dal momento che le recenti tensioni sull'Ucraina potrebbero mettere a rischio fino a 155 miliardi di metri cubi all'anno di importazioni di gas naturale in Europa, se tali tensioni dovessero causare l'interruzione delle consegne da parte della Russia, pari al 30% della domanda annuale di gas dell'Europa occidentale²⁸.

I mercati del gas europei sono entrati in una fase di grossa instabilità, le scorte di gas sono ai minimi da cinque anni e i prezzi internazionali sono altamente volatili.

Questi sono solo alcuni dei dati che dimostrano l'importanza di definire degli scenari di sviluppo

basati non solo sulle energie rinnovabili - energia eolica, solare (termica e fotovoltaica), idraulica, geotermica e da biomassa - come alternativa fondamentale ai combustibili fossili.

Il loro impiego permette di ridurre non soltanto le emissioni di gas a effetto serra provenienti dalla produzione e dal consumo di energia, ma anche la dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili (in particolare gas e petrolio) migliorando quindi la posizione dell'Italia dal punto di vista dell'acquisizione delle risorse energetiche, punto cruciale dell'economia in generale e fattore di produzione fondamentale per la competitività. Ma per raggiungere l'ambizioso obiettivo di una quota del 20% di energie rinnovabili nel proprio mix energetico previsto a livello EU, è necessario potenziare gli sforzi quindi nei settori legati all'energia anche in termini di sistemi di produzione e di prodotti innovativi.

In particolare alcuni delle sfide aperte per il manifatturiero riguardano:

- Supporto alla catena del valore dell'idrogeno attraverso lo sviluppo di tecnologie innovative quali per esempio la produzione di turbine ad alte densità di potenza e alta efficienza e processi per l'utilizzo di celle a combustibile per cogenerazione di calore;

- Tecnologie per la decarbonizzazione dei processi con emissione di CO₂ mediante la realizzazione di impianti per il Carbon Capture and Storage (tecnologie di cattura, utilizzo e stoccaggio dell'anidride carbonica);

- Tecnologie e impianti per la conversione da fonte fossile indirizzate ad ottenere sistemi più efficienti a ridotta interferenza ambientale e più flessibili (per essere più adatti a compensare la variabilità e l'aleatorietà delle fonti rinnovabili);

- Efficientamento di impianti produttivi che a parità di fonte energetica siano in grado di ottimizzare l'uso della stessa attraverso appropriati meccanismi di gestione delle risorse e dei tempi di utilizzo anche con modelli di demand response della gestione dell'uso dell'energia;

- Necessità di progettare prodotti durevoli che consumino meno energia durante il ciclo di vita, prodotti a basso impatto ambientale ed energetico;

- Sviluppo di tecnologie e prodotti per il settore energetico ad esempio componentistica per le pale eoliche, mini generatori eolici, tecnologie per lo sfruttamento delle risorse marine, componentistica avanzata per i pannelli solari e produzione di energia da biomassa;

- Nuovi meccanismi di circular economy per i prodotti dell'energia come per esempio il riciclaggio



dei pannelli solari, strategie e tecnologie per il riutilizzo di sistemi di accumulo elettrochimico, sistemi per la rigenerazione di batterie dei veicoli elettrici/ibridi anche per l'alimentazione di infrastrutture, sviluppo di tecnologie e tecniche di gestione dell'accumulo distribuito / capacità di riserva per servizi ancillari alla rete elettrica e per l'autoconsumo, mediante lo sfruttamento degli accumulatori dei veicoli elettrici ed ibridi;

- Si ritengono importanti la promozione e lo sviluppo di tecnologie di utilizzo finale, come quelle delle celle a combustibile, in grado di operare a diverse temperature e quindi applicabili a diversi settori, da quello mobile a quello stazionario, industriale e civile, con efficienze elevate.

L'Italia dovrebbe investire su tali sistemi in quanto vanta rilevanti eccellenze di ricerca sia nei laboratori degli enti pubblici e delle Università, che in ambito industriale. Questo cambierà l'economia di regioni intere facendo sorgere nuovi poli produttivi legati alle nuove fonti energetiche e all'efficientamento energetico.

Questo comporta anche la produzione e l'approvvigionamento di energia sempre più verde, con probabile ridimensionamento di ruoli strategici quali quello del Medioriente e della Russia nella fornitura di energia.

Impatto previsto dal punto di vista delle attività di R&S: il cambiamento climatico richiede degli investimenti in R&S sia dal punto di vista strutturale che di tecnologie con un impatto nel medio-lungo periodo.

Linee di intervento della roadmap che possono supportare lo sviluppo di questo scenario:

LI2: Sostenibilità industriale,
LI4: Produzione ad alta efficienza,
LI5: Processi innovativi,
LI7: Piattaforme digitali, AI, cybersecurity.

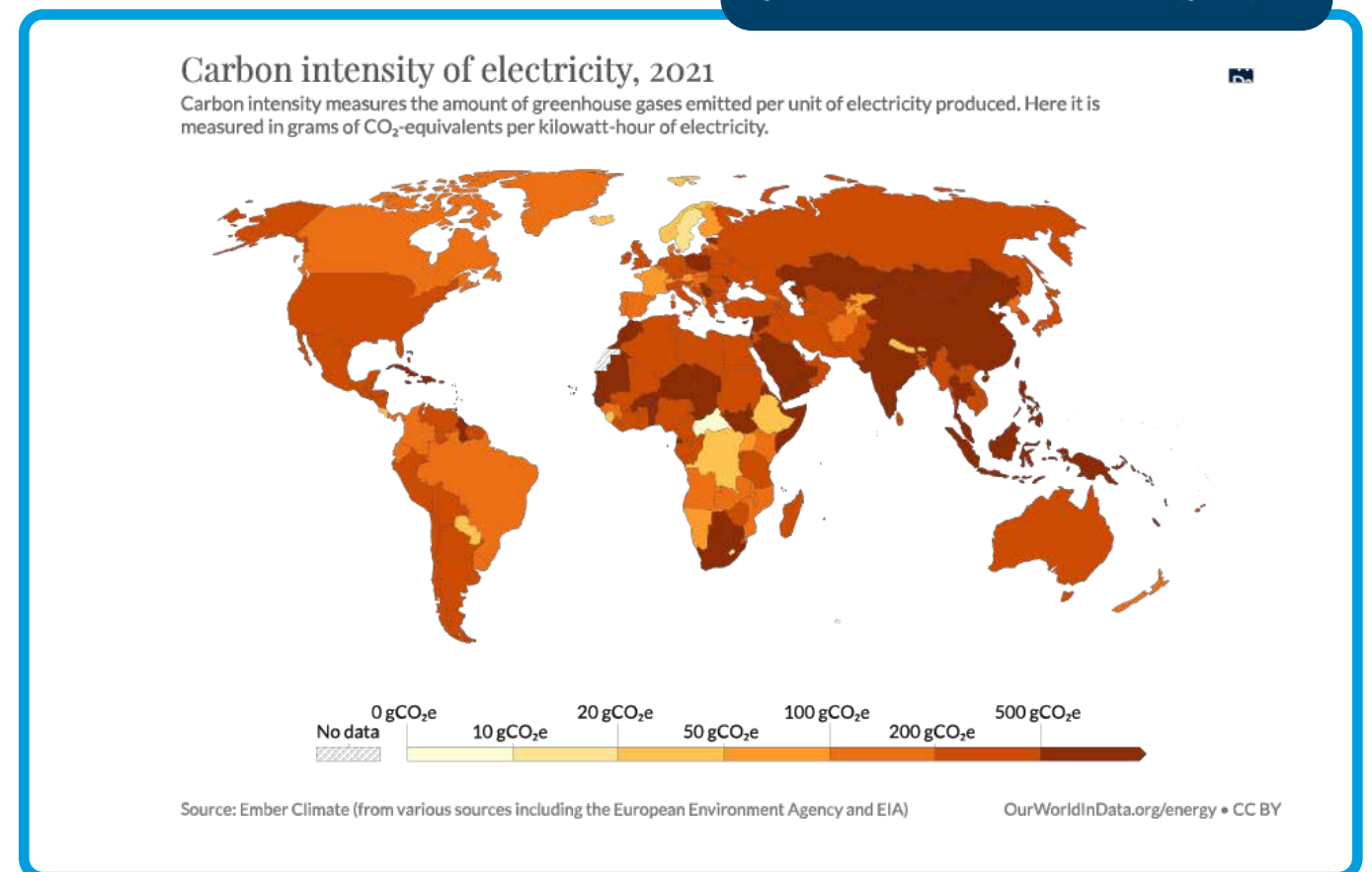
25 <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/transizione-energetica/cambiamento-climatico-cause-conseguenze>

26 McKinsey. Global Energy Perspective 2019

27 World Energy Outlook 2020 – Analysis - IEA

28 <https://www.rystadenergy.com/>

Figura 7.5: Emissioni di carbonio dell'elettricità (g/kWh)





8. La nuova ROADMAP



LI1: Produzione personalizzata



LI2: Sostenibilità industriale



LI3: Valorizzazione delle persone



LI4: Alta efficienza e zero-defect



LI5: Processi produttivi innovativi



LI6: Produzione evolutiva e resiliente



LI7: Piattaforme digitali, modellazione, AI, security





LI1: Produzione personalizzata

Descrizione Linea di Intervento

La capacità di fornire ai consumatori e ai clienti, prodotti personalizzati rispondenti ai loro bisogni specifici, realizzabili comunque su larga scala grazie ad alti livelli di flessibilità dei sistemi produttivi, è emersa negli ultimi anni come una delle strategie che possono permettere alle aziende di differenziare la propria offerta attraverso prodotti innovativi ad alto valore aggiunto.

Nel caso dei beni di consumo (abbigliamento, calzature, articoli per lo sport, occhiali, ...) l'approccio basato sull'elevato livello di customizzazione permette di enfatizzare la forza del Made in Italy dal momento che garantisce la possibilità ai consumatori finali di avere un prodotto che coniuga design e stile, con aspetti funzionali e di comfort.

Altri settori rilevanti quali il medicale (con protesi personalizzate in ambito ortopedico, odontoiatrico, ...) e in generale la produzione di beni durevoli (nell'industria del design, automobilistica ed in generale nel manifatturiero) possono beneficiare di questo approccio cogliendo le opportunità e le sfide legate ad una crescente domanda, sia a livello europeo che mondiale, di prodotti che si differenzino per valore, funzionalità e prestazioni.

L'obiettivo di questa linea di intervento è lo studio e sviluppo di sistemi e modelli industriali per la produzione efficiente di prodotti personalizzati che siano in grado di riconfigurarsi in tempi ridotti per soddisfare requisiti specifici raccolti dal singolo cliente, e che garantiscano un elevato grado di integrazione con i clienti stessi fino a farli diventare artefici principali della soluzione che desiderano.

Tali sistemi di progettazione e produzione devono essere dotati della capacità di riconfigurarsi per produrre prodotti specifici che possono essere necessari in particolari periodi di emergenza (come per esempio le emergenze sanitarie) o di eventi disruptive che possono cambiare improvvisamente le priorità del sistema e che richiedono alle aziende di riposizionarsi su fasce di prodotto diverse da quelle che vengono abitualmente prodotte.

A tal proposito, specifici strumenti devono essere sviluppati sfruttando tecnologie versatili da un punto di vista manifatturiero (quali ad esempio la manifattura additiva, micro-lavorazioni) e da un punto di vista informatico per la gestione dei dati di progetto (quali ad esempio intelligenza artificiale, IoT, Big Data) per essere in grado di sfruttare la conoscenza del contesto specifico secondo un approccio integrato alla progettazione, produzione, validazione e gestione dei prodotti e dei servizi (come per esempio strumenti di progetta-

zione in grado di generare rapidamente alternative di progettazione).

Le tematiche di ricerca e di innovazione prioritarie sono legate a diversi aspetti di sviluppo comprendendo soluzioni digitali per l'acquisizione dei requisiti del cliente, configuratori di prodotto, sistemi di misurazione avanzata, piattaforme per il monitoraggio dei consumatori, nonché tecnologie innovative per la produzione personalizzata, quali additive manufacturing, micro-manufacturing e processi ibridi.

Inoltre sono necessari nuovi modelli di supply chain flessibili e agili che tengano conto di strategie di modularizzazione del prodotto, di postponement e "multi decoupling-point" in ottica di personalizzazione.

Prerequisiti per i sistemi di gestione della produzione personalizzata sono la sicurezza informatica, la protezione della privacy e la disponibilità di piattaforme per la memorizzazione dei dati e tracciabilità delle transazioni in blockchain.

Le architetture sviluppate devono essere ideate per favorire lo sviluppo di standard e relativi linguaggi a supporto dell'integrazione di diversi sistemi disponibili nella filiera produttiva e distributiva.

Le soluzioni individuate devono essere orientate a criteri di ecocompatibilità per tenere sotto controllo l'impatto ambientale come nella produzione di serie (in particolare per i beni di consumo quali calzature, abbigliamento e accessori), privilegiando sistemi produttivi in grado di ridurre al minimo la produzione di scarti di lavorazione e produzione.

Impatto atteso della linea di intervento

Ampliamento dell'offerta di soluzioni personalizzate in diversi settori della manifattura; miglioramento della qualità del prodotto finale; miglioramento nel matching tra le necessità del consumatore e le soluzioni proposte; incremento dell'efficienza e adattività dei sistemi di produzione personalizzata; ottimizzazione dei processi di personalizzazione con migliore controllo dei livelli di scarti e utilizzo delle risorse (come per esempio tempi di set up, code di produzione, sfridi).

Inoltre sono previsti miglioramenti nella gestione dei processi logistici con controllo dei lead time di approvvigionamento e produzione lungo tutta la filiera grazie alla interoperabilità, trasparenza dei processi; modelli e strumenti per produzione decentralizzata; riduzione del costo del prodotto/servizio personalizzato (rispetto al costo attuale per la produzione di un prodotto personalizzato).



Lista prioritaria di ricerca e innovazione

• PRI1.1 SACP

Strumenti avanzati per la configurazione e progettazione di soluzioni personalizzate

• PRI1.2 SPEP

Soluzioni per la produzione efficiente di prodotti personalizzati ad alto valore aggiunto

• PRI1.3 MSGP

Soluzioni avanzate per la gestione della produzione customer-driven

• PRI1.4 MIF

Le mini-factories nella filiera di produzione e distribuzione dei prodotti personalizzati

• PRI1.5 SPMS

Sistemi di produzione per smart material (quali sensor-based e bio) per la personalizzazione del prodotto/servizio

PRI1.1 SACP

Strumenti avanzati per la configurazione e progettazione di soluzioni personalizzate

L'integrazione del cliente nella catena manifatturiera diventa effettiva attraverso l'identificazione dei suoi requisiti individuali e la loro corretta interpretazione durante la fase di progettazione.

Gli strumenti devono essere mirati a raccogliere ed indirizzare correttamente tali requisiti **verso una concezione e una progettazione ottimizzate di prodotti individuali e specifici**.

Occorrono quindi in primo luogo strumenti che mettano il cliente in grado di comunicare le sue idee e/o i suoi

requisiti in un modo semplice, indipendentemente da specifiche conoscenze e/o vincoli culturali e linguistici.

Diventa di fondamentale importanza la capacità di orchestrare in modo appropriato la fase di innovazione del prodotto/servizio in un ambiente multidisciplinare che vede coinvolti molti attori che si trovano a dover interagire in modo virtuale.

Inoltre, la crescente domanda di possibili varianti del prodotto aumenta l'importanza per le aziende di essere in grado di prevedere l'impatto delle scelte di progettazione su tutti gli aspetti del ciclo di produzione (e.g. funzionalità del prodotto, fabbricabilità e costi di produzione), di distribuzione, di utilizzo e dismissione/riciclo.

La capacità di sfruttare la conoscenza specifica del contesto di utilizzo di un prodotto grazie alle tecnologie di intelligenza artificiale diventa fondamentale per la creazione di strumenti efficaci, in particolare per le tipologie di prodotto in cui requisiti specifici possono impattare sulla funzionalità del prodotto stesso (e.g. prodotti bio-medicali).

Obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono quindi:

- **Piattaforme di progettazione collaborativa "multi-utente"** che consentano l'interazione dei diversi attori coinvolti nel processo di fabbricazione (designer, produttori, fornitori di materiali e di componenti); tali piattaforme dovrebbero essere basate sulla condivisione della conoscenza per prevedere il comportamento dei sistemi, migliorarne la modellazione e la simulazione, offrendo ed integrando soluzioni di facile utilizzo e metodi di test e validazione più efficienti.

In particolare questo include:

- Sistemi di progettazione automatizzati e creativi per produrre rapidamente alternative di progettazione e al contempo integrati con strumenti di valutazione della fattibilità e costing del prodotto;

- Strumenti per l'ottimizzazione della configurazione in grado di sintetizzare al meglio i requisiti individuati;

- Metodi di elaborazione geometrica ed analisi per integrare coerentemente progettazione e simulazione

e massimizzare il vantaggio nell'uso di specifiche tecnologie produttive.

- **Piattaforme "mobile"** che, attraverso l'utilizzo di tecnologie di intelligenza artificiale, e big data analytics possano supportare **la raccolta dei requisiti dell'utente**, sia espliciti che taciti, la raccolta dei feedback dal campo durante la fase d'uso del prodotto e allo stesso tempo supportare l'identificazione dei trend di mercato.

In particolare questo include:

- Sistemi di acquisizione ed analisi di dati eterogenei provenienti da diverse fonti (quali social media e i prodotti stessi durante la fase di utilizzo);

- Sistemi per l'archiviazione e la gestione di grandi moli di dati "personali" ricavati da applicazioni di largo utilizzo, protetti e a disposizione del consumatore da impiegare nella personalizzazione del proprio prodotto.

- **Piattaforme innovative di progettazione virtuale e collaborativa** (basati su tecnologie AI, VR/AR) destinate **ad utenti non-esperti** che non richiedano conoscenze specifiche o esperienza di sistemi di progettazione ma anzi aiutino l'utente ad esprimere o rilevare in modo naturale e facile i propri requisiti specifici. In particolare questo include:

- Sistemi basati su tecnologie emergenti di Human-Computer Interaction-HCI (e.g. visuale, tattile, suono) per un'interazione facile e naturale;

- Sistemi per la modellazione 3D in grado di gestire dati eterogenei multidimensionali (i.e. immagini, geometria 3D);

- Sistemi basati sui principi dell'Internet of Actions (IoA) per permettere all'utente (consumatore, retailer, produttore) di agire a distanza e di riprodurre sensazioni e azioni in modo interattivo e adattivo. In questo modo si può consentire ad operatori esperti e non di interagire anche da remoto. In particolare, lo sviluppo di nuovi sensori e attuatori sarà fondamentale per consentire il senso di presenza a distanza, insieme ad azioni remote accurate e sicure.

- **Sviluppo di strumenti e metodi per la creazione di modelli strutturati di prodotto** a partire da dati rilevati basati sulla semantica del contesto per superare i limiti della ricostruzione 3D derivanti dalla mancanza di una effettiva integrazione tra i dati rilevati e la conoscenza del dominio di riferimento (ad esempio nel caso di modelli di parti anatomiche per la costruzione di protesi personalizzate il limite è rappresentato dalla non completa integrazione della conoscenza medica).

In particolare questo include:

- Metodi di ricostruzione 3D guidati dalla semantica del contesto

- Sistemi per la gestione del feedback da prodotti wearable (IOT) per verificare la funzionalità del prodotto durante l'utilizzo.

Interazione con le altre linee di intervento

• LI4

La progettazione dei prodotti deve essere allineata con quella dei processi per garantirne l'efficienza.

• LI6

La progettazione dei prodotti deve essere allineata con quella dei processi e finalizzata a migliorarne la riconfigurabilità a supporto della personalizzazione.

• LI7

La gestione dei big data è di fondamentale importanza per la gestione degli input dai prodotti, dai clienti e dal mercato, così come gli aspetti di cyber security nella gestione dei dati stessi.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Sistemi di acquisizione ed analisi di dati eterogenei.

- Sistemi per l'archiviazione e la gestione di grandi moli di dati "personali" ricavati da applicazioni di largo utilizzo, protetti e a disposizione del consumatore da impiegare nella personalizzazione del proprio prodotto.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Sistemi di progettazione automatizzati e creativi per produrre rapidamente alternative di configurazione.

- Strumenti di progettazione integrati con strumenti di valutazione della fattibilità e costing del prodotto.

- Strumenti per l'ottimizzazione della configurazione in grado di sintetizzare al meglio i requisiti individuati.

- Metodi di elaborazione geometrica ed analisi per integrare coerentemente progettazione e simulazione e massimizzare il vantaggio nell'uso di specifiche tecnologie produttive.

- Sistemi basati su tecnologie emergenti HCI (e.g. visuale, tattile, suono) per un'interazione facile e naturale.

- Rappresentazioni per la modellazione 3D in grado di gestire dati eterogenei multidimensionali (i.e. immagini, geometria 3D).

- Metodi di ricostruzione 3D guidati dalla semantica del contesto.

- Sistemi per la gestione del feedback da prodotti wearable (IOT) per verificare la funzionalità del prodotto durante l'utilizzo.



PRI1.2 SPEP

Soluzioni per la produzione efficiente di prodotti personalizzati ad alto valore aggiunto

I prodotti personalizzati richiedono dei sistemi di produzione modulari, flessibili ed adattabili, cioè con capacità di adattarsi e riconfigurarsi sulle caratteristiche che di volta in volta vengono richieste dal cliente, senza perdere di efficienza del sistema e qualità del prodotto, in accordo ai paradigmi di produzione emergenti “Zero-waste e Zero Defect manufacturing” focalizzati sulla qualità del prodotto e l’efficienza nell’utilizzo delle risorse.

Esistono già dei sistemi di produzione che vanno in questa direzione ma il dominio delle alternative richiesto dalla customizzazione è sempre più spinto e deve garantire una capacità di utilizzare in modo efficiente le risorse e di adattarsi a tali esigenze.

Una elevata personalizzazione richiede inoltre una sincronizzazione delle fasi di produzione con la progettazione a monte dei prodotti, e con la logistica per la movimentazione delle parti così da rendere il passaggio di informazioni da una fase all’altra più fluido ed affidabile.

È quindi necessario studiare nuovi sistemi riconfigurabili e nuovi dispositivi di tipo plug-and-produce in grado

di garantire una risposta rapida ai frequenti cambi di requisiti dei clienti e lotti anche unitari.

Questi nuovi paradigmi portano con sé anche una forte integrazione tra i sistemi produttivi e logistici a livello di shopfloor.

Nuovi modelli digitali, algoritmi e tecnologie auto-adattative e autonome devono essere sviluppate per consentire la pianificazione e il controllo in tempo reale di sistemi di produzione e logistici riconfigurabili, riducendo i tempi di riconfigurazione e di fermo macchina.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono:

- Macchine e sistemi di produzione riconfigurabili dedicati sia alla personalizzazione nel B2B che nel B2C per la realizzazione di componenti e di prodotti caratterizzati molto spesso da proprietà e comportamenti dinamici, differenziati in risposta ai bisogni ed alle esigenze del consumatore.

In particolare, tali soluzioni devono essere supportate da approcci innovativi al processo produttivo ed al suo controllo per trasformare il progetto in un prodotto, dotato di appropriate caratteristiche meccaniche e funzionali sulla base delle richieste dell’utente.

In questo contesto, l’ibridazione di tecnologie tradizionali (i.e. ibride/additive), ossia l’integrazione in una

singola macchina di differenti processi di trasformazione, è un passo verso una diversificazione potenzialmente molto ampia di alternative tecnologiche.

- Tecnologie manifatturiere per la produzione di prodotti con geometrie complesse, elevate finiture superficiali, e basati sulla combinazione di materiali diversi. Tali tecnologie devono gestire la variazione progressiva delle proprietà del prodotto nelle varie zone del processo produttivo..

- Soluzioni che facilitino la modularità e la riconfigurabilità delle linee produttive. Tali architetture dovrebbero essere supportate da moduli flessibili “plug&produce” applicabili su macchinari di produttori diversi.

In particolare, sviluppo di piattaforme produttive che consentano l’integrazione automatica di moduli di produzione di componenti personalizzati con moduli per componenti standard (attrezzaggio/settaggio linea di produzione) per garantire diverse funzionalità quali: l’integrazione di moduli dotati di controller con diversi gradi di intelligenza; il cambio di prodotto; la gestione della fluttuazione della domanda e relative ripercussioni sul sistema produttivo; la rimozione e/o l’integrazione di moduli in tempo reale. Inoltre, sistemi self-adjusting e self-adapting di tipo plug-and produce modulari basati su modelli digitali e intelligenza artificiale possono aiutare a rispondere in modo rapido ai cambiamenti frequenti degli ordini clienti e all’alta variabilità della domanda.

- Sistemi di approvvigionamento/stoccaggio/handling adattabili alla aumentata variabilità di forme, dimensioni, peso e materiali richiesta dalla vasta gamma di diverse materie prime, semilavorati e prodotti finiti necessari per la personalizzazione dei prodotti. Sono necessari interventi di sistemi di sensoristica avanzata per esempio per il tracciamento dei prodotti in lotto-1, per la creazione automatica di kit produttivi, sistemi di visual inspection per il controllo dei kit di assemblaggio anche con lotti di produzione personalizzati ed unitari.

Interazione con le altre linee di intervento

- LI4
I sistemi di produzione e di logistica interna devono essere riconfigurabili e devono mantenere alta l’efficienza anche in contesti di forte personalizzazione dei prodotti.

- LI5
Processi produttivi innovativi: la riconfigurabilità e l’alta flessibilità sono raggiungibili attraverso macchine e sistemi di movimentazione intelligenti.

- LI6 e LI7
La produzione efficiente di prodotti personalizzati ad alto valore aggiunto è ottenibile tramite il controllo dei sistemi di produzione riconfigurabili, soluzioni di Digital Twin, implementazioni di Human Robot Co-working ed applicazioni di algoritmi di AI.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Migliorare il livello di finitura superficiale nelle produzioni di prodotti attraverso additive manufacturing e aumentare la produttività delle macchine ibride per l’additive manufacturing fino ai livelli delle produzioni di serie.

- Integrare, scambiare o rimuovere facilmente e in modo automatico apparecchiature di produzione specializzato e per la riconfigurazione del sistema attraverso tecnologie avanzate di Plug and Produce.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Modelli integrati (da progettazione per il cliente finale alla consegna del prodotto) che consentano una riduzione del time to market dei prodotti personalizzati.

- Tecnologie innovative per la movimentazione dei materiali morbidi e flessibili come la presa, lo spostamento, il posizionamento, lo smistamento e la giunzione in modo da poter essere inclusi in processi di produzione flessibili.

- Soluzioni produttive e di movimentazione intelligenti in grado di adattarsi agli attributi delle parti (quali per esempio dimensioni, forma, peso, colore, composizione del materiale, difetti).

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Piattaforme di Digital Twin per produzioni personalizzate e resilienti.



PRI1.3 MSGP

Soluzioni avanzate per la gestione della produzione customer-driven

Da un punto di vista tecnologico è fondamentale che la produzione demand-driven sia sincronizzata nella gestione degli ordini dei clienti, nella schedulazione e nella produzione attraverso una gestione coordinata tra flussi di materiali e di informazioni.

È inoltre necessario che la produzione sia coordinata con la logistica interna ed esterna attraverso opportuni modelli di integrazione delle informazioni provenienti da diverse fonti.

Per fare questo è necessario sviluppare nuovi sistemi di gestione basati sulle tecnologie quali Big Data Analytics, Intelligenza Artificiale e modelli di supporto alle decisioni per aumentare la capacità delle aziende di gestire e usare grandi moli di dati provenienti da diverse fonti (cliente, fornitori, social media) per permettere una migliore gestione della produzione e delle reti dinamiche di fornitura e distribuzione.

L'utilizzo della tecnologia big data consente inoltre l'attivazione di processi blockchain che garantiscano l'integrità dei dati trasferiti. Inoltre, una maggiore interoperabilità, trasparenza e autonomia nella gestione del ciclo di vita del prodotto auspicabile attraverso l'utilizzo delle risorse e dei servizi a valore aggiunto.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono quindi:

- **Piattaforme collaborative** che attraverso opportuni sistemi di condivisione della conoscenza a diversi livelli della value chain siano in grado di supportare decisioni quali: configurazione dinamica dei network, pianificazione decentralizzata delle attività, gestione real-time di sistemi di produzione autonomi e riconfigurabili, strategie di modularizzazione del prodotto, strategie di postponement e “multi decoupling-point” in ottica di personalizzazione.

È necessario che nelle piattaforme in considerazione siano gestiti elementi chiave quali la variabilità della domanda, le caratteristiche specifiche di personalizzazione all'interno di famiglie di prodotti, criteri di eco-

nomia di scala, la capacità di servizio, a seguito di una sempre maggiore pressione derivante dal trade-off tra il decentramento della produzione (integrazione globale) e la produzione locale di alcuni componenti per la personalizzazione.

Tali piattaforme di collaborazione devono garantire elevati livelli di interoperabilità tra sistemi eterogenei di gestione delle informazioni.

- **Strumenti di controllo e monitoraggio della produzione e della logistica in ottica di gestione degli eventi critici:** sulla base di dati raccolti in real time dalle diverse fonti (macchinari, prodotti, fornitori, sistemi di movimentazione) rilevazione delle criticità e definizione di politiche di risposta ad eventuali processi non controllati, attraverso soluzioni in grado di “mediare” su prodotti o processi o **servizi differenti in grado di funzionare con lotti di piccola dimensione, al limite pari a uno.**

E' necessario essere in grado di tracciare in tempo reale lo stato di ogni risorsa, per poter implementare azioni specifiche (parametri di processo, politiche di sostituzione e manutenzione) e reagire prontamente a eventi non previsti.

Inoltre, la possibilità di avere dati in tempo reale per controllare lo stato delle risorse e del processo consentirà lo sviluppo di nuovi approcci per la certificazione del prodotto personalizzato sia per motivi di anti contraffazione ma anche attraverso la certificazione del suo processo produttivo, in particolare in settori altamente regolamentati quali il biomedicale e l'aerospaziale.

Questi strumenti dovranno operare secondo i paradigmi di interoperabilità, trasparenza e autonomia.

- **Modelli e metodi per la formalizzazione e certificazione delle informazioni di progettazione, produzione e distribuzione di prodotti personalizzati.**

Tali sistemi devono abilitare livelli di interazione decentralizzata nella filiera di produzione garantendo il coordinamento delle azioni e supportando la raccolta e la condivisione di dati attraverso la sincronizzazione anche in contesti molto dispersi e ampi in ottica di trust management.

- Progettare e Sviluppare piattaforme Digital Twin in grado di integrare fornitori e clienti in modo trasparente ed efficiente. Inoltre tali sistemi dovrebbero consentire la gestione real-time di sistemi autonomi, che siano self-adapting e self-organizing secondo i paradigmi di interoperabilità, trasparenza e autonomia.

PRI1.4 MIF

Le mini-factories nella filiera di produzione e distribuzione dei prodotti personalizzate

La produzione distribuita su piccola scala diventa sempre più importante in diversi settori e in diverse situazioni (si pensi al caso della crisi sanitaria in cui è necessario produrre beni di prima necessità in tempi rapidi e con limitazioni derivanti ad esempio dalla chiusura di frontiere nazionali e regionali) ed è basata sulla strutturazione di impianti produttivi con tempi di set-up e dismissione molto veloci facilmente trasportabili da un luogo all'altro (veri e propri mini-impianti, fab-lab, produzione in container).

In tal modo è possibile garantire che parte della produzione e in particolare la produzione delle parti/componenti personalizzate vengano posticipate all'ultimo miglio ed eseguite in prossimità del luogo di consegna e di utilizzo dei prodotti.

È necessario quindi definire nuovi modelli organizzativi che in accordo al paradigma di urban manufacturing siano basati sulla creazione di laboratori e mini-fabbriche dotati di avanzati macchinari a supporto della personalizzazione del prodotto in tempi brevi e con costi contenuti.

Il nuovo modello organizzativo deve prevedere l'utilizzo di tecnologie avanzate altamente riconfigurabili e adattabili allo specifico contesto e la revisione del modello di collaborazione a monte con i fornitori e a valle con gli utilizzatori per ridefinire il flusso delle operazioni.

La possibilità di operare a livello locale (quartiere, comune, regione) con mini-factory dedicate, oltre a ridurre i costi logistici, può estendere l'ambito di applicazione di tecnologie di riciclo “personalizzato” altrimenti troppo onerose e va in questo modo incontro alla domanda crescente di personalizzazione nell'ambito della riparazione/riutilizzo di prodotti a fine vita.

Il modello della mini-factory può costituire l'anello di congiunzione tra i makers (che implementano il modello DoItYourself) e le aziende industriali e portare a nuove funzionalità e a innovativi metodi di produzione (quali per esempio nuovi processi, nuove macchine, e la gestione dei low-cost idea).

Obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono quindi:

- **Tecnologie semplificate, facilmente trasportabili e a basso costo di set up per la produzione in loco di prodotti dedicati,** o per la funzionalizzazione/ personalizzazione di prodotti, o per lo smontaggio (quali per esempio modular factory e factory on truck).

In particolare, sviluppo di nuove tecnologie di produzione molto versatili in termini di geometrie e materiali in modo da ottenere con un set limitato di macchinari un ampio set di componenti dalle molteplici funzionalità.

Interazione con le altre linee di intervento

• LI4

La programmazione e gestione della produzione ha bisogno di sistemi integrati ad alta efficienza soprattutto in contesti di forte personalizzazione dei prodotti.

• LI5

La gestione della logistica interna ed esterna per garantire riconfigurabilità e flessibilità ha bisogno di processi produttivi innovativi e smart.

• LI6 e LI7

Le soluzioni di Digital Twin e le applicazioni di algoritmi di AI possono garantire una gestione della supply chain efficiente di prodotti personalizzati ad alto valore aggiunto

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Modelli in grado di formalizzare e collegare i requisiti di progettazione, produzione e distribuzione.

- Sistemi in grado di comunicare i dati raccolti dal campo (quali distributed ledger technology) con i sistemi di gestione della produzione e viceversa.

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

- Maggiore estensione dell'End-to-End Engineering attraverso la progettazione di sistemi per la riconfigurabilità dei requisiti dinamici del prodotto.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Piattaforme Digital Twin in grado di integrare fornitori e clienti in modo trasparente ed efficiente.

- Strumenti di Digital Twin che consentano la gestione real-time di sistemi autonomi, che siano self-adapting e self-organizing secondo i seguenti paradigmi: interoperabilità, trasparenza e autonomia.



- **Modelli di gestione della filiera di produzione innovativi basati sullo studio di poli produttivi decentralizzati per portare la personalizzazione all'ultimo miglio.**

Nuovi modelli di produzione integrata con la distribuzione che permettano la consegna di materie prime e piccoli lotti di prodotti in contesti urbani (mini factory servite come consumer – utilizzo sistemi e-commerce) anche con l'utilizzo di appropriati veicoli a guida autonoma a basso impatto ambientale che possano circolare anche in contesti difficilmente raggiungibili.

- **Piattaforme di collaborazione multi-utente per la progettazione, produzione e distribuzione dei prodotti e dei relativi componenti basate su principi di open innovation che integrano le mini-factory.**

Questo implica anche la definizione di nuovi meccanismi di condivisione dei diritti di proprietà e la definizione di nuovi modelli di business basati sulla condivisione dei costi e dei profitti.

- Nuovi modelli di **centri di servizio** per fornire soluzioni temporanee (anche attraverso il noleggio) di mini-factory autonome per facilitare le attività di attori innovativi (quali per esempio i makers e le start-up). Tali centri di servizio dovrebbero inoltre garantire l'integrazione tra diverse mini-factories per la produzione di componenti e prodotti di diverso tipo attraverso sistemi di progettazione e produzione che permettano di condividere risorse e materiali.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI5**
Questa priorità è strettamente collegata allo sviluppo di tecnologie additive multimateriale a basso costo e alta produttività (per la produzione locale "real time" di prodotti/componenti personalizzati).

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Piattaforme di collaborazione tra utenti di diverso tipo per la progettazione, produzione e distribuzione dei prodotti e dei relativi componenti personalizzati basate su principi di open innovation (Distributed Design Platform).
- Macchinari semplificati, trasportabili e a basso costo di set-up (sistemi integrati, ultra-veloci, auto-configurabili e user-friendly).

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

- Modelli di produzione integrati con la distribuzione che permettano la consegna di materie prime e piccoli lotti di prodotti in contesti urbani.

- Modelli di gestione dei centri di servizio per fornire (noleggio) soluzioni temporanee di mini-factory autonome per facilitare l'accesso di nuovi attori (quali per esempio i makers e la piccola imprenditorialità).

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Integrazione in unica filiera dei quattro obiettivi precedenti



PRI1.5 SPMS

Sistemi di produzione per smart materials per la personalizzazione del prodotto/servizio

Questa priorità di ricerca si focalizza sulle tecnologie e i processi per la produzione di materiali innovativi e intelligenti (ad esempio, tessuti sensorizzati, materiali per display, micro- e nano- materiali, tessuti multifunzionali, materiali ad uso biomedicale, materiali rinnovabili ad alte prestazioni), che possono produrre in base alle necessità specifica del consumatore o



che possono svolgere una funzione basata su capacità adattive del materiale stesso (ovvero capaci di funzionare da sensori cogliendo variazioni di parametri ed allo stesso tempo da attuatori compiendo un'azione).

Per il raggiungimento dell'obiettivo, i nuovi sistemi di produzione dovranno produrre componenti fatti con materiali omogenei (più facilmente riciclabili e basati su proprietà attive intrinseche del materiale, quali materiali a memoria di forma, fotosensibili, e magnetostrittivi) ovvero componenti con strutture morfologiche ingegnerizzate (come per esempio strutture lattice, multiscala, con gradiente, micro-cinematismi) ovvero strutture o materiali compositi.

Di notevole importanza è la capacità di integrazione nei dispositivi di capacità sensoristiche in grado di dotare il dispositivo stesso di intelligenza intrinseca, quali per esempio Lab-on-chip con biosensori integrati per la medicina personalizzata ovvero dispositivi meccanici dotati di capacità di monitorare parametri esterni e relativi all'ambiente di lavoro o parametri interni del dispositivo (quali fatica, situazioni critiche di non funzionalità).

Obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono quindi:

- **Sistemi di produzione per integrare funzioni "smart" direttamente durante il processo di fabbricazione** (on line), ovvero sistemi di produzione in grado di gestire direttamente materiali dotati di intelligenza ovvero in grado di funzionalizzare i componenti a valle del processo di produzione.
- **Sistemi di stampa 3D o additiva multi-materiale**, ovvero sistemi additivi in grado di gestire in contemporanea più materiali, volti in particolare a produrre dispositivi funzionali con gradiente di proprietà ovvero sistemi additivi in grado di dotare di funzionalità smart il prodotto durante il processo di produzione (arrivando anche a funzionalità non costanti nel dispositivo finale).
- **Componenti con strutture morfologiche ingegnerizzate e personalizzabili** (quali per esempio strutture lattice, multiscala, con gradiente, micro-cinematismi) ovvero strutture o materiali compositi, in grado di sfruttare tale ingegnerizzazione per la produzione di componenti ad elevate prestazioni funzionali o di facile personalizzazione.
- Tecnologie produttive innovative per la **produzione di micro-dispositivi intelligenti**, tra cui dispositivi dotati di capacità sensoristiche, quali per esempio lab-on-chip con biosensori integrati per la medicina personalizzata ovvero dispositivi meccanici dotati di capacità di monitorare parametri esterni e relativi all'ambiente di lavoro o parametri interni del dispositivo (quali fatica, situazioni critiche di non funzionalità).

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI5**
Integrazione con la priorità PRI5.5 che si occupa dei processi di produzione e lavorazione di materiali innovativi.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Strumenti di progettazione per strutture morfologiche ingegnerizzate.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Sistemi di produzione basati sull'uso di materiali smart e dotati di elevata flessibilità geometrica (stampa 4D).

- Strumenti di progettazione per strutture attive.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Tecnologie produttive innovative per la produzione di microdispositivi bioingegnerizzati Lab-on-chip con biosensori integrati per la medicina personalizzata.



LI2: Sostenibilità industriale

Descrizione Linea di Intervento

La sostenibilità negli ultimi 20 anni è diventata una tematica centrale nell'agenda dei politici e del settore manifatturiero, e recentemente ha assunto un ruolo ancora più importante alla luce degli eventi climatici sempre più potenti e devastanti.

In questo contesto, la sostenibilità industriale svolge un ruolo fondamentale al fine di rispondere alle sfide ambientali, sociali ed economiche e trasformare il manifatturiero italiano.

L'attenzione alle tematiche ambientali ed alle strette sinergie in ottica di reperimento ed utilizzo dei materiali lungo tutto il processo (progettazione, industrializzazione, produzione, consumo e reverse logistics) non hanno una valenza esclusivamente tecnica.

Questo tipo di tematiche attrae sempre di più le attenzioni di fondi, grandi investitori e mercati in generali.

Regolamentazioni ambientali e compliance non sono le sole cause di questo interesse: la sostenibilità economica a tutto tondo, in aggiunta a quella ambientale, muove una sempre più notevole attenzione verso le attività in questo senso.

Questo richiede che venga generata consapevolezza per trasformare i processi industriali ed il modo di concepire i nuovi prodotti del futuro in una ottica di economia circolare, al fine di ridurre sensibilmente le emissioni di carbonio e di migliorare l'efficienza energetica, ridurre e razionalizzare i consumi idrici, favorire e promuovere il recupero di risorse.

Alla base dell'economia circolare ci sono due tipi di flussi di materiale: biologici, capaci di reinserirsi nella biosfera, e tecnici, destinati ad essere riutilizzati senza entrare in biosfera.

In linea con questa visione, tutte le attività svolte nel sistema industriale, partendo dall'estrazione di materie prime e loro conversione e produzione in prodotti finiti, devono essere organizzate in modo tale che i rifiuti prodotti da un settore possano, dopo opportune trasformazioni, diventare risorsa o fattore produttivo per altri.

Oltre al recupero dei materiali, molto promettente è anche il recupero delle funzioni del prodotto che permette non solo di recuperare la materia prima ma anche di non perdere il valore delle attività che sono state spese per trasformare la materia in prodotto.

Questi cambiamenti richiedono l'introduzione di

nuovi processi, di nuove macchine e di nuovi sistemi creando una profonda rivisitazione della base produttiva nazionale ponendo anche le basi per l'apertura di nuovi mercati di beni strumentali che vedano il paese in posizione di leadership.

Questi sistemi devono essere coerenti con l'evoluzione dei mercati e delle tecnologie abilitanti, utilizzando la tecnologia come leva competitiva nei confronti delle tre dimensioni della sostenibilità (economica, ambientale e sociale).

In questa nuova prospettiva, il ruolo dell'industria manifatturiera è fondamentale verso l'implementazione di un concetto circolare di fabbrica.

Il produttore può progettare prodotti in grado di essere disassemblati dopo l'uso, integrando una frazione crescente di materie prime seconde (specialmente quelle critiche).

Inoltre, può gestire le informazioni di prodotto lungo la catena del valore (soprattutto sfruttando le tecnologie digitali) in modo da favorire un recupero più efficiente di componenti e materiali dopo la fase d'uso, al fine di renderne più vantaggioso economicamente il riuso.

In questo contesto, si sta quindi affermando il tema del "de-e re-manufacturing", a causa dell'aumento del costo delle materie prime (rarefazione e speculazione) e delle leggi specifiche introdotte dall'Unione Europea che richiedono di migliorare il tasso di recupero dei materiali.

Inoltre, gli attuali livelli di utilizzo di materie prime critiche (ad esempio il litio) e risorse primarie sempre più scarse (come l'acqua) o più costose (come l'energia), non risultano più sostenibili.

La domanda di materiali critici per la produzione di prodotti high tech è in costante aumento in Europa, causando grossi problemi in termini economici e strategici, legati al loro approvvigionamento (come le terre rare), e risulta quindi necessario studiare come utilizzare i rifiuti elettronici quale fonte di materiali rari per nuovi prodotti tecnologicamente avanzati.

Da sottolineare poi l'importanza di un uso razionale delle risorse energetiche e idriche, essenziali per diversi processi produttivi, mediante la promozione di pratiche volte all'uso efficiente di tali risorse, alla riduzione dei consumi, al riutilizzo ed alla ottimizzazione dei flussi residui in ottica di chiusura dei cicli, al recupero di risorse come per esempio dai flussi termici, dalle acque reflue e dai fanghi derivanti dal loro trattamento.

A livello italiano, questa linea di intervento si pone l'obiettivo di studiare e sviluppare strategie, me-



todi e strumenti che siano in grado di implementare processi produttivi più sostenibili a livello ambientale, economico e sociale, che dipendano meno dall'esterno per l'approvvigionamento di risorse produttive critiche o quelle penalizzate dalle leggi vigenti.

Le azioni prioritarie della ricerca in questo settore riguardano nuove soluzioni per ridurre le emissioni nocive o inquinanti dei processi produttivi ma anche: metodi e tecniche per la valutazione strategica di prodotto-processo in ottica Life Cycle Thinking; tecnologie e processi per il riutilizzo, il re-manufacturing e il riciclo di prodotti, componenti e materiali da prodotti post-uso o provenienti da processi di manutenzione; sistemi e metodi per la misurazione e la realizzazione di "Supply Chain Sostenibili" o "Closed-Loop Supply Chain", reti di simbiosi industriale (modello batch e modello continuo).

Per favorire il cambiamento descritto, risulta quindi necessario:

- Favorire lo sviluppo di un sistema industriale in grado di implementare soluzioni di economia circolare.
- Studiare come la sostenibilità possa cambiare il processo di pianificazione nelle imprese manifatturiere.
- Stabilire quale cambiamento è richiesto a livello di impresa, per consentire miglioramenti nelle performance di sostenibilità.
- Identificare i cambiamenti a livello di sistema necessari per aumentare la sostenibilità industriale.
- Attivare la sperimentazione a livello di impresa con nuovi modelli di business e migliorare la capacità del settore industriale di agire sistematicamente verso l'implementazione dell'economia circolare.

Impatto atteso della linea di intervento

Minimizzazione dell'impatto ambientale del manifatturiero con focus specifico sull'efficiamento delle risorse naturali ed energetiche; controllo e minimizzazione dell'impronta ambientale a livello di intero ciclo di vita di prodotto/processo/sistema; creazione del valore in filiere transettoriali; miglioramento nella capacità di recuperare materie prime seconde/sottoprodotti e di recuperare le funzionalità dei prodotti; incremento nel recupero e valorizzazione degli scarti; miglioramento della capacità di recuperare prodotti e trasformare scarti in input grazie a modelli di simbiosi industriali.

Le priorità di ricerca e innovazione di questa linea di intervento sono:

- **PRI2.1 PS4LCT**
Progettazione e sviluppo in ottica life cycle thinking
- **PRI2.2 MIMPRA**
Monitoraggio dell'impronta ambientale dei prodotti
- **PRI2.3 MPIL**
Sistemi per le materie prime seconde, sottoprodotti, sistemi di riutilizzo di rimanenze di magazzino e cespiti aziendali
- **PRI2.4 TECH4REX**
Tecnologie, processi e strumenti per il riutilizzo, re-manufacturing e riciclo di prodotti, componenti e materiali, re-marketing
- **PRI2.5 SSC&SI**
Modellazione e simulazione per la supply chain sostenibile e Reti di Simbiosi Industriale
- **PRI2.6 M&S4CE**
Modelli e strumenti per l'economia circolare



PRI2.1 PS4LCT

Progettazione e sviluppo in ottica life cycle thinking

La complessità dei prodotti è aumentata in diversi aspetti visto il crescente uso di materiali innovativi, materiali con funzioni chiave e le combinazioni di diversi tipi di componenti. La difficoltà di separare le parti dei prodotti limita lo sviluppo di strategie di economia circolare che prevede la riparazione, l'aggiornamento e la rigenerazione per impedire lo spreco di preziose risorse contenute in tali prodotti.

In questo contesto, la progettazione e lo sviluppo di prodotti in ottica life cycle thinking è una delle questioni chiave per l'economia circolare.

Pertanto, è di importanza strategica considerare fin dalla fase di progettazione del prodotto la possibilità di integrare materiali di recupero o componenti che possano essere riutilizzati dopo la prima fase d'uso, in linea con le alternative di business offerte dall'economia circolare.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono:

- Studio e sviluppo di strumenti per l'**analisi e progettazione delle funzioni dei prodotti in ottica ecodesign, design for environment (DFE)** for disassembly (DFD) per sviluppare prodotti innovativi al fine di trarre i van-



taggi della multifunzionalità del prodotto e dei suoi componenti. Utilizzando i principi di Ecodesign, Design for Environment (DFE) sarà possibile progettare prodotti sostenibili che utilizzano meno risorse, materiali, componenti e che possono essere riutilizzati o ri-manufatti dopo il loro fine vita.

- **Integrazione di strumenti evoluti di Life Cycle Environmental Cost Analysis (LCECA), Life Cycle Cost (LCC) e Life Cycle Analysis (LCA)** che già in fase di progettazione permettano di quantificare gli impatti potenziali (in termini di consumo delle risorse, scarti ed emissioni) del prodotto progettato, e soprattutto integrate nei sistemi PLM.

- Strumenti di progettazione che con appropriate funzionalità facilitino lo sviluppo di **prodotti modulari e riparabili/aggiornabili** pensati per molteplici cicli di utilizzo, in grado di rispondere a requisiti in evoluzione del cliente, attraverso successivi upgrade di funzioni e componenti durante la vita del prodotto stesso; tali strumenti dovrebbero anche ottimizzare per esempio l'uso di sostanze contaminanti, che potrebbe essere nel tempo oggetto di limitazioni e di divieti, supportare la progettazione di product and service systems in ottica di circolarità, ovvero basato su cicli di produzione-uso-riparazione, riconfigurazione, ricondizionamento, riciclo.

Interazione con le altre linee di intervento

- **PRI2.4**
Tecnologie, processi e strumenti per il riutilizzo, de- e re-manufacturing e riciclo di prodotti, componenti e materiali.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Utilizzo di strumenti di LCA, LCECA, LCC semplificati per progettare prodotti secondo i principi dell'eco-design e dell'economia circolare.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Definizione di tecniche di progettazione del prodotto per favorire l'efficienza energetica e idrica, l'integrazione di materiali di recupero o componenti rigenerabili.
- Sistemi di progettazione che con appropriate funzionalità facilitino lo sviluppo di prodotti modulari e riparabili/aggiornabili pensati per molteplici cicli di utilizzo.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Favorire la progettazione di prodotti upgradabili attraverso molteplici cicli d'uso per rispondere a requisiti del mercato in evoluzione.



PRI2.2 MIMPRA

Monitoraggio dell'impronta ambientale dei prodotti e dei processi

L'individuazione e il monitoraggio dell'impronta ambientale di prodotti e processi risultano di fondamentale importanza per poter offrire un elemento di valutazione delle scelte a vari soggetti coinvolti lungo il ciclo di vita del prodotto: consumatori, imprenditori e decisori politici, specie in vista delle ambiziose strategie e obiettivi a livello europeo previsti per i prossimi anni (e.g. "Energy Roadmap 2050" [1], "2030 EU Climate and Energy framework" [2]).

Uno dei problemi riguarda la non disponibilità di un set di dati completo, omogeneo, aggiornato e disponibile per tutto il settore industriale e la complessità di modellazione di particolari processi per monitorare tutte le fasi degli stessi.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione si declinano in:

- **Strumenti e metodologie per la configurazione di sistemi sensorizzati per supportare il monitoraggio e il controllo dell'impatto ambientale in ottica green-field e brownfield** (tenendo conto in particolare del revamping delle macchine).

La connettività dei sensori consente il funzionamento dell'Internet delle cose (IoT) e dei sistemi cyber-fisici in cui oggetti e macchine interagiscono tra loro e con il mondo fisico. È necessario studiare e sviluppare queste tecnologie per supportare i processi di controllo delle emissioni di

CO2, dei consumi energetici, idrici e di materiali, monitorando i processi produttivi e le condizioni ambientali. Questo apre nuove opportunità alle aziende per valutare più efficacemente le prestazioni dei sistemi di produzione anche in ottica di applicazione dei sistemi LCA.

• **Strumenti e metodologie di monitoraggio e controllo dei consumi e delle emissioni energetiche e ambientali durante la fase d'uso del prodotto:** i recenti progressi nelle tecnologie di tracciamento e tracciabilità digitale, come identificatori digitali, marcatori fisici o sensori, offrono opportunità per catturare dinamiche post-vendita a livello di prodotto, componente e materia prima. È necessario studiare nuovi sistemi per memorizzare informazioni sulle composizioni dei prodotti e le istruzioni di disassemblaggio e tenere traccia delle modifiche alle condizioni del prodotto sui PLC utilizzando formati digitali. Inoltre, è necessario studiare modelli di integrazione dei dati attraverso nuovi sistemi di acquisizione dati da diverse fonti (shopfloor, macchine, prodotti, ...), e che permettano l'integrazione di tali dati all'interno di strumenti quali LCA e LCC con lo scopo di analizzare specifici settori, prodotti e processi particolarmente interessati a tracciare l'impronta energetica ed ambientale dell'intera filiera.

• Modelli di analisi che connessi ai sensori di impianto e ai sistemi gestionali siano in grado di acquisire ed elaborare i dati di processo, di consumo, di emissioni per fornire LCA dinamici di prodotto e di processo. L'obiettivo dovrebbe essere avere lotti di produzione omogenei dotati di un LCA certificato.

Interazione con le altre linee di intervento

• **PR12.1.** Integrazione dei processi di progettazione e sviluppo in ottica lifecycle thinking: individuare indicatori utili alle analisi LCC e LCA i cui parametri (tutti o parte di essi) verrebbero monitorati all'interno delle attività previste dalla PR12.2.

• **LI6** Integrazione con la priorità PR16.2 per quanto riguarda i componenti, sensori e macchine intelligenti per la produzione adattativa ed evolutiva, per garantire continuità di processo e adeguarsi alla crescente esigenza di customizzazione dei prodotti.

La PRI 2.2 è ampiamente basata sul monitoraggio di parametri operativi che risentono dell'assetto e contesto produttivo.

• **LI7** Integrazione con la priorità PR17.3 per quanto riguarda i modelli e strumenti per il monitoraggio della produzione e la gestione degli asset produttivi e la priorità PR17.4 per quanto riguarda i modelli e strumenti IIoT per la gestione dei dati di fabbrica: sinergia con l'integrazione di tecnologie di generazione (microsensori e MEMS connessi), raccolta, elaborazione, integrazione e condivisione dei dati grezzi dal campo per migliorare la produttività.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

• Configurazione di sistemi sensorizzati per supportare il monitoraggio e il controllo dell'impatto ambientale in ottica greenfield e brownfield.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

• Metodologie per definire la configurazione ottimale di sistemi integrati di sensorizzazione.

• Integrazione della tracciabilità dei dati di impatto ambientale, in maniera automatizzata, con parametri di prodotto e processo, al fine di produrre modelli e indicatori che possano sempre meglio descrivere il più ampio e complesso concetto di sostenibilità anche in ottica LCA.



PRI2.3 MP11

Sistemi per le materie prime seconde, sottoprodotti, sistemi di riutilizzo di rimanenze di magazzino e cespiti aziendali

Oggi le Materie Prime Seconde (MP11) sono poche, poco disponibili e tendenzialmente più costose rispetto alle materie prime „tradizionali“.

Questa mancanza di scelta, disponibilità e competitività nel prezzo è il primo grande ostacolo alla loro diffusione e al loro impiego a livello industriale.

Inoltre, le proprietà ed i volumi delle MP11 sono spesso difficili da prevedere, poco ripetibili e non adeguate ad applicazioni industriali su larga scala.

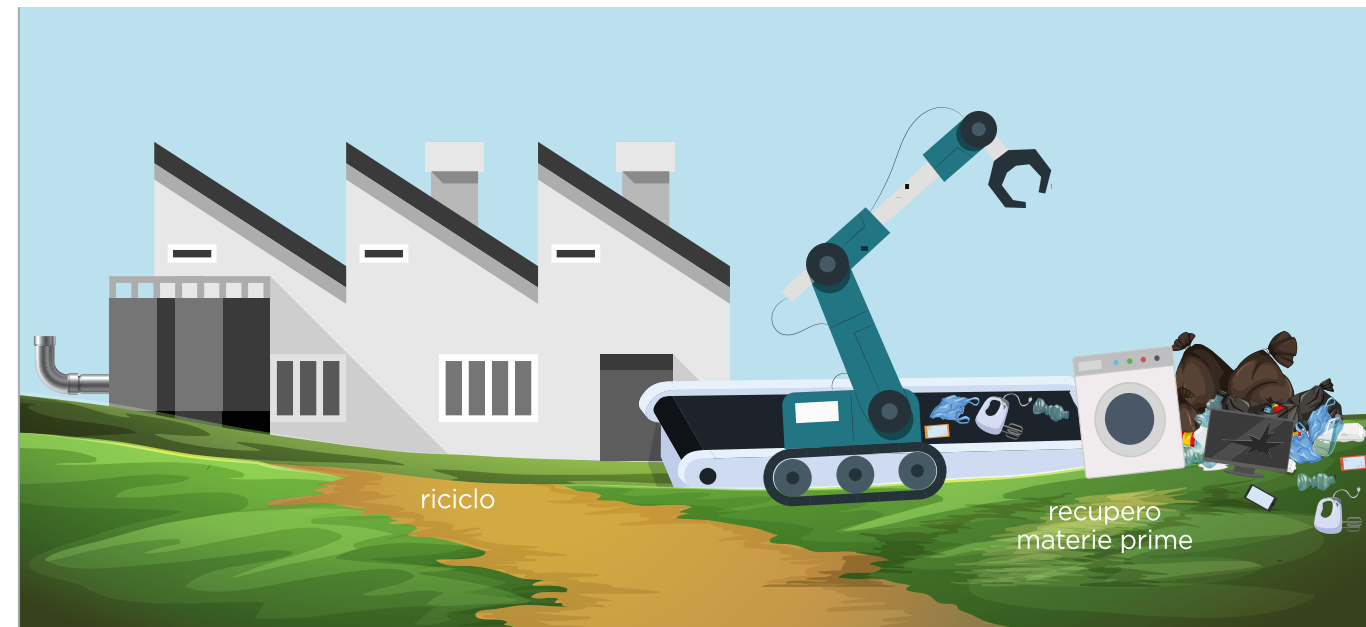
Ad oggi non c'è possibilità di competere sui grandi numeri con MP tradizionali per la loro scarsa disponibilità, competitività e replicabilità di prestazioni.

La maggior parte degli sforzi industriali condotti fino ad oggi si sono concentrati sulle economie di scala e l'ottimizzazione di processi produttivi che partono dall'assunto di una enorme disponibilità di materie prime di base costanti nel tempo in termini di qualità e quantità.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono:

• **Sistemi che permettano di aumentare la produzione di MP11** (in termini di quantità, di qualità e stabilità dei flussi), la competitività (intesa come rapporto prezzo/prestazione) e il loro impiego nella produzione di prodotti ad alto valore aggiunto.

È necessario non tanto sostituire i processi produttivi di materie prime attualmente in uso bensì di affiancarli con nuovi processi più flessibili, robusti e controllati in grado di garantire output ripetibili e livelli di qualità



conformi alle specifiche anche in presenza di MP11 e di utilizzare strumenti per favorire processi di simbiosi industriale che permettano lo scambio di risorse in maniera semplice e sistematica.

Tale sfida richiede quindi di pensare in maniera integrata alle caratteristiche dei prodotti e dei processi produttivi per trasformare il mix di materie prime e seconde in prodotti finiti e dei sistemi che devono implementare tali processi.

Le tecniche più avanzate di produzione zero difetti e industria 4.0 possono essere estremamente utili per fornire agli attuali sistemi di produzione la robustezza e flessibilità richiesta a tale scopo, conoscenza che poche aziende hanno.

• **Sistemi per favorire l'acquisizione, il mantenimento ed il trasferimento di informazioni relative alla qualità delle MP11** condivisi tra gli stakeholders (vedi piattaforme di looping) con un approccio cross-settoriale, per il trasferimento di informazioni e know-how in modo da permettere livelli di certificazione delle proprietà di tali materiali comparabili con quelli delle materie prime anche attraverso una identificazione e classificazione digitale durante il ciclo vita.

• **Soluzioni e prodotti innovativi basati su MP11** per materiali e processi sostenibili.

Sviluppo di nuovi materiali o soluzioni avanzate basate sugli scarti industriali o sottoprodotti per la creazione di sinergie per lo sviluppo di materiali nuovi da materie prime seconde derivanti, ad esempio, dal riciclo del vetro, delle fibre o da prodotti da costruzione.

L'obiettivo è sviluppare un nuovo modello per l'utilizzo di MP11/sottoprodotti, collegando diverse industrie e i decisori e al fine di tracciare e modellare i flussi di MP11, e condividere conoscenze e informazioni lungo la catena del valore al fine di sviluppare nuove soluzioni e materiali.

• **Nuove applicazioni per le MP11:** la quasi totalità delle catene di processo sono "market driven", per cui è fond-

amentale che i mercati conoscano ed apprezzino prodotti realizzati con MP11 per favorirne la diffusione.

Il successo di prodotti, che siano, anche non dichiaratamente, costruiti in toto o in parte con MP11 aumenta in modo significativo l'impiego di suddette MP11 nei processi produttivi.

Perché il mercato possa ricevere, valutare ed apprezzare/accettare prodotti di questo genere è essenziale che i progettisti o chi è deputato allo sviluppo prodotto comincino ad introdurre nel modo più ampio possibile questa tipologia di materia prima conferendo non tanto e solo il prodotto fisico ma la sua disponibilità corrente e prospettica su di una banca dati digitale.

Interazione con le altre linee di intervento

• **LI1** Integrazione con la priorità PR11.5: Sistemi di produzione per smart material (quali sensor-based e bio) per la personalizzazione del prodotto/servizio.

• **PR12.1** Integrazione dei processi di progettazione e sviluppo in ottica life cycle thinking: integrare la modellazione di prodotto-processo-sistema per l'eco-efficienza in ottica life cycle thinking rappresenta una delle chiavi per favorire la transizione verso l'economia circolare.

• **PR2.7** Modelli di business per l'economia circolare.

• **PR2.4** Tecnologie, processi e strumenti per re- e de-manufacturing intelligenti.

• Possibili interazioni con LI7: AI, Piattaforme digitali, Cyber-security

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Integrazione di MPII nei prodotti ad alto valore aggiunto.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Permettere l'acquisizione ed il trasferimento delle informazioni relative alle MPII.

- Strumenti per progettare prodotti che utilizzano MPII.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Studio di nuovi sistemi integrati prodotto-proceso-sistema con l'obiettivo di supportare l'implementazione di un modello di economia circolare manufacturer-centric e ripetibile ad ampia scala.

PRI2.4 TECH4REX

Tecnologie, processi e strumenti per il riutilizzo, de- e re-manufacturing e riciclo di prodotti, componenti e materiali, re-marketing

Prodotti complessi, cioè costituiti da più materiali profondamente diversi tra loro (per esempio metalli e polimeri) risultano essere particolarmente difficili da riciclare con processi meccanici a meno di voler rinunciare alle proprietà dei singoli materiali ed operare un downgrade significativo degli stessi.

L'impossibilità tecnica di separare i materiali costituenti o l'eccessivo costo per farlo suggeriscono un approccio di diversa natura per la gestione di queste tipologie di prodotti/materiali.

Riguardo al riciclo dei metalli, le maggiori criticità si osservano nei confronti dei metalli preziosi e di quelli definiti critici.

Per questi, al contrario dei ferrosi e non ferrosi per i quali la filiera è consolidata, il sistema di chiusura del ciclo di lavorazione secondo i principi dell'Economia Circolare è ancora incompleto.

Si osserva infatti una limitata presenza sul territorio di competenze e infrastrutture per il recupero e la purificazione spinta di questi materiali da sottoprodotti e scarti industriali e da rifiuti tecnologici (e.g. batterie al litio, magneti permanenti, RAEE, fanghi rossi).

Allo stato dell'arte, le tecnologie più idonee per perseguire questi obiettivi sono quelle idrometallurgiche, sulle quali bisogna investire per aprire in nuovi rami di ricerca).

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione

si focalizzano nell'ambito dei processi di de- e remanufacturing per il recupero della funzionalità e/o del valore intrinseco dei materiali da prodotti a fine vita, sottoprodotti e scarti industriali, per i quali sono stati individuate le seguenti azioni:

- **Soluzioni per il disassemblaggio e ri-assemblaggio per il recupero di funzionalità:** l'obiettivo è quello di focalizzarsi su prodotti a fine vita innovativi e complessi con elevato valore aggiunto, per i quali è fondamentale dare priorità al recupero funzionale finalizzato al riuso.

In tale contesto, è necessario lo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative per il disassemblaggio automatizzato con elevato livello di automazione e controllo, l'ispezione, il testing, la rigenerazione ed il ri-assemblaggio.

Tali soluzioni di de- e remanufacturing dovranno prevedere, in uno step successivo, la progettazione congiunta con i sistemi di produzione, nell'ottica di un nuovo paradigma di manifatturiero integrato, in grado di garantire una maggiore efficienza e sostenibilità.

- Migliorare i processi per il trattamento e gestione dei materiali metallici che permettano di migliorare la **selettività**, la **caratterizzazione**, il **sorting**, e la **separazione** attualmente diffusi in contesti industriali per opzioni di business di riciclo, ma non sufficientemente ottimizzati.

Per esempio, sarebbe auspicabile studiare come l'uso sinergico di sistemi multi-sensore ottici avanzati, l'uso di soluzioni di robotica, anche collaborative, l'uso di processi di separazione multi-fisica, in sinergia con le moderne tecniche di collazionamento, modellazione, analisi dati e controllo derivanti dall'industria 4.0, per esempio l'uso di sistemi di controllo feed-forward e cyber-physical systems, possano risultare estremamente performanti in contesti complessi.

- **Studiare nuovi sistemi e metodi per i materiali polimerici per l'integrazione di tecnologie** chimiche (solvolisi), termochimiche (pirolisi) e meccaniche (deframmentazione) avanzate che potrebbero essere una valida soluzione per operare una depolimerizzazione tale da permettere di ottenere frazioni polimeriche e/o catene di polimeri tali da costituire mattoni elementari utili per una nuova chimica basata sulla formulazione e reazione di questi prodotti da decomposizione organica.

Parimenti si intravede la possibilità di progettare polimeri con costituenti chimici che più facilmente subiscano processi di depolimerizzazione ad opera di solventi (design for solvolysis) o pirolisi (design for pyrolysis).

Questi processi, insieme a quelli meccanici, permettono di allargare la possibilità di recupero di materiale alla quasi totalità dei prodotti/materiali oggi comunemente in uso.

- Innovare i processi produttivi finalizzati al **recupero e valorizzazione di scarti e sottoprodotti industriali**, particolare interesse è da rivolgere ai processi biologici per la circolarità secondo una logica di simbiosi industriale.

I processi produttivi che riguardano per esempio le

produzioni agroalimentari/agroindustriali generano una grande mole di scarti, sottoprodotti e reflui che possono rientrare in nuovi processi di trasformazione, essere pienamente valorizzati anche nell'ambito di settori produttivi molto diversi da quelli che li hanno originati (Farmaceutica, Cosmetica, Edilizia).

Interazione con le altre linee di intervento

- **PRI2.1**
Integrazione dei processi di progettazione e sviluppo in ottica life cycle thinking. Tecnologie, processi e strumenti per il riutilizzo, re-manufacturing e riciclo di prodotti, componenti e materiali dovrebbero essere sviluppate tenendo conto dello sviluppo dei processi di progettazione (e viceversa) in modo da massimizzare la sostenibilità industriale.

- **PRI2.6**
Modelli di business per l'economia circolare. Necessità di sviluppare e testare opportuni modelli di business che permettano la diffusione su larga scala di impianti, anche di "piccole" dimensioni o mobili, economicamente sostenibili, le citate tecniche di de- e remanufacturing.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Realizzare opportune infrastrutture per la dimostrazione delle applicazioni provenienti dalla ricerca scientifica (come per esempio laboratori/uffici per realizzazione di prototipi, impianti in scala pre-industriale, network).

- Metodologie per l'ottimizzazione dei processi di de- e re-manufacturing.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Processi per migliorare la selettività, la caratterizzazione, il sorting, e la separazione attualmente diffusi in contesti industriali per opzioni di business di riciclo, ma non sufficientemente ottimizzati.

- Soluzioni tecnologiche e processi di de- e remanufacturing per il recupero della funzionalità e/o del valore intrinseco dei materiali da prodotti complessi a fine vita, sottoprodotti e scarti industriali, secondo un approccio di upcycling.

- Aumentare il grado di automazione degli sistemi di de- e remanufacturing.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Progettare in modo congiunto sistemi di produzione e de-produzione, in ottica di riuso closed loop.

PRI2.5 SCC&SI

Modellazione e simulazione per la supply chain sostenibile e la Simbiosi Industriale

La sostenibilità industriale è un concetto complesso che richiede l'integrazione di diversi soggetti (incluse aziende, istituzioni e governi), impattando su diversi settori e presentando comportamenti non lineari e non razionali.

Per descrivere al meglio queste interazioni è necessario quindi un approccio che combini sia la prospettiva bottom-up (dimensione industriale e di business) che quella top-down (politiche).

Gli approcci tradizionali (come ad esempio General Equilibrium Model, Input Output analysis) non sono in grado di comprendere a pieno questi comportamenti dinamici; per questo motivo negli ultimi anni si sono sviluppati approcci che partendo dalla teoria dei Complex Adaptive Systems (CAS) si basano sulla combinazione di diversi approcci, dando origine a modelli ibridi che permettano una gestione responsabile, dal punto di vista sociale e ambientale oltre che economico, di tutti i processi di approvvigionamento, produzione e distribuzione.

Le catene di approvvigionamento sostenibili possono sfruttare i benefici generati dagli approcci di modellazione ibrida a supporto delle decisioni per raggiungere obiettivi in materia di qualità, efficienza, produttività e risolvere problemi di sostenibilità specifici come quelli evidenziati dai Sustainable Development Goal (United Nations, 2015).

Al fine di scegliere o progettare una catena di approvvigionamento sostenibile, i modelli ibridi sono considerati particolarmente appropriati nella gestione della flessibilità nelle loro analisi.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione sono:

- **Metodologie e modelli basati su approcci ibridi:** tali modelli sulla base di dati raccolti da diverse fonti lungo la filiera di produzione (quali per esempio i processi di produzione, progettazione, distribuzione, uso) devono essere in grado di:

- Analizzare le dinamiche e gli impatti che i modelli di business sostenibili hanno sulle catene di fornitura (incluso l'analisi delle potenzialità della simbiosi industriale).

- Valutare l'impatto di leggi ed incentivi erogate dai governi che possono influenzare il comportamento delle catene di fornitura in ottica sostenibile.

- Fornire metriche di sostenibilità per supportare il processo decisionale.

- Fornire modelli di collaborazione fra aziende ed enti pubblici che permettano di migliorare ed ottimizzare i flussi di produzione.



- Fornire indicazioni e metriche legate alla dimensione sociale della sostenibilità con informazioni sulla ricaduta sull'operatore del processo industriale in termini di situazioni di ergonomia fisico-cognitiva dell'operatore.

• **Modelli e strumenti per la progettazione di supply chain transettoriali:** i problemi di sostenibilità sono così complessi che nessuna azienda può affrontarli da sola.

Le aziende, per far fronte alle pressioni dei governi e delle società, cercano di gestire meglio le proprie catene di approvvigionamento sia da un punto di vista sociale sia ambientali.

E' necessario studiare nuovi approcci di modellazione per supportare le catene di approvvigionamento attraverso la collaborazione intersettoriale (ad esempio simbiosi industriale).

Una delle sfide è quella di modellare tali network dal punto di vista del processo di creazione di valore (problemi di progettazione, problemi distributivi, tipologie di partnership e livello di interazione fra le aziende/catene di fornitura).

• **Modelli di previsione dei flussi di ritorno dei prodotti e dei materiali (sulla base dell'uso, della vita media dei prodotti, attitudini del consumatore).**

L'implementazione di strategie di sostenibilità negli ambienti di produzione è soggetta a diversi rischi, tra cui il disallineamento tra la fluttuazione della domanda, l'offerta e il valore dei componenti usati, causando incertezza sui costi e ritorno sugli investimenti.

Un altro problema è la mancanza di informazioni riguardanti la condizione, la disponibilità e l'ubicazione delle risorse in servizio.

La crescente diffusione di tecnologie basate sui principi dell'Industria 4.0 rappresentano un modo per superare alcuni di questi ostacoli alla piena attuazione dei principi della sostenibilità nel settore manifatturiero.

Infatti, grazie ai modelli data driven (basati sull'utilizzo di tecnologie come simulazione, digital twin, IoT e sensori) è possibile gestire informazioni quali per esempio lo stato di un prodotto, le abitudini dei consumatori, il livello di usura e studiare quindi modelli di previsione dei flussi di ritorno di prodotti e materiali.

Interazione con le altre linee di intervento

• LI5
Processi produttivi innovativi.

• LI6
Produzione evolutiva e resiliente.

• LI7
AI, Piattaforme digitali, Cyber security.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

• Approcci ibridi per la gestione della supply chain sostenibile.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

• Modelli e strumenti per la progettazione di supply chain transettoriali.

• Modelli di previsione dei flussi di ritorno dei prodotti e dei materiali (sulla base dell'uso, della vita media dei prodotti, attitudini del consumatore).

PRI2.6 M&S4CE

Modelli e strumenti per l'economia circolare

L'economia circolare sta emergendo come una strategia economica piuttosto che una strategia puramente ambientale che richiede un cambiamento sia dei processi di produzione, sia di distribuzione che delle attività di consumo.

La priorità di ricerca si propone di favorire lo sviluppo e l'implementazione di strumenti e modelli finalizzati a supportare l'economia circolare attraverso, per esempio, la riduzione della richiesta di risorse e materie prime e l'incremento del valore degli scarti e dei "rifiuti" come l'organizzazione del loro recupero e riutilizzo in termini di catena del valore.

I principali obiettivi della priorità di ricerca e innovazione sono:

• **Modelli per la gestione di prodotti discreti in ottica di economia circolare:** sviluppo di appropriati modelli per la gestione dei flussi di ritorno dei materiali; modelli per la gestione dei processi di logistica inversa; metodi per gestire l'integrazione tra organizzazioni, fornitori e clienti che sulla base delle informazioni raccolte dai vari attori coinvolti sia in grado di gestire e indirizzare i flussi verso i centri di recupero, riciclo e trasformazione.

• **Modelli per la gestione della simbiosi industriale:** modelli per la gestione integrata della condivisione delle risorse in processi continui (materiali, acqua, sottoprodotti, scarti) secondo un approccio di tipo cooperativo, in cui l'output di un'azienda può essere utilizzato come input da un'azienda terza nell'ambito del suo processo di produzione.

È necessario studiare nuovi modelli a supporto della simbiosi industriale per la diagnosi, uso e gestione delle risorse a livello aziendale per una valorizzazione delle stesse che tenga conto anche dei contesti territoriali.

• **Modelli per lo sviluppo di strategie di economia circolare nelle piccole medie imprese:** modelli di business, strategie, e strumenti sviluppati ad hoc per le piccole medie imprese al fine di supportarle in questo processo e per una facile definizione di una filiera "virtuosa" delle materie prime e degli scarti.

• **Soluzioni per supportare attivamente il consumo consapevole da parte degli utenti finali:** strumenti che sulla base dei dati raccolti durante la fase d'uso del prodotto incentivino un approccio al consumo basato su modelli di economia circolare, favorendo azioni quali upgrade, riparazioni, manutenzione, condivisione di prodotti e funzionalità con altri utenti;

• **Strumenti di misurazione della circolarità:** sistemi di valutazione delle performance sia a livello

di fabbrica che di filiera per monitorare e valutare il livello di implementazione dell'economia circolare e supportare le decisioni in questa direzione attraverso indicatori adeguati che permettano di superare i limiti dei sistemi attuali, integrando indicatori a livello macroeconomico (paesi, regioni), e indicatori a livello micro (prodotti, aziende).

Interazione con le altre linee di intervento

• LI6
Produzione evolutiva e resiliente.

• LI7
AI, Piattaforme digitali, Cyber security.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

• Strumenti di misurazione della circolarità.

• Soluzioni per supportare attivamente il consumo consapevole da parte degli utenti finali.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

• Modelli per la gestione di prodotti discreti in ottica di economia circolare.

• Modelli di gestione dei soggetti economici che operano la simbiosi industriale.





LI3: Valorizzazione delle persone nelle fabbriche

Descrizione Linea di Intervento

Nei prossimi anni è prevista una crescita esponenziale dei dispositivi IoT collegati, comprese le applicazioni di consumo, industriali e sanitarie con una previsione di mercato tra i \$ 4 e gli \$ 11 trilioni entro il 2025, di cui circa 1600 miliardi nel IoT Industriale (fonte McKinsey) rendendo le macchine sempre più pervasive, intelligenti, connesse, e dotate di forme di intelligenza distribuita che deve interfacciarsi con gli utilizzatori.

Ai cambiamenti tecnologici in corso si accompagna la necessità di definire dei percorsi di innovazione digitale che siano socialmente sostenibili che mettano la tecnologia a servizio dell'uomo (lavoratore, cittadino, studente, o altro) che quindi diventa il centro dello sviluppo delle società moderne.

Secondo uno studio del McKinsey Global Institute del 2018, nei contesti urbani la digitalizzazione ha contribuito ad aumentare dal 10% al 30% diversi indicatori di qualità della vita, in ambiti che spaziano dai Trasporti alla Sanità, dalla riduzione dell'inquinamento della produzione.

In particolare, secondo un recente studio di Microsoft/ IDC ci si aspetta che circa l'85% dei lavori si trasformi nei prossimi 3 anni, il 33% dei lavoratori dovrà partecipare ad attività di re-skilling, il 26% avrà nuovi ruoli, il 27% dei lavori sarà dato in outsourcing o automatizzato¹.

Anche le competenze quindi subiranno dei cambiamenti importanti, dal momento che, nella graduatoria delle skill necessarie per usare l'intelligenza artificiale, emerge la necessità di aumentare quelle tecniche, quelle cognitive, di processo e anche sociali e le nuove figure professionali del futuro includono tra le altre il data scientist, il data engineer, il data analyst e simili.

Uno dei passaggi chiave nel nuovo documento della commissione europea sull'Industria 5.0 riguarda infatti il ruolo centrale delle persone anche nei contesti industriali, la gestione delle informazioni, dei dati e della loro conoscenza.

L'industria 5.0 presenta infatti un modello di impresa caratterizzato dalla cooperazione tra macchine ed esseri umani, in cui è necessario ripensare e innovare i modelli e gli strumenti per la gestione delle informazioni, spesso non adeguati alla complessità degli attuali ambienti socio-tecnologici, e su cui invece l'evoluzione della tecnologia dell'informazione ha reso possibile nuovi sviluppi.

In questi nuovi scenari, il dibattito sul ruolo delle persone nelle fabbriche si sta arricchendo di nuovi spunti rendendo sempre più urgente studiare nuovi mo-

delli per mettere le persone nella condizione di svolgere meglio il proprio lavoro con un ruolo da protagonista nell'evoluzione dei processi produttivi, nell'introduzione di sistemi che sfruttino l'Intelligenza artificiale, tenendo conto del cambiamento e delle diversità delle capacità cognitive e fisiche dei lavoratori coinvolti.

L'introduzione dell'intelligenza artificiale e di tutte le tecnologie che saranno disponibili consentiranno di aumentare le capacità e le conoscenze del lavoratore, fornendo supporto fisico alle attività più pesanti e rischiose e supporto nelle attività decisionali.

Inoltre, la conoscenza generata durante l'attività lavorativa (in particolare la conoscenza tacita) deve essere mappata per essere riutilizzata nell'impresa in modo compatibile con le esigenze di privacy della fabbrica e delle persone.

Tutto questo richiede uno sforzo elevato sia dal punto di vista tecnologico che organizzativo.

Inoltre la continua introduzione di nuove tecnologie e di nuove pratiche di gestione crea la necessità di nuove abilità e conoscenze che dovranno essere considerate sia nei programmi di formazione delle persone per il loro facile inserimento nel mondo del lavoro, sia nei programmi di aggiornamento continuo di quelle già presenti.

L'obiettivo di questa linea di intervento è la progettazione e lo sviluppo di nuove soluzioni che permettano di valorizzare le persone e le loro competenze e contribuire alla loro soddisfazione e benessere.

Le fabbriche innovative dovranno essere sempre più inclusive, fortemente orientate al coinvolgimento e alla partecipazione delle persone (utenti, operatori, manager).

Tali modelli devono avere la persona come elemento centrale che guida e controlla le tecnologie e in generale tutte le dimensioni attraverso cui è definita la nuova fabbrica.

Tra le sfide più rilevanti vi è sicuramente la creazione di luoghi di lavoro sicuri e confortevoli capaci di generare emozioni positive nelle persone coinvolte nella produzione, di postazioni che riducano lo sforzo fisico e cognitivo del lavoratore e consentano la sua conversione ad attività con un maggiore valore aggiunto.

Gli aspetti della progettazione degli spazi, delle postazioni di lavoro, delle nuove architetture di impianti, e dei nuovi modelli di interazione tra macchine e persone in modo sicuro diventeranno centrali nella nuova fabbrica.

Particolare attenzione verrà rivolta al miglioramento dell'interazione dell'uomo con l'ambiente in cui sono presenti diverse tecnologie/sistemi quali robot, macchinari, interfacce, sistemi di automazione.



Anche lo studio e la sperimentazione di nuovi tecnologie per la riduzione dello sforzo fisico può essere guidato dallo sfruttamento delle potenzialità date dai dispositivi indossabili ed esoscheletri mentre lo sforzo cognitivo potrebbe essere supporto fornendo informazioni semplici e intellegibili, profilate secondo i bisogni del lavoratore.

Allo stesso modo, il ruolo del lavoratore sta passando da attività ripetitive tradizionali ad attività di livello più alto attraverso la cooperazione con sistemi di supporto avanzati, con robot collaborativi e con tecnologie basate su AI.

L'obiettivo sarà quello da un lato di fornire tutti gli strumenti di supporto fisici e cognitivi affinché aumentino le capacità e le conoscenze del lavoratore, dall'altro di generare nuove procedure e strumenti per la formazione affinché il lavoratore sia in grado di mantenersi aggiornato e al passo con i cambiamenti dei processi produttivi.

Infine la conoscenza generata nell'attività lavorativa, e in particolare quella tacita, verrà mappata e riutilizzata nell'impresa in modo compatibile con le esigenze della privacy delle persone, portando vantaggi sia al livello del benessere delle persone siano esse utenti, operatori, manager, sia a livello di politiche e procedure aziendali.

Impatto atteso della linea di intervento: aumentare la sicurezza e il benessere nei posti di lavoro; riduzione dello stress psico-fisico; accrescere le opportunità di qualificazione del lavoro e consentire la valorizzazione dei lavoratori, evitando di provocare processi di esclusione e dequalificazione; migliorare la trasparenza degli algoritmi che regolano l'attività delle piattaforme digitali; migliorare la capacità delle aziende e dei lavoratori di sfruttare i vantaggi della economia dei dati per garantire, nel rispetto dei vincoli etico-legali e delle libertà individuali, il conseguimento di obiettivi collettivi in termini di salute e benessere del lavoratore all'interno della fabbrica.

1 Microsoft. (2018). Brave New World – How AI Will Impact Work and Jobs. Retrieved from <https://news.microsoft.com/en-hk/2018/05/02/brave-new-world-how-ai-will-impact-work-and-jobs/>

2 Deloitte (2018). Global Human Capital Trends. Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/human-capital-trends/2018.html>

Impatto atteso della linea di intervento

Aumentare la sicurezza e il benessere nei posti di lavoro; riduzione dello stress psico-fisico; accrescere le opportunità di qualificazione del lavoro e consentire la valorizzazione dei lavoratori, evitando di provocare processi di esclusione e dequalificazione; migliorare la trasparenza degli algoritmi che regolano l'attività delle piattaforme digitali; migliorare la capacità delle aziende e dei lavoratori di sfruttare i vantaggi della economia dei dati per garantire, nel rispetto dei vincoli etico-legali e delle libertà individuali, il conseguimento di obiettivi collettivi in termini di salute e benessere del lavoratore all'interno della fabbrica.

Lista prioritaria di ricerca e innovazione

• PRI3.1 TMECO

Nuove Tecnologie, Metodi e Strumenti per l'ottimizzazione dell'ambiente di lavoro, delle interazioni uomo-macchina e del carico cognitivo della Persona.

• PRI3.2 TMCAP

Nuovi approcci alla gestione della Conoscenza, della Privacy e del Capitale Umano dell'Azienda.

• PRI3.3 TMCOMP

Nuove Tecnologie e Metodi per la formazione e la certificazione delle competenze e delle professionalità della persona e del capitale umano nell'era del Life Long Learning (LLL).



PRI3.1 TMECO

Nuove Tecnologie, Metodi e Strumenti per l'ottimizzazione dell'ambiente di lavoro, delle interazioni uomo-macchina e del carico cognitivo della Persona



Le persone hanno un ruolo centrale non solo nella progettazione della fabbrica intelligente, ma anche e soprattutto nel generare la flessibilità e la “resilienza” della fabbrica, che ne determina la sua capacità di adattarsi a contesti nuovi e non facilmente prevedibili, e di riconfigurarsi con velocità ed agilità a nuove modalità di lavoro e a nuovi modelli produttivi.

Questa priorità di ricerca propone la progettazione di nuove tecnologie e metodi per la gestione delle risorse umane come elemento centrale nel nuovo concetto di “fabbrica resiliente”.

In particolare, la priorità propone degli obiettivi connessi con l'ergonomia, l'interazione uomo-macchina e il carico cognitivo della persona, promuovendo nuovi modi di lavorare e comunicare (dal lavoro remoto alla collaborazione con i sistemi di automazione, alla gestione di re-purposing produttivi).

Si propone lo sviluppo di metodi, dispositivi e sistemi che supportino gli operatori nel loro lavoro, aumentando le loro capacità fisiche e cognitive, migliorando la qualità del lavoro ed incrementando la produttività riducendo i margini di errore, contribuendo allo stesso tempo al benessere generale del lavoratore.

Come risultato, si incrementeranno sicurezza e benessere sul posto di lavoro agendo su numerosi fattori: adeguata riprogettazione della tipologia e sequenza delle attività nel turno di lavoro, migliore organizzazione degli ambienti, modalità di visualizzazione delle informazioni ottimizzata in base ai bisogni e alle attività, interazioni uomo-macchina naturali ed intuitive).

Questo porterà alla riduzione dello stress psico-fisico, per evitare fatica mentale e psicologica, ansia e sovraccarico.

Uno dei temi fondamentali per il futuro sarà quello di garantire una continua e rapida evoluzione dei sistemi produttivi in modo da cogliere le nuove opportunità e fare fronte ai continui cambiamenti (si veda a tal proposito la sezione relativa agli scenari di questo documento).

Come già evidenziato, l'uomo è al centro di questa continua riprogettazione in quanto sono richieste doti di analisi definizione degli obiettivi ideazione di soluzioni e pianificazione dei percorsi per raggiungere i risultati desiderati.

Questo avviene a tutti i livelli dal miglioramento locale della singola stazione di lavoro per aumentarne l'efficienza e rispondere alle nuove necessità in termini di prodotto e materiali e per cogliere le nuove opportunità in termini di utensili, sensoristica fino allo stabilimento, alla network di stabilimenti alle supply chain e all'interazione con i mercati.

Questo cambiamento per essere efficace deve essere quindi pervasivo e vede uno sforzo congiunto di tutte le persone che ai diversi livelli partecipano all'evoluzione.

La capacità di gestire questa evoluzione più che l'ottimizzazione delle singole situazioni sarà con ogni probabilità la vera leva competitiva in un contesto di rapidi e profondi cambiamenti quale quello attuale.

La persona risulta quindi la risorsa centrale in grado di

usare la sua intelligenza e dedizione per garantire elevate performance e competitività alle imprese.

In quest'ottica è anche importante sottolineare come le persone debbano poter essere in grado di dominare i cambiamenti e quindi l'evoluzione rapida e continua dei prodotti delle tecnologie e dei sistemi produttivi debba essere posta in parallelo ad una continua evoluzione mirata delle conoscenze e delle competenze delle persone che ai diversi livelli cooperano per gestire il cambiamento.

In particolare gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano:

• **Nuovi materiali e strumenti per l'ergonomia e la sicurezza di postazioni di lavoro:** sviluppo di DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) attivi e passivi che comprendono materiali ad alta capacità di assorbimento di energia termica e meccanica, dispositivi per la sicurezza, sensori indossabili, abiti di lavoro intelligenti, supporto ai lavoratori in task ripetitivi, esoscheletri intelligenti per la sicurezza del lavoratore, digitalizzazione del lavoratore e dell'ambiente di lavoro per progettare le sue operazioni in ottica human-centered e agevolare task complessi.

• **Nuove tecnologie per la personalizzazione degli ambienti di lavoro:** soluzioni intelligenti in grado di adattare le postazioni di lavoro alle specifiche capacità e abilità fisiche e cognitive del singolo lavoratore, considerandone ruolo, mansioni, abilità ed esigenze, soluzioni intelligenti per il riconoscimento dell'operatore, sistemi in grado di riconfigurare gli ambienti in modo intelligente in base alle condizioni di lavoro.

• **Metodologie e tecnologie per la gestione dell'interazione uomo-macchina:** modelli di interazione naturale ed intuitiva, nuovi paradigmi di interazione uomo-macchina, nuovi metodi e strumenti per l'analisi dell'interazione all'interno di ambienti di lavoro, nuovi modelli di cooperazione e collaborazione uomo-robot, linguaggi naturali di comunicazione, interfacce intelligenti e adattive, naturali e trasparenti, anche di tipo ambientale, indossabile, multi-modale (quali per esempio interfacce immersive con realtà virtuale e aumentata e Interfacce computer-cervello).

• **Metodologie e tecnologie per l'ottimizzazione del carico cognitivo:** modelli per la progettazione degli ambienti di lavoro e delle interfacce avanzati in grado di fornire supporto al controllo e al decision-making, approcci strutturati per la misurazione dello stress mentale in ambito industriale, sistemi intelligenti (basati su metodologie quali Deep Learning, Digital Twin, Artificial Intelligence, reti GANs) in grado di ottimizzare il carico mentale, evitando sovraccarico e sottocarico.

• **Strumenti a supporto dell'adattamento al cambiamento continuo dei processi produttivi:** sistemi intelligenti in grado di predire le azioni da parte dell'operatore e offrire supporto in linea basati su realtà virtuale e aumentata (quali ad esempio operazioni da effettuare, procedure da seguire, tracciamento delle attività), sistemi di Virtual Training e strumenti di Realtà Virtuale immersiva, aumentata o mista a supporto della sicurezza del personale contribuendone alla formazione a distanza in situazioni di rischio.

Interazione con le altre linee di intervento

- LI5
Collaborazione e integrazione tra uomo e macchina nei processi produttivi innovativi aumenteranno le capacità umane anziché sostituirlle, consentendo agli esseri umani di concentrarsi su attività a maggior valore aggiunto, creative e socialmente rilevanti.

- LI6
L'interazione uomo-macchina sarà studiata al fine di fornire linee guida per la progettazione di sistemi collaborativi uomo-robot all'interno di sistemi di produzione evolutivi e resilienti in cui valorizzare il lavoro delle persone, facendo tesoro dell'esperienza dei lavoratori.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Materiali e strumenti per l'ergonomia e la sicurezza di postazioni di lavoro.
- Modelli per la gestione dell'interazione uomo-macchina al fine di valorizzare il lavoro delle persone nella fabbrica.
- Modelli progettazione degli ambienti di lavoro e delle interfacce avanzati in grado di fornire supporto al controllo e al decision-making.
- Modelli digitali del lavoratore per progettare le sue operazioni e progettare i mezzi per agevolare task complessi.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Tecnologie per la personalizzazione degli ambienti di lavoro.
- Soluzioni intelligenti in grado di adattare le macchine agli operatori, rilevare la presenza di DPI e controllare in tempo reale l'esecuzione di procedure corrette.
- Tecnologie per la gestione dell'interazione uomo-macchina.
- Tecnologie per l'ottimizzazione del carico cognitivo.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Strumenti a supporto dell'adattamento al cambiamento continuo dei processi produttivi (sistemi intelligenti in grado di predire le azioni da parte dell'operatore e offrire supporto in linea, sistemi di Virtual Training avanzati per preparare gli operatori al cambiamento).

PRI3.2 TMCAP

Nuovi approcci alla gestione della Conoscenza, della Privacy e del Capitale Umano dell'Azienda

Nel generare innovazione e gestire la produzione giocano un ruolo fondamentale la conoscenza, la creatività, la capacità di rispondere agli imprevisti propria dell'essere umano.

Per rimanere competitivi è necessario prendere coscienza di questi aspetti e valorizzare la componente umana e la sua continua crescita.

Inoltre, diventando le macchine sempre più intelligenti e connesse (Smart Machines), nuovi modelli di business porteranno, anche nel manifatturiero, da un'economia di prodotto a una economia di prodotti-servizi (Servitizzazione) basata anche sulla prognostica e la configurazione da remoto dei nuovi "prodotti connessi".



Anche in questi casi diventa sempre più importante la conoscenza che grazie ai nuovi strumenti può agire a distanza.

Inoltre, i modelli produttivi che stanno emergendo prevedono l'introduzione pervasiva di strumenti basati su Intelligenza Artificiale che comporta la realizzazione di macchine intelligenti che collaborano con le persone, di strumenti di gestione della conoscenza e supporto alle decisioni.

In questo scenario per mantenere centrale il ruolo e le competenze delle persone si richiede che venga promossa la fiducia (Trustworthiness) e la spiegabilità (Explainability) delle metodologie di AI usate, affinché i sistemi basati su AI aderiscano a principi etici di rispetto dell'uomo, prevenzione di danni, equità ed esplicabilità.

La priorità di ricerca e innovazione dovrà quindi indirizzare i seguenti obiettivi:

- **Metodologie per la gestione informazioni, della privacy delle persone e della fabbrica:** definire regole e metodologie per raccogliere, gestire, armonizzare e condividere informazioni dai lavoratori e verso i lavoratori, che garantiscano acquisizione e utilizzo appropriato dei dati, dando rilevanza agli aspetti di Privacy e Security per quanto riguarda i dati sensibili.

Quest'area include: tematiche di sicurezza delle macchine a livello informativo (Cyber Security), l'anonimizzazione dei dati sia a livello di data generation che di data processing, la certificazione del dato dalla sua generazione durante i processi di gestione e analisi.

Molto importante anche il tema dell'autosovranità decisionale sull'identità digitale del lavoratore (Self Sovereign Identity).

- **Tecnologie e metodologie per la gestione della Conoscenza dell'impresa:** è necessario sviluppare nuovi strumenti per la raccolta, integrazione e armonizzazione della conoscenza, proveniente da persone e dalle basi informative, per fare in modo che questa conoscenza possa essere riutilizzata e valorizzata.

In particolare, è necessario rendere i dati accessibili, disponibili e facilmente integrabili attraverso nuove metodologie di supporto all'analisi dei dati e la predizione di eventi.

Inoltre è necessario considerare sistemi per la gestione delle informazioni utili allo svolgimento delle attività produttive e dei processi decisionali di cui il lavoratore si deve far carico.

Una conoscenza strutturata e condivisa aiuterà quindi i lavoratori ad essere più produttivi, mettendo a loro disposizione esperienze condivise per trovare la soluzione dei problemi con sforzi, tempi e costi minori, contribuendo in questo modo alla loro crescita e formazione sul campo.

In particolare questo obiettivo necessita di interventi lungo tre direzioni:

- **Estrapolazione della conoscenza (Knowledge capture):** Definire metodologie e tecnologie di "Human Computation" per trasformare la conoscenza da tacita a

esplicita con il coinvolgimento attivo delle persone in un processo di elaborazione dell'informazione, rimettendo l'utente al centro (human-in-the-loop) per raccogliere, migliorare e preservare la qualità e l'affidabilità della conoscenza stessa.

Questo permetterà di creare e valorizzare un asset vivo dell'azienda capace di generare sistemi fruibili dai lavoratori stessi per la loro crescita, favorendo un naturale passaggio da una visione comportamentale sugli skill (behaviourism) a una prospettiva cognitivista sulle competenze ("cognitivism"); inoltre, i sistemi di knowledge capture consentiranno, tramite appropriati sistemi di misurazione, di valorizzare gli asset intangibili per tenerne conto nei bilanci aziendali.

- **Gestione e analisi della conoscenza (Knowledge Analysis & management):** sviluppare una nuova generazione di metodologie e strumenti applicativi in grado di combinare l'analisi della conoscenza, estratta e strutturata, e la gestione dell'informazione stessa, sia umana che disponibile tramite interfacce macchina, per supportare al meglio le attività umane nelle loro operazioni e nei processi decisionali, mediante la definizione di modelli concettuali di riferimento, la condisione e la governance di asset secondo i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

In questo processo è fondamentale che la conoscenza formalizzata sia espressa in formati comprensibili agli operatori in modo che sulla base della conoscenza disponibile sia possibile sviluppare continuamente nuova conoscenza e l'operatore mantenga il controllo dell'evoluzione.

- **Trasferimento e condivisione della conoscenza (Knowledge transfer):** la conoscenza, diventata asset aziendale, potrà essere condivisa, sfruttata e preservata all'interno dell'azienda, consentendo il trasferimento rapido di informazioni e dati da e verso le persone e la fabbrica e le unità di produzione, al fine di creare valore per i lavoratori stessi, per esempio su tematiche di re-skilling e coaching da parte di persone esperte per l'inserimento di nuove risorse e per il supporto sul campo.

Sono necessari meccanismi di Knowledge Transfer Uomo-Macchina (Artificial Neural Networks, ANNs) e i robot collaborativi (Cobots) che dovranno operare tenendo conto dei comportamenti umani, usando intelligenze artificiali basate su Explainable & Trustworthy AI. Come risultato, dovranno quindi prendersi in carico attività a poco valore aggiunto, agevolare i lavoratori nelle loro azioni quotidiane e supportarli nelle decisioni, al fine di fornire i necessari elementi decisionali, mettendo il "fattore umano" al centro del processo di decision making.

- **Sistemi per la gestione della proprietà della conoscenza (Knowledge IP):** è fondamentale definire metodi, architetture, linee guida e strumenti applicativi per garantire che la proprietà della conoscenza sia disponibile e rispettata, sia come asset aziendale che della persona stessa, in una logica di trust e valorizzazione delle idee, di chi le genera e di chi fornisce gli strumenti per generarle.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI6**
I temi della digitalizzazione / digital twin saranno utili per la definizione di strumenti per la condivisione e gestione della conoscenza all'interno della fabbrica digitale.
- **LI7**
Le problematiche di protezione dei dati e di privacy del lavoratore verranno affrontate in stretta relazione con quanto portato avanti nella priorità della LI7 sulla cyber security.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- **Conoscenza:** è di vitale importanza la digitalizzazione dell'esperienza delle persone e dei tecnici (mappatura competenze e digitalizzazione delle loro competenze per creare valore all'azienda).

Questo permetterà di creare un sapere condiviso alla base per re-skilling e per l'inserimento rapido di nuove risorse.

Ad ora queste tematiche sono ritenute interessanti dalle aziende, ci sono alcune iniziative in corso, ma non ci sono soluzioni disponibili e strutturate.

Per questo motivo, gli obiettivi di quest'area sono stati definiti di breve periodo, 2-3 anni, per sensibilizzare e iniziare a creare soluzioni per indirizzare queste esigenze.

Soluzioni più complesse, basate per esempio su Explainable e Trustworthy AI, dovranno partire subito per non rischiare di essere meno competitivi rispetto ad altri mercati ma richiederanno azioni di medio-lungo periodo per essere pienamente integrati (1-5 anni).

- **Informazioni & Privacy:** il tema della privacy dei dati e della loro sicurezza e delle Self Sovereign Identity è sicuramente un tema di grande interesse per le aziende e i lavoratori stessi, e dovrà essere indirizzato nel breve termine.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- **Interazioni Avanzate :** La definizione e sviluppo di tecnologie IoT, AR e smart wearable, per il monitoraggio e supporto ai lavoratori, sono indirizzabili con azioni nel breve-medio termine.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- **Interazioni Avanzate:** Il tema delle interfacce naturali, multi-modalità, capaci di permettere l'interazione intelligente e auto-adattativa con l'ambiente industriale e i robot, e la convergenza di sistemi di AI, CBI e Esoscheletri è da ritenersi invece indirizzabile sul medio-lungo periodo, data la complessità di contesto.

PRI3.3 TMCOMP

Nuove Tecnologie e Metodi per la formazione e la certificazione delle competenze e delle professionalità della persona e del capitale umano nell'era del Life Long Learning (LLL)

La continua introduzione di nuove tecnologie e di nuove pratiche di gestione nelle imprese sta generando una distonia tra la domanda di nuove figure professionali, le conoscenze e le capacità delle persone all'interno delle imprese o in cerca di occupazione e presenti sul mercato del lavoro.

La differenza tra domanda e offerta, per la sola Italia, ammonta a più di 150.000 posizioni disponibili all'interno delle imprese che non trovano riscontro sul mercato (dati 2019).

Inoltre, le conoscenze acquisite dall'attuale forza



Formazione competenze e professionalità



lavoro durante il proprio percorso educativo diventano obsolete velocemente e richiedono un continuo aggiornamento per garantire la creazione di valore aggiunto per l'impresa.

Pertanto si è manifestata la necessità di nuove abilità e conoscenze che dovranno essere considerate sia nei programmi di formazione delle persone per il loro inserimento nel mondo del lavoro, sia nei programmi di aggiornamento di quelle già presenti.

Dal punto di vista dell'impresa, diventa essenziale comprendere le capacità e le competenze della forza lavoro, per capire proattivamente l'impatto derivante dall'introduzione di una nuova tecnologia, i tempi per poterla pienamente utilizzare come valore aggiunto e le modalità formative di maggior efficacia.

Dal punto di vista della persona, è necessario avere a disposizione strumenti e ambienti (virtuali e fisici) per poter essere aggiornati continuamente sulle proprie competenze, con la certificazione delle capacità e conoscenze acquisite, in ottica di Life Long Learning (LLL), utilizzando nuovi frame pedagogici per aumentare l'attrattività del mondo manifatturiero e l'efficacia della formazione.

Servono inoltre nuovi strumenti per rendere disponibili funzioni di supporto all'utente, gestire la conoscenza e la formazione per classi di utenti quali i giovani e le persone con più esperienza, per sviluppare/incrementare competenze di alto profilo nel settore manifatturiero.

Infine risulta fondamentale sviluppare strumenti per la valutazione delle attività svolte e la verifica delle competenze e delle abilità acquisite per validare dal punto di vista aziendale le nuove strategie e tecnologie introdotte, per verificare gli effetti della formazione, e per fornire strumenti oggettivi per la certificazione delle competenze e abilità acquisite nell'arco dell'attività lavorativa.

La priorità di ricerca e innovazione dovrà quindi indirizzare i seguenti obiettivi:

- **Nuovi metodi e strumenti per la formazione attiva:** la disponibilità di nuovi strumenti hardware quali smartphone, tablet, smart glasses, legata alla disponibilità a breve di protocolli con enormi bitrate (5G) e l'utilizzo di strumenti software come social media e APP consente l'interazione con digital twin di macchinari, linee ed ambienti di produzione.

E' quindi necessario potenziare gli strumenti MOOC (Massive Open Online Course) e quelli esperienziali quali la Realtà Mista, Aumentata e Virtuale, accompagnati da metodologie innovative e nuovi modelli educativi quali i serious games, per abilitare ulteriormente la formazione sia in presenza che a distanza.

- **Ambienti fisici per la formazione e l'addestramento delle persone:** sviluppo di ambienti fisici "protetti" per la formazione e addestramento delle persone su nuove tecnologie e ambienti di lavoro quali linee pilota e dimostrative (Teaching & Learning Factories), utilizzabili anche a distanza.

Tali ambienti dovrebbero facilitare la formazione nella

produzione a valore aggiunto, fornendo così ai lavoratori competenze interdisciplinari, preparandoli a integrare nuove tecnologie e dando loro la capacità di combinare la conoscenza.

L'obiettivo è progettare e pianificare corsi di formazione "hands on", in cui i lavoratori possono sperimentare direttamente le tecnologie, in modo da garantire un immediato ritorno e applicabilità nelle fabbriche.

- **Metodologie e strumenti per la valutazione delle competenze e delle abilità acquisite:** sviluppo di sistemi automatici per la valutazione del raggiungimento delle capacità operative richieste per lo svolgimento dei diversi compiti assegnati.

Metodi e strumenti per la verifica dell'impatto della formazione e addestramento in termini di miglioramento ed incremento di efficienza di sistemi produttivi.

- **Metodologie e strumenti per progettare i percorsi di crescita del personale:** sviluppo di sistemi che consentano di progettare l'evoluzione dei prodotti dei processi e dei sistemi produttivi in parallelo alla progettazione dello sviluppo e acquisizione di competenze da parte del personale.

Questo comporta anche la possibilità di adottare modelli di pianificazione di miglioramento delle conoscenze e competenze sulla base dello scambio di conoscenza tra operatori con diversa esperienza e consentano di tenere conto delle tempistiche di evoluzione delle conoscenze raccordandole con le tempistiche di evoluzione dei sistemi.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI6**
I temi della digitalizzazione / digital twin saranno utili per la definizione di strumenti per la formazione degli studenti e la formazione dei job seekers e dei lavoratori.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Nuovi metodi e strumenti del tipo serious game per la formazione attiva.

- Ambienti fisici per la formazione e l'addestramento delle persone.

- Metodologie e strumenti per progettare i percorsi di crescita del personale.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Nuovi metodi e strumenti per la formazione attiva basata su realtà virtuale, approcci multisensoriali.

- Metodologie e strumenti per la valutazione delle competenze e delle abilità acquisite.



LI4: Alta efficienza e zero-defect

Descrizione Linea di Intervento

L'efficienza è intesa come la capacità di ridurre lo sforzo associato al raggiungimento di un obiettivo, ottimizzando l'uso di risorse, materiali, tempo. Contemporaneamente, anche la qualità gioca un ruolo significativo nell'efficienza per ottenere risultati attesi evitando rilavorazioni e scarti di prodotti e materiali. Tuttavia, l'efficienza è anche un abilitatore della competitività di un'azienda dal momento che la capacità di lavorare in modo efficiente in condizioni complesse e variabili è alla base della capacità di operare in aree più esigenti e competitive, ad esempio la personalizzazione dei prodotti, l'adozione di nuove tecnologie, l'abilitazione delle attività di re-manufacturing. Infine, la crescente complessità dei sistemi di produzione richiede anche un uso efficiente delle risorse in modo più generalizzato.

In questa prospettiva, l'uso efficiente dei macchinari e delle attrezzature disponibili, la capacità di sfruttare la conoscenza disponibile e di trarre vantaggio da strumenti digitali avanzati e dall'intelligenza artificiale sono aspetti di cui tener conto per i sistemi di produzione di prossima generazione. Gli obiettivi di questa linea di intervento possono essere classificati in tre gruppi:

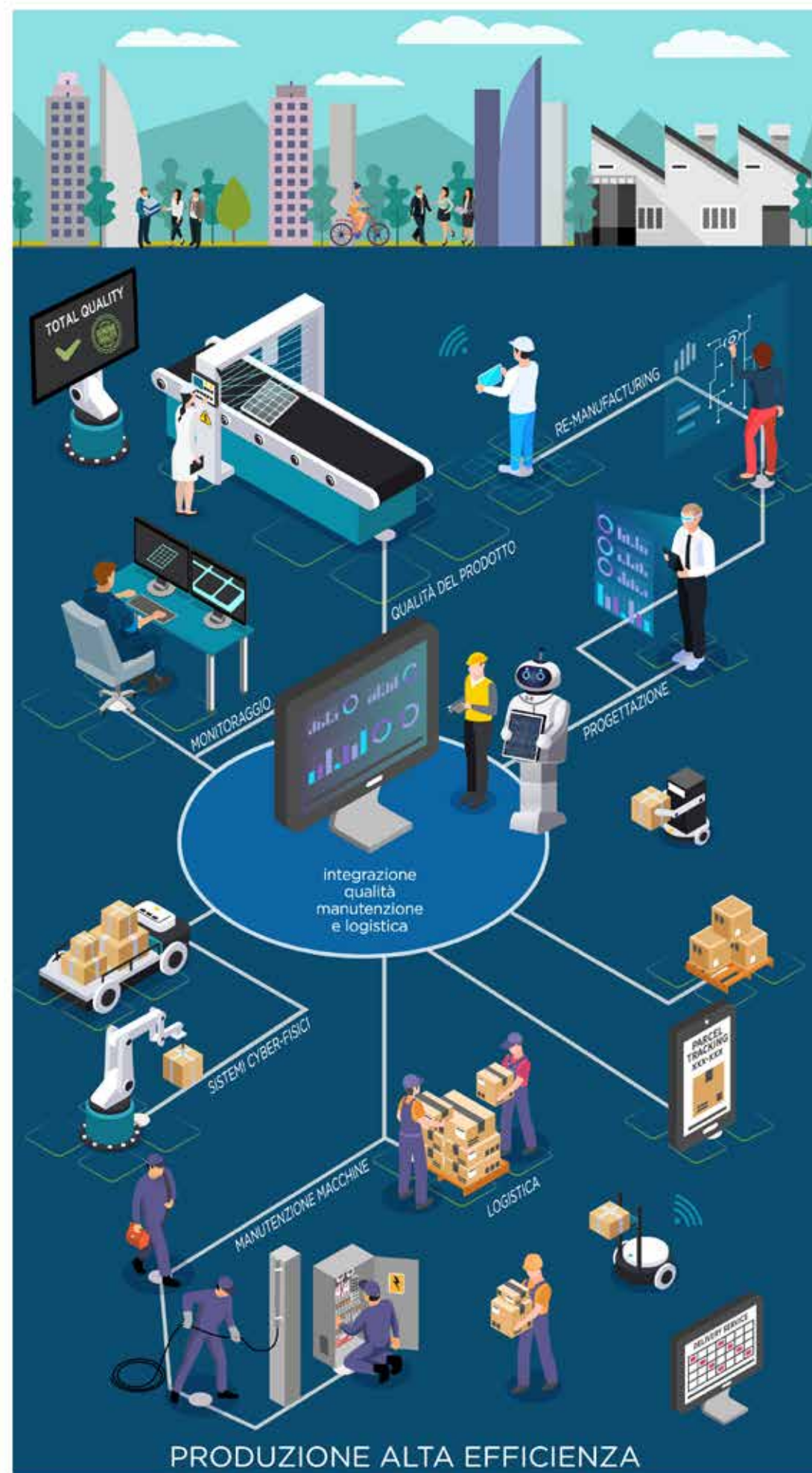
- **Zero difetti.** L'efficienza è considerata in termini di riduzione delle non conformità e del loro impatto sul rendimento del sistema di produzione e prende in considerazione il monitoraggio dei processi nelle loro diverse fasi, la gestione della qualità, la manutenzione e la logistica interna di un sistema produttivo, l'aggiornamento e il miglioramento della capacità delle attrezzature e dei beni industriali.

- **Robustezza/flessibilità.** L'efficienza è considerata in termini di capacità di operare in presenza di disturbi. In particolare, la variabilità dei materiali e dei pezzi in entrata e le caratteristiche specifiche del materiale (quali per esempio anisotropia o bassa rigidità) sono aspetti particolarmente importanti per diversi tipi di applicazioni come per esempio nell'economia circolare che richiede processi di rilavorazione e/o riparazione. Inoltre, l'ampliamento del campo d'azione delle attrezzature è affrontato anche attraverso la possibilità di operare con più tecnologie allo stesso tempo e di usare i robot per una gamma più ampia di applicazioni.

- **Sistemi intelligenti.** L'efficienza è considerata in termini di uso ottimizzato delle risorse disponibili (attrezzature, operatore umano, conoscenza). È necessario considerare approcci e metodologie per il controllo e la gestione dei sistemi di produzione attraverso modelli (quali CPS e modelli empirici) e approcci che sfruttino l'intelligenza artificiale per supportare una collaborazione efficiente tra operatori umani e strumenti automatici nonché per il consolidamento della conoscenza.

Lista prioritaria' di ricerca e innovazione

- PRI4.1 MCAPP
Monitoraggio e controllo avanzato dei processi di produzione (zero difetti).
- PRI4.2 GIQUMML
Approcci per la gestione integrata di qualità/manutenzione/logistica (zero difetti).
- PRI4.3 ARVBS
Aggiornamento, retrofitting e valorizzazione dei beni strumentali (zero difetti).
- PRI4.4 AERRM
Alta efficienza per la riparazione/re-manufacturing (robustezza/flessibilità).
- PIR4.5 MPROBOT
Modellazione e pianificazione avanzata di robot industriali (robustezza/flessibilità).
- PRI4.6 CPS4FI
Sistemi cyber-fisici (CPS) per la fabbrica intelligente (sistemi intelligenti).
- PRI4.7 AI4HMI
Intelligenza umana-artificiale a supporto del consolidamento della conoscenza e della cooperazione uomo-macchina nei sistemi di produzione ad alta efficienza (sistemi intelligenti).
- PRI4.8 PP&SA
Pianificazione della produzione e scheduling avanzati (sistemi intelligenti).



PRI4.1 MCAPP

Monitoraggio e controllo avanzato dei processi di produzione

Il monitoraggio e il controllo dei processi aiutano ad aumentare la loro efficienza e tutti gli elementi dell'Overall Equipment Efficiency (OEE) - cioè Disponibilità, Prestazioni e Qualità - richiedono una misurazione accurata e precisa al fine di:

- Raggiungere una comprensione dettagliata delle relazioni causa-effetto e permettere l'implementazione di tecniche avanzate di controllo ad anello chiuso.

- Migliorare le procedure di progettazione, esecuzione e manutenzione degli asset sia fisici (a livello di macchina) sia virtuali (a livello di organizzazioni).

Inoltre, lo sfruttamento dei sistemi di sensorizzazione in combinazione con modi standardizzati per la raccolta, il filtraggio e l'archiviazione dei dati, fornirà una fonte di dati senza precedenti per comprendere fenomeni e scenari di produzione complessi.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione dovrebbero concentrarsi sui seguenti aspetti:

- Migliorare la gestione dei dati attraverso l'adozione di ontologie standard, protocolli di comunicazione e software aperti facilmente riutilizzabili.

- Migliorare HMI e UI con tecniche di visualizzazione dell'aggregazione dei dati multidimensionali per consentire all'utente di affrontare la maggiore complessità della realtà sotto controllo.

- Esplorare meccanismi alternativi di UI basati su dispositivi indossabili e interfacce multisensoriali (tecniche visive, audio, tattili e AR/VR).

- Sviluppare un sistema di controllo basato su Digital Twin, basato sulla simulazione real time del comportamento.

Gli impatti attesi dall'introduzione di soluzioni avanzate di monitoraggio e controllo permetteranno al settore industriale di migliorare l'efficienza dei processi in tutte e tre le prospettive:

- La disponibilità delle linee di produzione sarà aumentata grazie al rilevamento precoce di potenziali guasti e introducendo la manutenzione predittiva e una migliore pianificazione delle operazioni di manutenzione.

- Performance: il processo potrebbe essere ridotto o auto-adattato in tempo reale alle esigenze di produzione e i dati potrebbero aiutare a capire le cause dietro le perdite di velocità e i micro-arresti.

- Qualità: i dati dei sensori e le tecniche di adattamento aiuteranno a ridurre la variabilità del processo e a fornire modi per il rilevamento precoce e la correzione delle deviazioni.

L'integrazione dei parametri di processo e di prodotto permetterà un approccio olistico all'ottimizzazione del processo di produzione, permettendo anche la riduzione dei rifiuti, una produzione più efficiente dal punto di vista energetico e minori emissioni di CO2.

Interazione con le altre linee di intervento

- LI1
Integrazione dello studio di sistemi di programmazione efficiente per migliorare la disponibilità di macchine utensili intelligenti per la personalizzazione dei prodotti.

- LI2
Integrazione del controllo avanzato delle macchine utensili per migliorare l'efficienza e ridurre gli sprechi e il consumo di energia.

- LI3
Le nuove funzioni avanzate delle macchine utensili rivoluzioneranno l'interazione uomo-macchina e spingeranno verso operatori con competenze avanzate e capacità analitiche.

- LI5
Nuovi sistemi avanzati di monitoraggio e controllo saranno particolarmente vantaggiosi per i processi produttivi innovativi come la produzione additiva e la produzione ibrida. Macchine più complesse avranno costi più elevati, e un sistema di controllo efficace è necessario per evitare problemi e aumentare l'efficienza.

- LI6
Le metodologie di controllo più avanzate saranno possibili solo implementando tecniche di apprendimento automatico e componenti e sensori intelligenti.

- LI7
Le nuove capacità delle macchine utensili avranno sicuramente un impatto sulla gestione, sull'organizzazione della produzione e sulla supply chain.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Ontologie standard e protocolli di comunicazione.

- Sviluppo di requisiti e regolamenti di base per consentire lo sviluppo di gemelli digitali - modelli geometrici 3D dei componenti della macchina, modelli matematici per la movimentazione.

- Tecniche standard di controllo adattivo basate su sensori di processo (potenza, temperatura, forza, vibrazioni).

- Innovazione dell'HMI introducendo la realtà virtuale e le funzioni base di analisi dei segnali.

- Sviluppo di standard per la realizzazione di digital shadows.

- Monitoraggio off-line di macchine utensili con semplici regolazioni dei parametri di processo (override).

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

- Introduzione di funzioni di auto programmazione e di tecniche di controllo adattativo più avanzate basate sull'osservazione indiretta delle grandezze di processo mediante modelli matematici.

- Innovazione delle HMI introducendo funzioni di analisi statistica.

- Sviluppo di standard per l'integrazione di gemelli digitali cloud nel processo di produzione.

- Controllo completo off-line delle macchine utensili, compreso il carico e lo scarico.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

- Sviluppo di standard per l'integrazione della logica di controllo avanzata in sistemi complessi e linee di produzione.

- Funzioni avanzate di analisi dei dati dei sensori in combinazione con la simulazione.

- Sviluppo di standard per l'integrazione di gemelli digitali nel ciclo di controllo critico (edge).

PRI4.2 GIQUML

Approcci per la gestione integrata di qualità/manutenzione/logistica

Gli strumenti digitali, insieme alla conoscenza formalizzata ed ai dati, offrono la possibilità di implementare approcci complessi per la gestione della qualità, in grado di prendere in considerazione l'ampia gamma di fattori che influenzano la qualità dei prodotti, oltre a migliorare l'efficienza del sistema di produzione nel suo complesso.

Questi fattori includono: il controllo dei processi di produzione, la gestione e la fornitura di materiali e componenti, la manutenzione dei beni di produzione e le loro prestazioni aggiornate, la logistica dell'intero sistema e l'interconnessione dei diversi aspetti ed attori al fine di determinarne le prestazioni.

Basandosi su conoscenza, dati e sfruttando modelli integrati che considerino fattori relativi a qualità, logistica e manutenzione, il focus di questa priorità di ricerca e innovazione è relativo a metodologie e approcci volti a migliorare l'efficienza complessiva dei sistemi di produzione, in termini di produttività, caratteristiche qualitative dei prodotti, utilizzo delle risorse e politiche di manutenzione.

Gli approcci presi in considerazione dovranno essere in grado di coprire una vasta gamma di prodotti, processi e risorse, ad esempio, prodotti di grandi dimensioni per i quali trasporto, ispezione e processamento comportano specifiche difficoltà.



Inoltre, è altresì necessario prendere in considerazione approcci robusti, in grado di considerare l'incertezza intrinseca dei sistemi di produzione reali, fornendo la capacità di adeguare le decisioni e la pianificazione al verificarsi di eventi inattesi, con l'obiettivo di mitigare l'impatto di tali eventi sulle prestazioni complessive del sistema.

I principali obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione coprono le seguenti aree:

- **Metodologie e strumenti per il controllo della qualità in prodotti complessi** (ad esempio per prodotti caratterizzati da grandi dimensioni, materiali multipli, o processi additivi) così come nella produzione in bassi volumi e/o piccoli lotti (prodotti personalizzati).

In questi casi, gli approcci tradizionali per il controllo e la gestione della qualità non sono in grado di fornire un'adeguata efficacia, creando la domanda per nuovi approcci avanzati.

Le attività di ricerca affronteranno in particolare l'uso di modelli cyber-fisici per prodotti e processi, approcci adattativi, intelligenza artificiale e apprendimento automatico, apprendimento supervisionato e non supervisionato, formalizzazione e strutturazione della conoscenza degli operatori umani.

L'obiettivo generale è migliorare la capacità di identificare in anticipo le anomalie e implementare la possibilità di alimentare ed integrare questi approcci con la conoscenza ed i dati provenienti da modelli digitali dei sistemi di produzione (Digital Twin).

- **Modelli e approcci per la gestione integrata di qualità, manutenzione e logistica per l'intero sistema produttivo.**

Questi approcci dovranno essere in grado di definire e supportare decisioni complesse ed integrate in relazione a manutenzione, qualità e logistica, per esempio, pianificare la manutenzione delle risorse di produzione, definire e pianificare i controlli di qualità, attivare decisioni di miglioramento continuo, pianificare e programmare la produzione.

Una possibile classe di approcci in questo ambito è la manutenzione opportunistica, in grado di prendere in considerazione congiuntamente gli aspetti legati alla qualità (deviazioni dalle specifiche di prodotto/processo), la manutenzione e lo stato del sistema. L'obiettivo è ridurre l'impatto delle attività di manutenzione sulle prestazioni complessive del sistema.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI1**
La disponibilità di approcci integrati di qualità/manutenzione/logistica migliorerà la personalizzazione dei prodotti riducendo le inefficienze relative ai prodotti personalizzati.
- **LI2**
Integrazione per quanto riguarda il miglioramento dell'efficienza e la riduzione dei rifiuti e del consumo di energia.
- **LI7**
Lo sviluppo di questi approcci richiede una forte integrazione con la piattaforma digitale che opera nel sistema produttivo.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve-medio termine (2-6 anni):

- Modelli e approcci per la gestione integrata delle decisioni legate alla qualità, alla manutenzione e alla logistica considerando che una consistente quantità di risultati di ricerca parziali e prodotti embrionali sono già disponibili.

Obiettivi di lungo-termine (7-10 anni):

- Metodologie e strumenti per l'identificazione di problemi di qualità in prodotti complessi dal momento che il gap principale rispetto allo stato dell'arte è rappresentato dall'assenza di modelli standard di riferimento (ontologie, definizione di dati semantici) e un gap secondario basato sullo sviluppo di approcci di machine learning non presidiati applicati a sistemi complessi (CPSoS).

PRI4.3 ARVNS

Aggiornamento, retrofitting e valorizzazione dei beni strumentali

Una porzione consistente dei beni strumentali in esercizio nelle aziende manifatturiere (ad esempio macchine utensili e sistemi di assemblaggio) sono stati progettati in termini di una vita utile significativamente lunga, in molti casi dell'ordine di 20-30 anni.

Tuttavia, la recente evoluzione rapida e radicale dei sistemi di produzione ha accelerato l'obsolescenza di una vasta parte di beni strumentali, principalmente legata alla impossibilità di essere integrati nelle moderne infrastrutture IT di gestione e controllo, piuttosto che alla loro effettiva capacità di processo. Pertanto, il retrofit e l'aggiornamento, finalizzati all'integrazione di moderne funzionalità digitali in beni strumentali in esercizio ma datati, sono estremamente rilevanti, costituendo un approccio sostenibile, valido ed efficace per la gestione e l'aggiornamento dei beni strumentali industriali in termini di tecnologie I4.0.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano le seguenti aree:

- **Strumenti per l'aggiornamento e il retrofit di macchine utensili e sistemi di produzione.**

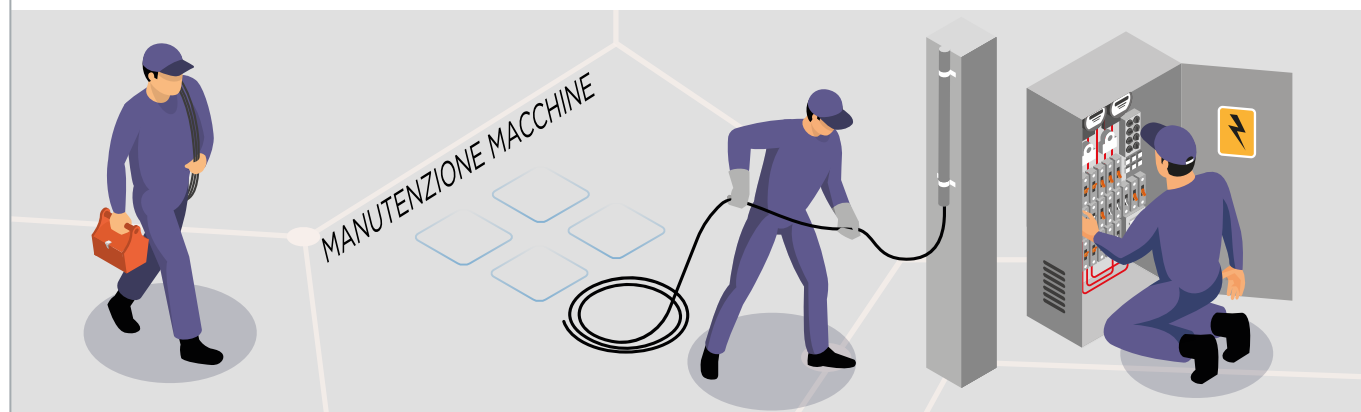
Strumenti progettati per fornire agli operatori le funzionalità e gli approcci necessari per trasformare una macchina utensile tradizionale in termini di sensoristica e interconnessione.

In particolare, in relazione a sensori, attuatori, dispositivi e protocolli di controllo, dispositivi e protocolli di connessione, modelli cyber-fisici del comportamento e delle prestazioni della macchina utensile.

- **Modelli plug-and-play per l'integrazione di macchine utensili e sistemi di produzione nelle moderne piattaforme digitali di controllo e gestione.**

Progettazione concettuale di connettori standard in grado di abilitare un insieme di funzionalità standard/opzionali.

Saranno inoltre presi in considerazione modelli standard di rappresentazione della conoscenza basati su tecnologie semantiche, con l'obiettivo di abilitare e garantire l'interoperabilità tra diversi oggetti di fabbrica



PRI4.4 AERRM

Alta efficienza per la riparazione e il re-manufacturing

La transizione verso modelli di produzione circolare richiede, in una prospettiva tecnologica, la necessità di processi, tecnologie, competenze e beni strumentali finalizzati alla manutenzione, riparazione, aggiornamento e rilavorazione dei prodotti e dei loro componenti.

Pertanto, oltre alla produzione, le fasi di riparazione e rigenerazione richiedono anche impianti in cui operare. Questi impianti devono essere in grado di lavorare in collaborazione con le filiere degli impianti di produzione originali, per gestire l'intero ciclo di vita dei prodotti.

Questa priorità di ricerca nasce dalla necessità di beni strumentali e impianti di produzione in grado di operare la rigenerazione, la riparazione e il riciclaggio di prodotti e componenti.

Il focus è su tecnologie e approcci in grado di operare con alta efficienza l'esecuzione parziale di processi e/o la ripetizione di un insieme ridotto e/o alternativo di operazioni per ottenere prodotti conformi / degradati e riclassificati.

Inoltre tali processi dovranno essere in grado di operare con efficacia ed alta efficienza in presenza di variabilità dei prodotti in ingresso, come spesso accade nei prodotti in rilavorazione che provengono da diversi tipi di utilizzo.

Gli obiettivi della priorità di ricerca e innovazione riguardano in particolare:

- **Sistemi per la caratterizzazione automatica dello stato dei materiali e/o dei prodotti** a supporto delle fasi di recupero/rilavorazione/riparazione.

In questo contesto possono essere opportunamente sviluppate tecnologie di identificazione/tracciabilità DMC/RFID e visione computerizzata per la caratterizzazione in termini di difetti/danni/usura.

- **Sistemi intelligenti ed HMI a supporto del recupero/rilavorazione/riparazione.**

L'obiettivo è fornire supporto decisionale e operativo in tempo reale agli operatori in relazione ai processi di recupero/rilavorazione/riparazione in condizioni di elevata variabilità delle condizioni e dello stato dei materiali da lavorare.

In questo ambito saranno sviluppati approcci di supporto alle decisioni al fine di identificare, per ciascuno specifico prodotto, la strategia di recupero/rilavorazione/riparazione più idonea alle sue condizioni, definendo le operazioni di smontaggio manuale/semiautomatico e le successive operazioni di ripristino e/o completamento, la conformità del prodotto riprocessato e la sua riclassificazione per la re-immissione nel mercato.

Tecnologie basate su AI saranno investigate, in particolare a supporto dell'interazione con gli operatori umani e per la sicurezza e l'ergonomia.

- **Processi e sistemi di produzione flessibili ed efficienti** in grado di rendere possibile l'interruzione, la ripresa, l'esecuzione

(come per esempio macchine e trasportatori) sfruttando gli standard esistenti (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA, Distributed Control System - DCS).

- **Metodologie assistite di caratterizzazione dei beni strumentali a supporto dell'integrazione.**

I beni strumentali che attualmente operano nei sistemi di produzione si basano su una vasta gamma di diverse architetture di gestione e controllo caratterizzate da diverse tecnologie di controllo, protocolli di comunicazione, approcci di controllo, componenti elettromeccanici.

In molti casi, questi sono il risultato di molteplici fasi di aggiornamento e reingegnerizzazione.

Un'integrazione coerente e sicura di questi asset nelle moderne piattaforme IT di gestione e controllo richiede standard di riferimento che regolino e permettano la modellazione delle caratteristiche, funzionalità e capacità degli asset industriali in modo generale e unico. Inoltre, la valutazione della capacità operativa e tecnologica degli asset industriali è influenzata da molteplici fattori che si intersecano.

Quindi, con l'obiettivo di garantire un insieme coerente e uniforme di strumenti di gestione e controllo, è necessario progettare e sviluppare approcci specifici a supporto di approcci generali per la valutazione e la certificazione delle prestazioni in casi diversi (incluso architetture, caratteristiche delle macchine e approcci di controllo).

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI2**
La possibilità di riqualificare i beni industriali esistenti ha un chiaro impatto sulla sostenibilità delle attività produttive in generale. Inoltre, questa è essa stessa un'azione che persegue un paradigma di economia circolare.

- **LI7**
L'aggiornamento e il retrofit degli asset industriali è principalmente guidato dalla necessità di incorporarli in moderne piattaforme digitali.

Orizzonte temporale

Obiettivi a breve-medio periodo (2-6 anni):

- Modelli plug-and-play per l'integrazione degli asset industriali nelle moderne piattaforme IT di gestione e controllo.
- Metodologie assistite di caratterizzazione dei beni strumentali a supporto dell'integrazione.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- Toolbox per l'aggiornamento e il retrofit dei beni industriali.

cuzione parziale dei processi di lavorazione, a supporto della rilavorazione e riparazione. Questo tema comprende aspetti diversificati, quali le caratteristiche dei beni strumentali e dei loro sistemi di controllo, la definizione di processi di lavorazione modulari e riconfigurabili, lo sviluppo di standard in grado di supportare in maniera esplicita le funzionalità descritte.

L'obiettivo generale è garantire la possibilità di esecuzione parziale/interrotta dei processi mantenendo inalterati i livelli prestazionali dei sistemi di produzione/rilavorazione.

• **Tecnologie di riparazione.** Le operazioni di riparazione mirano al ripristino delle caratteristiche/funzionalità dei prodotti. A tale scopo è necessario lo sviluppo di tecnologie di produzione specifiche che massimizzino il valore recuperato ottimizzando allo stesso tempo i costi di riparazione in termini di energia, consumo di materiale e smaltimento di quanto non recuperabile.

Esempi, in questo contesto, sono le tecnologie di manifattura additiva, che possono giocare un ruolo importante nella formulazione/definizione di processi speciali per le riparazioni, non solo facilitando l'eventuale produzione di parti di ricambio ma introducendo metodologie specifiche (ad esempio il riporto di materiale per il successivo ripristino di sedi di fissaggio/calettamento e/o profili usurati) o il riutilizzo dei componenti recuperati e ricondizionati per ottenere nuovi prodotti.

Interazione con le altre linee di intervento

• **L12**
La possibilità di riparare componenti e prodotti ha un chiaro impatto sulla sostenibilità delle attività produttive e di consumo in generale. Inoltre, questa è essa stessa un'azione che persegue un paradigma di economia circolare.

• **L13**
Sistemi per la valorizzazione delle persone nelle fabbriche con nuove competenze.

• **L16**
Sistemi di produzione evolutivi e adattativi.

• **L17**
Strategie e management per i sistemi produttivi di prossima generazione.

Orizzonte temporale

Obiettivi a breve termine (2-3 anni):

- Sistemi per la caratterizzazione automatica dello stato dei materiali.
- Sistemi intelligenti ed HMI a supporto del recupero/rilavorazione/riparazione.

Obiettivi a medio termine (4-6 anni):

• Processi e sistemi di produzione flessibili in termini di dimostratori reali/virtuali.

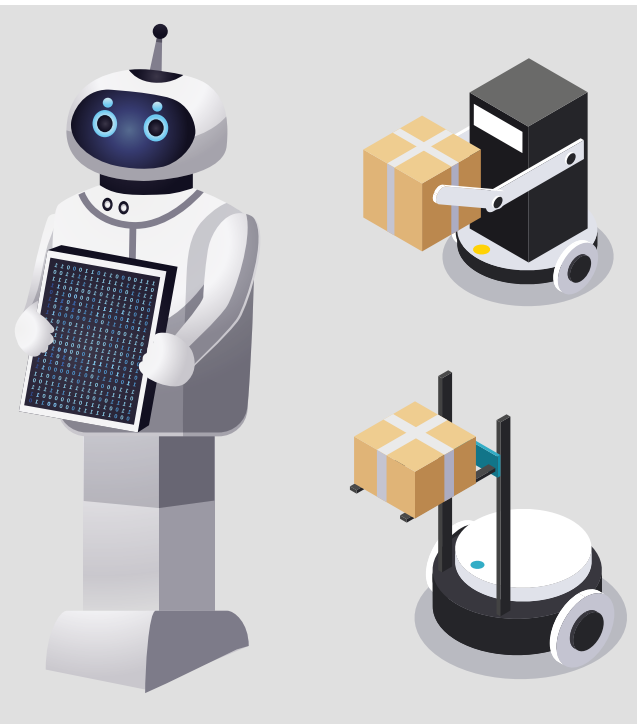
• Tecnologie di riparazione in termini di dimostratori reali/virtuali.

Obiettivi a lungo termine (7-10 anni):

• Processi e sistemi di produzione flessibili ed efficienti fino al livello di maturità (TRL) adatto alla completa implementazione e diffusione industriale.

• Tecnologie di riparazione fino al livello di maturità (TRL) adatto alla completa implementazione e diffusione industriale.

PRI4.5 MPROBOT Modellazione e pianificazione avanzata di robot industriali



La pianificazione e il controllo dei robot industriali è un aspetto imprescindibile al fine di facilitare l'utilizzo sicuro, efficace ed affidabile dei robot in applicazioni diverse da quelle in cui sono comunemente utilizzati.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano principalmente:

• **Metodologie e sensori avanzati a supporto della sicurezza dei robot industriali**, con l'obiettivo di utilizzare i robot in collaborazione con gli operatori umani.

In questo scenario, il ruolo del robot è quello di eseguire le operazioni più pesanti o che richiedano elevata accuratezza o ripetibilità, così come assistere l'uomo nelle sue attività.

Gli operatori, al contrario, possono concentrarsi su operazioni che richiedono maggiore flessibilità (ad esempio legate alla

personalizzazione dei prodotti). In relazione all'utilizzo dei robot in collaborazione con l'operatore, lo stato dell'arte non garantisce livelli di sicurezza compatibili con i requisiti normativi in grado di assicurare le prestazioni richieste dall'industria.

È necessario sviluppare metodologie e sensori avanzati in grado di prevedere il comportamento umano e, di conseguenza, evitare i rischi, garantendo adeguate prestazioni.

Allo stesso tempo, i robot che operano in queste condizioni devono essere costruiti (sia dal punto di vista dell'hardware che del loro controllo) in modo da minimizzare l'impatto di possibili collisioni con l'uomo, attraverso per esempio l'impiego di materiali specifici e bassa resistenza meccanica.

• **Modellazione dei robot per l'esecuzione di processi tecnologici in cui l'interazione tra utensile e pezzo generi forze consistenti** (come per esempio la fresatura).

Questo tipo di applicazioni comportano un'elevata difficoltà di controllo del movimento di un robot, a causa dell'impossibilità di garantire la dovuta precisione nel posizionamento dell'end-effector in presenza di deformazioni significative della struttura del robot.

Si richiede lo sviluppo di tecniche di modellazione in grado di stimare le forze che si generano tra l'end-effector (utensile) e le parti in lavorazione, implementando tecniche di controllo appropriate in grado di compensare in maniera attiva le deviazioni dalla traiettoria ideale, invece che fare affidamento sulla rigidità intrinseca che strutture leggere quali i robot non possono garantire.

• **Approcci di programmazione specifici in grado di sollevare dalla definizione delle specifiche traiettorie**, focalizzando le decisioni in termini delle caratteristiche del processo da implementare per ridurre le difficoltà associate all'adozione di robot nei processi manifatturieri.

È necessario studiare software avanzati in grado di supportare il programmatore nella definizione delle operazioni che il robot deve eseguire.

Questi approcci si avvarranno di funzionalità come l'apprendimento da esempi, la programmazione assistita e semplificata, e la possibilità di modificare, riconfigurare le operazioni assegnate a un robot in modo semplice e affidabile.

La capacità di utilizzare i robot in collaborazione con gli operatori umani in modo sicuro ed efficace ha un forte impatto in relazione all'ergonomia e al benessere dei lavoratori, permettendo alle persone di essere sollevate da compiti faticosi e/o stancanti.

Allo stesso tempo, permette di aumentare le prestazioni dei sistemi in termini di flessibilità, attraverso la possibilità di calibrare i carichi di lavoro (per operatori e robot) in base alle mutevoli condizioni di volumi e caratteristiche dei prodotti.

La possibilità di estendere l'uso dei robot all'esecuzione di operazioni tecnologiche ha un forte impatto in termini di aumento della flessibilità dei sistemi produttivi.

I processi coinvolti, oltre a quelli di asportazione del materiale, comprendono quelli di finitura (ad esempio, lucidatura, rettifica e sbavatura).

Una maggiore facilità nell'implementazione e riconfigurazione dei processi assistiti o eseguiti da robot avrebbe un impatto significativo in termini di diffusione dei robot nelle industrie manifatturiere e conseguente competitività in termini di costi, qualità e flessibilità.

Interazione con le altre linee di intervento

• **L11**
L'uso di robot industriali in una vasta gamma di processi supporta la personalizzazione dei prodotti.

• **L13**
L'uso diffuso dei robot dovrà prendere in considerazione gli aspetti legati all'interazione con l'uomo.

• **L15**
Il posizionamento più affidabile dell'effettore finale dei robot può essere utilizzato per implementare e automatizzare processi innovativi.

• **L16**
L'alta flessibilità dei robot supporta l'adattabilità e la resilienza dei sistemi di produzione.

• **L17**
Sono necessari strumenti e tecnologie digitali per sostenere un'ampia adozione dei robot industriali.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve-medio periodo (2-6 anni):

• Collaborazione uomo-robot in ambienti di produzione.

• Approcci avanzati di pianificazione per i robot.

Obiettivi di medio-lungo periodo (4-10 anni):

• Uso dei robot al posto delle macchine utensili.

PRI4.6 CPS4FI Sistemi cyber-fisici (CPS) per la fabbrica intelligente

La flessibilità e la riconfigurabilità dei sistemi di produzione richiedono architetture modulari e intelligenti, ma anche approcci di monitoraggio e controllo della logistica e della qualità nel sistema, il rispetto dei vincoli di processo e la sicurezza delle interazioni uomo-macchina.

Le tradizionali tecniche di controllo gerarchico si basano su configurazioni predefinite e piattaforme decisionali progettate staticamente, che non forniscono il grado richiesto di flessibilità, adattabilità ed efficienza.

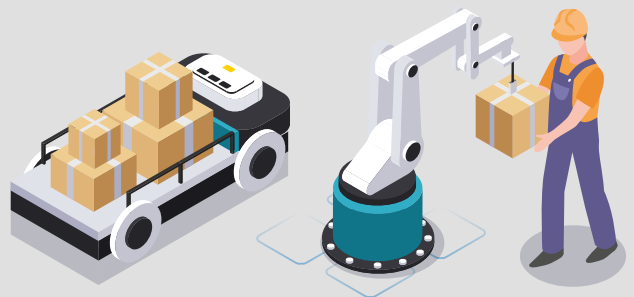
Inoltre, il comportamento di un sistema di produzione è solitamente modellato come una catena di azioni all'interno di un dominio puramente temporale definito in termini di eventi.

L'interazione con i processi sottostanti richiede ap-

procci di controllo a tempo continuo o, in alternativa, a tempo discreto ma con una migliore risoluzione temporale. Questi due livelli non sono considerati in maniera congiunta, costituendo così una barriera all'ottimizzazione complessiva del comportamento del sistema.

È quindi essenziale sviluppare una piattaforma integrata e distribuita per il monitoraggio, il controllo e la supervisione, composta da unità intelligenti e interagenti, basata sul paradigma Cyber-Physical Systems (CPS) e ibrida, che permetta di considerare simultaneamente diversi domini temporali (a eventi, discreti e continui) relativi alla modellazione del comportamento di un sistema produttivo a diversi livelli. Esempi applicativi per questa classe di approcci sono le celle robotiche modulari in sistemi di produzione scalabili, in cui l'adattamento alle condizioni esterne ed ai processi da operare è un elemento fondamentale.

In questi casi, il coordinamento dei componenti intelligenti che operano nel sistema di produzione, e la loro integrazione nelle piattaforme di gestione e controllo, diventano un fattore chiave per governare la rete di interazioni complesse tra componenti fisiche, software, robotiche ed umane, l'interazione uomo-robot, la collaborazione uomo-robot.



L'uso di approcci CPS per macchine e sistemi-macchina fornisce nuove possibilità che vanno oltre gli attuali approcci di controllo, evolvendo verso la possibilità di miglioramento automatico (adattivo) delle prestazioni in termini di efficienza e sicurezza (anche nell'interazione uomo-macchina) dell'intero sistema a diversi livelli.

La disponibilità di un Digital Twin del sistema fisico garantisce la possibilità di sviluppare algoritmi di controllo predittivo basati sullo stato aggiornato dell'impianto, così come la possibilità di utilizzare metodologie di AI basate sui dati disponibili.

Le architetture CPS delle singole unità produttive, basate sul paradigma 5C (Connection, Conversion, Cyber, Cognition, Configuration), devono quindi evolvere verso un nuovo paradigma 6C dove, oltre ai livelli precedenti, si sfrutta anche il livello relativo alla cooperazione tra oggetti di fabbrica.

È quindi necessario sviluppare un livello di controllo integrato in cui gli agenti intelligenti possano integrarsi e cooperare per quanto riguarda la raccolta di informazioni e dati, la gestione e l'ottimizzazione delle prestazioni. I fattori chiave di questo livello sono le tecniche di

Acquisizione massiva di dati, Data Analytics e Machine Learning, al fine di creare e integrare i livelli cognitivi, di auto-configurazione e cooperazione delle unità CPS intelligenti, con l'obiettivo di flessibilità, alte prestazioni, efficienza.

Interazione con le altre linee di intervento

- LI2
I CPS offrono strumenti per migliorare la modellazione integrata prodotto-processo-sistema in ottica di circolarità.

- LI3
Collegamenti con tecnologie e metodi per le persone in fabbrica e tecnologie e applicazioni di Realtà Virtuale/Aumentata (VR/AR) per la gestione del prodotto-processo-sistema (usando il gemello digitale del sistema).

- LI6
Sistemi mecatronici modulari altamente flessibili.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Tecniche ibride di simulazione/emulazione basate su gemelli digitali e controllo predittivo per unità CPS intelligenti in scenari semplificati.

- Tecnologie efficienti per l'implementazione di CPS.

- Sistemi di intelligenza artificiale per l'implementazione in singole unità CPS modulari.

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

- Convalida e confronto di diversi sistemi di controllo predittivo e adattivo per singole unità CPS.

- Sistemi di intelligenza artificiale in grado di coordinare l'attività di singole unità modulari CPS.

- Piattaforme integrate multilivello per la cooperazione di diversi CPS e l'interazione con la pianificazione e il monitoraggio.

- Sistemi di intelligenza artificiale per l'implementazione in singole unità modulari CPS.

- Validazione di tecniche di simulazione/emulazione basate su gemelli digitali per unità CPS intelligenti in scenari di media complessità.

Obiettivi di lungo termine (7-10 anni):

- Validazione di sistemi di intelligenza artificiale capaci di coordinare l'attività di diverse unità modulari CPS.

- Validazione di tecniche di simulazione/emulazione basate su gemelli digitali per unità CPS intelligenti in scenari di alta complessità.

PRI4.7 AI4HMI

Intelligenza umana-artificiale a supporto del consolidamento della conoscenza e della cooperazione uomo-macchina nei sistemi di produzione ad alta efficienza

Le sfide che i sistemi e le tecnologie di produzione si trovano ad affrontare richiedono la capacità di combinare l'adattabilità e la flessibilità dell'intelligenza umana, capace di affrontare in maniera efficiente scenari di produzione inattesi e in evoluzione, con le capacità dell'intelligenza artificiale, in grado di processare grandi quantità di dati in tempo reale e gestire situazioni complesse.

In questo ambito, alcuni temi emergenti sono identificabili:

- L'esperienza e la conoscenza degli operatori umani sono una parte significativa del know-how di un'azienda, costituendo quindi un bene strategico da formalizzare, conservare e valorizzare al fine del perseguimento dell'efficienza.

Le tecnologie dell'intelligenza artificiale forniscono la possibilità di valorizzare questo corpus di conoscenze ed il ruolo dell'uomo negli ambienti produttivi.

Tuttavia, la difficoltà nel conservare e tutelare questa conoscenza costituisce un rischio importante per le aziende manifatturiere.

- La strutturazione e il consolidamento della conoscenza umana artificiale sono possibili a patto di definire una catena di passi formali che possa interpretare le decisioni prese sia da approcci automatici (spiegabile attraverso metodologie relative all'AI) che da operatori umani.

- La raccolta, la strutturazione e l'uso dell'intelligenza ibrida umana-artificiale deve basarsi su una rete di sistemi intelligenti, ad esempio, utilizzando metodi di apprendimento federato distribuito o inferendo modelli di apprendimento da nodi intelligenti interconnessi (artificiali o umani).

Sia la flessibilità che l'alta efficienza possono essere raggiunte anche in scenari di produzione adattivi resilienti usando metodi di apprendimento distribuiti in grado di definire un equilibrio tra l'analisi di possibili soluzioni ottimizzate e l'utilizzo della conoscenza aziendale.

- Raccogliere e strutturare l'intelligenza e la conoscenza umana-artificiale richiede personale qualificato e competente e programmi di R&S per sfruttare le moderne tecnologie digitali e integrarle con i processi e il know-how dell'azienda manifatturiera.

In questa priorità di ricerca e innovazione si configurano i seguenti obiettivi:

- **Approcci strutturati e formalizzati** (per esempio,

ontologie e tecnologie semantic-web) per la rappresentazione della conoscenza relativa a processi e sistemi di produzione.

Questi approcci dovranno supportare interfacce per l'accesso e l'uso da parte di attori sia umani che automatici. Questo richiederà la capacità di operare sulla strutturazione parziale/incrementale della conoscenza dovuta a informazioni e dati mancanti, a processi di formalizzazione e strutturazione sequenziali o incompleti, ad errori dell'operatore umano.

- **Sistemi per l'identificazione automatica di possibili incoerenze nel corpus di conoscenza** (ad esempio, Shapes Constraint Language - SHACL).

Questi approcci hanno lo scopo di integrare in maniera efficiente la conoscenza umana e derivata dall'intelligenza artificiale fornendo strumenti in grado di validarne la coerenza.

Basandosi sulla specifica descritta al punto precedente, questi approcci di inferenza dovranno essere in grado di identificare potenziali incoerenze della strutturazione della conoscenza in anticipo e interagire con agenti umani/artificiali al fine della risoluzione dei conflitti.

- **Sistemi di interazioni uomo-macchina**, protocolli e interfacce che sfruttano l'intelligenza artificiale con l'obiettivo di strutturare e consolidare in maniera rapida ed efficiente la conoscenza relativa a processi e sistemi di produzione basandosi su processi di inferenza umani/artificiali, sulla base delle metodologie e degli approcci descritti ai punti precedenti.

Gli sviluppi in questo ambito scientifico e tecnologico costituiscono un fattore importante per la competitività e l'efficienza delle aziende manifatturiere in relazione ai futuri scenari competitivi.

La formalizzazione e il consolidamento della conoscenza aziendale, rendendo esplicita e sfruttando l'esperienza e le competenze degli operatori umani, unita al supporto fornito dagli approcci di intelligenza artificiale, è un elemento importante per preservare e sfruttare il know-how delle aziende.

Questi fattori costituiscono un elemento strategico nei futuri scenari manifatturieri caratterizzati dall'adozione pervasiva delle tecnologie digitali, dalla necessità di interagire e collaborare a livello globale preservando il patrimonio intellettuale delle aziende, dalla spinta verso paradigmi di collaborazione basati su piattaforme.

Interazione con le altre linee di intervento

- LI3
Coinvolgimento degli operatori umani nel processo di strutturazione e consolidamento della loro esperienza e conoscenza.

- LI7
Piattaforme industriali IT a supporto dell'interazione tra intelligenza umana e artificiale.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve-medio periodo (2-6 anni):

- Approcci strutturati e formalizzati per la rappresentazione della conoscenza.
- Approcci di inferenza automatica per la formalizzazione della conoscenza.
- Interazioni uomo-macchina, protocolli e interfacce.



PRI4.8 PP&SA

Pianificazione della produzione e scheduling avanzati

La crescente complessità dei moderni sistemi produttivi richiede approcci di pianificazione avanzati in grado di sfruttarne al meglio caratteristiche e funzionalità.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione coprono le seguenti aree:

- **Programmazione della produzione e scheduling basati sull'intelligenza artificiale.**

Approcci legati agli ultimi sviluppi dell'intelligenza artificiale (ad esempio deep learning), così come tecnologie più tradizionali (come i sistemi esperti) possono svolgere un ruolo di supporto alla pianificazione e alla programmazione dei sistemi di produzione, mettendo a disposizione approcci in grado di: identificare lo stato attuale del sistema attraverso il monitoraggio esplicito di parti, componenti, stato delle risorse produttive, attraverso l'analisi dei dati di tracciamento e/o di immagini relative al sistema di produzione; identificare in maniera approssimata dello stato del sistema in base ad approcci di pattern recognition; selezionare regole/politiche di pianificazione basate su dati storici, identificare deviazioni del comportamento di un sistema rispetto a quanto pianificato, innescando una nuova pianificazione.

- **Programmazione della produzione e scheduling robusti basati su indicatori di rischio.**

Nei sistemi di produzione, deviazioni rispetto a quanto pianificato sono la regola piuttosto che l'eccezione, a causa del verificarsi di eventi inattesi.

Tali eventi possono derivare da una serie di possibili fonti, sia interne o esterne.

Le attività possono durare più o meno di quanto originariamente previsto, le risorse non essere disponibili, i materiali arrivare in ritardo, i tempi di arrivo delle forniture e le date di consegna dei prodotti cambiare, nuove attività come le possibili rilavorazioni essere inserite nella pianificazione.

Gli approcci robusti mirano a reagire al verificarsi di eventi inattesi (approcci reattivi) o mitigarne l'impatto in anticipo per quanto possibile (approcci proattivi).

Saranno sviluppati approcci innovativi basati su misure di rischio utilizzate in ambito finanziario (ad esempio value-at-risk, conditional-value-at-risk, maximum regret) in grado di definire un bilanciamento tra prestazioni e mitigazione dell'impatto dell'incertezza sulle prestazioni del piano.

- **Approcci model-based per il sequenziamento/controllo.**

La richiesta di operare in condizioni variabili, comporta la possibilità per il sistema produttivo di lavorare in configurazioni diverse da quelle per cui sono stati progettati.

Ad esempio, linee di produzione/montaggio costrette ad operare in condizione di sbilanciamento.

In questi casi, il ruolo delle politiche di sequenziamento e controllo ha un impatto significativo sulle prestazioni del sistema.

Queste devono essere quindi definite e calibrate in base alle condizioni mutevoli in cui opera il sistema.

Approcci di controllo basati su modelli (model-based) sfruttano un gemello digitale della macchina/sistema, fornendo un'efficace metodo per progettare e ottimizzare le politiche di sequenziamento/controllo.

Approcci approssimati che sfruttano modelli surrogati/a bassa fedeltà sono in grado inoltre di supportare l'aggiornamento in tempo reale delle politiche a supporto dell'efficienza nei sistemi di produzione.

- **Approcci di propagazione dei vincoli per la pianificazione e lo scheduling.**

La complessità dei moderni sistemi di produzione richiede approcci approssimati in grado di identificare le decisioni più importanti da definire, rinunciando a risolvere problemi di pianificazione in maniera completa.

La propagazione dei vincoli e gli approcci di ragionamento automatico possono supportare l'identificazione e la ricerca di decisioni appropriate di pianificazione e programmazione basate su modelli complessi (non lineari).

Inoltre, supportano l'identificazione dell'evento di disturbo che innesci un nuovo planning o scheduling.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI1**
Gli approcci di pianificazione e programmazione possono supportare l'implementazione di approcci di produzione personalizzata nei limiti della capacità disponibile delle risorse produttive.
- **LI2**
La pianificazione e la programmazione sono in grado di prendere in considerazione anche il consumo di energia, perseguendo così la sostenibilità nel funzionamento di un sistema produttivo.
- **LI6**
La pianificazione e programmazione avanzate, in particolare approcci proattivi/reattivi supportano l'adattabilità di un sistema di produzione.
- **LI7**
La pianificazione e la programmazione avanzate sono approcci rilevanti per la prossima generazione di sistemi di produzione.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve-medio termine (2-6 anni):

- Pianificazione e programmazione basate sull'intelligenza artificiale.
- Pianificazione e programmazione robusta della produzione basata sul rischio.
- Approcci di sequenziamento/controllo model-based.
- Approcci di propagazione dei vincoli per la pianificazione e la schedulazione.

SCHEDULING



PIANIFICAZIONE





LI5: Processi produttivi innovativi

Descrizione Linea di Intervento

I processi di produzione devono essere posti al centro dell'innovazione del manifatturiero dal momento che influenzano la competitività del sistema paese e assicurano la disponibilità di beni strumentali da utilizzare nel paese stesso o da esportare garantendo così il miglioramento di performance a livello globale in termini di efficienza, sostenibilità, riconfigurazione, flessibilità e resilienza.

In particolare, è auspicabile che l'Italia diventi leader nella realizzazione di impianti di produzione per soddisfare diverse tipologie di esigenze quali per esempio: la gestione di una grande varietà di prodotti in diverse fasi del ciclo di vita; la rigenerazione, il riutilizzo, la riparazione dei prodotti, componenti, materiali; l'efficientamento di processi per la produzione di prodotti di alto valore e ad alta complessità.

Le attività di ricerca e innovazione finalizzata alla digitalizzazione dei processi produttivi consolidati ha trovato ampio spazio in questi ultimi anni, ma ancora c'è molto da fare in questa direzione dal momento che continuano a rappresentare una larga fetta dei processi produttivi.

Al contempo, è necessario studiare la messa a punto di processi innovativi al fine di renderli utilizzabili in contesti industriali e di migliorarne le interazioni che permettono di gestire diversi tipi di lavorazioni (processi ibridi).

Tali miglioramenti dovranno riguardare la produzione che prenda in considerazione lavorazioni di materiali standard così come innovativi, e che prenda in considerazione geometrie meso/macro su scala che può essere anche di tipo nano e micro.

L'innovazione di processo che è da sempre focalizzata sui processi di trasformazione per produrre, ora deve essere anche innovazione a supporto dei processi di re- e de-manufacturing in primis fino allo sviluppo di modelli di trasformazione ispirati ai sistemi biologici. In tale contesto, questa linea di intervento si pone come obiettivo quello di definire le priorità di ricerca e innovazione per sviluppare processi produttivi innovativi che permettano al sistema manifatturiero la trasformazione necessaria per soddisfare queste sfide sociali e tecnologiche attraverso:

- **Innovazione di processi:** al fine di restare competitivi, i processi convenzionali dovranno subire una trasformazione digitale associata ad una crescita tecnologica tramite adozione di sistemi in grado di sviluppare soluzioni atte a migliorare la produttività, flessibilità e sostenibilità, anche adottando soluzioni per il controllo real-time del processo e la sua gestione da parte di sistemi di controllo adattativi.

Nel breve periodo, queste tecnologie saranno sostituite solo marginalmente da tecnologie alternative vista la loro capacità di ottenere elevate finiture superficiali ed accuratissime geometriche.

Di pari passo però la richiesta di prodotti sempre più complessi e con volumi di produzione ridotti sta vedendo l'evolversi di tecnologie alternative non convenzionali quali ad esempio l'Additive Manufacturing, il laser, le microlavorazioni, processi elettrofisici e chimici, processi di assemblaggio innovativi piuttosto che una loro combinazione con tecnologie tradizionali (processi ibridi) che devono superare il limite dettato da tempi, volumi e costi di produzione per competere in termini di efficienza con i processi tradizionali.

- **Innovazione dei materiali:** l'innovazione nei materiali dovrebbe essere orientata ad una maggiore durabilità, sostenibilità ambientale, possibilità di riuso/riciclo, zero/bassa emissione di CO2.

I processi produttivi dovranno essere in grado sia di produrre che di utilizzare tali materiali innovativi in volumi e tempi tipici del contesto industriale.

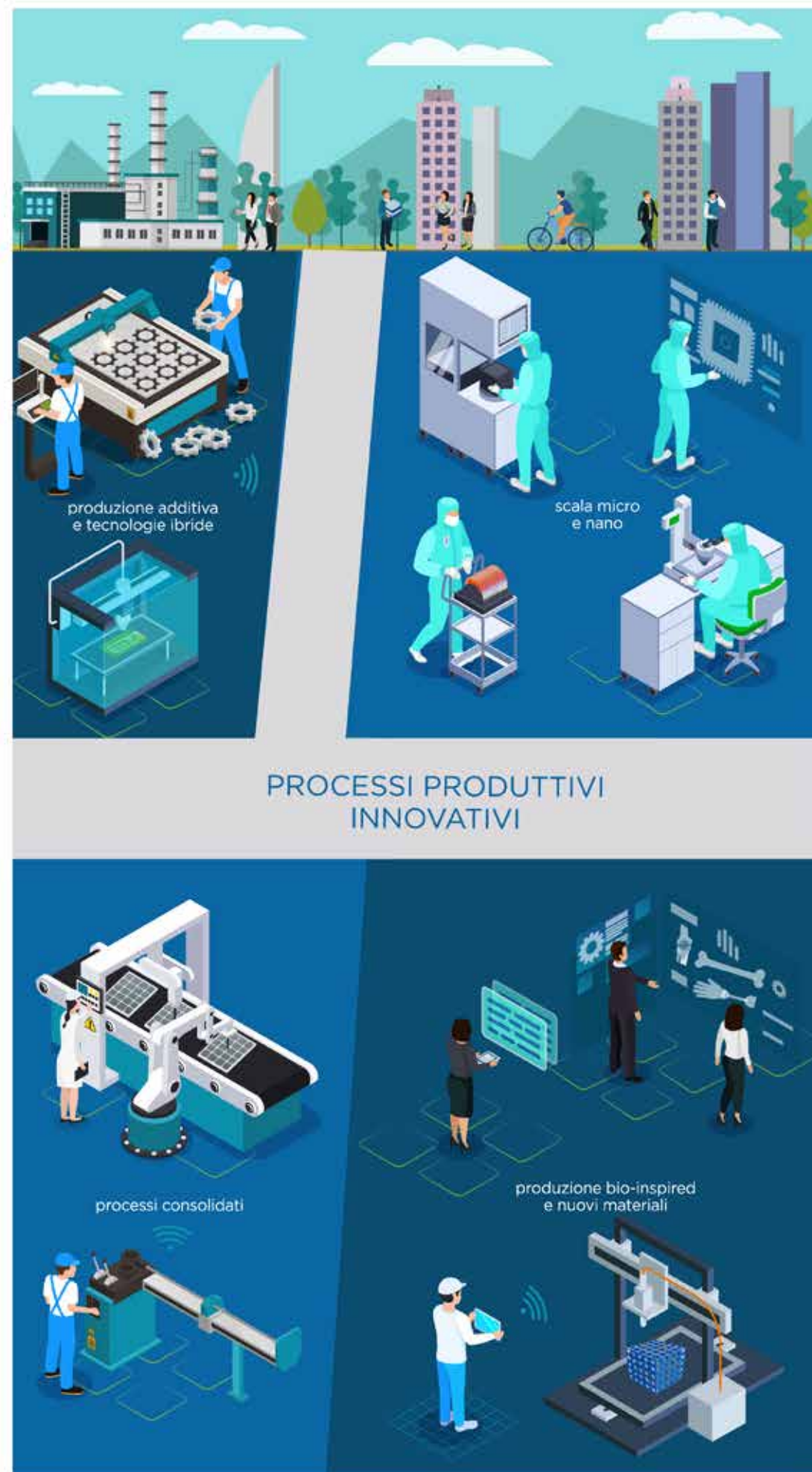
Altro aspetto importante riguarderà il concetto di generative design ovvero delle necessità di includere nel ciclo di lavorazione di un componente le proprietà di tali materiali sin dalla fase di progettazione mediante lo sviluppo di database e strumenti software che includano materiale, processo, prestazioni del prodotto e modifiche nel ciclo di vita, per potenziare gli strumenti di modellazione e caratterizzazione avanzati del processo di produzione.

- **Nuovi paradigmi produttivi quali la trasformazione biologica:** ad oggi si sta diffondendo sempre di più a livello europeo un nuovo concetto di produzione ispirato ai sistemi biologici presenti in natura.

Dal punto di vista della produzione si prevede un crescente uso e integrazione di principi, materiali, funzioni, strutture e risorse biologiche e bio-ispirate per ottenere tecnologie e sistemi di produzione intelligenti e sostenibili.

Al primo paradigma sono state dedicate 4 priorità di ricerca focalizzate sull'innovazione dei processi consolidati, dei processi per la produzione additiva, dei processi ibridi e dei processi micro.

Al secondo e terzo paradigma, essendo più trasversali, sono state dedicate delle priorità di ricerca e innovazione a sé s tanti.



Impatto atteso della linea di intervento

Innovazione di processi convenzionali e non; riduzione e riutilizzo dei materiali di scarto tramite processi innovativi; aumento della flessibilità e della resilienza dei processi di produzione; aumento delle performance in termini di volume di lavoro e produttività dei processi innovativi; riduzione dei consumi energetici; riprogettazione del ciclo produttivo di un componente basato sulla scelta di nuovi materiali, nuove geometrie e nuovi processi di produzione; integrazione tra processi produttivi consolidati ed innovativi, miglioramento degli strumenti necessari per la simulazione dei processi di produzione; riduzione dei tempi di set up e di produzione con riduzione del time-to-market; miglioramento della sostenibilità dei processi produttivi.

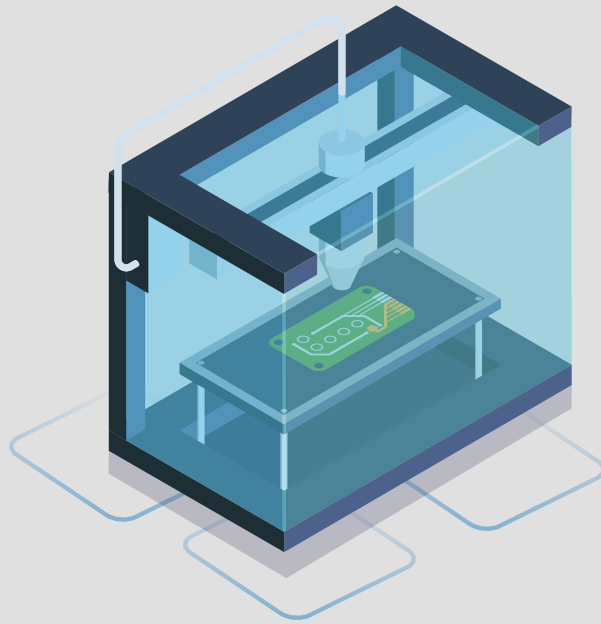
Lista prioritaria di ricerca e innovazione

- **PRI5.1 ADDITIVE**
Tecnologie, processi e materiali per la produzione additiva.
- **PRI5.2 BIOMANU**
Tecnologie e processi di produzione bio-inspired.
- **PRI5.3 CONS**
Innovazione dei processi produttivi consolidati.
- **PRI5.4 HYBRID**
Processi di produzione tramite tecnologie ibride.
- **PRI5.5 MAT**
Processi di produzione e di lavorazione di materiali innovativi.
- **PRI5.6 MICRO**
Processi, prodotti e funzionalità su scala micro.

PRI5.1 ADDITIVE Tecnologie, processi e materiali per la produzione additiva

A livello nazionale, l'Additive Manufacturing (AM) è stato posto tra le tecnologie abilitanti del piano Industria 4.0 definito dal Ministro dello Sviluppo Economico dal momento che questa tecnologia offre benefici che riguardano aspetti strategici quali la digitalizzazione della progettazione, la trasformazione della supply chain e l'elevata flessibilità e libertà nella produzione di prodotti innovativi ad alto valore aggiunto.

Inoltre, sta crescendo l'interesse da parte del tessuto industriale nazionale, europeo ed internazionale per lo sviluppo delle tecnologie AM per la produzione di componenti in metallo e componenti rinforzati con



fibre a matrice polimerica. In tali ambiti infatti c'è stato un rapido e importante sviluppo tecnologico da sistemi che erano limitati alla prototipazione rapida, a sistemi in grado di sostenere una produzione in piccole serie di componenti funzionali e parti finali.

Sebbene in forte crescita (SmarTech Analysis ha stimato il mercato globale della produzione additiva 2019 crescere a oltre 10,4 miliardi di dollari) l'AM risulta ancora non completamente matura per poter essere implementata in un sistema manifatturiero a causa di tempi e volumi di produzione ancora limitati.

In particolare i processi più consolidati relativi alla realizzazione di parti metalliche (PBF - Powder Bed Fusion ed i DED - Direct Energy Deposition) soffrono ancora di considerevoli limiti in termini di tempi, materiali stampabili, elevato tasso di difettosità e complesse operazioni di post process per la rimozione dei supporti come riportato dall' Gartner Hype Cycle 2019 che li pone ancora nella fase "Sliding Into the Trough".

Anche la produzione di componenti rinforzati essendo principalmente realizzati tramite processi di Material Extrusion soffrono di tempi di produzione elevati e deposizione delle fibre customizzabili solo secondo il piano ortogonale alla direzione di stampa.

Infine è bene sottolineare che ancora ad oggi la geometria di un componente è pensata, per abitudine, seguendo le regole imposte dai processi tradizionali non sfruttando in pieno la capacità intrinseca dell'AM di gestire complesse forme geometriche.

Al fine quindi di rendere l'AM una tecnologia industrialmente percorribile, la priorità di ricerca e innovazione si pone i seguenti obiettivi:

- **Nuove regole di design:** sfruttare al massimo le potenzialità della progettazione tramite AM attraverso l'utilizzo combinato dei concetti di generative design, ottimizzazione topologica, geometrie conformali, meta e multi materiali, complessità gerarchica e funzionale avvalendosi di software di modellazione numerica per

verificare le loro performance.

- **Simulazione dei processi AM:** sviluppo di software necessari per prevedere, correggere e gestire al meglio le parti stampate.

La creazione di Digital Twins utilizzando strumenti software eccezionali svolgerà un ruolo importante nel ridurre i rischi durante la stampa di parti dal prototipo alla produzione.

Tali software dovranno consentire la simulazione sia del singolo processo di produzione di un componente piuttosto che del MES (Manufacturing Execution System) essenziale per il controllo e razionalizzazione dei flussi di lavoro AM in caso di lotti di produzione medio/grandi.

- **Sistemi innovativi per l'AM:** nuove soluzioni AM per aumentare il volume di lavoro e/o la produttività riuscendo a garantire produzioni pari ad almeno 10.000 pezzi/anno.

Sviluppo di trattamenti post-process innovativi. Sviluppo di soluzioni innovative per il monitoraggio e controllo in-process e per l'ispezione e controllo qualità post-process.

- **Soluzioni per l'AM metallo:** nuove soluzioni per la produzione di componenti metallici di forma complessa non vincolate dai limiti geometrici e dai materiali disponibili tipici dei processi a letto di polvere.

- **Soluzioni per l'AM Multi materiale:** nuovi materiali, soluzioni, software e strategie di lavorazione per la realizzazione di componenti realizzati attraverso le logiche del functional material graded sia discontinuo che continuo.

- **Soluzioni per l'AM compositi:** sfruttando il potenziale dei materiali compositi AM, soluzioni per consentire la manipolazione degli allineamenti delle fibre a livelli senza precedenti.

- **Soluzioni AM per nuovi settori industriali:** partendo dalla capacità della tecnologia AM, studiare e sviluppare soluzioni per l'ingresso in nuovi settori industriali come per esempio abbigliamento e calzature, oil&gas e farmaceutico.

- **AM Sostenibile:** nuove soluzioni per il miglioramento della sostenibilità del processo e per il recupero e la valorizzazione di particolari materiali come la plastica e in generale da tutti i materiali derivanti da altri processi di lavorazione (second life material).

I vantaggi attesi saranno notevoli: ridurre i materiali di scarto ed il consumo energetico rispetto a tecnologie tradizionali porterà vantaggi sull'impatto ambientale del manifatturiero; inoltre, grazie alla possibilità di ri-progettare componenti e assiemi esistenti riducendone il peso a parità di prestazioni è possibile introdurre sul mercato nuovi prodotti maggiormente sostenibili.

Inoltre la riduzione dei tempi di set up e di produzione comporterà una riduzione del time-to-market delle piccole serie, permettendo alle imprese italiane di essere competitive nei confronti del mercato globale.

Interazione con le altre linee di intervento

- **L11**
La priorità di ricerca sarà di sicuramente di supporto alla L11 grazie ai vantaggi economici propri dell'AM nella produzione di geometrie altamente customizzate con volumi di produzioni minimi.

- **L12**
Nell'ottica delle priorità di ricerca espresse dalla L12 ad oggi le tecniche di AM, soprattutto nella produzione di parti realizzate con materiali polimerici, guardano con interesse il tema del riciclo dei materiali piuttosto che processi AM a scarto zero.

- **L13**
La possibilità di sfruttare la complessità gratuita nella generazione di soluzioni ad hoc potrà essere di sostegno alle attività degli operatori e richiederà lo sviluppo di nuove competenze.

- **L14**
Zero defect e la produzioni di alti volumi possono trovare nell'AM una sfida per rendere tale tecnologia matura per il mondo industriale.

Orizzonte temporale

Obiettivi a breve periodo (2-3 anni):

- **Nuove regole di design:** è necessario consolidare la conoscenza delle regole di progettazione in funzione dei diversi processi additivi disponibili evidenziando i limiti attuali delle tecnologie nella generazione di geometrie complesse.

Inoltre è necessario completare la conoscenza ed il potenziale utilizzo delle tecniche di progettazioni ad oggi disponibili (come per esempio ottimizzazione topologica, conformal cooling, multi materiale) le quali sono sicuramente state ampiamente studiate a livello di ricerca di base ma non sono ancora mature per applicazioni concrete a livello industriale.

- **Simulazione dei processi AM:** ad oggi sono già disponibili software multifunzionali che consentono agli utenti di eseguire controlli di qualità di stampa (per problemi legati ad esempio a deformazioni e stress residui), orientare le parti su un area/volume di stampa, ottimizzare la struttura delle parti per alleggerire, aggiungere supporti ed eseguire analisi di simulazione.

Tali software risultano però ad oggi non ancora maturi per simulare oggetti progettati spingendo al massimo la geometria del componente quale la simulazione del comportamento di strutture lattice, di multimateriali come i polimeri caricati con fibre, materiali complessi (ad esempio con proprietà meccaniche ed elettroniche combinate).

- **Soluzioni per l'AM compositi:** data la scadenza di

molti dei brevetti unita al grado di maturazione dei processi tecnologici in grado di realizzare tali materiali si sta verificando negli ultimi anni una grossa proliferazione di realizzazioni di componenti rinforzati che ha portato ad una rapida evoluzione della conoscenza e potenzialità di tali soluzioni.

Il prossimo futuro dovrà focalizzarsi sulle reali applicazioni di tali materiali nella realizzazione di componenti complessi e sulla loro reale alternativa a componenti metallici.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- **Sistemi innovativi per l'AM:** ad oggi molte aziende stanno aumentando i volumi di produzione nonché la gamma di materiali stampabili, ma sono pochi i progetti pilota che stanno a supporto del controllo di processo.

I nuovi sistemi AM, in particolare quelli adibiti per la produzione di componenti metallici, dovranno essere implementati con sistemi di monitoraggio integrati per un controllo in real time della lavorazione al fine di poter modificare i parametri di processo per correggere eventuali errori di lavorazione piuttosto che fermarla per ridurre sprechi di materiale, tempo ed energia per processi sempre più sostenibili.

- **Soluzioni AM** per nuovi settori industriali: ad oggi i settori che principalmente utilizzano la tecnologia AM risultano essere l'aerospaziale, l'automobilistico, il medicale\dentale ed il settore elettronico ma diversi studi di settore vedono applicazioni nei prossimi anni nell'abbigliamento, oil & gas, farmaceutico e nel campo dell'architettura.

- **AM Sostenibile:** tale tema è strettamente collegato alla realizzazione di sistemi innovativi per l'AM con cui ne condivide dunque l'orizzonte temporale.

- **Soluzioni per l'AM metallo:** i processi PBF e DED consolidati per tali tecnologie in molti casi risultano non essere ancora industrialmente sostenibili, contemporaneamente però altre tecnologie più mature quali le Binder Jetting e le Material Extrusion stanno iniziando a testare le loro performance per la produzione di componenti metallici.

Tali tecnologie necessitano di ulteriori miglioramenti essendo non ancora totalmente affidabili soprattutto dal punto di vista dimensionale piuttosto che sulle reali proprietà meccaniche ottenibili al fine di sfruttarle per la produzione di componenti reali.

Obiettivi di lungo periodo (7-10 anni):

- **Soluzioni per l'AM Multi materiale:** tema ad oggi in forte crescita a livello di ricerca scientifica ma non ancora maturo per una ricaduta effettiva nel mondo industriale essendo lo stesso processo AM principale di produzione (DED) in via di sviluppo come riportato dal Hype Cycle di Gartner.

Nei prossimi anni bisognerà analizzare ed ottimizzare gli aspetti legati alla precisione dimensionale, stress termici piuttosto che l'affinità chimica e fisica ottenibili miscelando differenti materiali.

PPRI5.2 BIOMANU

Tecnologie e processi di produzione bio-inspired

Si prevede che la trasformazione biologica, ovvero l'applicazione sistematica delle conoscenze relative alla biologia al fine di migliorare i processi produttivi, possa essere uno dei prossimi salti tecnologici dei processi manifatturieri.

Dal punto di vista della produzione si prevede un crescente uso e integrazione di principi, materiali, funzioni, strutture e risorse biologiche e bioispirate per ottenere tecnologie e sistemi di produzione intelligenti e sostenibili.



Il processo di trasformazione biologica può essere distinto in tre modalità di sviluppo: ispirazione, integrazione, interazione.

In primo luogo, l'ispirazione dovrà consentire una traduzione dei fenomeni biologici nel design dei prodotti (ad esempio alleggerimento delle strutture), nelle funzionalità (ad esempio biomeccanica), nelle soluzioni organizzative (ad esempio swarm intelligence, reti neurali).

Nella seconda modalità di sviluppo, la conoscenza della biologia troverà applicazione nella forma di una reale integrazione dei sistemi biologici nei sistemi di produzione (ad esempio sostituzione di processi chimici con processi biologici come l'utilizzo di microrganismi per il recupero di terre rare da magneti).

Il terzo step vedrà infine un'interazione globale dei sistemi produttivi, informativi e biologici per arrivare alla creazione di tecnologie e strutture di produzione completamente nuove e autosufficienti ovvero i cosiddetti sistemi di produzione biointelligenti.

L'impatto della trasformazione biologica nei processi produttivi comporterà nel lungo periodo un continuo miglioramento dell'innovazione e della sostenibilità dei processi produttivi.

Un approccio bidirezionale sistematico, guidato dalla tecnologia e dall'industria (dall'alto verso il basso) o dalla biologia (dal basso verso l'alto) porterà a nuovi sviluppi produttivi, innovazioni e nuovi prodotti.

Tale approccio sistematico dovrebbe essere basato sui vari processi di produzione e sui diversi elementi biologici.

Raggiungere il pieno potenziale sarà possibile solo combinando le varie strategie con la raccolta di dati, la digitalizzazione e lo sviluppo di nuovi processi come, ad esempio, le tecnologie di produzione additiva.

Tali paradigmi però sono ad oggi ancora a livelli di ricerca di base per cui con l'ottica di una loro integrazione nel mondo manifatturiero tale linea di ricerca ha evidenziato i seguenti obiettivi:

- **Nuove di strutture e superfici per materiali bio-inspired:** i principali sviluppi nelle soluzioni dei materiali ispirate alla biologia possono essere principalmente correlati alla (micro/meso) struttura del materiale o alle caratteristiche della sua superficie.

Infatti se la funzione del materiale biologico è più correlata alle caratteristiche della sua struttura e meno alle sue proprietà è possibile sostituirlo con un materiale artificiale non perdendo gli aspetti fondamentali della funzione di interesse (come ad esempio la struttura di un osso).

Viceversa è possibile analizzare il materiale a livello nanometrico prendendo ispirazione dalle caratteristiche della superficie dello stesso e non dalla sua struttura interna (come ad esempio l'idrofobicità delle foglie).

- **Bio-inspired design:** la natura offre esempi di soluzioni altamente accoppiate per movimenti complessi, distribuzione di forze e potenza, degrado controllato, auto-guarigione e rigenerazione.

È necessario sviluppare strumenti di progettazione che permettano di concepire prodotti pensati per soddisfare le multi funzionalità citate integrando per esempio tra loro parti meccaniche ed elettroniche.

- **Interazione ed Integrazione biologica nei processi produttivi:** il potenziale di biologizzazione nei processi di produzione, macchine utensili, robot, sistemi di assemblaggio e sensori è vasto e dovrebbe comprendere tecnologie rispettose dell'ambiente e antinquinamento.

L'uso diretto di entità e materiale biologico nei processi produttivi (come ad esempio l'uso di microbi come lubrificante nelle operazioni di taglio, uso di enzimi per l'estrazione di materie prime dai rifiuti o per operare trasformazioni ad esempio in microelettronica, micro-sistemi ed elettronica polimerica) saranno mirati all'ottimizzazione dei processi e dei parametri, integrazione della funzionalità biologica nelle strutture, l'integrazione di sensori biomimetici nei processi piuttosto che nella mimica anatomica nei robot.

- **Produzione di dispositivi bio-intelligenti:** al fine di raggiungere lo scopo ultimo di una produzione biointelligente è necessario incrementare le potenzialità della corretta applicazione di concetti di biologia sintetica, bioelettrochimica, microfluidica, bioreattori ed intelligenza artificiale per consentire lo sviluppo di dispositivi di intelligenti.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI1**
Interazione con LI1 per quanto riguarda la realizzazione di dispositivi bio intelligenti.

- **LI2**
Questa priorità aprirà la strada verso la realizzazione di nuovi paradigmi di sostenibilità.

- **LI3**
Studio di nuove interfacce uomo-macchina basate su componenti che integrano strutture biologiche.

- **LI4 e LI6**
Il concetto di ispirazione biologica verrà applicato a vari livelli nelle attuali realtà aziendali dall'innovazione di processo e di sistema.

- **LI7**
Questo paradigma cambierà le regole dei sistemi produttivi di management di prossima generazione.

Orizzonte temporale

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- **Nuove di strutture e superfici per materiali bio-inspired:** ad oggi esistono differenti prototipi di prodotti o superfici di parti realizzate tramite ispirazione bio che presentano tuttavia alcune criticità che dovranno essere

investigate quali la scalabilità perché ci sono funzioni biologiche che funzionano su scala micro o nano ma falliscono su scala macro (come ad esempio la funzione adesiva del gecko); vincoli nei materiali poiché ci sono casi in cui non è disponibile alcun sostituto artificiale per il materiale biologico (come la tela di ragno dove sebbene la struttura molecolare sia nota, i materiali artificiali che possono imitare la struttura e mantenere le proprietà uniche non sono ancora sviluppati) ed i vincoli legati ai processi di produzione.

- **Bio-inspired design:** i vantaggi derivati ad oggi dalla progettazione di un prodotto ispirato dal mondo biologico comporta la possibilità di modificare il design dei prodotti al fine di aumentarne le loro prestazioni a scapito però di un aumento della loro complessità di produzione.

Bisognerà dunque aumentare sia il livello di conoscenza ed i limiti di questo nuovo concetto di design ed inoltre il livello di digitalizzazione della catena di produzione per consentire di gestire livelli di complessità più elevati dati dai nuovi design.

- **Processi enzimatici:** sono maturi per alcuni settori specifici (come per esempio quello alimentare) e nel medio periodo bisognerà capire quali possano trovare una loro applicazione nel manifatturiero (come l'utilizzo di microbi come refrigeranti nelle operazioni di taglio).

- **Produzione di dispositivi bio-intelligenti:** tecnologia promettente nel settore della micro fluidica ed in generale nella micro elettronica.

Gli scenari futuri dovranno prevedere uno sviluppo per integrazione della componente biologica con la componente artificiale e di processi produttivi che possano realizzare tale integrazione.

Obiettivi di lungo periodo (7-10 anni):

- **Interazione ed Integrazione biologica nei processi produttivi:** il passaggio alla progettazione di processi bio-ispirate dovrebbe avvenire in modo incrementale adottando in tempi medio-lunghi varie soluzioni biologiche.

PRI5.3 CONS Innovazione dei processi produttivi consolidati

La sempre maggiore richiesta di prodotti personalizzati, con un minore impatto ambientale ed in grado di rispondere in modo puntuale e veloce alle esigenze del cliente, sta radicalmente cambiando l'organizzazione dei sistemi produttivi.

Nonostante l'evoluzione attuale di tecnologie innovative quali ad esempio l'additive manufacturing, l'asportazione di truciolo conserverà per anni il proprio ruolo di tecnologia primaria nei settori a maggiore valore aggiunto delle filiere italiane assieme a fonderia, deformazione plastica e le lavorazioni della lamiera (taglio, saldatura e piegatura) vista la loro capacità di ottenere

ottime finiture superficiali ed elevata accuratezza geometrica.

Ad esempio, si prevede che alcuni settori, come quello della e-mobility, spingeranno verso un sempre maggiore utilizzo di macchine utensili, viste le elevate precisioni richieste dai componenti del powertrain.

Al fine di restare competitivi i processi consolidati dovranno subire una trasformazione digitale associata ad una crescita tecnologica tramite l'adozione di sistemi in grado di sviluppare soluzioni atte a migliorare la produttività, flessibilità e sostenibilità, anche adottando soluzioni per il controllo real-time del processo e la sua gestione da parte di sistemi di controllo adattativi.

Di seguito si elencano gli obiettivi associati a questa priorità di ricerca e innovazione:

- **Sviluppo di modelli Digital Twin di strumenti, lavorazioni e macchine di produzione** con l'obiettivo di realizzare librerie e modelli digitali che permettano di catturare i fenomeni fisici alla base dei processi e prevedere il comportamento delle lavorazioni per supportare sia la fase di progettazione che di esecuzione dei processi stessi.

Inoltre è necessario anche sviluppare adeguate architetture che permettano l'integrazione tra diversi modelli digitali di diversi componenti dei processi.

- **Progettazione e trasformazione dei processi produttivi** per tener conto delle caratteristiche in continua evoluzione delle macchine e degli utensili.

In particolare, è necessario progettare in modo congiunto il processo e la macchina che esegue le trasformazioni.

- **Soluzioni innovative per le tecnologie produttive:** è necessario che gli stessi processi produttivi vengano trasformati per consentire lavorazioni su materiali difficili (come ad esempio materiali fragili o elastici), lavorazioni in ambienti critici (per esempio ambienti esplosivi e ambienti a rischio biologico), per aumentare i ritmi produttivi (migliorare per esempio la velocità di taglio), migliorare la qualità, ridurre i tempi di set-up.

Tali innovazioni includono i moduli tecnologici della macchina (come per esempio il mandrino o le sorgenti), gli utensili (per quanto riguarda per esempio materiali e geometrie) e le attrezzature (per esempio zero-point clamping e attrezzature adattative).

- **Soluzioni per l'ottimizzazione real-time della produttività e della qualità del processo,** caratterizzate da elevata facilità di utilizzo e installazione su macchine con caratteristiche e controlli numerici differenti.

In particolare, sviluppo di metodologie di controllo adattativo anche basate sull'intelligenza artificiale, e sistemi di controllo model-based del processo, sistemi di controllo basati su intelligenza artificiale per migliorare le prestazioni del sistema di produzione per ottimizzare le performance in termini di produttività, qualità ed efficienza e per un utilizzo delle macchine che ne ottimizzi il ciclo di vita.

- **Metodologie e modelli per la pianificazione di pro-**

cesso e la ri-progettazione del prodotto: è necessario sviluppare modelli di progettazione congiunta prodotto-processo che sfruttino al meglio le potenzialità dei materiali (che potrebbero essere a catalogo o progettati ad hoc) tenendo conto sia delle lavorabilità durante la produzione che delle prestazioni durante l'uso. Inoltre sono necessari modelli di pianificazione di processo che tengano conto di più obiettivi quali per esempio l'economicità delle lavorazioni, l'impatto ambientale delle stesse, e che siano in grado di produrre sequenze alternative di lavorazione tra cui scegliere in fase di realizzazione dei prodotti in funzione delle condizioni di ogni specifico impianto produttivo.

- **Soluzioni per ridurre l'impatto ambientale delle lavorazioni,** sia con lo sviluppo di nuove strategie per ridurre l'impatto dei consumabili (lubrificazione) che dei consumi energetici del processo (modifiche sulla componentistica della macchina e sulla scelta dei parametri di lavoro) che per la riduzione degli sfridi. Un secondo filone di ricerca industriale affronterà la riduzione dell'impronta chimica attraverso l'adozione di sostanze e materiali primari e accessori a più elevata riciclabilità.

- **Tecniche di giunzione multi-materiale e multifunzionali** per garantire la compresenza di diverse risposte funzionali, quali ad esempio saldature (omogenea o disomogenea) con differenti proprietà meccaniche (elastica e inossidabile), elettriche (ottima conducibilità, basso potenziale di contatto) e termiche (buona conducibilità).

Il miglioramento delle caratteristiche delle giunzioni dovrà essere capace di mirare al conseguimento di obiettivi bilanciati, che rispondano ad esigenze anche contrastanti come potranno essere le proprietà meccaniche in esercizio e la facilità di disassemblaggio in un'ottica di economia circolare.

- **Soluzioni innovative per l'assemblaggio:** sviluppo di nuove soluzioni per garantire le prestazioni del prodotto in presenza di limiti di precisione sulla produzione dei componenti attraverso soluzioni per la compensazione delle tolleranze che attraverso strategie per il selective assembling permettano di garantire prodotti di elevata qualità.

- **Processi adattivi e resilienti,** ovvero processi in grado di produrre anche in caso di interruzioni significative della catena di approvvigionamento come è successo nel caso del SARS Covid 19 (resilienza) piuttosto che adattarsi rapidamente alle mutevoli domande di mercato.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI1**
Le soluzioni basate sul generative design e sulle giunzioni multifunzionali troveranno relazioni con gli obiettivi di personalizzazione e di adattamento rapido.

- **LI2**
I temi affrontati sono di evidente importanza per l'evoluzione sostenibile di processi consolidati, migliorandone l'efficienza energetica e l'impronta ambientale.

- **LI3**
Sarà necessario studiare e adeguare i sistemi di interazione uomo-macchina che tengano conto delle nuove funzionalità che dei nuovi modelli digitali di processo.

- **LI4**
Integrazione tecnologica spinta in particolare per il forte livello di automazione già sperimentato in aziende di settori come nell'industria automobilistica assieme alle nuove opportunità aperte dalla mobilità elettrica.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

- Soluzioni autonome per l'ottimizzazione real-time di produttività e qualità del processo – Tali soluzioni non vanno considerate solo a livello di singola lavorazione ma è necessario sviluppare le regole e le logiche a livello macchina e di cella di produzione.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- Soluzioni per ridurre l'impatto ambientale delle lavorazioni. Tali soluzioni devono intervenire sia lato processo che lato automazione, a livello macchina e a livello cella.

- Generative design - Sviluppare approcci tali per cui il progetto delle proprietà fisico chimiche diventino metodi disponibili a CAD CAM per il progettista meccanico e stabiliscano specifiche trasferibili al processo produttivo.

- Modelli Digital Twin di strumenti, lavorazioni e macchine di lavorazione. In un orizzonte di medio termine nuovi modelli devono essere studiati e sviluppati per le piattaforme CAD, CAM e SIMULATORI garantendo formalizzazione della conoscenza e velocità di calcolo.

Obiettivi di medio-lungo periodo (5-10 anni):

- Tecniche di giunzione multifunzionali - Il miglioramento delle caratteristiche delle giunzioni multifunzionali è in fase di ricerca di base ed al fine di essere realmente applicabile in ambito industriale richiede lo sviluppo e la messa a punto di nuovi processi in grado di garantire il bilanciamento ottimale delle priorità di diversi materiali.

- Controllo del processo attraverso sistemi di intelligenza artificiale - selezione e controllo ottimizzato dei parametri di processo durante la lavorazione supportato da AI.

- Processi adattivi e resilienti a tale fine i processi dovranno avere la capacità di adattare il ciclo di fabbricazione dei prodotti in base alle deviazioni delle caratteristiche dei materiali e delle parti delle parti in ingresso. Inoltre, sarà necessario sviluppare strumenti e metodologie per adattare velocemente i processi alle nuove produzioni.

PRI5.4 HYBRID

Processi di produzione tramite tecnologie ibride

Lo sviluppo di sistemi produttivi in grado di supportare la Mass Customization è uno degli obiettivi della transizione a Industria 4.0 a livello nazionale ed internazionale.

Per ottenere questo risultato è necessario sviluppare soluzioni più flessibili, produttive ed in grado di lavorare i nuovi materiali disponibili sul mercato.

Grazie alle attività di ricerca e di sviluppo tecnologico, sono ormai disponibili molti processi produttivi, convenzionali e non convenzionali, per la lavorazione ad alta efficienza di materiali tradizionali ed innovativi.

La combinazione e l'integrazione di questi processi, volta a creare un sistema di produzione ibrido, costituisce un passo fondamentale per portare ad ulteriori miglioramenti nell'efficienza dei processi ed una maggiore flessibilità.

I processi di produzione ibridi sono basati su una interazione controllata di più processi durante la stessa lavorazione, caratterizzati anche da differenti sorgenti di energia, utensili, parametri di processo.

Questa integrazione permette di creare dei sistemi produttivi in grado di ottenere performance migliorate, come una migliore lavorabilità dei materiali e minori attriti, e di raggiungere dei livelli elevati di flessibilità grazie alla possibilità di alternare velocemente più tecnologie all'interno dello stesso processo produttivo, come già evidente per le macchine ibride additive-sottrattive recentemente disponibili sul mercato.

L'integrazione di differenti tecnologie pone delle sfide a livello progettuale e di gestione dei processi: non solo è necessario individuare le soluzioni ottimali per l'ibridazione, individuando gruppi di tecnologie che possono portare a dei benefici concreti grazie ad una profonda integrazione, ma è richiesto anche lo sviluppo di soluzioni ed approcci per l'utilizzo efficiente di tecnologie ibride, sia a livello di sviluppo di linee guida per la riprogettazione di componenti e del ciclo di lavoro che a livello di software per lo scambio continuo di informazione fra i processi integrati.

Tali sistemi dovrebbero permettere alle aziende di ridurre i tempi di produzione e di setup del ciclo produttivo, con notevole aumento della flessibilità della produzione; l'introduzione di nuovi multi-materiali permette di ottenere i prodotti con caratteristiche fisico-meccaniche superiori alle attuali soluzioni. Inoltre si prevede un aumento della produttività grazie al supporto di più tecnologie/ sorgenti di energia per rendere il processo più veloce ed economico e riduzione degli scarti di materiale grazie all'adozione di tecnologie in grado di ridurre i vincoli geometrici delle soluzioni attuali (es: soluzioni ibride additive-sottrattive).

La priorità di ricerca e innovazione si pone come obiettivo quello di studiare e sviluppare soluzioni ibride avanzate e in particolare:

- **Macchine ibride** in grado di utilizzare, sia in modo sequenziale che simultaneo, differenti tecnologie in grado di

ottenere maggiori performance del processo produttivo e migliorare la flessibilità della produzione. Inoltre è necessario sviluppare nuove soluzioni per il controllo in linea del materiale/prodotto, introducendo approcci multisensoriali.

- **Soluzioni ibride per l'AM:** integrazione di tecnologie additive e tecnologie convenzionali, in grado di permettere una maggiore flessibilità nella programmazione della produzione grazie ai minori tempi di produzione e nella definizione delle geometrie del componente.

Queste tecnologie permettono anche la realizzazione di componenti ibridi multimateriale e/o fibrorinforzati.

- **Progettazione di processi/utensili ibridi** per migliorare la resa di lavorazione ed aumentare la capacità di processo sfruttando più tecnologie contemporaneamente (ad esempio foratura e ultrasuoni, laser e deformazione plastica, processi di formatura e giunzione, funzionalizzazione differenziata dei differenti materiali che costituiscono il prodotto).

- **Strategie di ibridazione mediante l'utilizzo di processi meccanici e termici** o di tecnologie di condizionamento (lubrificazione, refrigerazione) del materiale in lavorazione e degli utensili.

- **Combinazione di lavorazioni tradizionali e lavorazioni su scala micro** in una macchina integrata che garantisca un miglioramento dei tempi di produzione (tempo necessario per spostare il componente da una stazione all'altra) e della qualità del componente (nessun riposizionamento).

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI1**
L'integrazione di più processi in un unico sistema produttivo permetterà lo sviluppo di macchine in grado di supportare la Mass Customization, non solo grazie all'aumento della flessibilità ma anche dalla introduzione di nuovi (multi) materiali in grado di soddisfare più facilmente le esigenze del cliente.

- **LI4**
L'integrazione delle tecnologie sarà volta a migliorare in modo incrementale l'efficienza del processo grazie allo sviluppo di nuovi approcci per aumentare la lavorabilità del materiale, la lubrificazione ed il tasso di lavorazione.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

- **Soluzioni ibride per l'AM:** miglioramenti riguardo il monitoraggio del processo, sviluppo di linee guida per il loro efficiente utilizzo ed una maggiore flessibilità nel cambio dei materiali.

- **Strategie di ibridazione mediante l'utilizzo di processi meccanici e termici** (2-3 anni): miglioramento

dell'efficienza delle lavorazioni per incrementarne le possibili applicazioni (es: Laser Assisted Machining).

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- **Progettazione di processi/utensili ibridi** (4-6 anni): lo sviluppo di sistemi produttivi fortemente integrati costituiti da 2 o più tecnologie richiede la progettazione di nuove macchine e lo sviluppo di sistemi di controllo e linee guida per il suo efficiente utilizzo.

- **Combinazione di lavorazioni tradizionali e lavorazioni su scala micro** (4-6 anni): l'applicazione al mondo micro di tecnologie ibride permetterà di ridurre i tempi di realizzazione di componenti in settori in forte crescita come quello dei medical device.

PRI5.5 MAT

Processi di produzione e di lavorazione di materiali innovativi

La strategia europea verso l'economia circolare (eliminazione dei rifiuti) implica che 500 Mt/anno di materiali potrebbero rientrare nel sistema economico.

Pertanto l'innovazione nei materiali sarà orientata ad una maggior sostenibilità in termini di durabilità, sostenibilità ambientale, possibilità di riuso/riciclo, zero/bassa emissione di CO2.

La sostituzione di metalli con polimeri è già una realtà grazie ai processi di iniezione per la realizzazione di ingranaggi, leveraggi, pulegge per esempio per il confe-

zionamento alimentare. Il design innovativo già propone materiali ottenuti da materie prime completamente naturali (bio-based and biodegradable packaging), come "materie plastiche" da alghe.

Alternative organiche come bambù, funghi e paglia di grano vengono già usate al posto dei tradizionali imballaggi a base di olio e plastica.

L'innovazione nei materiali richiede di garantire prestazioni implementate in termini di multifunzionalità, diversificazione delle aree di applicazione a seguito delle migliorate prestazioni (ad esempio compositi) con geometrie/architetture rinnovate a seguito di alleggerimento, miniaturizzazione, ibridazione.

Inoltre, l'uso dei materiali può essere migliorato fin dalla fase di progettazione congiunta prodotto/materiale, mediante lo sviluppo di database e strumenti software che includano materiale, processo, prestazioni del prodotto e modifiche nel ciclo di vita, potenziando gli strumenti di modellazione e caratterizzazione avanzata (progettazione generativa).

Lo sviluppo di nuovi materiali (leggeri, ad alte prestazioni, materiali secondari) richiede lo studio e lo sviluppo di moltissime tecnologie, processi e beni strumentali.

Gli obiettivi di questa priorità per i prossimi anni fanno riferimento a:

- **Tecnologie per la produzione basata su materiali innovativi**, dalle elevate caratteristiche meccaniche e funzionali come per esempio materiali per la cattura di CO2, membrane e sistemi di filtraggio, catalizzatori, rivestimenti per l'esaurimento degli NOx, materiali da rifiuti, materiali per il trattamento degli effluenti di acqua e gas, nuovi polimeri e compositi anche da rifiuti



organici, materiali biocompatibili, materiali alleggeriti, materiali riciclati da altri processi di lavorazione (second life material).

- **Tecnologie per la produzione di prodotti per l'energia basati su materiali ad alte prestazioni** come per esempio leghe metalliche, ceramiche e rivestimenti per alte temperature, materiali strutturali per tecnologie eoliche avanzate, materiali funzionali per fotovoltaico, solare termico, materiali per l'accumulo di energia, l'isolamento termico e l'accumulo di elettricità/calore.

- **Tecnologie per la produzione di prodotti basati sull'impiego di nano-materiali** che consentano la funzionalizzazione/nanostrutturazione di superfici per conferire ad esempio proprietà antimicrobiche, antivirali, "anti-fouling", auto pulenti con particolare rilevanza all'aspetto della sicurezza nella produzione e nell'impiego di nano-polveri.

- **Innovazione dei processi** per la produzione di materiali complessi ad alto valore aggiunto aumentandone l'efficienza (in termini di consumo energetico, riduzione scarti, riduzione dell'impiego di materie prime non rinnovabili).

- **Tecnologie per la produzione di materiali per applicazioni ad alto rischio**, quali ad esempio materiali per operare in condizioni ambientali specifiche, atmosfere esplosive, rischio biologico e chimico.

- **Nuovi processi per la produzione di materiali composti su larga scala** piuttosto che di utensili per la loro lavorazione (resistenza all'usura, basso costo, flessibilità).

Interazione con le altre linee di intervento

- LI3 e LI4
Integrazione per quanto riguarda il potenziamento degli strumenti per monitoraggio/diagnosi reso possibile dai materiali per nuovi sensori, attuatori, sistemi wireless.

- LI3
Integrazione per quanto riguarda l'impatto che le lavorazioni dei nuovi materiali possono avere sui rischi per la salute dei lavoratori.

- LI7
La progettazione generativa è un tema condiviso questa linea di intervento, perché permette una maggiore integrazione dei dati sui materiali nelle librerie dei sistemi di calcolo.

- LI4
Le tecnologie richieste per la produzione di materiali per l'energia avendo come scopo una grande produzione di massa competitiva sullo scenario globale ma rispettosa degli standard di sicurezza e di sostenibilità ambientale propri delle normative unionali.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

- Produzione di materiali strutturali e funzionali: tale obiettivo ad oggi consolidato a livello di laboratorio vedrà nei prossimi anni una reale introduzione nel sistema manifatturiero.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- Tecnologie per l'impiego di nano-materiali: sul breve e medio periodo dovranno essere messe a punto le tecnologie che consentiranno le produzioni industriali nel successivo quinquennio.

Obiettivi di lungo periodo (7-10 anni):

- Produzione di materiali per l'energia con particolare riferimento ai segmenti della catena del valore delle batterie per il raggiungimento degli scopi prefissati entro il 2031.

- Sviluppo di nuovi processi per la produzione di materiali compositi su larga scala: obiettivo fortemente correlato con l'evoluzione dei processi tecnologici di produzione (da quelli tradizionali a quelli innovativi quali l'additive manufacturing) vede ad oggi una fase matura per quanto riguarda la produzione dei materiali compositi ma ancora in essere per la produzione su larga scala.



PRI5.6 MICRO

Processi, prodotti e funzionalità su scala micro

Negli ultimi decenni, sta emergendo una forte tendenza alla miniaturizzazione dei dispositivi per una più facile collocazione in contesti con vincoli di spazio e di peso.

L'ambito elettronico, con i MEMS, è stato il pioniere di questa svolta verso la miniaturizzazione, prima con i computer portatili e poi con gli smartphone.

L'avvento della microingegneria, oltre alla microelettronica, ha generato nuove strategie di prodotto e di processo che stanno coinvolgendo in modo importante il mondo aerospaziale, automotive e soprattutto biomedicale.

Quest'ultimo, in particolare, costituisce una vera e propria nuova frontiera per lo sviluppo di micro dispositivi. Infatti applicazioni come i lab on chip ed i dispositivi microfluidici in genere per l'home care e l'autodi-

agnosi sono diventati ambiti di sviluppo che attraggono sempre più interesse da parte della comunità scientifica e del mondo industriale [3].

Nell'ambito delle microlavorazioni [4] si possono identificare due diversi approcci, ovvero uno che si focalizza espressamente sulla realizzazione di microcomponenti e l'altro che si occupa di sviluppare funzionalità micro su prodotti macro. Questi due approcci spesso coinvolgono, in modo differente, le principali tecniche di microlavorazione quali microEDM, microlavorazione laser, microfresatura, microstampaggio ad iniezione, microstrutturazione superficiale.

In altri casi invece concorrono tutte insieme, con un approccio interdisciplinare, allo sviluppo di dispositivi molto complessi ma dall'impatto di diffusione molto elevato.

La "micro fabbrica" è diventato il nuovo paradigma di produzione finalizzato alla realizzazione di microcomponenti e microdispositivi [5].

La produzione di micro parti richiede spesso ambienti

di lavoro speciali per la loro fabbricazione, movimentazione e assemblaggio, come ad esempio camere bianche o camere a vuoto.

Un requisito indispensabile per la microfabbrica, così come per la (macro)fabbrica, è il raggiungimento di una completa integrazione dei processi.

La fabbricazione di microparti, infatti, può essere facilitata se vengono eseguiti processi diversi (o fasi di processo) con un unico posizionamento, al fine di contenere le tolleranze di lavorazione, e con precisione micrometrica se non sub-micrometrica.

Tuttavia, a causa del costo elevato dei dispositivi ed attrezzature utili alla microfabbricazione nonché l'elevata competenza tecnologica richiesta, si sta definendo un nuovo concetto di fabbrica, ovvero quello di (micro) fabbrica diffusa, in cui le diverse attrezzature sono disponibili in luoghi, città o addirittura regioni diverse.

Questo approccio, se da un lato distribuisce i costi di acquisto e gestione delle apparecchiature, dall'altro richiede una progettualità che tenga conto dell'esigenza di poter spostare la componentistica o i semilavorati anche in modo importante da un luogo ad un altro.

Pertanto, il "design for micro-manufacturing", insieme al "design for micro-assembly", diventano due approcci non più alternativi, ma fortemente interconnessi tra di loro.

Un aspetto invece che risente favorevolmente di questo processo di miniaturizzazione è sicuramente la logistica. Infatti spostare queste micro parti risulta molto semplice e molto economico poiché le ridotte dimensioni permettono di facilitare notevolmente l'imballaggio ed il trasporto in sicurezza del materiale garantendo anche la gestione di notevoli volumi.

Pertanto, gli obiettivi essenziali per i prossimi anni al fine di portare ad un importante livello di concretezza il settore del micro manifatturiero sono:

- **Nuovi approcci finalizzati all'affidabilità dei processi di microlavorazione:** una tematica molto richiesta dalla comunità europea è il tema della "reliability" perché l'obiettivo di medio termine è di arrivare ad un livello di produzione industriale di dispositivi e/o componenti su base micro, attraverso lo studio e lo sviluppo di nuovi approcci per migliorare l'affidabilità dei processi di microlavorazione nonché di strutturazione e funzionalizzazione delle superfici.

- **Nuovi approcci per la caratterizzazione geometrica dei prodotti e delle funzionalità a livello micro:** è uno degli aspetti più critici del micro manifatturiero perché gli approcci tipici del "macro" non permettono di caratterizzare un prodotto o una funzionalità micro per limiti tecnici, dovuti alle ridotte dimensioni, e al rischio di danneggiare i microcomponenti.

E' quindi necessario studiare e mettere a punto nuove tecnologie di ispezione, nuovi approcci e metodologie a supporto della caratterizzazione geometrica e superficiale dei prodotti micro.

- **Metodologie e approcci di simulazione di processi micro:** l'aspetto simulativo è essenziale nello sviluppo

di dispositivi soprattutto se guardiamo alle esigenze dell'approccio Industria 4.0, approccio che richiede una importante virtualizzazione dei processi al fine di minimizzare gli errori e ridurre i costi di produzione.

Diversi sforzi sono stati fatti negli ultimi anni nella simulazione dei processi micro. È quindi necessario sviluppare nuove approcci alla simulazione per i processi quali ad esempio il micro stampaggio d'iniezione, l'iterazione laser-materia, con sorgenti ad elevata brillantezza piuttosto che con impulsi ultracorti, la micro elettroerosione e la micro fresatura.

- **Nuovi modelli di microfabbrica:** è necessario superare l'attuale approccio alle microlavorazioni come dedicate a singoli processi indipendenti.

In particolare, è necessario supportare la migrazione verso la "micro fabbrica" grazie all'integrazione tra i diversi processi di microlavorazione per arrivare a minimizzare gli errori e garantire alta qualità di produzione anche attraverso il paradigma della microfabbrica distribuita.

- **Tecnologie e sistemi per l'assemblaggio a livello microgeometrico:** questo è un aspetto di grande interesse scientifico che presenta tuttavia un TRL ancora molto basso.

La fase di manipolazione di componenti micro presenta diverse criticità.

È quindi necessario studiare nuove tecnologie e sistemi per le operazioni di assemblaggio quali la presa di un micro componente, il corretto orientamento e il suo rilascio.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI2**
Nell'ottica delle priorità di ricerca espresse dalla LI2, le tecnologie micro, soprattutto nella produzione di parti realizzate con materiali innovativi, possono considerarsi processi altamente sostenibili visto le ridotte dimensioni dei dispositivi ed il conseguente ridotto utilizzo dei materiali stessi.

- **LI4 e LI6**
Il concetto di micro fabbrica richiede un'interazione a livello macro con le linee di intervento LI4, LI6 per la valutazione dell'efficienza e della riconfigurabilità di questi impianti.



Orizzonte temporale

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- **Affidabilità dei processi di microlavorazione.**

- **Caratterizzazione geometrica dei prodotti e delle funzionalità a livello micro:** arrivare ad un livello di caratterizzazione geometrica dei componenti micro, così come avviene già per componenti macro, è una sfida ancora aperta ma che finalmente fa intravedere l'obiettivo, il grosso sforzo scientifico degli ultimi anni nell'identificare alcuni criteri di caratterizzazione del micro stanno muovendo nella giusta direzione.

La vera sfida sarà poter implementare sistemi di visione anche nel micro per il controllo del micro componente in fase di produzione.

- **Simulazione dei processi di microlavorazioni:** l'ambito simulativo dei processi micro è molto complesso poiché spesso ci si trova a dover utilizzare software sviluppati per processi convenzionali e su cui è necessario adattare i modelli di riferimento.

La grossa difficoltà risiede nel fatto che tutto ciò che si considera trascurabile a livello macro, assume invece una rilevanza notevole in ambito micro.

Basti pensare ad esempio alle forze di Van der Waals, alla tensione superficiale piuttosto che al coefficiente di adesione.

Obiettivi di lungo periodo (7-10 anni):

- **Tecnologie e sistemi per la manipolazione e l'assemblaggio a livello microgeometrico:** la manipolazione di microcomponenti, il corretto orientamento e rilascio sono tematiche molto complesse che richiedono ancora molti sforzi di ricerca unitamente alla necessità di ripensare la progettazione dei dispositivi al fine di minimizzare il più possibile le fasi di manipolazione e montaggio.

- **Integrazione dei processi micro verso il concetto di microfabbrica:** è la vera sfida del futuro, ovvero riuscire ad integrare i diversi processi di microlavorazione attualmente ancora utilizzate spesso in modo indipendente.



LI6: Produzione evolutiva e resiliente

Descrizione Linea di Intervento

L'utilizzo di sensori, controllori automatizzati e sistemi embedded sono entrati a far parte integrante dei sistemi di produzione.

Tuttavia, molte realtà industriali hanno sviluppato principalmente un Intranet degli Oggetti proprietario, focalizzato su scenari locali, isolato e ad anello chiuso.

Ma i cambiamenti che sono richiesti alle aziende derivano da una maggiore e più profonda interazione tra le varie parti della fabbrica implementando comportamenti collaborativi macchina-macchina e uomo-macchina.

Inoltre, l'analisi delle informazioni raccolte e scambiate consentirà di valutare l'insorgere di cambiamenti e di adattare il comportamento delle macchine al fine di ottimizzare l'efficienza anche nel caso di contesti variabili.

Tutto questo consentirà di implementare la manufacturing intelligence, ovvero un sistema produttivo consapevole di sé stesso, capace di evolvere e resiliente di fronte alle incertezze del contesto.

La collaborazione e la connettività daranno luogo a grandi quantità di dati che dovranno essere analizzati in real-time o near-real time e riconvertiti sui dispositivi mobili dei responsabili delle decisioni a livello sia di gestione sia di impianto.

Le imprese di produzione avranno un vantaggio competitivo rispetto alle loro competitor, se saranno in grado di eseguire analisi in tempo reale su un grande volume di dati provenienti da processi, prodotti e sistemi di gestione aziendali.

L'obiettivo della linea di intervento è studiare una nuova generazione di sistemi produttivi in grado di evolvere nel tempo per adattarsi dinamicamente alle mutevoli condizioni di contesto, determinate dalla turbolenza della domanda, dalla rapidità dei cicli tecnologici, dalle dinamiche della situazione competitiva, ma anche dalle dinamiche causate da cambiamenti improvvisi come eventi catastrofici del tipo pandemie.

E' quindi auspicabile che i nuovi sistemi di produzione siano pensati come sistemi evolutivi e resilienti grazie ad un elevato grado di automazione e autoapprendimento da parte delle macchine, con livelli di autonomia e di intelligenza adattativa tali da agevolare notevolmente il compito degli operatori.

Le tematiche prioritarie di ricerca riguardano: la modellazione e simulazione per la progettazione e gestione di sistemi produttivi e le tecnologie hardware e software per la ri-configurabilità dei sistemi produttivi. Gli

abilitatori tecnologici saranno legati alla disponibilità di dispositivi modulari e intelligenti, integrabili via wireless in modo trasparente e autonomo, in grado di monitorare e controllare gli asset produttivi, i prodotti e di supportare le decisioni rendendo disponibili tutti i dati operativi, di configurazione, guasto e manutenzione necessari.

Questo obiettivo sarà implementato attraverso le attività di ricerca sui seguenti ambiti:

- **Riconfigurabilità:** progettazione e controllo di sistemi di produzione riconfigurabili e modulari.
- **Componentistica:** componenti, sensori e macchine intelligenti per la produzione adattativa ed evolutiva.
- **Prestazioni:** sistemi per la predizione delle prestazioni e la gestione operativa della produzione e della logistica.
- **Ispezioni e analisi dei dati:** Smart Inspection & Machine Learning.
- **Collaborazione uomo robot:** Human Robot Co-working.

L'intelligenza artificiale e le tecniche ad essa connesse avranno inoltre una significativa influenza nello sviluppo di ciascuna priorità di ricerca.

Impatto atteso della linea di intervento

Miglioramento della capacità del manifatturiero di adattarsi alla continua evoluzione degli scenari tecnologici, economici e di mercato; miglioramento della capacità di reagire a shock endogeni ed esogeni dovuti a eventi imprevedibili più o meno impattanti (dalle catastrofi naturali alla momentanea indisponibilità di infrastrutture critiche, dalle epidemie ed emergenze sanitarie a situazioni contingenti ad elevato impatto sulle prestazioni e sulla continuità dell'operatività).

Inoltre si prevede un impatto sul time to market; miglioramento dell'efficienza dei fattori produttivi; miglioramento del controllo della produzione in real/near-real time miglioramento della capacità di predizione delle prestazioni di sistema, maggiore collaborazione uomo-robot.



Lista prioritaria di ricerca e innovazione

- **PRI6.1 PCR**
Progettazione e controllo di sistemi di produzione riconfigurabili.
- **PRI6.2 CSMI**
Componenti, sensori e macchine intelligenti per la produzione adattativa ed evolutiva.
- **PRI6.3 DPLF**
Digital Twin per la predizione delle prestazioni e la gestione operativa di sistemi produttivi e logistici ad elevata flessibilità.
- **PRI6.4 SIML**
Smart Inspection & Machine Learning.
- **PRI6.5 HRC**
Collaborazione uomo-robot.

PRI6.1 PCR Progettazione e controllo di sistemi di produzione riconfigurabili

L'evoluzione dei mercati e la velocità di cambiamento delle esigenze dei consumatori stanno spostando la produzione di massa a favore di nuovi prodotti in grado di soddisfare velocemente bisogni immediati causati anche da eventi inaspettati e tendenze legate alla personalizzazione del prodotto adattandoli alle mutevoli esigenze del mercato.

Il nuovo paradigma della azienda competitiva sarà il poter riprogettare un bene seguendo il più velocemente possibile i cambiamenti del mercato potendo contare su un sistema di produzione adattativo e resiliente.

Tale sistema dovrà essere riconfigurabile, ovvero: integrabile, convertibile, scalabile, customizzabile.

Pertanto, l'obiettivo di questa priorità di ricerca è lo studio e sviluppo di tecnologie e algoritmi per la progettazione ed il controllo di sistemi di produzione altamente riconfigurabili.

Rispetto allo stato dell'arte, il problema della riconfigurabilità deve essere considerato sia a livello di macchina che di linea di produzione, risultando necessario sviluppare sistemi avanzati di progettazione, controllo e simulazione, tecniche di adattamento e ottimizzazione dei modelli produttivi in funzione del prodotto o del mix di prodotti.

L'impatto di questa priorità di ricerca è una maggiore resilienza del sistema produttivo alle variabilità del mercato e a mutati contesti regolativi, minori time to market e costi di produzione in un ambiente a forte variabilità su diversi fronti, nonché una maggiore efficienza dei fattori produttivi.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano in particolare:

- **Modellazione e simulazione.** Per catturare in modo agevole le peculiarità della fabbrica del futuro, è necessario studiare e sviluppare adeguati software che permettano di migliorare tempi e qualità della definizione del modello di fabbrica digitale e sviluppare i corrispondenti ambienti di simulazione, attraverso procedure basate su tecniche di identificazione e riconoscimento adattativo delle risorse utilizzate nel sistema produttivo - macchinari, persone, materiali.

Fra le principali innovazioni necessarie in ambito di simulazione si può evidenziare la generazione (semi-) automatica di modelli di simulazione (come per esempio la simulazione ad eventi discreti) a partire da un modello digitale ("model-driven generation").

Ulteriore tema di ricerca riguarda l'impiego della simulazione a supporto dell'Intelligenza Artificiale con l'obiettivo di generare dati sintetici che possano essere usati come training dataset. In tutti i casi, la simulazione rappresenta quindi uno dei maggiori beneficiari di un Digital Twin accurato e costantemente aggiornato.

- **Metodologie per la progettazione evolutiva dei sistemi di produzione:** dal punto di vista delle meto-

dologie per la progettazione dei sistemi di produzione, devono essere sviluppate tecniche di design dei sistemi produttivi quali ad esempio il design for riconfigurabilità, il design for maintenance, il design for fast set-up and ramp-up, con particolare attenzione alla progettazione di sistemi per la produzione di lotti unitari e sistemi di tipo evolutivo.

- **Configurazione di architetture di comunicazione e scambio dati.** La configurazione del sistema non comporta solo la configurazione dei suoi componenti ma anche dell'architettura dati e del loro interscambio tra i diversi moduli. È quindi necessario sviluppare sistemi per la realizzazione in automatico di tale attività che consentano la configurazione della parte di data-model del sistema produttivo.

- **Configurazione del monitoraggio e controllo.** La riconfigurabilità del sistema produttivo necessita di adeguate metodologie per la configurazione del sistema di monitoraggio e controllo, in grado di adattarsi alla variabilità delle applicazioni e delle condizioni operative. In particolare, è necessario studiare e sviluppare nuove metodologie per avviare in sicurezza le linee di produzione a distanza senza presenza di tecnici in loco con il supporto di sistemi per la modellazione, simulazione, controllo e monitoraggio dei sistemi stessi.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI1**
Produzione personalizzati: la riconfigurabilità consente la adattabilità necessaria per sistemi di produzione personalizzati.

- **LI4**
Produzione ad alta efficienza & produzione zero-defect: un sistema di produzione riconfigurabile si può adattare a condizioni operative variabile per ottenere sempre la massima efficienza.

- **LI5**
Processi produttivi innovativi: la riconfigurabilità è frequentemente l'elemento fondamentale per lo sviluppo di nuovi processi produttivi ad alta flessibilità.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine 2-3 anni:

- Software per semplificare la definizione del modello di fabbrica digitale e corrispondenti ambienti di simulazione, attraverso procedure basate su tecniche di identificazione e riconoscimento adattativo delle risorse utilizzate nel sistema produttivo - macchinari, persone, materiali anche finalizzati al set up e al controllo da remoto.

Obiettivi di medio termine 4-6 anni:

- Tecnologie avanzate di progettazione e simulazione

in grado di tradurre le specifiche di customizzazione di prodotto nella progettazione, produzione e realizzazione delle macchine necessarie e dello stabilimento per quei prodotti.

- Sistemi di configurazione delle architetture di comunicazione in grado di integrare differenti funzioni di controllo e analisi dei dati.

Obiettivi di lungo termine 7-10 anni:

- Configurazione dei sistemi di monitoraggio avanzato degli impianti produttivi, generazione di digital twin dinamici del sistema con utilizzazione estesa di tecniche di machine learning e deep learning.

PRI6.2 CSMI Componenti, sensori e macchine intelligenti per la produzione adattativa ed evolutiva

Un sistema di produzione adattativo e resiliente richiede nuovi componenti capaci di rilevare e scambiare dati in modo efficace ed intelligente oltre che nuove metodologie per la gestione dei dati raccolti e scambiati.

Inoltre, questi nuovi componenti dovranno essere integrati nelle macchine presenti nell'impianto di produzione.

I sistemi di produzione adattivi e resilienti saranno caratterizzati da reti multisensore per la supervisione di processi e degli ambienti e per raccolta di dati.

Sensori sempre più sensibili ed efficienti in termini di costi potranno facilitare la misurazione di vari parametri che influenzano il processo, comprese le misurazioni in situ per il monitoraggio del processo.

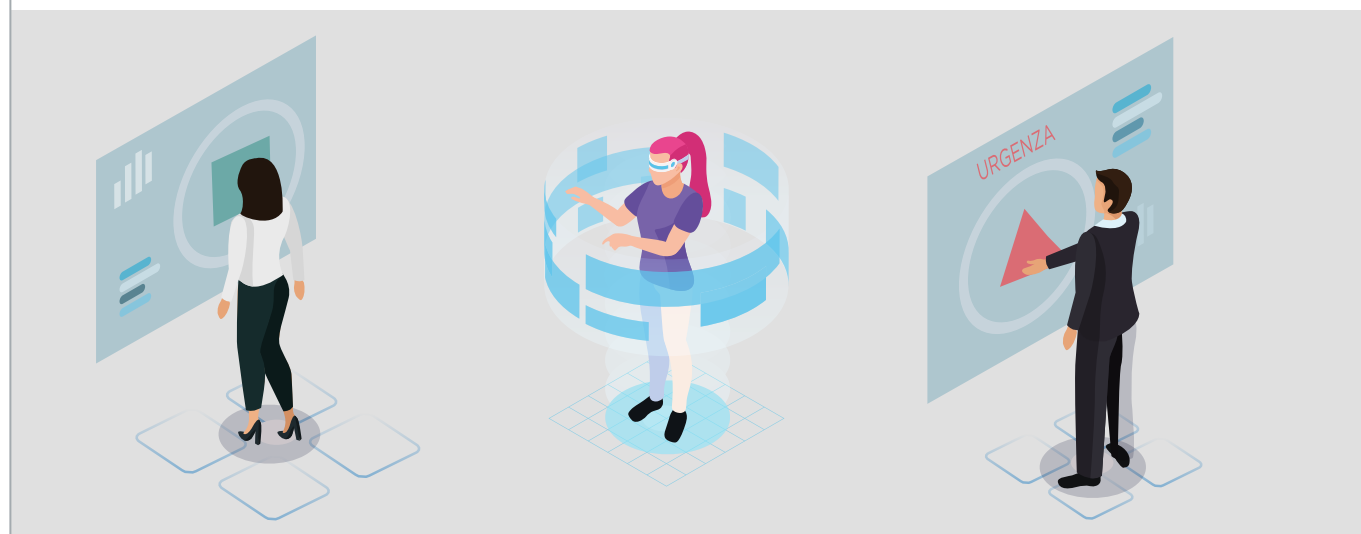
Le reti di sensori raccolgono dati che possono essere archiviati ed elaborati in prossimità dei processi (edge computing) o caricati a una rete cloud privata o pubblica.

È necessario che i dati siano disponibili in qualsiasi momento e ovunque nel sistema di produzione per essere processati attraverso sistemi di intelligenza artificiale, migliorando la conoscenza a livello sistemico e di dettaglio del processo.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano in particolare:

- **Sensori embedded intelligenti.** Per rendere maggiormente flessibili e intelligenti i sensori utilizzati nelle macchine, sarà necessario sviluppare tecniche per la miniaturizzazione, che comunque garantiscano un costo contenuto del sensore, adeguata autonomia energetica e implementazione di protocolli per la comunicazione dei dati.

Tali innovazioni saranno implementate su sensori a bordo macchina, sensori di attrezzatura, sensori su sistemi di trasporto e manipolazione e sensori sul materiale in lavorazione. È inoltre necessario studiare e sviluppare



sensori capaci di pre-processing dei dati onboard nelle postazioni di raccolta dei dati stessi al fine di poter comunicare i dati elaborati alle unità di controllo e ai database per la raccolta dei big data di fabbrica evitando il trasferimento ridondante di dati.

• **Sensori e componenti per l’Internet of Actions:** sviluppo di sensori per supportare le azioni a distanza senza perdere gli aspetti di sensorialità abilitando azioni di tipo interattivo e adattivo.

In questo modo, gli operatori esperti possono agire anche da remoto superando eventuali limiti alla mobilità delle persone.

In particolare, lo sviluppo di nuovi sensori e attuatori sarà fondamentale per consentire il senso di presenza a distanza, insieme ad azioni remote accurate e sicure.

Sono necessari nuovi sensori e attuatori che recepiscono e riproducano segnali tattili, visivi, sonori e olfattivi e i dispositivi impiegati nelle architetture lo devono essere studiati per gestire correttamente l’interazione tra l’ambiente e gli esseri umani e garantire il collegamento di dispositivi presenti nello shopfloor per fornire dati sullo stato dei processi in corso.

In particolare, questi dispositivi devono essere in grado di gestire la grande quantità di dati multi-source eterogenei, con soluzioni adeguate per elaborare questi flussi di dati per estrarre informazioni pertinenti.

• **Gateway universali intelligenti.** Per aumentare la flessibilità delle macchine e della linea di produzione, è necessario studiare e sviluppare gateway universali intelligenti vendor-neutral sia per quanto riguarda i protocolli di trasmissione che per il formato dei dati forniti. Inoltre, sarà necessario studiare nuovi sistemi di disaccoppiamento fra parte di misura e raccolta dati e il sistema di controllo delle macchine e degli impianti.

• **Metodi e strumenti di processing intelligente.** Per ottimizzare l’utilizzo dei dati generati dai sensori, è necessario studiare e sviluppare un’infrastruttura di raccolta e scambio dati adeguata per garantire la coerenza e la confrontabilità dei dati. Inoltre, è necessario progettare nuovi protocolli per l’accesso e la registrazione dei dati al fine di implementare basi di dati di grandi dimensioni (big data) che siano sicure, persistenti, resilienti, modulari e scalabili.

• **Monitoraggio in-process dei sensori.** Al fine di garantire resilienza e adattabilità durante il ciclo di lavoro, è necessario studiare e sviluppare modelli precisi e stabili per i sensori e i componenti, al fine di poter intervenire in modo preciso e deterministico sul processo il comportamento del sensore o del componente si discosti dal suo modello. Inoltre, utilizzando i modelli sviluppati e tecniche avanzate di machine learning e di deep learning, sarà possibile sviluppare strategie di autodiagnostica della macchina e, nel caso di processi noti e ripetitivi, di manutenzione predittiva.

Interazione con le altre linee di intervento

• **LI1**
I nuovi componenti sviluppati miglioreranno i sistemi di produzione, rendendoli più aderenti alle esigenze individuali.

• **LI4**
I nuovi componenti possono essere integrati per migliorare l’efficienza di produzione riducendo gli sprechi e i difetti.

• **LI5**
Processi produttivi innovativi: i nuovi componenti e materiali sviluppati ed i sensori più efficaci andranno a formare le macchine intelligenti che saranno utilizzate nella progettazione di processi produttivi innovativi.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

• Metodi e strumenti basati su logiche di “Data Fusion”, “Machine Learning” e Intelligenza Artificiale per la raccolta ed elaborazione anche centralizzata dei dati.

• Strumenti basati su HMI innovative e realtà aumentata in grado di semplificare l’intervento correttivo da parte dell’operatore.

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

• Nuovi metodi di progettazione per sensori embedded.

• Gateway universali intelligenti per l’interfacciamento a reti di sensori sia a livello di macchina che a livello di sistema di produzione.

• Integrazione di sensori in grado di operare come sistemi autonomi distribuiti per l’acquisizione di dati inerenti il contesto, la macchina e il processo produttivo.

• Metodologie e attuatori per l’implementazione di comportamenti adattativi ed evolutivi a livello di componente/macchina.

Obiettivi di lungo termine (7-10 anni):

• Integrazione a livello di macchina e processo di tecniche di monitoraggio “in-process” per il controllo in anello chiuso della qualità del semilavorato/prodotto finito e per l’implementazione di logiche di autodiagnostica e manutenzione predittiva.

PRI6.3 DPLF

Digital Twin per la predizione delle prestazioni e la gestione operativa di sistemi produttivi e logistici ad elevata flessibilità

L’introduzione di Cyber Physical System (CPS) permette lo sviluppo di sistemi produttivi e logistici avanzati e ad elevata flessibilità.

Con i CPS nella fabbrica si prospetta anche un’architettura di controllo di shopfloor per la supervisione in real time / near-real time.

Questo sviluppo è richiesto dalle tendenze attuali di elevata varietà di prodotti a cui consegue una complessità nella gestione delle risorse che deve essere sincronizzata nel sistema produttivo-logistico.

Alla capacità “classica” di gestione e controllo in tempo reale del sistema, si affiancano una nuova capacità di predizione delle prestazioni nell’orizzonte decisionale del breve termine (i.e., poche ore, più turni di lavoro, poche settimane di programmazione) e la supervisione delle decisioni di operations.

L’utilizzo di Digital Twin (DT) serve in tale ambito, per l’elaborazione delle informazioni real time / near-real time dal campo a supporto del controllo della produzione, coordinata nella sua esecuzione con attività correlate (come manutenzione, logistica di fabbrica, qualità, ...).

La potenzialità del DT in questo ambito prospetta benefici nel potenziamento della capacità di predizione delle prestazioni di sistema a partire dal monitoraggio costante delle attività, nel garantire la robustezza dei programmi di produzione a fronte di variabilità di processo e frequenti cambiamenti delle condizioni di carico di lavoro, e nell’abilitare un’elevata capacità di risposta alle esigenze di mercato nel rispetto dell’efficienza e dei costi di produzione.

Attraverso tali caratteristiche, il decisore è supportato a valutare, in breve tempo, le diverse alternative in gioco, per selezionare l’opzione ritenuta migliore nelle condizioni operative del sistema.

Obiettivo generale della priorità di ricerca è lo studio e sviluppo di metodologie e strumenti per migliorare la fruizione di DT in real time / near real time, al fine ultimo di sfruttarne l’elevato potenziale per la predizione delle prestazioni e la gestione operativa di sistemi produttivi e logistici ad elevata flessibilità.

In particolare, l’introduzione di questa fattispecie di DT è intesa come una funzionalità che serve ad integrazione di architetture esistenti per il controllo e coordinamento della produzione, fondate sia su sistemi del tipo Manufacturing Execution System (MES), sia su sistemi avanzati costruiti con infrastrutture Internet of Things (IoT) introdotte al fine di integrare informazioni sullo stato del processo, dei macchinari e di altre risorse coinvolte nella produzione e logistica di fabbrica anche attraverso l’impiego di tecnologie di Artificial Intelligence per la classificazione e predizione dello stato dei

processi, degli asset tecnici (come macchine, sistemi di movimentazione, attrezzature, ...) e delle attività degli operatori nelle stazioni operative.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca riguardano in particolare:

• **Integrazione del DT con piattaforme IoT per il monitoraggio dello stato reale del sistema produttivo-logistico,** e in generale con connessioni e protocolli standard di comunicazione con la sensoristica e i controllori locali dal campo, allo scopo di identificare i fattori critici emergenti dallo shopfloor per quanto riguarda lo stato del processo, dei macchinari e altre risorse coinvolte nella produzione e logistica di fabbrica.

In particolare tali DT devono prevedere la generazione di azioni di feedback sul sistema di controllo di sistema, dei relativi macchinari e equipaggiamenti in produzione e facilitare la sincronizzazione dei flussi di materiali nella simulazione del Digital Twin in real time / quasi real time.

• **Sviluppo di funzionalità avanzate nel DT per monitoraggio e analisi dei flussi dei materiali,** a partire dalla tracciabilità logica e fisica degli elementi di interesse (a partire dalla marcatura, etichettatura dei prodotti o, in generale, da informazioni raccolte mediante dispositivi di tracking).

• **Integrazione del DT con tecniche di Intelligenza Artificiale (AI) per la classificazione e predizione di condizioni operative, stato di salute e degrado futuro di macchine e altri asset tecnici** (con algoritmi di machine learning a supporto di classificazione e predizione ad integrazione delle capacità di simulazione del DT).

• **Sviluppo di funzionalità avanzate nel DT per monitoraggio e augmented intelligence nell’esecuzione dei task degli operatori,** per supportare, anche con tecniche di AI, una migliore interazione uomo- macchina in uno scenario di collaborazione sempre più stretta, allo scopo di ottimizzare il coordinamento e l’efficienza nell’esecuzione dei task operativi, e di agevolare la produttività dell’operatore attraverso la mitigazione della complessità dovuta alla varietà dei prodotti.

• **Integrazione del DT con metodi e strumenti per monitoraggio e supervisione della produzione,** allo scopo di garantire la revisione del programma di produzione in base allo stato del processo, dei macchinari e delle attività nelle diverse stazioni operative, a fini di robustezza delle prestazioni a fronte di variabilità del processo e frequenti cambiamenti delle condizioni di carico di lavoro.

• **Sviluppo di funzionalità avanzate nel DT per monitoraggio e analisi della sostenibilità delle tecnologie produttive,** per analizzare i consumi e limitare gli sprechi delle risorse impiegate, nel quadro di un processo di miglioramento continuo delle prestazioni che affianca la simulazione del DT a tecniche “classiche” di analisi.

Il sistema produttivo-logistico potrà essere caratterizzato, complessivamente, da predittività, adattività e resilienza conseguenti al controllo supervisivo in real time / quasi real time supportato dal DT e da sistemi di supporto alle decisioni operative ad esso connessi.

In particolare, DT di sistema produttivo-logistico in real time / quasi real time garantirà:

- Riduzione dei lead time di consegna e affidabilità dei programmi di produzione: la predizione, unita all'ottimizzazione e la verifica degli impatti delle variabilità sulle prestazioni di sistema, permetterà maggior confidenza nel raggiungimento degli obiettivi richiesti dalla filiera in cui la fabbrica opera.

- Produttività e costi di produzione: grazie all'ottimizzazione di impiego delle risorse e di esecuzione di attività di servizio (come ad esempio predisposizione attrezzatura, logistica materiali, manutenzione), pur operando in condizioni di variabilità.

- Maggiore qualità dei prodotti: grazie alla valutazione anticipata di eventuali condizioni di degrado del processo e dei macchinari, in relazione alle condizioni correnti e alla predizione di sistema.

- Sostenibilità delle tecnologie produttive: con il miglioramento continuo delle prestazioni unito alla predizione delle medesime.

- Produttività dell'operatore: tenendo conto del suo impatto sulle prestazioni del sistema in scenari di collaborazione uomo-macchina sempre più stretti.

- Efficacia del compito del decisore: grazie alla possibilità di valutare i trade-off di diverse alternative decisionali generate attraverso il controllo supervisivo del sistema.

Interazione con le altre linee di intervento

• LI5
Il DT deve essere sviluppato in modo funzionale allo sviluppo delle tecnologie innovative.

• LI7
Piattaforme digitali, modellazione, AI, security: le tecnologie sviluppate nella priorità di ricerca si possono utilizzare per lo sviluppo delle piattaforme sviluppate in LI7 e viceversa.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

• Integrazione del DT con piattaforme IoT per il monitoraggio dello stato reale del sistema produttivo-logistico.

• Sviluppo di funzionalità avanzate nel DT per monitoraggio e analisi dei flussi dei materiali.

• Integrazione del DT con tecniche di Artificial Intelligence (AI) per la classificazione e predizione di condizioni operative, stato di salute e degrado futuro di macchine e altri asset tecnici.

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

• Sviluppo di funzionalità avanzate nel DT per monitoraggio e augmented intelligence nell'esecuzione dei task degli operatori.

• Integrazione del DT con metodi e strumenti per monitoraggio e supervisione della produzione.

Obiettivi di lungo termine (7-10 anni):

• Sviluppo di funzionalità avanzate nel DT per monitoraggio e analisi della sostenibilità delle tecnologie produttive



PRI6.4 SIML

Smart Inspection & Machine Learning

La competizione sui mercati globali è determinata dalla possibilità di garantire, da una parte, la qualità dei prodotti finiti e, dall'altra, la perfetta efficienza dei sistemi di produzione, in un rapporto duale in cui il sistema di produzione determina la qualità del prodotto, mentre la qualità del prodotto è un indice di efficienza del sistema.

Per avere un sistema di produzione adattativo e resiliente è necessaria la capacità di verificare in modo semplice e intuitivo la qualità della produzione, e i sistemi di smart inspection basati su analisi di immagine sono i più coerenti con questa necessità.

Allo stesso tempo, la complessità delle relazioni fra sistema e prodotto, in un contesto di continuo mutamento dei prodotti e delle condizioni operative, può essere gestita attraverso sistemi di intelligenza artificiale, continuamente adattabili senza necessità di riprogrammazione.

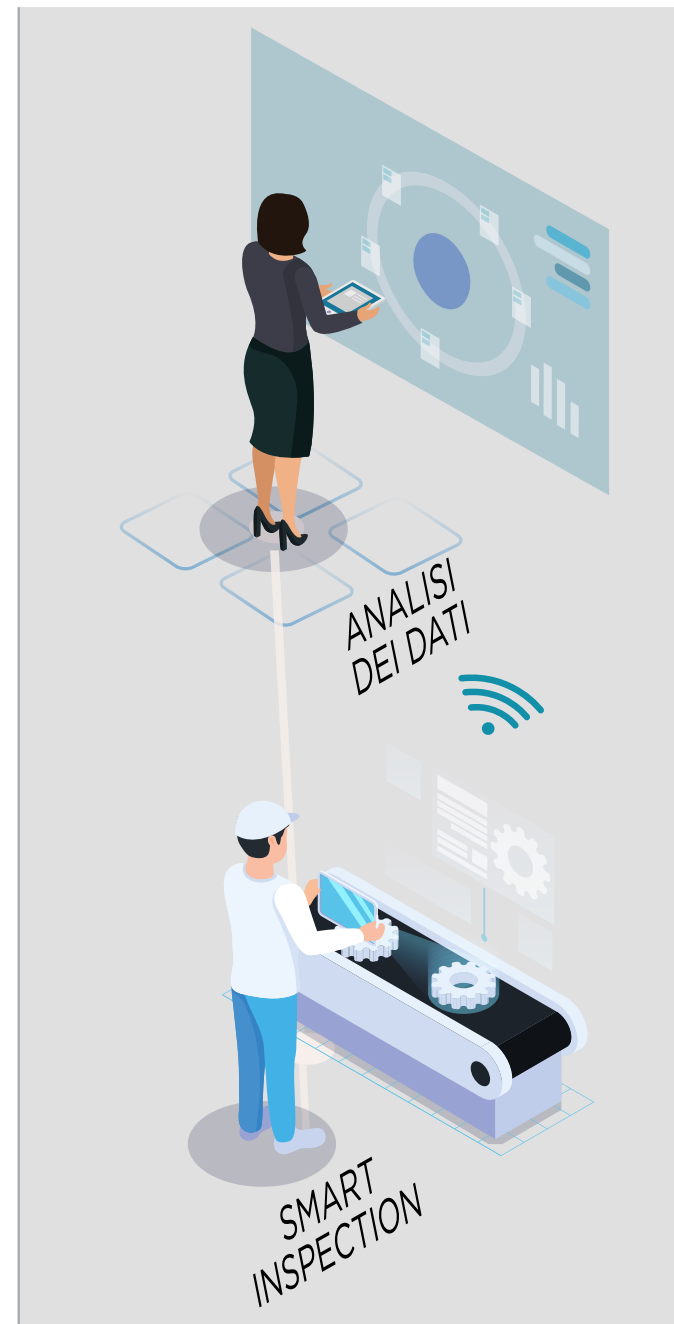
L'obiettivo di questa priorità di ricerca è lo studio e lo sviluppo di sistemi e algoritmi per la smart inspection, che siano in continuo rapporto con il sistema di produzione.

Rispetto allo stato dell'arte, è necessario sviluppare nuovi sistemi di smart inspection che siano intuitivi da programmare e che sfruttino i dati scambiati nella fabbrica per ottenere una predizione della qualità della produzione e che, d'altra parte, permettano di generare informazioni affidabili per la manutenzione del sistema produttivo.

Tale attività dovrà permettere una strategia orientata a difettosità "Zero", con una gestione della qualità della produzione capace di fare leva sulle capacità fruibili da altre aree aziendali, come la progettazione dei prodotti e la progettazione delle macchine.

I principali gap dello stato dell'arte risiedono nella disponibilità di sistemi di ispezione smart che siano rappresentativi ad un tempo di un numero elevato di caratteristiche di prodotto e che siano interpretabili per prendere decisioni.

A titolo di esempio lo sviluppo di tecniche di Machine Learning supervisionato, sia predittive che classificatorie, dovrebbe supportare la raccolta di informazioni che vengono dai prodotti e dovrebbero adattarsi automaticamente a prodotti sempre differenti, senza necessità di essere riprogrammate.



Infine, è necessario sviluppare sistemi avanzati di manutenzione predittiva che siano in relazione con la qualità dalla produzione oltre che con il sistema di sensori della macchina.

La disponibilità di sistemi di ispezione smart affidabili consentirà di inserire i controlli in linea, di aumentare l'affidabilità della produzione e ridurre al tempo stesso i costi e il time to market.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano in particolare:

• **Teach by demonstration:** algoritmi di Teach by Demonstration per la programmazione di robot collaborativi e industriali, che in maniera intuitiva ed allo stesso tempo robusta permettano di definire le sequenze, rispettando vincoli di sistema, di prodotto e di modalità di interazione con l'operatore.

La programmazione dovrà consentire alta flessibilità operativa ed evitare fenomeni di learning fatigue, attraverso l'implementazione di fasi di adattamento

con human in the loop.

Le sequenze saranno generalizzabili per adattarsi a contesti differenti, permettendo l'implementazione di sequenze efficienti, su un vasto campo di abilità operative, anche ad elevata destrezza.

• **Machine learning per la smart inspection.** È necessario studiare e sviluppare algoritmi di Machine Learning/Deep Learning per la qualità predittiva dei sistemi di Smart Inspection, che consentano non soltanto la corretta classificazione della qualità del prodotto, ma anche la predizione di eventi futuri correlati con la qualità del prodotto, permettendo di anticiparne l'occorrenza.

Gli algoritmi dovranno avere la capacità di ottimizzare i propri parametri, adattandosi a prodotti e contesti differenti, senza la necessità di essere riprogrammati. Dovranno inoltre consentire la valutazione del sistema di visione durante la sua progettazione ed implementazione, guidandolo verso la massima accuratezza di classificazione.

• **Sistemi di Smart inspection.** Studio e sviluppo di sistemi di Smart Inspection e Machine Learning con la capacità di dialogare con le altre macchine interconnesse, recependo informazioni di cambio formato, o materiale, o condizione operativa, o ambientale, per adattare automaticamente i propri parametri di classificazione al mutato contesto produttivo e generando opportune ottimizzazioni dei parametri interni.

Allo stesso tempo, la capacità predittiva su specifiche derive qualitative di prodotto dovrà essere usata per attivare sistemi di manutenzione predittiva, indirizzandoli verso le cause dei prossimi difetti.

• **Manutenzione predittiva.** Si prevede di studiare e sviluppare sistemi avanzati di manutenzione predittiva, in grado di raccogliere dati e segnali sia attraverso sistemi passivi basati su sensori embedded, che attivi, basati sulla attivazione di specifici componenti o sistemi ed analisi della risposta generata.

I sistemi dovranno essere in grado di interpretare la variabilità delle condizioni di funzionamento degli organi controllati in funzione dei processi in corso di esecuzione, utilizzando anche informazioni ambientali (quali temperatura e vibrazione), così come le informazioni provenienti dai sistemi di Smart Inspection, per la determinazione del tempo ottimale di intervento.

La valutazione dello stato di manutenzione di un sistema completo di macchina dovrà essere fornita indipendentemente in termini di stima di vita residua dei suoi elementi, probabilità di rottura, stima dei costi manutentivi, potenziale obsolescenza, integrandosi con una politica di manutenzione generale di impianto che permetta di raggruppare i singoli interventi e posizionarli correttamente nella gestione di impianto.

• **Progettazione di Macchine self-repairing.** In una visione di medio-lungo periodo, l'integrazione di tutte le tecniche sopra esposte dovrebbe permettere la realizzazione di macchine e sistemi con capacità di autodiagnosi, rimodulazione e adattamento dinamico delle condizioni di processo, identificazione degli interventi manutentivi, scelta di strategie ottimali di intervento, acquisizione automatica delle componenti di sostituzione, generazione delle sequenze dettagliate di manutenzione, integrazione con sistemi di realtà aumentata per intervento assistito da operatore o da robot, self-checking, self-programming.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI4**
Sistemi integrati ad alta efficienza & produzione zero-defect: sistemi di Smart inspection possono essere sfruttati per implementare sistemi ad alta efficienza.
- **LI5**
Processi produttivi innovativi: sistemi di Smart inspection possono essere integrati nello sviluppo di processi produttivi innovativi.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

- Algoritmi di Teach by Demonstration per la programmazione di robot collaborativi e industriali, in grado di programmare in maniera intuitiva ed allo stesso tempo robusta le sequenze, rispettando vincoli di sistema, di prodotto e di modalità di interazione con l'operatore.
- Sistemi avanzati di manutenzione predittiva, in grado di raccogliere dati e segnali sia attraverso sistemi passivi, basati su sensori embedded, che attivi, basati sulla attivazione di specifici componenti ed analisi della risposta generata.

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

- Algoritmi Machine Learning/Deep Learning per la qualità predittiva dei sistemi di Smart Inspection.
- Sistemi di Smart Inspection e Machine Learning con la capacità di dialogare con le altre macchine interconnesse.

Obiettivi di lungo termine (7-10 anni):

- Progettazione di Macchine self-repairing, con capacità di autodiagnosi, rimodulazione e adattamento dinamico delle condizioni di processo, identificazione degli interventi manutentivi, scelta di strategie ottimali di intervento.



PRI6.5 HRC

Collaborazione uomo-robot

Oggi sono disponibili sul mercato molti modelli di robot collaborativi, capaci di assicurare un'interazione sicura tra uomo e robot. Tuttavia, le prestazioni che si possono ottenere con i robot collaborativi sono ancora limitate.

Rispetto allo stato dell'arte, in questa priorità di ricerca si richiede un sistema di collaborazione uomo robot volto all'ottimizzazione della produzione e al migliora-

mento della qualità del lavoro al fine di ottenere sistemi robotici che rendano il lavoro del personale della fabbrica più agevole ed efficiente.

L'obiettivo di questa priorità di ricerca è quello di promuovere lo studio e lo sviluppo di algoritmi per la collaborazione tra uomo e robot nell'ambito dei sistemi produttivi.

L'interazione tra l'operatore e il robot dovrà essere efficiente, naturale e intuitiva. Inoltre, il robot dovrà contribuire a migliorare la qualità del lavoro degli utenti, ottimizzando la postura e prendendo in carico i compiti più pesanti (per esempio sollevamento carichi di oltre 10 Kg).

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano in particolare:

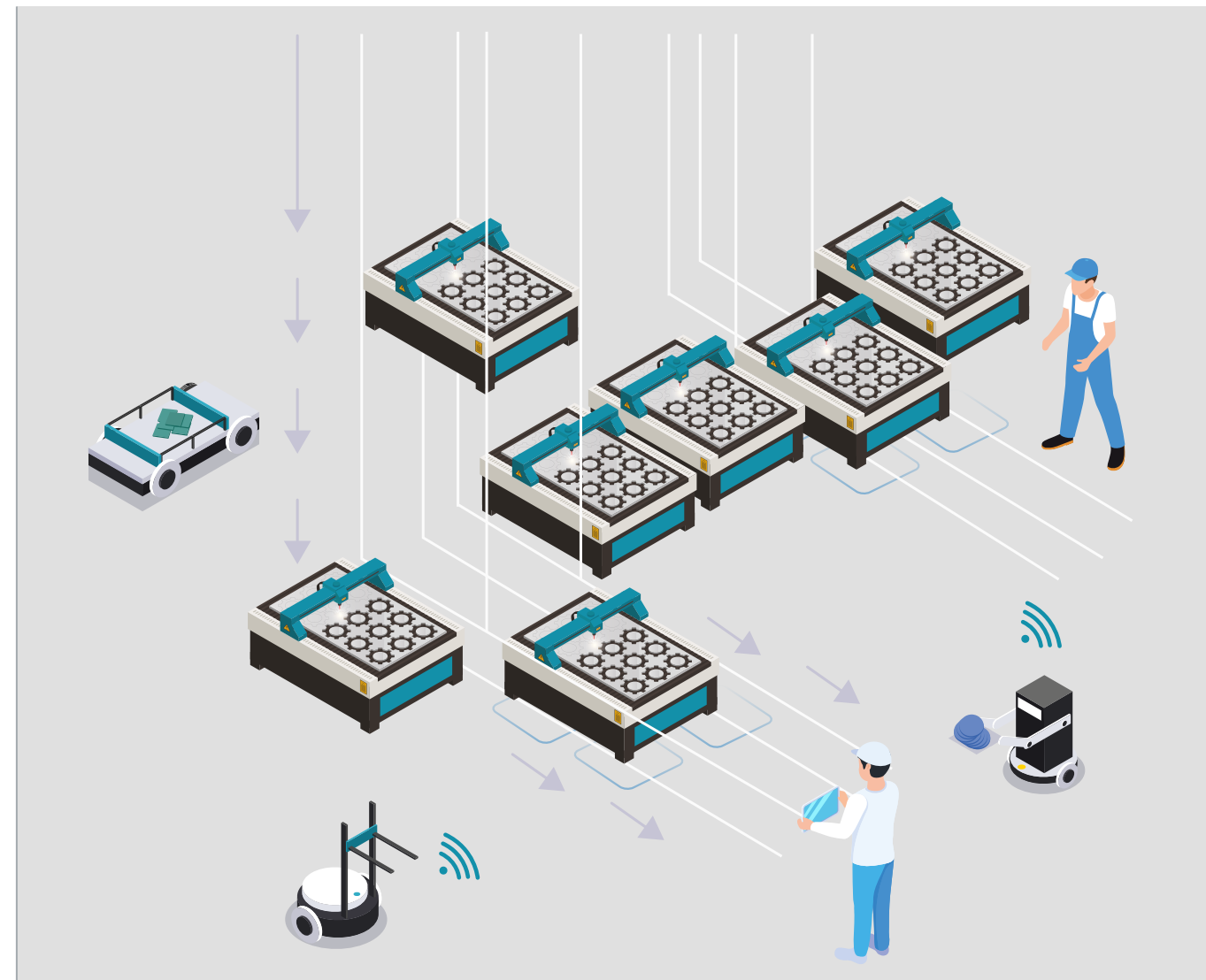
- **Consapevolezza.** Al fine di ottimizzare le prestazioni nell'interazione uomo robot, è necessario che il robot sia consapevole della posizione e della natura di ciò che lo circonda. Pertanto, è necessario che il robot possa generare, a partire dai dati raccolti dai sensori on-board e off-board, una consapevolezza dell'ambiente circostante e dell'operatore con cui sta collaborando.

In particolare, sono necessari lo studio e lo sviluppo di nuovi sensori e nuovi algoritmi per l'elaborazione dei dati in grado di fornire al robot una rappresentazione cinematica e semantica dell'ambiente circostante e dell'operatore. In tal modo il robot e il suo sistema di controllo potranno essere consapevoli della natura e dei movimenti di ciò che circonda il robot.

- **Suddivisione.** Per ottimizzare le prestazioni della collaborazione uomo robot è fondamentale suddividere in modo ottimale i task che ciascun attore deve eseguire nell'esecuzione di un lavoro in collaborazione. Sono necessari algoritmi di assegnazione dei task e di scheduling dinamico che, sulla base di vincoli (per esempio legati alla qualità del lavoro), di prestazioni richieste (per esempio minimizzare il tempo di esecuzione) e di un monitoraggio dell'attività, suddividono in modo ottimale il lavoro tra uomo e robot.

- **Ripianificazione.** Il robot collaborativo lavora in un ambiente molto dinamico ed è altamente improbabile che un movimento pianificato all'inizio di un task possa essere portato a termine senza che il robot si debba fermare per motivi di sicurezza. Questo comportamento porta a una diminuzione delle prestazioni e sono quindi necessari algoritmi di ripianificazione dinamica che, sulla base dei dati dei sensori e di una predizione del comportamento dell'operatore (ottenuta utilizzando algoritmi di AI), consentiranno al robot di scegliere dinamicamente il percorso migliore per l'esecuzione di un compito, evitando inutili tempi morti.

- **Comunicazione.** Al fine di creare una collaborazione naturale ed efficiente è fondamentale abilitare una comunicazione tra uomo e robot che sia semplice ed intuitiva. In tal modo l'operatore potrà adattare alle sue specificità il comportamento del robot ottimizzando la collaborazione grazie a nuove tecniche di comunicazione multi-modale tra uomo e robot al fine di creare un'interazione gestuale, vocale e fisica che massimizzi la sinergia tra operatore e robot.



- **Qualità del lavoro.** La collaborazione uomo-robot consente di sfruttare il robot per migliorare la qualità del lavoro dell'operatore umano anche grazie al supporto di tecniche di generazione della traiettorie che, oltre alle prestazioni, ottimizzano la qualità del lavoro dell'operatore umano (come ad esempio la postura).

- **Automazione Collaborativa.** Un robot collaborativo non è sufficiente se la cella che lo circonda è costituita da automazione non collaborativa. Pertanto è necessario studiare il concetto di automazione collaborativa, e sviluppare l'automazione che consente un'interazione sicura tra uomo e tecnologia. Solamente utilizzando automazione collaborativa insieme a un robot collaborativo intelligente sarà possibile una cella di lavoro collaborativa.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI5**
Processi produttivi innovativi: le tecniche di collaborazione uomo-robot sviluppate nella priorità di ricerca possono essere sfruttate per lo sviluppo di processi produttivi innovativi.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

- Consapevolezza del robot circa l'ambiente che lo circonda.
- Ripianificazione del robot per cambi programma non pianificati.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- Suddivisione del lavoro tra robot e operatore per eseguire il lavoro in modo collaborativo.
- Sistemi per ottimizzare la qualità del lavoro per l'operatore.

Obiettivi di lungo periodo (7-10 anni):

- Comunicazione per migliorare la collaborazione uomo robot.
- Automazione Collaborativa che renda collaborativi non solo i robot ma anche tutte le tecnologie all'interno della fabbrica che si devono interfacciare con uomo e robot.



LI7: Piattaforme digitali, modellazione, AI, Cyber security

Descrizione Linea di Intervento

I diversi livelli di maturità organizzativa e tecnologica delle aziende, soprattutto se PMI, richiedono un quadro di riferimento che sia sostenibile e attuabile nel tempo secondo le specifiche capacità delle aziende stesse e la peculiarità della realtà italiana porta a considerare una serie di fattori quali:

- Ampio numero delle PMI rispetto a quello delle grandi imprese, che rappresentano le filiere della subfornitura italiana e che devono ancora in massima parte adottare efficaci soluzioni digitali per integrarsi e competere anche nel panorama internazionale.
- Ampio spettro di soluzioni digitali presenti sul mercato senza player dominanti in grado di rappresentare standard di fatto per la loro adozione ed il loro utilizzo.
- Capacità da parte delle aziende italiane produttrici di macchinari, linee ed impianti di produzione di integrare soluzioni digitali e di automazione spinta sui propri prodotti, utilizzati dai manifatturieri.

La digitalizzazione del manifatturiero italiano fa così nascere l'esigenza di pensare allo sviluppo di architetture digitali flessibili, riconfigurabili, integrabili in modo semplice e a costi sostenibili, facendo crescere contestualmente l'esigenza di profili professionali per la digitalizzazione dei processi.

In particolare, si sta puntando ad integrare approcci basati sul cloud con soluzioni di edge computing, per sfruttare al massimo i benefici legati a tecnologie quali AI, digital twin, Industrial IoT.

Le varie tecnologie abilitanti vengono scelte ed adottate tramite i prodotti disponibili sul mercato e integrate fra loro sulla base delle effettive necessità e dei vantaggi che possono garantire nel breve, medio e lungo termine.

Ma è necessario investire in attività di ricerca e innovazione che vadano oltre le soluzioni commerciali. In particolare, il tema delle piattaforme può profondamente cambiare il modo di operare nell'ambito del manifatturiero aprendo scenari che possono essere da un lato promettenti per le aziende perché consentono loro di federarsi e aumentare la massa critica e dall'altro possono presentare dei rischi in quanto i gestori delle piattaforme stesse possono assumere una posizione dominante togliendo libertà di manovra alle aziende che le usano.

Questo insieme di sfide porta ad una visione che va oltre Industria 4.0 in ottica di Industria 5.0 in cui gli aspetti tecnologici vengono estesi per considerare il ruolo attivo dell'uomo e dare maggiore enfasi alla sostenibilità.

La linea di intervento LI7 è volta alla definizione di prio-

rità di ricerca e innovazione per lo sviluppo di architetture digitali innovative per il monitoraggio, il controllo e la gestione dell'avanzamento della produzione e dei suoi asset, la modellazione di nuovi prodotti/servizi e processi produttivi, l'utilizzo di soluzioni di AI, Big data e adeguati sistemi di Cyber security.

In particolare, le priorità di ricerca e innovazione della linea LI7 devono tener conto del fatto che diventa sempre più necessario definire dei criteri per la gestione e la trasformazione del dato grezzo di produzione in informazione strategica per i decision maker, individuando le informazioni da raccogliere da ogni punto di accesso digitale tramite le idonee tecnologie abilitanti e da veicolare quindi in modo opportuno.

I nuovi sistemi da sviluppare devono garantire che ogni punto di accesso digitale fornisca informazioni adeguate all'opportuno livello organizzativo, in una complessità e granularità crescente con la dimensione dell'azienda.

Particolare attenzione deve essere posta sui vantaggi offerti da soluzioni:

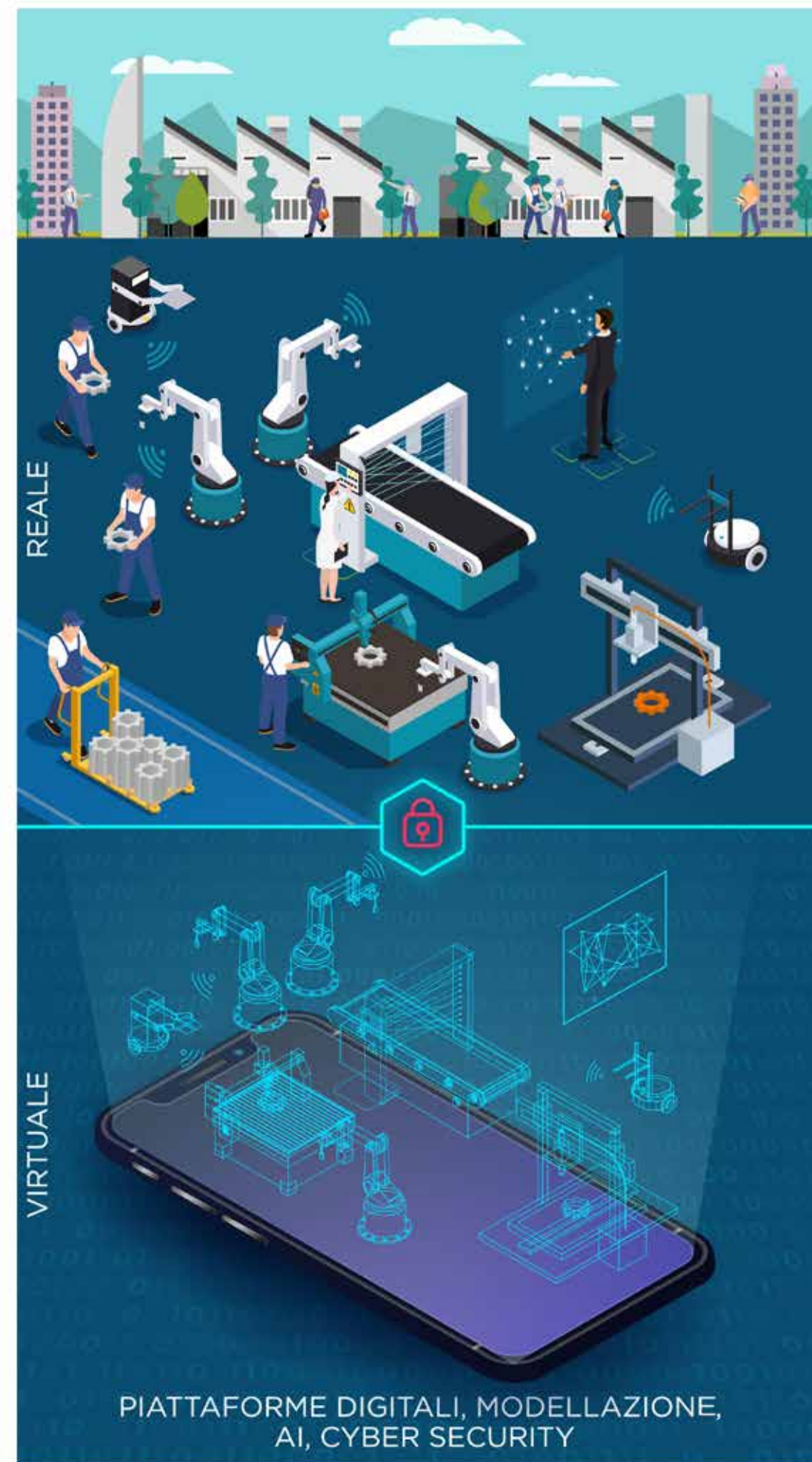
- Aperte per permettere l'interoperabilità tra i sistemi attraverso prodotti software open source utilizzati nel rispetto del Copyleft offerto dall'autore.
- Flessibili e riconfigurabili anche da remoto per sostenere la resilienza delle aziende ad eventi inaspettati e non pianificabili.
- Basate su modelli che consentano di dare significato ai dati raccolti.

La LI7 si propone di modulare i propri obiettivi tenendo conto del fatto che:

1) Le aziende di produzione, a maggior ragione se PMI nell'ambito della subfornitura, devono integrarsi dal punto di vista dei processi e dei flussi con la propria catena di fornitura a monte e a valle. I modelli di Supply Chain Dinamiche basate su piattaforme di collaborazione permettono di gestire catene che diventano molto efficienti a vantaggio della produttività e della resilienza del Paese.

2) Le nuove dinamiche di consumo si spostano sempre più dall'acquisto di beni strumentali alla loro fruizione in termini di servizi (servitizzazione) per cui l'intero processo di progettazione e produzione dei beni deve essere supportato da nuovi modelli e strumenti per migliorare l'offerta di soluzioni prodotto-servizio.

3) L'integrazione tra il mondo della progettazione, della produzione e della gestione aziendale obbliga il superamento delle barriere tra i sistemi digitali di sviluppo prodotto e processo (CAD, CAE, CAPE, CAM, CAPP), supervisione e controllo di processo e di sistema (MES, CMMS, QA) ed i sistemi gestionali (ERP, Logistica, CRM, BI) che deve realizzarsi tramite l'adozione dei vari sis-



temi/prodotti, dove mancanti, e la loro interoperabilità funzionale. A livello fabbrica è necessario integrare produzione, logistica, qualità e manutenzione per migliorare l'efficienza e l'efficacia dei sistemi produttivi.

4) Data l'eterogeneità dei macchinari, delle infrastrutture e dei processi di produzione, l'architettura di campo per l'interconnessione delle macchine, la raccolta dati, la loro elaborazione ed integrazione con i sistemi aziendali devono consentire l'evoluzione e la scalabilità nel tempo, nonché la possibilità di utilizzare, integrandole, le varie tecnologie disponibili per fornire servizi digitali evoluti agli utenti presenti ai vari livelli dell'organizzazione.

5) Metodologie avanzate di business e industrial analytics devono supportare le operazioni time-consuming tipiche della simulazione off-line e del Deep-Learning per poter alimentare i sistemi edge a bordo impianto con modelli predittivi pre-elaborati.

6) Digital Twin basati su "single source of truth", sempre aggiornata e affidabile, devono supportare decisioni in tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto e del processo e produrre un flusso informativo unico e sincronizzato.

7) L'integrazione tra mondo fisico e mondo digitale – combinata con la crescente proliferazione di vulnerabilità ad ogni livello, evoluzioni di minacce cyber persistenti e che sfruttano la sinergia di vettori di attacco differenti, dal mondo fisico, al mondo digitale al mondo sociale – espone le realtà industriali a nuove tipologie di rischio e a potenziali impatti negativi in termini di interruzione di servizi produttivi, qualità e integrità dei prodotti, danneggiamenti agli impianti fisici produttivi, fino a danni fisici alle persone coinvolte nel ciclo produttivo.

In questo contesto, la trasformazione digitale, con l'introduzione di servizi a valore aggiunto (quali, ad esempio, la manutenzione predittiva e, più in generale, la connettività verso piattaforme di IoT all'interno e all'esterno della rete aziendale), aumenta l'esposizione ai rischi di Cyber security: lo sviluppo di una serie di architetture, piattaforme e servizi che garantiscano la resilienza nell'attività degli impianti produttivi è quindi una imprescindibile necessità di business e di adeguamento a requisiti normativi.

Impatto atteso della linea di intervento

Utilizzo pervasivo di nuove piattaforme digitali, di infrastrutture tecnologiche, di servizi avanzati per la gestione della catena di produzione e distribuzione al fine di conseguire un incremento di efficienza e produttività e un adeguato raccordo tra domanda e offerta; miglioramento dei processi di creazione della fiducia nelle reti di impresa; maggiore interconnessione tra gli attori della filiera; maggiore velocità nella fornitura di servizi digitali avanzati; piena integrazione e normalizzazione dei dati; interoperabilità e scalabilità dei sistemi in campo; maggiore efficacia ed efficienza delle tecnologie grazie alla cyber security; aumento delle sicurezza dei sistemi produttivi.

Lista prioritaria di ricerca e innovazione

PRI7.1 MS_SCD

Modelli e strumenti per la gestione di imprese collaborative e supply chain dinamiche.

PRI7.2 PRO_PSS

Progettazione di offerte integrate di prodotto-servizio.

PRI7.3 MGESTASS

Modelli e strumenti per il monitoraggio della produzione e la gestione degli asset produttivi.

PRI7.4 IIOT

Modelli e strumenti IIoT per la raccolta dei dati di fabbrica.

PRI7.5 BIA

Metodologie di business e industrial analytics.

PRI7.6 DTWIN

Tecniche di modellizzazione e gestione delle informazioni basate su Digital Twin.

PRI7.7 CYBER

Modelli e strumenti a supporto dell'Information and Cyber security.



PRI7.1 MS_SCD

Modelli e strumenti per la gestione di imprese collaborative e supply chain dinamiche

Lo scenario strategico con cui deve confrontarsi il manifatturiero italiano è caratterizzato da:

- Elevata competizione internazionale, sia sul fronte del costo che della innovazione tecnologica, turbolenza e incertezza dei mercati a monte e a valle (di recente enfatizzata dalle tensioni sulle normative che regolano gli scambi).

- Necessità di gestire reti di imprese complesse e dinamiche (si pensi alle riconfigurazioni delle reti produttive associate ad eventi di natura politica, come l'utilizzo di dazi o la Brexit, ambientale, o sanitario, come la pandemia Covid 19).

Lo scenario descritto induce stress comparativamente superiori in Italia, per via di aspetti quali la ben nota ridotta dimensione di impresa e la forte dipendenza dall'estero, per quanto attiene sia i mercati a monte per l'approvvigionamento di materie prime che a valle per i mercati di sbocco dei prodotti finali.

Con riguardo all'approvvigionamento di materie prime, si rileva altresì la notevole importanza di approcci coerenti con l'economia circolare, per noi vantaggiosi oltre che per la sostenibilità ambientale, anche per la loro



capacità di ridurre il rischio di approvvigionamento (sia in relazione a disponibilità che a costo delle risorse).

Per quanto sopra descritto è essenziale che le imprese siano dotate della capacità di operare in modo efficace ed efficiente nell'ambito delle Supply Chains (SC) globali in cui sono inserite.

Esse devono altresì essere capaci di partecipare dinamicamente, con analoga efficacia ed efficienza, in diverse SC in funzione di nuove opportunità di business che possano emergere nel tempo.

Si configura la necessità di migliorare **in primo luogo** l'integrazione attraverso una migliore connessione del parco macchine all'interno dei vari impianti coinvolti nelle operazioni di filiera, e migliorare la capacità di monitoraggio e controllo in tempo reale dell'avanzamento delle commesse, tracciando l'avanzamento della produzione presso i diversi siti produttivi.

Queste integrazioni sono rese possibili dai dati e dalle informazioni disponibili sovente in formati non coerenti tra le diverse imprese coinvolte, e costituiscono un prerequisito chiave per l'integrazione collaborativa nelle SC globali.

Il pieno sfruttamento di questi dati è basato sulla creazione di una gestione collaborativa della SC e garantisce un'integrazione di processi e flussi che attraversano il perimetro aziendale di ciascun partner nella SC.

Per rendere operative queste potenzialità è necessario sviluppare metodi e approcci che permettano di garantire la fiducia tra i soggetti partecipanti, dare valore alla informazione e suddividere i benefici tra i soggetti.

La priorità di ricerca e innovazione è pertanto lo studio e lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche e or-

ganizzative che prevedano la realizzazione e l'adozione di piattaforme digitali secondo un modello aperto, che facilitino l'interoperabilità dei sistemi già adottati presso i vari attori della SC e con le specifiche applicazioni verticali di processo mappate su architetture di rete mobili (come il 5G) o fisse (fibra).

Tali infrastrutture sono il presupposto indispensabile per implementare approcci basati su big data analytics e algoritmi di AI che supportino i processi decisionali.

In tal senso, il paradigma di distributed ledger presenta caratteristiche che appaiono coerenti con la natura distribuita della responsabilità organizzativa dei processi e dei flussi di filiera.

Le soluzioni da sviluppare dovrebbero permettere di superare problemi di fiducia tra i vari attori e aumentare la trasparenza nello scambio delle informazioni lungo tutta la filiera, eventualmente in modo selettivo e opportunamente gestibile, nonché superare la frammentazione delle informazioni attraverso l'uso di una visione condivisa del dato basata su ontologie.

Le piattaforme digitali diventano un asset chiave per la gestione collaborativa di supply chains dinamiche e si sviluppano nei seguenti obiettivi specifici di ricerca:

- **Modelli e sistemi per la configurazione della SC:** tali modelli dovrebbero supportare le decisioni di carattere progettuale e di configurazione della filiera (come la selezione di un nuovo fornitore, o la localizzazione di un centro di produzione o smistamento) attraverso i seguenti sviluppi:

- Sistemi per l'estensione della tracciabilità fisica di ogni prodotto e componente: garantire sistemi di tracciamento con lo scopo di identificare facilmente le cause di un problema lungo tutta la filiera.

Tali sistemi avrebbero anche un utile applicazione in termini di gestione di problemi di contraffazione.

- Sistemi di certificazione delle informazioni scambiate con i partner come per esempio fornitori, terzisti e distributori e che attraverso opportuni algoritmi permettano di estrarre dati oggettivi, rendendoli utilizzabili solo da chi è autorizzato attraverso distributed ledger e blockchain.

- Sistemi di Big Data analytics e Intelligenza Artificiale per supportare l'analisi sui fornitori e fornire proposte in base agli specifici parametri di interesse quali ad esempio filiera corta, filiera sostenibile, filiera robusta.

- Definizione di meccanismi di miglioramento della fiducia in contesti collaborativi. Al fine di migliorare il coordinamento della SC, soprattutto in presenza di processi decisionali distribuiti, approcci per progettare e sviluppare smart contracts anche grazie al ruolo abilitante della tecnologia blockchain.

- Metodologie e strumenti per valutare e ottimizzare la robustezza della SC e per progettare SC che siano in grado di garantire le performance attese in diversi scenari di riferimento.

• **Modelli e sistemi a supporto della gestione operativa della SC:** tali modelli dovrebbero essere basati su un livello di trasparenza dei sistemi tale da garantire la condivisione necessaria delle informazioni per la gestione dell'avanzamento della produzione e per la gestione operativa in generale con tutti gli attori della SC.

Inoltre, questi modelli dovrebbero supportare decisioni anche in caso di eventi critici per garantire le prestazioni target grazie anche all'utilizzo di tecniche quali machine learning, simulazione, intelligenza artificiale e garantire la sicurezza e la privacy dei dati.

Particolare attenzione allo studio di modelli innovativi per la gestione di SC dinamiche e collaborative che permettano di gestire il fine vita del prodotti e in generale l'implementazione dell'economia circolare.

• **Digital Twin per la SC:** studio e sviluppo del gemello digitale della SC basato su metodi che colleghino diversi modelli digitali di prodotti, macchine, linee presenti presso gli attori della SC garantendo la coerenza complessiva e la possibilità di modellare interazioni complesse che generano comportamenti emergenti di difficile predizione.

Interazione con le altre linee di intervento

• **LI1**
Supporto nella definizione di meccanismi per garantire la trasparenza dei processi, lo snellimento del processo decisionale e per agevolare la collaborazione lungo la SC possono essere elementi sinergici con il tema delle modular factories.

• **LI2**
Supply chain costituite da imprese dinamiche e collaborative rendono più agevoli processi produttivi sostenibili, in particolare coerenti con l'economia circolare, e facilitano la gestione di flussi fra attori diversi della reti che si scambiano by-products come materie prime seconde.

Gli obiettivi sopra menzionati possono essere legati ad alcuni dei temi trasversali quali: la trasparenza lungo la filiera (tempi, quantità, qualità), essenziale per abilitare l'utilizzo di eventuali by-products come materie prime seconde; la gestione delle informazioni, critica perché i flussi di by-products hanno minore continuità e prevedibilità di quelli delle materie prime convenzionali; gli smart contracts per catalizzare tali scambi rendendoli vantaggiosi e sicuri per le parti coinvolte.

• **LI5 - LI6**
Entrambe queste LI perseguono azioni relative a quanto è stato sopra definito come "requisiti interni", per tutti si cita il digital twin di processo per la LI5 e il digital twin di macchina per LI6); tali "requisiti interni" costituiscono elementi abilitanti per la priorità in esame.

• **LI5 - LI6**

Entrambe queste LI perseguono azioni relative a quanto è stato sopra definito come "requisiti interni", per tutti si cita il digital twin di processo per la LI5 e il digital twin di macchina per LI6); tali "requisiti interni" costituiscono elementi abilitanti per la priorità in esame.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

• Modelli e sistemi per la configurazione della SC che supportano le decisioni di carattere progettuale (come la selezione di un nuovo fornitore) attraverso l'utilizzo di idonei indicatori per la profilazione delle imprese, sia appartenenti alla SC, sia non appartenenti e quindi potenziali nuovi partner della SC.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

• Sviluppo modelli e sistemi per la gestione operativa della SC, e sviluppo di Digital Twin distribuiti che permettano quindi di valutare comportamenti emergenti e supportino in questo modo decisioni legate alla configurazione della SC stessa e alla gestione delle operations.

PRI7.2 PRO_PSS

Modelli e strumenti per la progettazione di offerte integrate di prodotto/servizio

Si sta sempre di più diffondendo la possibilità di gestire i beni strumentali fino ad oggi acquistati in proprietà attraverso un modello service based che permette di valorizzare la transazione sulla base non tanto della proprietà ma dell'utilizzo del bene stesso.

Questa tendenza è già entrata in uso sia nel segmento B2B che B2C come per esempio nel settore aeronautico dove i motori vengono forniti ai costruttori dei velivoli come servizio a costo per ore di volo, o nell'automotive dove autoveicoli o mezzi di cantiere sono noleggiati a lungo termine e pagati sulla base del

chilometraggio o delle ore di lavoro. Anche nel settore dei beni strumentali per il manifatturiero la servitizzazione permette di integrare la vendita del bene con servizi che garantiscano la disponibilità di funzionamento della macchina tramite servizi di monitoraggio e manutenzione on-condition e predittiva.

Su questo modello si innestano anche processi di produzione offerti come servizio (Manufacturing as a service) da parte di aziende specializzate che forniscono l'uso della macchina in pay-per-use ad altre aziende manifatturiere per lavorazioni particolari che non possono essere effettuate in loco.

Gli obiettivi sui quali puntare in questa priorità di ricerca e innovazione sono:

• **Piattaforme e soluzioni per servizi digitali avanzati** che permettano di abilitare la tracciabilità dell'uso del prodotto per migliorarne la configurabilità e supportare l'assistenza da remoto tramite per esempio:

- APP ed HMI innovative per gli utilizzatori finali in modalità SaaS (Software as a Service) e sviluppo di nuove interfacce tra il prodotto e il servizio che facilitino lo scambio delle informazioni tra un componente e l'altro della soluzione integrata e che permettano di abilitare appropriati servizi di supporto.

- Piattaforme digitali per la gestione dei servizi digitali in cloud multitenant.

• **Soluzioni digitali di revamping** del parco dei prodotti esistenti per allungarne la vita e migliorarne l'utilizzo fornendo nuove capacità di interconnessione ai sistemi aziendali o alle piattaforme di servizi digitali.

In particolare è necessario puntare sullo studio e sviluppo di:

- Soluzioni di sensorizzare delle macchine che in modo sicuro e poco invasivo permettano di rendere i sistemi di fabbrica connessi.

- Generazione di interfacce che in modo automatico e/o semiautomatico integrino le soluzioni esistenti e garantiscano la comunicazione con la macchina.

- Sistemi di interconnessione automatica e/o semiautomatica ai gestionali aziendali o alle piattaforme di servizi digitali in cloud a basso costo e che possano essere facilmente integrate per il controllo dell'avanzamento della produzione ed il miglioramento della manutenzione predittiva e dell'automazione di fabbrica.

- Sistemi di visione in grado di interpretare e ricostruire lo stato delle macchine, dello shopfloor e dei processi anche in presenza di informazioni parziali ricevute dai sensori.

• **Nuovi modelli multidisciplinari e nuovi PLM** per la progettazione congiunta del prodotto/servizio che integrino conoscenze e tecnologie eterogenee necessarie ai diversi livelli di progettazione (Meccanica, Elettronica, Automazione, Software di sistema, Software applicativi, connettività remota e di prossimità).

Tali strumenti possono supportare la progettazione di nuovi prodotti, la riprogettazione di prodotti esistenti e la progettazione di servizi come parte integrante del ciclo di vita del nuovo prodotto/servizio attraverso software di progettazione per la valutazione degli impatti delle scelte progettuali sull'uso del prodotto, per stimare per esempio il Total Cost of Ownership, e i servizi collegati. Sono necessari anche sistemi di Cyber security by design nella progettazione del nuovo prodotto/servizio in ottica PLM.

ti e la progettazione di servizi come parte integrante del ciclo di vita del nuovo prodotto/servizio attraverso software di progettazione per la valutazione degli impatti delle scelte progettuali sull'uso del prodotto, per stimare per esempio il Total Cost of Ownership, e i servizi collegati. Sono necessari anche sistemi di Cyber security by design nella progettazione del nuovo prodotto/servizio in ottica PLM.

Interazione con le altre linee di intervento

• **LI1**
Personalizzazione della soluzione attraverso la fornitura di servizi digitali integrati e a supporto del prodotto stesso.

• **LI2**
Questa priorità può supportare lo sviluppo di servizi a supporto del monitoraggio e controllo della sostenibilità di prodotti e impianti.

• **LI3**
Questa priorità può partecipare allo sviluppo di servizi digitali a supporto dei lavoratori in linea.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

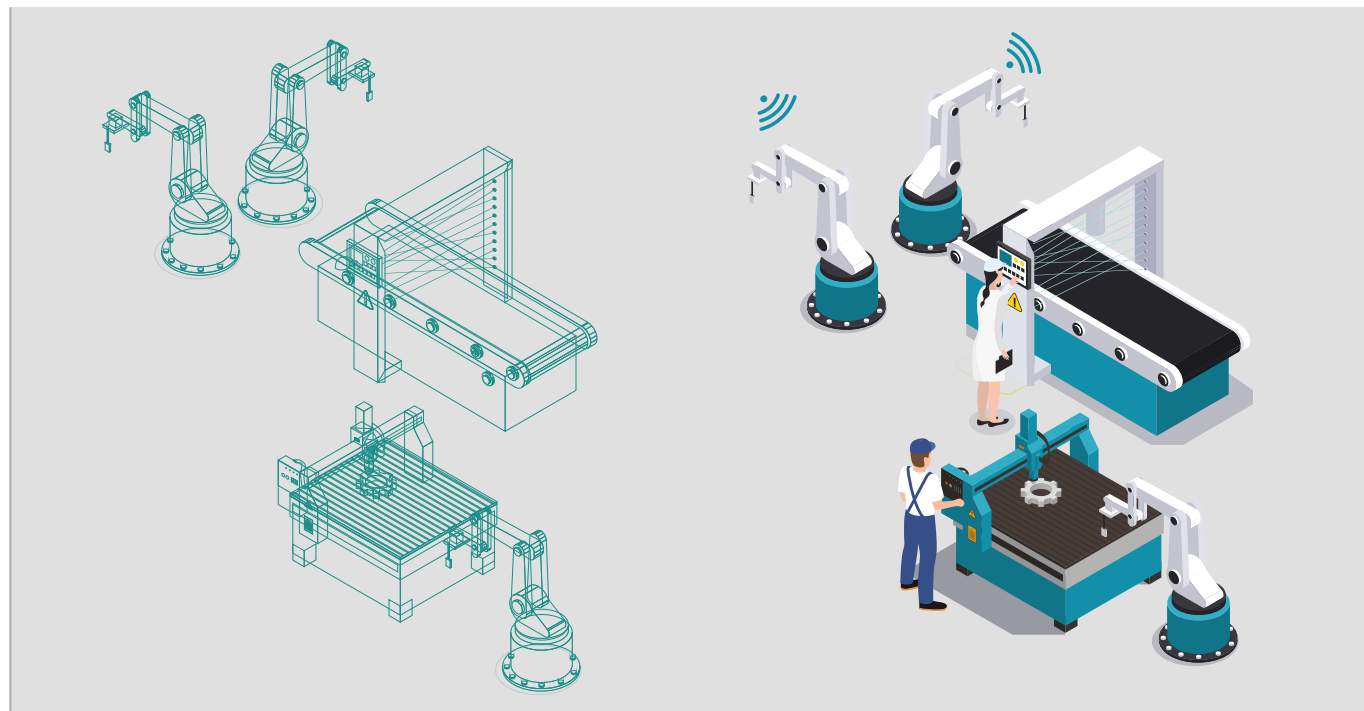
• Soluzioni digitali per il revamping del parco dei prodotti fornendo nuove capacità di interconnessione ai sistemi aziendali o alle piattaforme di servizi digitali.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

• Servizi digitali avanzati che permettano di abilitare la tracciabilità dell'uso del prodotto attraverso la sua integrazione ai sistemi aziendali o a nuovi servizi digitali gestiti in cloud per migliorare la sua configurabilità e l'assistenza da remoto.

Obiettivi di lungo periodo (7-10 anni):

• Strumenti di progettazione PLM per prodotti e servizi finalizzato al cyber security by design e alla progettazione che tenga conto degli impatti lungo tutto il ciclo di vita del prodotto.



PRI7.3 MGESTASS

Modelli e strumenti per il monitoraggio della produzione e la gestione degli asset produttivi

È sempre più urgente che i processi di produzione vengano gestiti in modo sincrono con gli altri processi aziendali per poter scambiare informazioni utili ai diversi livelli decisionali in tempo reale e in modo affidabile.

Questa necessità potrebbe verificarsi per esempio per quanto riguarda le informazioni relative alla disponibilità del prodotto in fase di offerta o di consegna a commessa avviata, alla programmazione della movimentazione dei semilavorati all'interno della fabbrica ed ai trasporti per ottimizzare tempi e costi della logistica interna ed esterna, alla manutenzione e allo scambio di dati con i sistemi gestionali.

Inoltre il processo di produzione dovrebbe essere in grado di generare dati oggettivi e certificati per facilitare l'analisi delle aree di miglioramento della produzione, rendere più robusta la capacità di preventivazione e garantire la disponibilità delle risorse produttive per la programmazione efficiente degli asset.

La maggior parte delle soluzioni sul mercato sono complesse da implementare e costose e si focalizzano solo su singoli e specifici asset produttivi.

Occorre dunque facilitare l'estensione dell'utilizzo di queste soluzioni sia per sistemi produttivi completi e con diversi livelli di complessità (sistemi distribuiti e remoti), anche tenendo conto delle necessità delle PMI che hanno investito su macchinari I4.0 ma che al momento non riescono a sfruttare efficacemente i dati che questi sono in grado di generare.

Sempre più frequentemente, le tecnologie come macchine, automazioni, controlli e SCADA producono dati che devono essere trasformati in informazioni pronte all'uso da parte dei sistemi gestionali (come per esempio ERP, BI, e sistemi per la logistica), tenendo conto anche di altri sistemi legati alla produzione con cui interfacciarsi quali MES, CMMS, PLM.

Gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano:

- **Soluzioni modulari finalizzate al dynamic asset management** che siano in grado, combinando opportunamente specifici moduli, di risolvere problemi di gestione e monitoraggio delle risorse.

Tali soluzioni devono essere progettate in modo tale da: a) avere un sufficiente livello di genericità (evitando soluzioni ad hoc), ma al contempo devono tener conto della specifica struttura produttiva dove devono essere implementate (come per esempio tempi di set up e tipo di produzione); b) garantire che il monitoraggio e la schedulazione si possano adattare in funzione della configurazione degli asset in continua evoluzione anche in considerazione di cambiamenti legati alla resilienza o dell'economia circolare.

Queste infrastrutture dovrebbero essere concepite secondo un'architettura weakly coupled garantendo anche alle PMI la possibilità di costruire, la propria soluzione scalabile e modificabile in ogni momento secondo criteri di:

- Interoperabilità nell'integrazione orizzontale e verticale dei propri sistemi.
- Flessibilità nella riconfigurazione dei propri processi e flussi informativi.
- Controllo e certificazione dei dati per rendere più robusti i sistemi decisionali.
- Integrazione con piattaforme digitali di filiera.

- **Soluzioni per la comunicazione di fabbrica basata sul 5G.** Le infrastrutture per la gestione dinamica degli asset dovranno essere in grado di veicolare in tempo reale e in maniera massiva dati eterogenei sfruttando le modalità operativa di tipo URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communication) della rete 5G.

Inoltre, lo sviluppo di specifiche applicazioni verticali (Verticals) di processo dovrà garantire l'affidabilità e la sicurezza della comunicazione e, al contempo, minimizzarne la latenza.

In particolare, il 5G industriale ha caratteristiche legate indissolubilmente ai requisiti tipici delle operation technologies, e dovrebbe essere basato sulla creazione di "bolle di connettività" che connettono gli elementi che si trovano all'interno del campus aziendale integrando 5G e WLAN come previsto dagli standard e garantendo le adeguate performance di affidabilità, disponibilità, data-rate e latenza. Sarà necessario inoltre studiare le tematiche legate al Beyond5G che prevedono l'utilizzo congiunto di tecniche di sensing e comunicazione.

Interazione con le altre linee di intervento

- **LI5**
Questa priorità può integrare parte dei propri sviluppi a supporto della definizione di processi produttivi innovativi.
- **LI6**
Integrazione di strumenti per il monitoraggio a supporto della produzione evolutiva e resiliente.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

- Soluzioni di Connettività basate su 5G Privato Industriale e 4G Pubblico per connettività su WAN. Realizzazione di PoC ed estensione copertura all'intera supply chain. Introduzione ed integrazione di piattaforme di connettività standardizzate wired/wireless per garantire la connettività necessaria per la digitalizzazione dei processi.

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

- Soluzioni modulari che siano in grado, combinando opportunamente specifici moduli, di risolvere problemi di gestione e monitoraggio delle risorse. Lo sviluppo di tali soluzioni richiede un adeguato livello di genericità (evitando soluzioni ad hoc), ma al contempo devono tener conto delle esigenze specifiche di ogni struttura produttiva dove tali sistemi devono essere implementati (in termini per esempio di tempi di set up e tipo di produzione).

- Soluzioni per la comunicazione di fabbrica basata sul 5G.

Obiettivi di medio periodo (7-10 anni):

- Sistemi di comunicazione Beyond5G che prevedono l'utilizzo congiunto di tecniche di sensing e comunicazione.

PRI7.4 IIOT

Modelli e strumenti IIoT per la gestione dei dati di fabbrica

Un elemento infrastrutturale fondamentale nell'ambito delle soluzioni digitali riguarda le architetture e tecnologie (come microsensori e MEMS connessi) di generazione, raccolta, elaborazione, integrazione e condivisione dei dati grezzi dal campo che, trasformati in opportuna informazione, possono condurre al miglioramento della produttività e la riduzione dell'impatto ambientale tramite lo smart management degli asset degli impianti.

Il paradigma dell'Industrial IoT (IIoT) è mutuato da quello dell'Internet of Things (maggiormente orientato all'interazione tra utente, smart object dell'ambito domestico e smart city) e si basa sull'adozione di tecnologie mission critical (per tempistica e QoS, affidabilità, sicurezza e privacy) di interazione M2M, aprendo la strada ad una migliore comprensione dei processi manifatturieri, a supporto della produzione efficiente, sostenibile e riconfigurabile.

Tra i principali obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione possono essere individuati:

- **Sistemi e applicazioni verticali** che sulla base di architetture **edge computing** permettano di gestire in near real/real time i segnali dal campo e trasformarli in informazioni facilmente utilizzabili.

In particolare, sono necessari approcci che permettano di utilizzare l'intelligenza artificiale anche in locale, come per esempio l'utilizzo di reti neurali per interpretare in modo appropriato le informazioni prima di trasmetterle al livello decisionale più alto.

Oltre allo sviluppo di opportuni sensori che coprano diverse tipologie di segnali come per esempio sensori di visione (di tipo infrarossi, x-ray o iperspettrale), sonori, elettromagnetici con capacità di elaborazione locale molto sofisticata sono necessari nuove tipologie di processori locali che tengano conto delle diverse fonti da cui i dati vengono raccolti (sia da oggetti ma anche dai lavoratori attraverso sensori indossabili).

- **Sistemi per supportare la trasformazione dei dati** (nella maggior parte dei casi massivi, non strutturati e eterogenei) in informazione e per facilitarne il trasferimento verso i sistemi decisionali anche attraverso sistemi di comunicazione wireless abilitati dal 5G.

Nel caso dei dati di impianto, è necessario che tali sistemi garantiscano elevata affidabilità, elevata sicurezza e bassa latenza dell'informazione trasmessa.

- **Sistemi di comunicazione (wired o wireless)** che

garantiscano il dialogo in tempo reale e a bassa latenza tra sensori localizzati in diversi punti di raccolta dati per dare una visione stereoscopica e garantire l'interazione dell'edge computing anche a livello locale. In questo modo, è possibile avere un'intelligenza distribuita locale che dialoga e trasmette in modo opportuno i dati e/o i modelli di intelligenza artificiale o machine learning per limitare la quantità di informazioni trasmessa senza introdurre troppe penalizzazioni nell'accuratezza dei risultati dell'inferenza.

• **Tecnologie e piattaforme mission critical** di interazione smart M2M ai diversi livelli dello stack, da quello di comunicazione e di middleware a quello di elaborazione distribuita tra sistemi locali, Edge e Cloud con differenti caratteristiche di latenza e capacità che possono collaborare per soddisfare al meglio le esigenze applicative. Tali sistemi devono anche essere studiati per garantire la riconfigurazione della rete stessa.

• **Dispositivi hardware di tipo indossabili** (wearable) che garantiscano per esempio l'interazione con il linguaggio a gesti, o dispositivi non indossabili che permettono di vedere oggetti 3D in locale per gestire per esempio la manutenzione dei macchinari e la formazione degli operatori.

Tali tecnologie possono migliorare il workflow e la produttività grazie alla convergenza tra fisico e digitale. Inoltre la disponibilità di risorse computazionali accessibili con bassissima latenza abilita la realizzazione di innovativi servizi convergenti, tra i quali l'AR di prossimità, a supporto alle manutenzioni bordo macchina e la 3D HMI per diagnostica remota delle macchine, evitando la navigazione altrimenti complessa tra i dati di HMI tradizionali (liste, diagrammi, allarmi). Vi è inoltre uno stretto rapporto tra la connettività pervasiva nelle linee di produzione e la Cyber security che deve proteggerla senza limitare l'operatività. Vanno quindi ricercati nuovi metodi, architetture e algoritmi secondo approcci unificati e standardizzati che tengano conto anche della grande eterogeneità di apparati e di tecnologie, sia per quanto riguarda la generazione tecnologica (in particolare i sistemi legacy) che per i fornitori, tipicamente presente negli stabilimenti di produzione. Gli obiettivi individuati possono essere ricondotti ad un pieno raggiungimento dell'integrazione e normalizzazione dei dati, anche in real-time, e al miglioramento, a livello di progetto e di realizzazione, di sicurezza, interoperabilità e scalabilità dei sistemi in campo, considerando anche l'ampia base installata di sistemi legacy.

Interazione con le altre linee di intervento

• LI5
Processi produttivi innovativi e LI6 – Produzione evolutiva e resiliente, in quanto ne costituisce una delle principali tecnologie abilitanti.

• PR7.5
Business Industrial Analytics e la PR7 Information e Cyber security, in quanto sinergiche e complementari per realizzare gli obiettivi di efficientamento, resilienza e innovazione dei processi produttivi.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve periodo (2-3 anni):

• Sistemi di interazione e comunicazione tra sensoristici anche di tipologie diverse.

• Dispositivi hardware di tipo indossabili (wearable).

Obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

• Ideazione di modalità di interazione e sistemi di data fusion per ricavare informazioni dall'insieme dei dati rilevati dai sensori utili al contesto industriale.

PRI7.5 BIA

Metodologie avanzate di business e industrial analytics

Nel contesto della gestione di sistemi, componenti ed impianti industriali, la transizione digitale porta con sé grandi opportunità di migliorare efficienza e impatto ambientale ma anche sfide significative. La possibilità di arricchire con sensori macchinari e strumenti di lavoro, il miglioramento della velocità di comunicazione, e la diffusione di capacità di calcolo sia in locale (edge) che in remoto (cloud) rendono disponibili grandi quantità di dati (incluse immagini) che attraverso l'Intelligenza Artificiale possono essere utilizzati per esempio per la manutenzione predittiva e diagnostica dei problemi, per ottimizzare le strategie di utilizzo e produzione degli impianti, per migliorare la collaborazione con i clienti in tempo reale durante le fasi di produzione (B2B). Inoltre i nuovi sistemi devono permettere anche un ritorno alla progettazione dei dati di vendita e di uso dei prodotti per la generazione di nuove soluzioni con un approccio integrato B2B2C. Tuttavia per trarre valore dai dati bisogna risolvere i vincoli della raccolta e dell'utilizzo delle informazioni in ambiente industriale che riguardano:

• La grande mole di dati grezzi prodotta molte volte con disomogeneità delle rappresentazioni utilizzate (frequenze di campionamento, semantica, struttura, formato) e bassa storicizzazione.

• La scarsità di informazioni sul funzionamento dei sistemi in regimi diversi da quelli di funzionamento abituale, in particolare per impianti complessi.

• Le differenze nel trattamento di micro-fermate (di maggiore frequenza e risolvibili con intervento in-loco) o fermate critiche (rare e tipicamente relative a componenti da sostituire).

• La difficoltà di sfruttamento di informazioni non-empiriche, quali la conoscenza della struttura dell'impianto (o componente) (dato dalla mancanza del relativo modello).

Alla luce di tutto questo, gli obiettivi di questa priorità di ricerca e innovazione riguardano:

• **Metodi e strumenti per il monitoraggio automatico dello stato del sistema:** sulla base di informazioni derivate da fonti eterogenee quali utensili, macchinari, sistemi per valutare le relazioni causa-effetto (applicando approcci ontologici e di reasoning) è necessario studiare nuovi metodi di Data Analytics, Machine Learning e Image Recognition per combinare in modo intelligente le informazioni che arrivano dagli operatori e dalle macchine per ricavarne informazioni che altrimenti non sono osservabili. È necessario inoltre sviluppare efficaci modelli non deterministici e con capacità di re-training degli stessi in sicurezza e tempi compatibili alla produzione di un impianto.

• **Soluzioni di self-awareness** per i sistemi di produzione anche con riferimento a modelli che utilizzino rappresentazioni del sistema in ottica digital twin tenendo conto dell'interazione tra le diverse linee e celle che compongono il sistema.

• **Sensori virtuali:** soluzioni che permettano di legare il modello del sistema ai sensori realmente esistenti per ricavare informazioni dai sensori virtuali stessi. Alla base di questo approccio è auspicabile lo sviluppo di modelli che permettano di combinare le informazioni raccolte dalla realtà e superare le difficoltà di sfruttare informazioni non-empiriche, quali la conoscenza dell'impianto.

• **Sistemi per integrare metodi di data analytics su infrastrutture ibride** (di tipo Edge e Cloud): nuove soluzioni devono essere studiate al fine integrare da una parte i sistemi cloud a cui sono demandate le operazioni time-consuming tipiche della simulazione off-line e del re-training dei modelli e dall'altra i sistemi edge a bordo impianto a cui sono demandate le attività in tempo reale con modelli predittivi che possano poi essere efficientemente eseguiti in produzione.

Interazione con le altre linee di intervento

• PRI7.3
Modelli e strumenti per il monitoraggio della produzione e la gestione degli asset produttivi.

• PRI7.4
Stack IIoT per la gestione dei dati di fabbrica.

• PRI7.7
Information e Cyber security, in quanto sinergiche e complementari per realizzare gli obiettivi di efficientamento, resilienza e innovazione dei processi produttivi.

• LI5 - LI6
Per lo sviluppo di tecnologie ai diversi livelli della fabbrica.

• LI1 - LI4
Per quanto riguarda il supporto che può dare nella definizione di soluzioni che possano supportare la gestione dei dati relativa a prodotti personalizzati, sostenibilità, valorizzazione del personale e alta efficienza.

Orizzonte temporale

Obiettivi di breve termine (2-3 anni):

• Sensori virtuali.

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

• Garantire il data fusion per dare significato ai diversi dati raccolti sul campo.

• Metodi e strumenti per il monitoraggio automatico dello stato del sistema.

Obiettivi di lungo termine (5-7 anni):

• Soluzioni di self-awareness per supportare la gestione dei sistemi produttivi.

• Sistemi per integrare metodi di data analytics su infrastrutture ibride.

PRI7.6 DTWIN

Tecniche di modellizzazione e fruizione delle informazioni basate su Digital Twin

La progressiva implementazione nelle aziende delle tecnologie digitali (IoT, Sensoristica Avanzata, Connettività, Cloud e Edge Computing, Big e Small Data, AI) rende auspicabile e necessario lo studio e lo sviluppo di strumenti software e metodologie che sfruttino i vantaggi che si possono (e devono) ottenere da queste tecnologie.

Vantaggi che non possono essere "solo" di miglioramento dell'efficienza produttiva (come al momento si rivelano, soprattutto per le PMI) ma anche di esplorazione ed individuazione di nuovi paradigmi produttivi volti sia ad un migliore utilizzo delle risorse (come l'economia circolare, lo zero-defect manufacturing, il riuso, la rifabbricazione e il riciclo), sia ad un incremento delle potenzialità di business attraverso una maggiore efficacia nel rispondere alle esigenze dei mercati (come mass customization, lot size one production, riconfigurabilità dei sistemi produttivi) o nuovi posizionamenti nella catena del valore (come per esempio la servitizzazione).

Si rende auspicabile e necessario lo sviluppo e l'utilizzo di modelli digitali dinamici delle entità fisiche che ruotano intorno alla fabbrica denominati Digital Twin.

Il digital twin può essere di prodotto, macchinario, impianto, fabbrica, sistema e dovrebbe essere in grado di interagire con il proprio gemello reale (cyber-physical production system) in esercizio attraverso un flusso unico, continuo, bidirezionale e sincronizzato di dati.

Dati provenienti sia dai modelli di simulazione utilizzati principalmente nella fase di design, sia direttamente dal campo (per esempio da sensori embedded e

sistemi di visione artificiale) che, attraverso sistemi IoT, inviano i dati rilevati sia a computer di prossimità (edge computing), sia in remoto (cloud computing).

L'obiettivo della priorità di ricerca è lo sviluppo di metodologie e strumenti di calcolo per migliorare la fruizione del flusso dei dati generati dai Digital Twin, nell'ottica di sfruttarne l'enorme potenziale per l'incremento delle performance (economiche e di business, sostenibilità ambientale e sociale) su tutto il Ciclo Vita del prodotto.

Per fare questo, la virtualizzazione dei sistemi produttivi (locali o distribuiti) deve essere accompagnata da:

- **Sistemi ibridi di simulazione dei sistemi produttivi complessi** contenenti modelli sia basati su simulazione (CAE, Analitiche, DES, Agent Commissioning), sia basati sui dati provenienti dal campo, resi sempre più aderenti alla realtà grazie all'uso dei dati, continuamente sincronizzati, provenienti dai Digital Twin.

- **Sistemi e strumenti di supporto alle decisioni (DSS),** basati su modelli di simulazione dei sistemi produttivi complessi, di ottimizzazione e di forecasting, focalizzati su differenti scenari (come per esempio l'ottimizzazione delle manutenzioni, delle produzioni, della supply chain).

Tali sistemi, devono essere scalabili (complessità e costi) ed avere HMI customizzabili (di contenuti e gerarchie) per le singole mansioni e per i diversi attori che interagiscono nel processo di progettazione e gestione del prodotto e dei sistemi produttivi (design di prodotto e di sistemi produttivi, process planning, process commissioning, manutenzione, controllo qualità, gestione approvvigionamenti, gestione impianti e/o siti produttivi, HR, area commerciale e top management).

- **Algoritmi e metodologie di simulazione del comportamento umano in sistemi produttivi ad automazione flessibile.** Questi algoritmi (multi-agent distributed control algorithms) basati sulle scienze cognitive, devono consentire di modellare e realizzare il Digital Twin anche delle componenti umane che agiscono nei sistemi produttivi con particolare rilevanza nel caso di sistemi produttivi ad automazione flessibile, dove gli operatori si trovano a "collaborare" con i robot.



Interazione con le altre linee di intervento

- LI1 - LI4 - LI5 - LI6

Lo sviluppo di questa Priorità di Ricerca può avere delle importanti ricadute su tutte le tipologie di sistemi produttivi che, addirittura, potrebbero rappresentare dei Test Case per lo sviluppo di questa priorità di ricerca.

Orizzonte temporale

Obiettivi di medio termine (4-6 anni):

- Sistemi ibridi di simulazione dei sistemi produttivi complessi e Sistemi e strumenti di supporto alle decisioni (DSS), in quanto gli sviluppi sono essenzialmente di tipo metodologico e da tradurre in strumenti informatici normalmente basati su tecnologie già presenti sul mercato. Requisito questo essenziale per il loro impiego nelle imprese, soprattutto se PMI.

Obiettivi di medio-lungo termine (4-10 anni):

- Algoritmi e metodologie di simulazione del comportamento umano in sistemi produttivi ad automazione flessibile prevede attività di ricerca attualmente di frontiera.



PRI7.7 CYBER

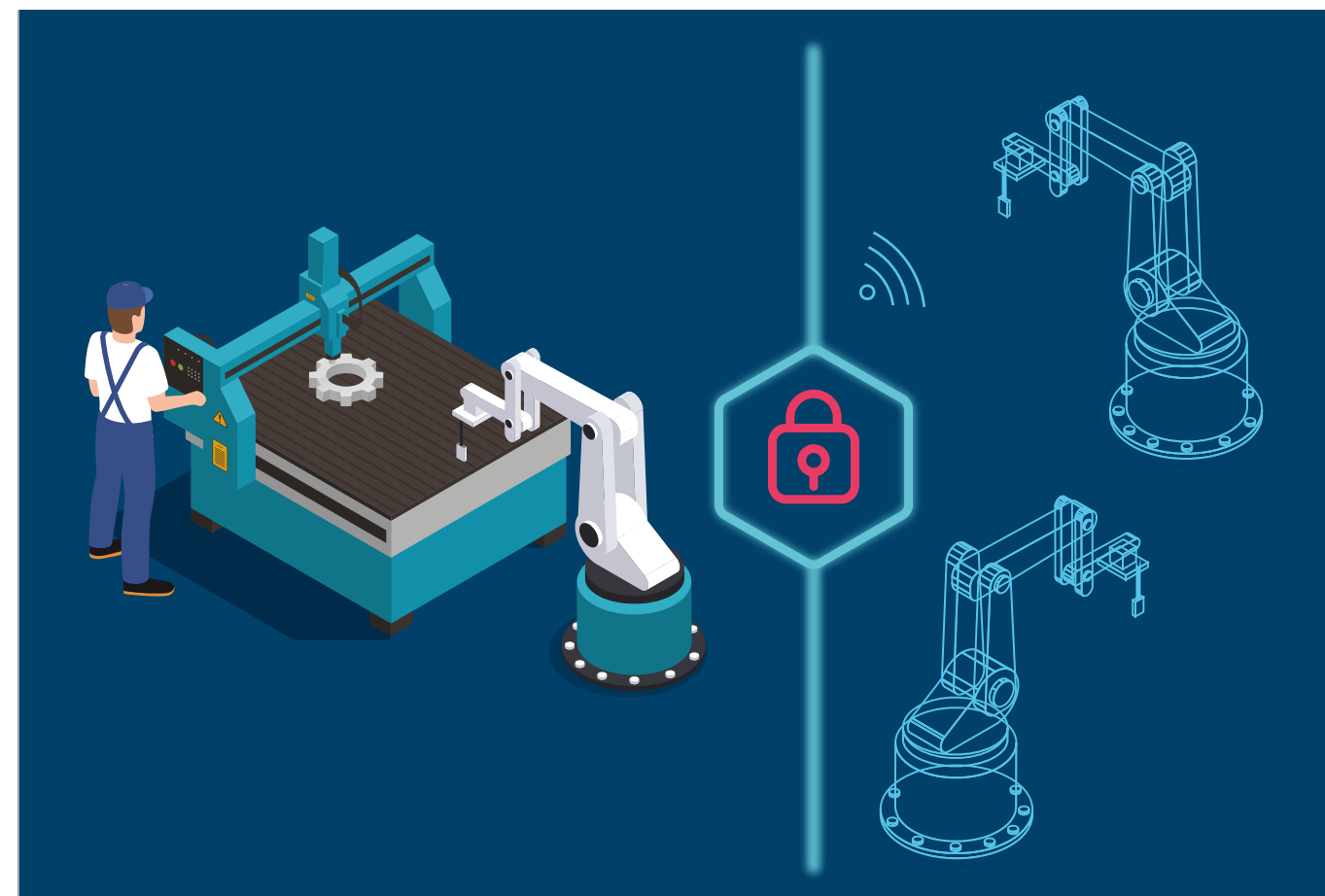
Modelli e strumenti a supporto dell'Information and Cyber security

I rischi legati agli attacchi informatici, ormai da anni nella top ten dei rischi di qualsiasi impresa e governo, devono essere valutati e gestiti a qualsiasi livello (dai governi alle industrie, alle persone singole).

La recente letteratura scientifica conferma una crescente attenzione al rischio cyber e la necessaria priorità di ricerca stanti:

- **Un imprescindibile legame tra l'industria 4.0 e la Cyber security, dove modelli eterogeni possono diventare un ostacolo nell'adeguare velocemente e in sicurezza il proprio business ai nuovi requisiti,** in particolare, in presenza di tecnologie interconnesse con resilienze cyber differenti e in presenza di persone (tecnici interni e/o fornitori) che lavorano con approcci alla sicurezza differenti.

- **L'indissolubile legame tra mondo digitale e fisico,** che ha creato ambienti cyberfisici dove una compromissione dei dati, **può creare impatti critici diretti nel mondo reale/fisico,** sia di security (per esempio con la rottura di componenti), sia di safety (la movimentazione dolosa di gru/robot), sia ambientali (come per esempio la manipolazione



ne processi di bonificazione acque) e **impatti indiretti sociali** (sulla forza lavoro interna o sull'indotto in caso di interruzione della produzione).

- **La continua evoluzione sia degli scenari di minaccia sia dei processi industriali 4.0** che richiede un processo continuativo di identificazione e monitoraggio dell'efficacia delle misure di protezione.

- **La parziale efficacia delle soluzioni tecnologiche disponibili prese singolarmente.**

- **I potenziali costi elevati delle tecnologie cyber disponibili,** nelle fasi di acquisto, di implementazione e di gestione.

I processi di sicurezza che l'azienda deve mettere in campo per contrastare efficacemente i rischi crescenti, non possono prescindere da una continua ricerca, sviluppo e adozione di idonee soluzioni di processo e tecnologie di cyber security.

La ricerca deve necessariamente essere un processo iterativo, a seguito sia della continua evoluzione delle minacce sia delle tecnologie/sistemi che devono essere protetti.

La ricerca e sviluppo nelle soluzioni tecniche di Cyber security dovrebbe tenere conto di:

- Le tecnologie abilitanti quali l'intelligenza artificiale, dal machine learning ai modelli predittivi, ai Big Data Analytics, alle Blockchain.

- I dati provenienti da sorgenti eterogenee per iden-

tificare efficacemente (ovvero con un basso numero di falsi positivi) eventuali comportamenti ostili.

- L'utilizzabilità durante tutto il ciclo di vita del prodotto, sia per i reparti produttivi che per le funzioni preposte alla gestione della sicurezza.

- Il giusto compromesso in termini di costi/benefici.

Alla luce di tutto ciò, si identificano dunque i seguenti obiettivi per questa priorità di ricerca e innovazione:

- **Innovativi sistemi per il governo di Cyber security** per: a) la gestione del rischio in tutta la catena produttiva per la protezione, affidabilità e integrità dei dati (dai fornitori ai clienti), permettendo la comparazione di rischi legati a contesti produttivi differenti e della filiera; b) l'integrazione progressiva sicura e sostenibile di nuove tecnologie nella rete industriale, per supportare la progettazione, analisi ed implementazione della Fabbrica 4.0, assicurando la resilienza dei sistemi industriali e dei processi produttivi da una varietà di possibili minacce; c) la definizione di contenuti per una efficace formazione sulla cyber security del personale, definendo contenuti formativi efficaci, utilizzando anche tecnologie abilitanti di realtà aumentata e simulazione (come nel Digital Twin delle catene produttive) per ottenere scenari simulati realistici di attacco/im-patti Cyber-Fisici.

- **Soluzioni a supporto della resilienza dei sistemi** finalizzate a: a) **aumentare la capacità di protezione dei sistemi industriali (OT e IoT),** per ridurre la possibilità che minacce esterne possano compromettere il normale funzionamento del sistema o il ripristino delle

informazioni in caso di necessità.

Tra gli obiettivi principali della ricerca sui sistemi di controllo industriali (ICS) vi sono l'analisi delle vulnerabilità e i framework per l'analisi delle proprietà di safety e security di sistemi ICS/SCADA; b) **abilitare la micro-segmentazione** in celle isolate dei sistemi industriali, e permettere l'isolamento granulare al fine di impedire propagazioni laterali di minacce su altri sistemi manifatturieri; c) **aumentare la sicurezza dei processi di manutenzione** dei sistemi industriali, per impedire la propagazione di minacce dai sistemi utilizzati dai manutentori ai sistemi industriali.

• **Protezione dei flussi di comunicazione** per: a) garantire la definizione sicura dell'unilateralità dei flussi di rete (ideando soluzioni tipo "data diode"), e raccogliere i dati operativi provenienti dalle reti industriali critiche (per esempio in data lake) mitigando efficacemente la possibilità di introdurre minacce nelle reti industriali critiche; b) impedire la trasmissione di comandi industriali non autorizzati (firewall industriali con deep packet inspection); c) disaccoppiare i flussi dati e protocolli dei sistemi industriali dai processi aziendali, per impedire che zone con livelli di sicurezza differenti abbiano la necessità diretta di comunicare tra loro; d) utilizzare protocolli di codifica standardizzati per la connettività wireless nonché sistemi di autenticazione per l'accesso alla rete basati su SIM.

• **Monitoraggio di sicurezza del mondo Cyber-Fisico**, finalizzato al: a) monitoraggio non intrusivo delle reti e dei sistemi per l'individuazione di anomalie; b) individuazione e analisi delle minacce del mondo Cyber-Fisico in real time, grazie ad un layer executive di astrazione che permetta di comprendere i possibili rischi, minacce e problemi legati ai processi operativi manifatturieri, facilitando l'interpretazione e la sinergia di gruppi con competenze eterogenee; c) sviluppo di un approccio di Cyber Risk Governance integrato con l'Enterprise Risk Management.

Tale approccio deve essere ideato con una visione olistica della gestione dei rischi non solo di cyber security ma anche di safety, physical security e rischi ambientali.

Inoltre è necessario portare l'attenzione del tema della cyber security ai massimi livelli aziendali, onde evitare che il tema resti confinato ad un ambito meramente tecnico (IT/OT).

L'evoluzione delle tecnologie di cyber security si basa sulla creazione di librerie pubbliche ad hoc che possano essere adottate di volta in volta nelle tecnologie, al fine di garantire efficacia ed efficienza.

In particolare: in termini di efficacia, il continuo sviluppo di algoritmi sempre più raffinati sfruttando le tecnologie abilitanti, permetterà di identificare/contrastare tempestivamente le minacce in continua evoluzione.

In termini di efficienza, lo sviluppo di modelli di rappresentazione e manutenzione agili in tutto il ciclo di vita, permetterà la gestione delle tecnologie di cyber security evitando la dispersione di valore.

Interazione con le altre linee di intervento

• LI4 - LI5

L'evoluzione tecnologica continua a seguito delle altre linee di intervento impone nuovi processi, nuove interconnessioni e un'attribuzione di valore sempre maggiore ai dati, e una continua rivalutazione dei rischi e delle azioni di mitigazione necessarie.

• LI4 - LI6

La sostenibilità (in termini di efficienza ed efficacia) nello sviluppo e adozione di sistemi di protezione è strettamente correlata con le altre priorità di ricerca in area OT/IoT.

Orizzonte temporale

Gli obiettivi di breve periodo (2-3anni):

• Sistemi per il governo della Cyber security a supporto della gestione del rischio in tutta la catena produttiva, assicurando l'integrazione progressiva di nuove tecnologie nella rete industriale.

• Sistemi per la protezione dei flussi di comunicazione che possano garantire la definizione sicura dei flussi di rete e controllare la trasmissione di dati industriali non autorizzati.

Gli obiettivi di medio periodo (4-6 anni):

• Il miglioramento della resilienza dei sistemi deve essere accompagnato da interventi sulla capacità di protezione dei sistemi industriali (OT e IT) e attraverso lo studio di soluzioni per la micro-segmentazione dei sistemi industriali che permettano di superare la segregazione in gruppi omogeni.

• Sistemi di monitoraggio della sicurezza del mondo cyberfisico e di analisi delle minacce in realtime richiedono interventi nel medio periodo dal momento che è necessario studiare e sviluppare sistemi avanzati di monitoraggio non intrusivo delle reti supportati da tecnologie avanzate di AI e machine learning.



LI1: Produzione personalizzata

- PRI 1.1 Strumenti avanzati per la configurazione e progettazione di soluzioni personalizzate
- PRI 1.2 Soluzioni per la produzione efficiente di prodotti personalizzati funzionali ad alto valore aggiunto
- PRI 1.3 Soluzioni avanzate per la gestione della produzione customer-driven
- PRI 1.4 Mini-factories: un modello per riorganizzare la filiera di produzione e distribuzione
- PRI 1.5 Sistemi di produzione per smart materiali (sensor-based, bio etc) per la personalizzazione del prodotto/servizio



LI2: Sostenibilità industriale

- PRI 2.1 Progettazione e sviluppo in ottica life cycle thinking
- PRI 2.2 Monitoraggio dell'impronta ambientale dei prodotti e dei processi
- PRI 2.3 Sistemi per le materie prime seconde, sottoprodotti, sistemi di riutilizzo di rimanenze di magazzino e cespiti aziendali
- PRI 2.4 Tecnologie, processi e strumenti per il riutilizzo, re-manufacturing e riciclo di prodotti, componenti e materiali, re-marketing
- PRI 2.5 Modellazione e simulazione per la supply chain sostenibile e reti di simbiosi industriale
- PRI 2.6 Modelli e strumenti per l'economia circolare



LI3: Valorizzazione delle persone nelle fabbriche

- PRI 3.1 Nuove Tecnologie, Metodi e Strumenti per l'ottimizzazione dell'ambiente di lavoro, delle interazioni uomo-macchina e del carico cognitivo della Persona
- PRI 3.2 Nuovi approcci alla gestione della conoscenza, della privacy e del capitale umano dell'azienda
- PRI 3.3 Nuove Tecnologie e Metodi per l'evoluzione e la valorizzazione/certificazione delle competenze e delle professionalità della persona e del capitale umano nell'era del Life Long Learning (LLL)



LI4: Alta efficienza e produzione zero-defect

- PRI 4.1 Monitoraggio e controllo avanzato dei processi di produzione
- PRI 4.2 Approcci per la gestione integrata di qualità/manutenzione/logistica
- PRI 4.3 Aggiornamento, retrofitting e valorizzazione dei beni strumentali
- PRI 4.4 Alta efficienza per la riparazione/re-manufacturing
- PRI 4.5 Modellazione e pianificazione avanzata di robot industriali
- PRI 4.6 Sistemi cyber-fisici (CPS) per la fabbrica intelligente
- PRI 4.7 Intelligenza umana-artificiale a supporto dell'alta efficienza
- PRI 4.8 Pianificazione della produzione e scheduling avanzati





LI5: Processi produttivi innovativi

PRI 5.1	Tecnologie, processi e materiali per la produzione additiva
PRI 5.2	Tecnologie e processi di produzione bio-inspired
PRI 5.3	Innovazione dei processi produttivi consolidati
PRI 5.4	Processi di produzione tramite tecnologie ibride
PRI 5.5	Processi di produzione e di lavorazione di materiali innovativi
PRI 5.6	Processi, prodotti e funzionalità su scala micro



LI6: Produzione evolutiva e resiliente

PRI 6.1	Progettazione e controllo di sistemi di produzione riconfigurabili
PRI 6.2	Componenti, sensori e macchine intelligenti per la produzione adattativa ed evolutiva
PRI 6.3	Digital Twin per la predizione delle prestazioni e la gestione operativa di sistemi produttivi e logistici ad elevata flessibilità
PRI 6.4	Smart Inspection & Machine Learning
PRI 6.5	Collaborazione uomo-robot



LI7: Piattaforme digitali, modellazione, AI, security

PRI 7.1	Modelli e strumenti per la gestione di imprese collaborative e supply chain dinamiche
PRI 7.2	Progettazione di offerte integrate di prodotto-servizio
PRI 7.3	Modelli e strumenti per il monitoraggio della produzione e la gestione degli asset produttivi
PRI 7.4	Modelli e strumenti IIoT per la raccolta dei dati di fabbrica
PRI 7.5	Metodologie di business e industrial analytics
PRI 7.6	Tecniche di modellizzazione e fruizione delle informazioni basate su Digital Twin
PRI 7.7	Modelli e strumenti a supporto dell'Information and Cyber-Security



Bibliografia cap. 1-7

- Aa. Vv. (2020) Report GAIA-X: Driver of digital innovation in Europe.
- Amer M., Daim T.U., Jetter A. (2013). A review of scenario planning. Futures 46:23–40
- Bain (2021) China's Unstoppable 2020 Luxury Market.
- Centro Studi Confindustria (2019). Dove va l'industria italiana.
- Centro Studi Confindustria (2020) Innovazione e resilienza: i percorsi dell'industria italiana nel mondo che cambia
- Centro Studi Confindustria (2021) La manifattura al tempo della pandemia. La ripresa e le sue incognite.
- Cluster Fabbrica Intelligente (2020) Produrre un Paese Resiliente.
- CREATING THE FUTURE THROUGH INNOVATION, Catapult 2019-2020
- DIGITAL SPAIN 2025, Gobierno de Espana
- ESPAÑA CIRCULAR2030Circular Economy Spanish Strategy, Gobierno de Espana, 2019
- European Commission (2019) The European Green Deal.
- European Commission (2021) 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade
- European Commission (2021) Communication and Annex on a Strong Social Europe for Just Transitions
- European Commission (2021) Industry 5.0 Towards a sustainable, humancentric and resilient European industry.
- European Commission (2021) Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery.
- European Commission and EFFRA (2021) The manufacturing partnership in Horizon Europe-Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA)
- European Commission. European Innovation Scoreboard 2021.
- Federmacchine. Il Settore dei beni strumentali nel 2020.
- Fondazione Edison (2019) The italian economy in figures.
- Forbes (2020) The Next Technology Shift: The Internet Of Actions.
- Frost & Sullivan. Global Mega Trends to 2030 Futurecasting Key Themes That Will Shape Our Future Lives.
- Georghiou, L. (Ed.) (2008) The handbook of technology foresight: concepts and practice. Edward Elgar Publishing.
- IAI (2020) Covid-19 e dinamiche del commercio internazionale Le sfide per il sistema multilaterale ai tempi della pandemia. A cura di F.Botti per Osservatorio di Politica Internazionale.
- IEA (2020) World Energy Outlook 2020 – Analysis.
- Industrie du Futur: Quels enjeux et quelles réponses technologiques pour les PME ? le développement durable et la transition énergétique au cœur de la transformation.
- ISTAT. Rapporto annuale 2021. Cap.4: Il sistema imprese tra crisi e ripresa
- ISTAT. Rapporto annuale 2022. Cap.2: Competitività e ripresa dei settori produttivi
- ISTAT. Rapporto Sustainability Development Goals 2021. Informazioni statistiche per l'Agenda 2030 in Italia (Obiettivi 9, 12, 13).
- KPMG (2019) Unlocking the value of the platform economy. Article published 2019.
- Made in China 2025, Gouvernement of China
- Made in Germany: Industrial Strategy 2030 Guidelines for a German and European industrial policy, 2019
- McKinsey. Global Energy Perspective 2019-2022
- McKinsey. How do companies create value from digital ecosystems? Article published April 2020.
- McKinsey. The power of platforms to reshape the business. 2020 of the World. Report 2021
- MOTUS-E (2019) La filiera della mobilità elettrica "Made in Italy" Imprese, territori e tecnologie della e-Mobility.
- MOTUS-E (2021) La grande occasione per la mobilità a zero emissioni. 2021
- Nazioni Unite (2015) Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile.
- Nübel, K., Bühler, M. M., & Jelinek, T. (2021). Federated Digital Platforms: Value Chain Integration for Sustainable Infrastructure Planning and Delivery. Sustainability, 13(16), 8996.
- Otto B. A Federated Infrastructure for European Data Spaces. IDSA studies 2021
- Plan National De Relance Et De Résilience, France 2021
- PRN-Programma nazionale per la ricerca 2021-2027.
- Roland Berger (2019) In the heat of the mobility revolution How automotive suppliers can master the industry's transformation.
- Roland Berger (2020) Trend Compendium 2050 December 2020 Six megatrends that will shape the world.
- Roland Berger (2021) A new competitiveness paradigm Decarbonization is an opportunity for companies, not a threat.

- Roland Berger. E-Mobility Index 2021.
- Smart Puglia 2030 – Strategia di Specializzazione Intelligente S3 – Aprile 2022
- Smart Specialisation Strategy Regione Liguria, Settembre 2021
- Strategia di Ricerca di Innovazione per la Specializzazione Intelligente 2021-2027 Emilia-Romagna, Giugno 2021
- Strategia di Specializzazione Intelligente (S3) della Provincia Autonoma di Trento 2021-2027
- Strategia di Specializzazione Intelligente (S3) della Regione del Veneto 2021-2027 - Aprile 2022
- Strategia di Specializzazione Intelligente 2021-2027 Regione Marche - Gennaio 2022
- Strategia di Specializzazione Intelligente del Piemonte – Dicembre 2021
- Strategia di Specializzazione Intelligente per la Ricerca e l'innovazione di Regione Lombardia – 2021
- Strategia Regionale per la Specializzazione Intelligente (S4) Del Friuli Venezia Giulia 2021-2027 –Dicembre 2021
- Strategia Regionale per la Specializzazione Intelligente Regione Basilicata, Luglio 2022
- Strategia Regionale per la Specializzazione Intelligente Regione Umbria, Maggio 2022
- Strategy for American Leadership In Advanced Manufacturing, National Science and Technology Council -USA 2018
- Tolio, T., Copani, G., & Terkaj, W. (2019). Factories of the Future: The Italian Flagship Initiative. Springer Nature.
- WMF Foundation (2020) The 2020 World Manufacturing Report. Manufacturing in the age of artificial intelligence.

Bibliografia cap. 8

- Aa.Vv. (2016). Dalla diagnosi alla caratterizzazione energetica di processi industriali: metodi per la valutazione e la promozione degli interventi di riqualificazione energetica. DUEE-ENEA
- Abdelghany M. and Eltawil A.B. (2017) Linking Approaches for Multi-Methods Simulation in Healthcare Systems Planning and Management. Int. J. Industrial and Systems Engineering X(2):1–16.
- ACE (2019) Human-centered factories from theory to industrial practice. Lessons learned and recommendations. Publisher: humAn Centred Factories (ACE), White paper
- AFIL (2020) Roadmap per la Ricerca e l'Innovazione sull'Economia Circolare.
- Agubra, V. A., Zuniga, L., Flores, D., Villareal, J., & Alcoutlabi, M. (2016). Composite nanofibers as advanced materials for Li-ion, Li-O2 and Li-S batteries. Electrochimica Acta, 192, 529-550.
- AMFG (2020) The Additive Manufacturing Landscape (https://amfg.ai/whitepapers/the-additive-manufacturing-landscape-2020-report/)
- Arias-Rosales, A., & Osorio-Gómez, G. (2020). Albatros Create: an interactive and generative tool for the design and 3D modeling of wind turbines with wavy leading edge. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 14(2), 631-650.
- Armendia, M., Alzaga, A., Peysson, F., Fuertjes, T., Cugnon, F., Ozturk, E., & Flum, D. (2019). Machine tool: from the digital twin to the cyber-physical systems. In Twin-Control (pp. 3-21). Springer, Cham.
- Baki, Sotiria, Ifigeneia Koutiva, and Christos Makropoulos. (2012). A Hybrid Artificial Intelligence Modelling Framework for the Simulation of the Complete, Socio-Technical, Urban Water System. 3125–33.
- Baskar, P., Joseph, M. A., Narayanan, N., & Loya, R. B. (2013). Experimental investigation of oxygen enrichment on performance of twin cylinder diesel engine with variation of injection pressure. In 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (pp. 682-687). IEEE.
- BCG (2015) Man and Machine in Industry 4.0: How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?
- Bettoni, A., Montini, E., Righi, M., Villani, V., Tsvetanov, R., Borgia, S., ... & Carpanzano, E. (2020). Mutualistic and adaptive human-machine collaboration based on machine learning in an injection moulding manufacturing line. Procedia CIRP, 93, 395-400.
- Bilberg, A., & Malik, A. A. (2019). Digital twin driven human-robot collaborative assembly. CIRP annals, 68(1), 499-502.
- BIT II – La Bioeconomia in Italia (https://cnbbsv.palazzochigi.it/media/1951/bit-italiano-14feb2020.pdf)
- Blumenthal, S., Bruyninckx, H., Nowak, W., & Prassler, E. (2013, May). A scene graph based shared 3D world model for robotic applications. In 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 453-460). IEEE.
- Bock, C., & Gruninger, M. (2005). PSL: A semantic domain for flow models. Software & Systems Modeling, 4(2), 209-231.
- Bourell, D., Hodgson, T. J., Kurfess, T. R., Madou, M., Rajurkar, K., & Devor, R. E. (2005). WTEC panel report on international assessment of research and development in micromanufacturing.



- Byrne, G., Dimitrov, D., Monostori, L., Teti, R., van Houten, F., & Wertheim, R. (2018). Biologicalisation: Biological transformation in manufacturing. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 21, 1-32.
- Cainelli, G., D'Amato, A., & Mazzanti, M. (2020). Resource efficient eco-innovations for a circular economy: Evidence from EU firms. Research Policy, 49(1), 103827.
- Camposeo, A., Persano, L., Farsari, M., & Pisignano, D. (2019). Additive manufacturing: applications and directions in photonics and optoelectronics. Advanced optical materials, 7(1), 1800419.
- Canedo, A. (2016, October). Industrial IoT lifecycle via digital twins. In Proceedings of the Eleventh IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (pp. 1-1).
- CECIMO position paper: is the machinery directive fit for purpose? – 14 July 2020
- Colledani, M., & Tolio, T. (2011). Joint design of quality and production control in manufacturing systems. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 4(3), 281-289.
- Colledani, M., Diani M., Lanzarone, E., Pievatolo, A. (2019) A commination model with homogeneity and multiplication assumptions for the Waste Electrical and Electronic Equipment recycling industry, Journal of Cleaner Production, Volume 211, 20 February 2019, Pages 665-678.
- Colledani, M., Tolio, T., Dufloy, J., Seliger, G., Bernard, A., Kara, S., Battaia, O., Takata, S. (2017) Design, Management and Control of Demanufacturing and Remanufacturing Systems, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 66(2), pp. 585-609.
- Commissione Europea, Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare - Per un'Europa più pulita e più competitiva, 11.03.202
- Configuring and Managing Remote Access for Industrial Control Systems (Homeland Security (US CERT-gov), Centre For The Protection of National Infrastructure)
- Cosimo, A., Leonardo, A., Arije, A., Alessandro, A., Rocco, A., Marco, B., ... & Stefano, Z. (2018). Il Futuro della Cybersecurity in Italia: Ambiti Progettuali Strategici.
- Cutaia, L., et al. (2014) Un esempio di eco-innovazione di sistema attraverso la valorizzazione territoriale di risorse: nuovo approccio cooperativo tra mondo industriale, scientifico e istituzionale. Energia, Ambiente e Innovazione 5: 76-88.
- Dell'Isola, F., Seppacher, P., Alibert, J.J., Lekszycki, T., Grygoruk, R., Pawlikowski, M., Steigmann, D., Giorgio, I., Andreaus, U., Turco, E., et al. (2018) Pantographic metamaterials: an example of mathematically driven design and of its technological challenges, Continuum Mechanics and Thermodynamics, pp. 1–34
- Demartini, M., Bertani, F., Tonelli, F. (2019) AB-SD hybrid modelling approach: a framework for evaluating industrial sustainability scenarios. Studies in Computational Intelligence, 803, 222-232.
- Demartini, M., Tonelli, F., Bertani, F. (2018) Approaching Industrial Symbiosis Through Agent-Based Modeling and System Dynamics. Studies in Computational Intelligence, 762, pp. 171-185.
- Design Remix Shape Repeat : How distributed design is changing the way makers and designers approach collaboration, tools and the market Edited by K. Armstrong, T. Diez, L. Goldapple, A. Schmidt & C. Villum (Co-funded by the Creative Europe Programme) (<https://distributeddesign.eu/about/>)
- Diez-Olivan, A., Del Ser, J., Galar, D., & Sierra, B. (2019). Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0. Information Fusion, 50, 92-111.
- Digital Twin White Paper (Engineering) https://www.eng.it/resources/whitepaper/doc/digital-twin/digital-twin_whitepaper.pdf
- Digitising Manufacturing in the G20 – Initiatives, Best Practice and Policy Approaches, March 2017, conference report available at: <http://www.kmu-digital.eu/de/publikationen/tags/produktion/233-digitising-manufacturing-in-the-g20-initiatives-best-practice-and-policy-approaches/file>
- Ding, D., Han, Q. L., Xiang, Y., Ge, X., & Zhang, X. M. (2018). A survey on security control and attack detection for industrial cyber-physical systems. Neurocomputing, 275, 1674-1683.
- Ding, K., Zhang, Y., Chan, F. T., Zhang, C., Lv, J., Liu, Q., ... & Fu, H. (2021). A cyber-physical production monitoring service system for energy-aware collaborative production monitoring in a smart shop floor. Journal of Cleaner Production, 297, 126599.
- Duffie, N. A., Roy, D., & Shi, L. (2008). Dynamic modeling of production networks of autonomous work systems with local capacity control. CIRP annals, 57(1), 463-466.
- EIT – Manufacturing - Teaching & Learning Factories - <https://eitmanufacturing.eu/pillar/education/>
- ENISA Good Practices for IoT. <https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-iot-1>
- Environmental Macro Indicators of Innovation (<http://www.eminnn.eu/>)
- EU Project – FIT4FoF – New skills for the Factory of the Future - <https://www.fit4fof.eu/about/objectives-and-benefits>
- EuMat (2017). Strategic Research Agenda The European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies
- Eurobotics Strategic Research and Innovation Agenda, April 2019
- European Commission (2010) Energy 2020. A strategy for competitive, sustainable and secure energy [COM/2010/0639]
- European Commission (2011) Energy Roadmap 2050 [COM/2011/0885]
- European Commission (2014) Ecodesign Your Future.

- European Commission (2017) Safer and Healthier Work for All - Modernisation of the EU Occupational Safety and Health Legislation and Policy, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2017%3A12%3AFIN>
- European Commission (2019) Ethics guidelines for trustworthy AI. High-level expert group on artificial intelligence.
- European Commission (2019) Support Report Mapping Sustainable Fashion Opportunities for SMEs.
- European Commission (2021) Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry)
- European Commission, M. T. (2013) Factories of the Future-Multi-Annual Roadmap for the Contractual PPP Under Horizon 2020. European Union, 30.
- Ferraguti, F., Villa, R., Landi, C. T., Zanchettin, A. M., Rocco, P., & Secchi, C. (2020). A unified architecture for physical and ergonomic human-robot collaboration. Robotica, 38(4), 669-683.
- Ferrari, P., Bellagente, P., Depari, A., Flammini, A., Pasetti, M., Rinaldi, S., & Sisinni, E. (2020, June). Evaluation of the impact on industrial applications of NTP Used by IoT devices. In 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (pp. 223-228). IEEE.
- Fidan, I., Imeri, A., Gupta, A., Hasanov, S., Nasirov, A., Elliott, A., ... & Nanami, N. (2019). The trends and challenges of fiber reinforced additive manufacturing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 102(5), 1801-1818.
- Flynn, J. M., Shokrani, A., Newman, S. T., & Dhokia, V. (2016). Hybrid additive and subtractive machine tools—Research and industrial developments. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 101, 79-101.
- Fontana, D., Forte, F., Pietrantonio, M., Pucciarmati, S. (2020) Recent developments on recycling end-of-life flat panel displays: A comprehensive review focused on indium, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1729073>.
- Fontana, D., Pietrantonio M., Pucciarmati S., Rao C., Forte F. (2019) A comprehensive characterization of End-of-Life mobile phones for secondary material resources identification, Waste management, 99, 22-30.
- Gadalla, M., & Xue, D. (2017). Recent advances in research on reconfigurable machine tools: a literature review. International Journal of Production Research, 55(5), 1440-1454.
- Gao, Z., & Zhang, D. (2014). Performance analysis, mapping, and multiobjective optimization of a hybrid robotic machine tool. IEEE Transactions on industrial electronics, 62(1), 423-433.
- Garter Research - Hype Cycle for 3D Printing, 2019
- Gaspari, L., Colucci, L., Butzer, S., Colledani, M., Steinhilper, R. (2017) Modularization in material flow simulation for managing production releases in remanufacturing, Journal of Remanufacturing, 7(2-3), 139-15.
- Geschke, O., Klank, H., & Telleman, P. (Eds.). (2008). Microsystem Engineering of Lab-on-a-chip Devices (Vol. 100, pp. 150-200). Weinheim: Wiley-vch.
- Global Machine Tool Outlook October 2020 by Oxford Economics
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In Transdisciplinary perspectives on complex systems (pp. 85-113). Springer, Cham.
- Grieves, V.(2017) Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behaviour in complex systems. In: Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, 85–113. Springer.
- Gröger, C. (2018). Building an industry 4.0 analytics platform. Datenbank-Spektrum, 18(1), 5-14.
- Günther, J., Pilarski, P. M., Helfrich, G., Shen, H., & Diepold, K. (2016). Intelligent laser welding through representation, prediction, and control learning: An architecture with deep neural networks and reinforcement learning. Mechatronics, 34, 1-11.
- Hara, T., Sakao, T., & Fukushima, R. (2019). Customization of product, service, and product/service system: what and how to design. Mechanical Engineering Reviews, 6(1), 18-00184.
- Hasan, F., Jain, P. K., & Kumar, D. (2016). Scalability of reconfigurable manufacturing systems based on bowl phenomenon: an implication of modular machines. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 22(1), 73-95.
- Hashemian, H. M. (2010). State-of-the-art predictive maintenance techniques. IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, 60(1), 226-236.
- Helpdesk REACH, <http://reach.sviluppoeconomico.gov.it/>
- <http://cicerone-h2020.eu/>
- <http://www.icesp.it>
- <http://www.sunetwork.it/>
- <https://www.eitmanufacturing.eu/>
- <https://www.ptc.com/it/products/cad/generative-design>
- <https://www.s3vanguardinitiative.eu/>
- ICESP (2020). Filiera Tessile - Abbigliamento – Moda “Sistemi di progettazione, produzione, distribuzione e consumo sostenibili e circolari”, Position paper (www.icesp.it).
- INAIL (2016). ICT e lavoro: nuove prospettive di analisi per la salute e la sicurezza sul lavoro. Report, available at: <http://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/catalogo-generale/pubbl-ict-e-lavoro-nuove-prospettive-di-analisi.html>



- Inman, R. R., Blumenfeld, D. E., Huang, N., & Li, J. (2003). Designing production systems for quality: research opportunities from an automotive industry perspective. International journal of production research, 41(9), 1953-1971.
- Inverardi, N., Pandini, S., Bignotti, F., (...), Marconi, S., Auricchio, F. (2020) Sequential Motion of 4D Printed Photopolymers with Broad Glass Transition. Macromolecular Materials and Engineering 305(1),1900370
- Johannsmeier, L., & Haddadin, S. (2016). A hierarchical human-robot interaction-planning framework for task allocation in collaborative industrial assembly processes. IEEE Robotics and Automation Letters, 2(1), 41-48.
- Keiningham, T., Aksoy, L., Bruce, H. L., Cadet, F., Clennell, N., Hodgkinson, I. R., & Kearney, T. (2020). Customer experience driven business model innovation. Journal of Business Research, 116, 431-440.
- Keneth, E.S., Lieberman, R., Rednor, M., (...), Auricchio, F., Magdassi, S. (2020) Multi-material 3D printed shape memory polymer with tunable melting and glass transition temperature activated by heat or light. Polymers 12(3),710
- Knowles, W., Prince, D., Hutchison, D., Disso, J. F. P., & Jones, K. (2015). A survey of cyber security management in industrial control systems. International journal of critical infrastructure protection, 9, 52-80.
- Knublauch, H., & Kontokostas, D. (2017). Shapes Constraint Language (SHACL), W3C Recommendation. World Wide Web Consortium.
- Kortelainen, S. and L. Lättilä. (2013)Hybrid Modeling Approach to Competitiveness through Fast Strategy. International Journal of Innovation and Technology Management 10(5).
- Kraytsberg, A., & Ein-Eli, Y. (2016). Conveying Advanced Li-ion Battery Materials into Practice the Impact of Electrode Slurry Preparation Skills. Advanced Energy Materials, 6(21), 1600655.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sih, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine, 51(11), 1016-1022.
- Le innovazioni del prossimo futuro: tecnologie prioritarie per l'industria – AIRI Associazione Italiana per la Ricerca Industriale, X Edizione, 2020 Vol. 1
- Lee, J., Davari, H., Singh, J., & Pandhare, V. (2018). Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. Manuf Lett 18: 20–23.
- Levratti, A., Riggio, G., Fantuzzi, C., De Vuono, A., & Secchi, C. (2019). TIREBOT: A collaborative robot for the tire workshop. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 57, 129-137.
- Li Rosi O., Casarci M., Mattioli D., De Florio L. (2007) Best available technique for water reuse in textile SMEs (BATTLE LIFE Project), Desalination, 206 (1-3), pp. 614 – 619,
- Li, X., Golnas, A., & Prinz, F. B. (2000). Shape deposition manufacturing of smart metallic structures with embedded sensors. In Smart Structures and Materials 2000: Sensory Phenomena and Measurement Instrumentation for Smart Structures and Materials (Vol. 3986, pp. 160-171). SPIE.
- Lin, S. W., Miller, B., Durand, J., Bleakley, G., Chigani, A., Martin, R., ... & Crawford, M. (2017). The industrial internet of things volume G1: reference architecture. Industrial Internet Consortium, 10.
- Lins, R. G., Guerreiro, B., Schmitt, R., Sun, J., Corazzim, M., & Silva, F. R. (2017). A novel methodology for retrofitting CNC machines based on the context of industry 4.0. In 2017 IEEE international systems engineering symposium (ISSE) (pp. 1-6). IEEE.
- Lores, A., Azurmendi, N., Agote, I., & Zuza, E. (2019). A review on recent developments in binder jetting metal additive manufacturing: materials and process characteristics. Powder Metallurgy, 62(5), 267-296.
- Lu, Y., Rong, X., Hu, Y. S., Chen, L., & Li, H. (2019). Research and development of advanced battery materials in China. Energy Storage Materials, 23, 144-153.
- Magnanini, M. C., & Tolio, T. A. (2021). A model-based Digital Twin to support responsive manufacturing systems. ORP Annals, 70(1), 353-356.
- ManpowerGroup (2019) Humans Wanted: Robots Need You. Skills Revolution, report available at: <https://www.manpowergroup.com/workforce-insights/world-of-work/skills-revolution-series>
- ManuFUTURE High-Level Group, ManuFUTURE STRATEGIC RESEARCH AND INNOVATION AGENDA 2030. 2020
- Medini, K., Andersen, A. L., Wuest, T., Christensen, B., Wiesner, S., Romero, D., ... & Tao, F. (2019). Highlights in customer-driven operations management research. Procedia Cirp, 86, 12-19.
- Mehta, V., & Cooper, J. S. (2003). Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing. Journal of power sources, 114(1), 32-53.
- Mekid, S., Pruschek, P., & Hernandez, J. (2009). Beyond intelligent manufacturing: A new generation of flexible intelligent NC machines. Mechanism and Machine Theory, 44(2), 466-476.
- Melocchi, A., Uboldi, M., Inverardi, N., (...), Zema, L., Gazzaniga, A. (2019) Expandable drug delivery system for gastric retention based on shape memory polymers: Development via 4D printing and extrusion. International Journal of Pharmaceutics 571,118700
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., ... & Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. Cirp Annals, 65(2), 621-641.
- Moon, Y. B. (2017). Simulation modelling for sustainability: a review of the literature. International Journal of Sustainable

Engineering, 10(1), 2-19.

- Nasirzadeh, F., M. Khanzadi, and M. Mir. (2018)A Hybrid Simulation Framework for Modelling Construction Projects Using Agent-Based Modelling and System Dynamics: An Application to Model Construction Workers' Safety Behavior. International Journal of Construction Management 18(2):132–43.
- Negri, E., Ardakani, H. D., Cattaneo, L., Singh, J., Macchi, M., & Lee, J. (2019). A digital twin-based scheduling framework including equipment health index and genetic algorithms. IFAC-PapersOnLine, 52(10), 43-48.
- Negri, E., Berardi, S., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2020). MES-integrated digital twin frameworks. Journal of Manufacturing Systems, 56, 58-71.
- NIST 800-82 Rev.2: Guide to Industrial Control System Security
- Okazaki, Y., Mishima, and, N., & Ashida, K. (2004). Microfactory-concept, history, and developments. J. Manuf. Sci. Eng., 126(4), 837-844.
- Oosterbroek, R. E., Oosterbroek, E., & van den Berg, A. (Eds.). (2003). Lab-on-a-chip: miniaturized systems for (bio) chemical analysis and synthesis. Elsevier. ISBN 0-444-51100-8.
- Palla R., Tecuci D., Shet V. and Dejori M. (2011). Using Answer Set Programming for representing and reasoning with preferences and uncertainty in dynamic domains.
- Parenti, P., Cacciatore, F., Ratti, A., & Annoni, M. (2018). A graphical method for performance mapping of machines and milling tools. Procedia Manufacturing, 26, 1500-1508.
- Park, J. K., Kwon, B. K., Park, J. H., & Kang, D. J. (2016). Machine learning-based imaging system for surface defect inspection. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 3(3), 303-310.
- Pérez Pérez, M., Serrano Bedia, A. M., & López Fernández, M. C. (2016). A review of manufacturing flexibility: systematising the concept. International Journal of Production Research, 54(10), 3133-3148.
- Plasch, M., Pichler, A., Bauer, H., Rooker, M., & Ebenhofer, G. (2012). A plug & produce approach to design robot assistants in a sustainable manufacturing environment. In 22nd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2012), Helsinki, Finland.
- Prasad, D., & Jayswal, S. C. (2019). A review on flexibility and reconfigurability in manufacturing system. Innovation in materials science and engineering, 187-200.
- Ramis Ferrer, F. D. B. (2018). An Approach to Automatically Distribute and Access Knowledge within Networked Embedded Systems in Factory Automation
- Ravindu, H. M., Bandara, T., Priyanayana, K. S., Sirithunge, H. C., Jayasekara, A. G. B. P., Chandima, D. P., & Gopura, R. A. R. C. (2019). Evaluation of Navigation Commands Based on Conceptual Attributes to Enhance Human-Robot Interaction. In 2019 IEEE R10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC) (47129) (pp. 190-195). IEEE.
- Reim W., Prida V., Örtqvist D. (2015) ProducteService Systems (PSS) business models and tactics e a systematic literature review. Journal of Cleaner Production 97, 61-75
- Reinhart, G., Krug, S., Hüttner, S., Mari, Z., Riedelbauch, F., & Schlögel, M. (2010). Automatic configuration (plug & produce) of industrial ethernet networks. In 2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications-INDUSCON 2010 (pp. 1-6). IEEE.
- Ren, R., Hung, T., & Tan, K. C. (2017). A generic deep-learning-based approach for automated surface inspection. IEEE transactions on cybernetics, 48(3), 929-940.
- Reuters – “Lab-on-a-Chip - Global Market Outlook (2016-2022)” - Mon May 15, 2017;
- Rigoldi, A., Trogu, E.F, Marcheselli, G.C, Artizzu, F, Picone, N, Colledani, M., Deplano, P., Serpe, A. (2019) Advances in Recovering Noble Metals from Waste Printed Circuit Boards (WPCBs), ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 7-1,1308-1317.
- Rosinol, A., Gupta, A., Abate, M., Shi, J., & Carlone, L. (2020). 3D dynamic scene graphs: Actionable spatial perception with places, objects, and humans. arXiv preprint arXiv:2002.06289.
- Sachyani Keneth, E., Scalet, G., Layani, M., Tibi, G., Degani, A., Auricchio, F., & Magdassi, S. (2020). Pre-programmed tri-layer electro-thermal actuators composed of shape memory polymer and carbon nanotubes. Soft Robotics, 7(2), 123-129.
- SANS Secure Architecture for Industrial Control Systems <https://www.sans.org/white-papers/36327/>
- Sassi, P., Tripicchio, P., & Avizzano, C. A. (2019). A smart monitoring system for automatic welding defect detection. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66(12), 9641-9650.
- Sbaffoni S., Beltrani T., Cutaia L., Santino D., Martini F. (2019) ENEA Diagnosi energetica e diagnosi delle risorse. In Energia, Ambiente e Innovazione - Rivoluzione Economia Circolare, 3. DOI 10.12910/EAI2019-028
- Schütze, A., Helwig, N., & Schneider, T. (2018). Sensors 4.0–smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. Journal of Sensors and Sensor systems, 7(1), 359-371.
- Seitz, A., Grunow, M., & Akkerman, R. (2020). Data driven supply allocation to individual customers considering forecast bias. International Journal of Production Economics, 227, 107683.
- Shang, X., Milisavljevic-Syed, J., Huang, S., Wang, G., Allen, J. K., & Mistree, F. (2021). A key feature-based method for the

configuration design of a reconfigurable inspection system. International Journal of Production Research, 59(9), 2611-2623.

• Shanthamallu, U. S., Spanias, A., Tepedelenlioglu, C., & Stanley, M. (2017, August). A brief survey of machine learning methods and their sensor and IoT applications. In 2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA) (pp. 1-8). IEEE.

• Sibanda, V., Mpofu, K., Trimble, J., & Kanganga, M. (2019). Engineering design featuring the life cycle approach for reconfigurable machine tool. Procedia CIRP, 84, 948-953.

• Smart Manufacturing –Industrial Internet of Things (IIoT) Roadmap for Northeast Ohio, Dicembre 2018

• SmarTech, 2020 Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities , Analysis. (https://www.smartechanalysis.com/reports/2020-additive-manufacturing-market-outlookket-outlook-and-summary-of-opportunities/?attribute_pa_license=single-user-license-one-computer)

• Soatti, G., Savazzi, S., Nicoli, M., Alvarez, M. A., Kianoush, S., Rampa, V., & Spagnolini, U. (2019). Distributed signal processing for dense 5G IoT platforms: Networking, synchronization, interference detection and radio sensing. Ad Hoc Networks, 89, 9-21.

• SPIRE (2021). P4Planet 2050 Roadmap <https://www.aspire2050.eu/>

• Sposato P., Della Sala D., Carli F. (2019). Ecodesign di prodotto e materiali circolari. In Energia, Ambiente e Innovazione - Rivoluzione Economia Circolare, n. 3. DOI 10.12910/EAI2019-028

• Sun, T., Liang, D., & Song, Y. (2017). Singular-perturbation-based nonlinear hybrid control of redundant parallel robot. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 65(4), 3326-3336.

• Szykman, S., Sriram, R. D., & Regli, W. C. (2001). The role of knowledge in next-generation product development systems. J. Comput. Inf. Sci. Eng., 1(1), 3-11.

• Terkaj, W., Gaboardi, P., Trevisan, C., Tolio, T., & Urgo, M. (2019). A digital factory platform for the design of roll shop plants. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 26, 88-93.

• Terkaj, W., Tolio, T., & Urgo, M. (2015). A virtual factory approach for in situ simulation to support production and maintenance planning. CIRP Annals, 64(1), 451-454.

• The Global Risks Report 2020, World Economic Forum.

• The impact of New Mobility on the industrial sector in Emilia; workshop 1 – September 15th 2020; The Porsche Experience by Confindustria Emilia Area Centro

• Totis, G., Albertelli, P., Torta, M., Sortino, M., & Monno, M. (2017). Upgraded stability analysis of milling operations by means of advanced modeling of tooling system bending. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 113, 19-34.

• Trappey, A. J., Trappey, C. V., Govindarajan, U. H., Chuang, A. C., & Sun, J. J. (2017). A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. Advanced Engineering Informatics, 33, 208-229.

• Trenfield, S. J., Awad, A., Madla, C. M., Hatton, G. B., Firth, J., Goyanes, A., ... & Basit, A. W. (2019). Shaping the future: recent advances of 3D printing in drug delivery and healthcare. Expert opinion on drug delivery, 16(10), 1081-1094.

• Tsao, C. W. (2016). Polymer microfluidics: Simple, low-cost fabrication process bridging academic lab research to commercialized production. Micromachines, 7(12), 225.

• UNCTAD (2022). Creative industry 4.0. Towards a new globalized Creative economy.

• Valerio E. et al. (2016). “Assessing the Efficiency of a PSS Solution for Waste Collection: A Simulation Based Approach Base Approach.” Procedia CIRP 47:252–57.

• Van Brussel, H., Peirs, J., Reynaerts, D., Delchambre, A., Reinhart, G., Roth, N., ... & Zussman, E. (2000). Assembly of microsystems. CIRP annals, 49(2), 451-472.

• Vichare, P., Nassehi, A., Kumar, S., & Newman, S. T. (2009). A Unified Manufacturing Resource Model for representing CNC machining systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 25(6), 999-1007.

• Vichare, P., Nassehi, A., Thompson, J., Newman, S. T., Wood, F., & Kumar, S. (2015). Machine tool capability profiles for representing machine tool health. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 34, 70-78.

• Walsh III, D. I., Kong, D. S., Murthy, S. K., & Carr, P. A. (2017). Enabling microfluidics: from clean rooms to makerspaces. Trends in biotechnology, 35(5), 383-392.

• Wang, B., S. Brème, and Y. B. Moon. (2014). Hybrid Modeling and Simulation for Complementing Lifecycle Assessment. Computers and Industrial Engineering 69(1):77–88.

• Wang, J., Ma, Y., Zhang, L., Gao, R. X., & Wu, D. (2018). Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. Journal of manufacturing systems, 48, 144-156.

• WEF (2020). The global risks report 2020. In Davos: World Economic Forum. Retrieved November (Vol. 15, p. 2020).

• Wohlers Report 2020, 3D Printing and Additive Manufacturing Global State of the Industry ISBN 978-0-9913332-6-4

• World Manufacturing Forum <https://www.worldmanufacturingforum.org/report-2019>

• Xu, H., Yu, W., Griffith, D., & Golmie, N. (2018). A survey on industrial Internet of Things: A cyber-physical systems perspective. Ieee access, 6, 78238-78259.

• Xu, X. (2017). Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 92(5), 1893-1900.

• Yao, X., Zhou, J., Zhang, J., & Boër, C. R. (2017, September). From intelligent manufacturing to smart manufacturing for industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on. In 2017 5th international conference on enterprise systems (ES) (pp. 311-318). IEEE.

• Yin, Y. H., Nee, A. Y., Ong, S. K., Zhu, J. Y., Gu, P. H., & Chen, L. J. (2015). Automating design with intelligent human-machine integration. CIRP Annals, 64(2), 655-677.

• Zhang, X., Ming, X., Liu, Z., Qu, Y., & Yin, D. (2019). A framework and implementation of Customer Platform-connection manufactory to service (CPMS) model in product service system. Journal of Cleaner Production, 230, 798-819

• Zhao, F., Guo, Y., Zhou, X., Shi, W., & Yu, G. (2020). Materials for solar-powered water evaporation. Nature Reviews Materials, 5(5), 388-401.

• Zheng, J., & Wang, Z. (2010). ICI analysis for FRFT-OFDM systems to frequency offset in time-frequency selective fading channels. IEEE Communications letters, 14(10), 888-890.

• Zheng, P., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., ... & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. Frontiers of Mechanical Engineering, 13(2), 137-150.

• Zhou, F., Lin, X., Liu, C., Zhao, Y., Xu, P., Ren, L., ... & Ren, L. (2019). A survey of visualization for smart manufacturing. Journal of Visualization, 22(2), 419-435.

ROADMAP

PER LA RICERCA E L'INNOVAZIONE

D U E M I L A V E N T I T R E



Associazione - Cluster Fabbrica Intelligente
Associazione riconosciuta
(D.P.R. 10/02/2000, n.36)

Via Piero Gobetti 101 - 40129 Bologna (BO)
TEL: +39 0307741139

P.IVA e C.F. 03235521204

info@fabbricaintelligente.it
cluster@fabbricaintelligente.it

Progetto grafico: Studio Acquadesign Milano
www.acquadesign.net

Edizione: Gennaio 2023

ISBN 9788894101416



ROADMAP

PER LA RICERCA
E L'INNOVAZIONE

D U E M I L A V E N T I T R E



Cluster Fabbrica Intelligente

Via Piero Gobetti 101, 40129 Bologna
tel. +39 0307741139

info@fabbricaintelligente.it
www.fabbricaintelligente.it

