



ASSOLOMBARDA

o de

**Il futuro  
della Fabbrica**

ca



# IL FUTURO DELLA FABBRICA



ASSOLOMBARDA

Il Libro Bianco è stato predisposto da Assolombarda, con il coordinamento di Alberto Dossi, Vice Presidente con delega alle Politiche Industriali, e con la supervisione scientifica dei professori Ferruccio Resta, Marco Taisch e Sergio Terzi del Politecnico di Milano.

*Per Assolombarda hanno partecipato ai lavori:*

Vittorio Biondi, Elena Ghezzi, Paolo Guazzotti, Miriam Ieraci, Viviana Palmieri, Giulia Valente, con il contributo del Settore Lavoro, Welfare e Capitale Umano e dell'Area Centro Studi.

*I contenuti del Libro Bianco sono stati sviluppati con il coinvolgimento di:*

- *Politecnico di Milano:* Federica Acerbi, Monica Bordegoni, Francesco Bruschi, Raffaella Cagliano, Filomena Canterino, Antonio Capone, Giandomenico Caruso, Matteo Cesana, Bianca Maria Colosimo, Paola Maria Fantini, Giambattista Gruosso, Pier Luca Lanzi, Marco Macchi, Marco Melacini, Guido Jacopo Luca Micheli, Giovanni Miragliotta, Alessandro Perego, Marta Pinzone, Marcello Pogliani, Alberto Staudacher Portioli, Paolo Rocco, Giulio Salvadori, Donatella Sciuto, Marco Tarabini, Giacomo Tavola, Paolo Trucco, Angela Tumino, Martina Turrisi, Stefano Zanero.
- *Gruppo Tecnico "Politiche Industriali e Impresa 4.0" di Assolombarda:* Diego Andreis (Fluid-o-Tech), Alvise Biffi (Secure Network), Piero Camurati (Sidam), Mario Corsi (ABB), Sergio Crippa (HPE), Marzio Dal Cin (Dal Cin Gildo), Massimo Dal Checco (SIDI), Alfonso Fuggetta (Cefriel), Marco Icardi (SAS), Matteo Lo Presti (STMicroelectronics), Jacopo Moschini (Mychicjungle), Matteo Parravicini (Para'), Laura Rocchitelli (Gruppo Rold), Giacomo Salina (Castel), Roberto Zuffada (Siemens), Andrea Dell'Orto (Dell'Orto), Pietro Guindani (Vodafone), Alessandro Spada (VRV).

Publicato: 13 febbraio 2020

## Introduzione

Pensare al futuro della fabbrica significa pensare al futuro dell'Italia.

La fabbrica è lo spazio dell'innovazione, della tecnologia, della creatività, della bellezza del saper fare italiano. È il punto di incontro tra umanesimo e scienza, il luogo del lavoro e della formazione. Insiste sui territori nel lungo periodo, costruendo e alimentando la propria competitività attraverso gli *asset* strategici che si concentrano negli ecosistemi della conoscenza, soprattutto urbani. Genera valore economico e sociale, in un continuo scambio con il proprio capitale umano.

Oggi l'inarrestabile portata innovativa della Quarta Rivoluzione Industriale impone una seria riflessione sul futuro della fabbrica: la combinazione di più tecnologie digitali e la maggiore velocità rispetto ai salti di innovazione del passato stanno disegnando un'industria completamente diversa.

Questo cambio di paradigma interessa le produzioni e i processi, ma anche il lavoro e le competenze, e apre nuove opportunità per la sostenibilità. Oltre che investimenti in tecnologie abilitanti di nuovi sistemi e modelli produttivi, il 4.0 comporta infatti anche una nuova concezione del lavoro, che richiede nuove *skill* e nuove forme di gestione dei tempi e dei luoghi di lavoro, una nuova concezione del prodotto, sempre più tecnologico e complesso, una nuova visione dei processi, snelli, ad alto valore aggiunto, senza sprechi e a minor impatto ambientale.

Nell'arco di pochi anni gli assetti geopolitici ed economici planetari si stanno radicalmente modificando, anche sotto la spinta di questa nuova rivoluzione industriale. Si pensi ad esempio allo spostamento del baricentro dell'innovazione tecnologica, della produzione e della finanza che muove sempre più verso oriente. Al conseguente nuovo ordine mondiale che si sta delineando, con agli antipodi Stati Uniti e Cina che a colpi di guerre commerciali e di guerre tecnologiche comprimono lo spazio dell'Europa, e quindi dell'Italia.

L'Italia, che è la seconda manifattura d'Europa e la settima a livello mondiale, non può abdicare al proprio ruolo.

Costruire un'Agenda di priorità dei prossimi anni, mettendo al centro l'industria, è un atto di responsabilità per rilanciare e guidare il futuro economico e sociale del Paese, un investimento di lungo termine essenziale per non restare indietro nella competizione globale.

L'Italia, forte della sua identità manifatturiera e delle sue eccellenze industriali, deve dunque tornare a sedere ai tavoli di discussione internazionali dove ci si confronta sull'industria e sulla società di domani.

È questo il momento di agire. Come recentemente sottolineato dal World Economic Forum, più del 70% delle imprese nel mondo sono oggi in una fase di transizione verso la Quarta Rivoluzione Industriale.

I dati a livello di impresa nei maggiori contesti manifatturieri europei suggeriscono un'accelerazione verso il 4.0. Ma è pur vero che si corre a diverse velocità. Secondo i dati Assolombarda quasi il 70% delle imprese nelle regioni tedesche pioniere del 4.0, ossia Baden-Württemberg e Bayern, possiede macchinari che hanno meno di 10 anni, rispetto al 49% in Lombardia. Nella regione italiana, tra le punte più avanzate del nuovo manifatturiero nazionale, c'è però elevato fermento. La regione si allinea ai *top performer* tedeschi per quanto riguarda gli investimenti in digitalizzazione e apparecchiature (76% delle imprese nel 2015-2017, rispetto alla media del 69% tra i periodi 2013-2015 e 2011-2013) e la quota di imprese che in produzione seguono alcune delle logiche avanzate di Industria 4.0 quasi raddoppia al 13% nel 2017 rispetto al 2015. Le nostre imprese hanno chiaramente imboccato la strada del 4.0, ma bisogna aumentare gli sforzi.

Questo Libro, visionario e programmatico, è la sintesi di un approfondito lavoro tecnico e scientifico incentrato in buona parte sugli scenari abilitati dalle tecnologie, ma dedica anche larga attenzione al capitale umano. Nel dibattito sul cambio di paradig-

ma produttivo in corso, troppo spesso infatti i commentatori si fermano all'analisi delle tecnologie, mettendo in secondo piano i temi dell'*education* e del lavoro che sono invece prioritari negli scenari futuri che si stanno delineando per effetto dell'accelerazione dell'innovazione digitale. Con questa visione di futuro, a completamento di questo contributo sulla fabbrica abbiamo dedicato al mercato del lavoro il primo dei Volumi di questa collezione di Assolombarda e seguirà un numero focalizzato sulla formazione e le competenze dei giovani e dei lavoratori.

Per lo sviluppo di questo Libro, che si è avvalso della partnership scientifica del Politecnico, Assolombarda ha aggregato alcuni tra i più qualificati imprenditori, *manager*, professori e ricercatori.

Di seguito ci concentriamo su alcune specifiche proposte, anche per trarne un collegamento con le iniziative politiche più significative attualmente in sviluppo a livello nazionale.

In primo luogo, si avverte forte la necessità di un Piano di Politica Industriale a livello nazionale, capace di coniugare la visione di lungo termine con i passi realizzativi di breve. L'isteria e la schizofrenia regolatoria che la politica ci consegna con ripetuti esempi quando si parla di industria è per il sistema produttivo fonte di forte frustrazione. Il caso del Piano Industria 4.0 è emblematico: presentato nel 2016 ed entrato parzialmente in opera nel 2017 (per i Competence Centre abbiamo dovuto aspettare fine 2019), l'orizzonte temporale è sempre stato annuale con faticosi rinnovi per 3 volte consecutive. E a ogni rinnovo, il piano è stato modificato (sempre in termini peggiorativi, come intensità di incentivo) e quest'anno è subentrato un meccanismo a credito d'imposta, i cui vantaggi (alcuni è possibile individuarne) sono certamente ostacolati dalla nuova indeterminatezza sulle norme, che richiedono chiarimenti, espressioni del Ministero dello Sviluppo Economico e dell'Agenzia delle Entrate, nuovi schemi attuativi... Il tutto per un "piano triennale" che, nella realtà, dispone di risorse esclusivamente per il primo anno.

In secondo luogo, il caso dell'iperammortamento e del credito d'imposta porta a una considerazione più ampia sul ruolo dei meccanismi di incentivazione. Il tema del sostegno pubblico agli investimenti è solo una componente di un puzzle più ampio che riguarda il funzionamento dell'intero ecosistema in cui operano le imprese. Ciononostante, è opportuno ricordare che i meccanismi di incentivazione all'innovazione in azienda dovrebbero avere il più possibile la forma di meccanismi automatici, per evitare di costruire sovrastrutture (e dunque necessariamente inefficienze) e permettere alle imprese di concentrare energie e risorse sulle attività loro proprie. Le imprese non possono permettersi uffici dedicati alle pratiche anche per gli incentivi a cui hanno diritto.

Un terzo punto di attenzione concerne il capitale umano. Abbiamo rimarcato più volte che, nella fabbrica del futuro, la persona è al centro. È inutile e sterile ribadire che le macchine sono in grado di svolgere alcuni compiti meglio delle controparti umane. Piuttosto è utile ricordare come l'intelligenza creativa e distintiva dell'attività umana (il lato umano, l'empatia, la capacità di giudizio, le relazioni, la gestione dell'imprevisto, ...) debbano essere coltivate, facilitate, rese il più possibile connaturate all'attività in azienda. È sulla formazione, l'orientamento e la riqualificazione che si gioca la sfida delle competenze del capitale umano e dell'occupazione del futuro.

Nel considerare la fabbrica in modo sistemico, un quarto aspetto rilevante riguarda il processo di riadeguamento della sicurezza dei sistemi aziendali in un'ottica di *cybersecurity*. Chi ha responsabilità di governo dovrebbe supportare la diffusione della sicurezza informatica, promuovendo la creazione di consapevolezza nella società e prevedendo misure a sostegno degli investimenti necessari ad attuarla. Nel contesto industriale, un elemento positivo a questo proposito potrà venire dal disaccoppiamento, previsto nella recente legge di bilancio, agli incentivi tra investimenti in *hardware* e *software* di innovazione digitale: questa previsione potrà rendere più semplici gli investi-



menti in soluzioni *software* di *cybersecurity* nelle realtà aziendali. Resta forte la necessità di accompagnare gli investimenti in soluzioni tecniche con forti azioni di formazione e informazione verso gli operatori, a tutti i livelli.

Il quinto e ultimo punto da richiamare riguarda la necessità di un cambio di passo della Pubblica Amministrazione e della dotazione infrastrutturale. Gli scenari che abbiamo disegnato prevedono e richiedono ingenti investimenti da parte delle imprese in *asset* fisici, *know-how* e naturalmente nelle persone; questo mix determinerà il posizionamento competitivo della nostra impresa manifatturiera nei prossimi dieci anni. Non si può però pensare che la sola parte privata possa farsi carico di trainare l'intero sistema nazionale. Un'impresa del futuro ha bisogno di una controparte pubblica del futuro. Questo non significa, solo e necessariamente, la necessità di investimenti di ammodernamento tecnologico e digitale della Pubblica Amministrazione. Significa anche un generale adeguamento delle infrastrutture (fisiche e digitali) a carichi maggiori e risposte più rapide, come imposto dal mercato. Significa un supporto all'interoperabilità e all'integrazione delle filiere. Significa processi decisionali e operativi pubblici trasparenti e con tempi certi e verificabili. Il messaggio deve essere chiaro: è necessario togliere ogni impedimento a chi oggi vuole innovare e non lo sta già facendo per cause esterne.

Queste e altre raccomandazioni rivolgiamo a un ampio pubblico di interlocutori, dagli imprenditori che devono orientare le proprie decisioni strategiche di *business*, ai *policy maker* che hanno il compito di definire scelte politiche e sociali per il breve e per il lungo termine, alla più ampia società civile che deve poter trarre beneficio dall'evoluzione in corso.

**Carlo Bonomi**

Presidente Assolombarda

**Alberto Dossi**

Vice Presidente Assolombarda  
Politiche Industriali

## **Indice**

<b>Parte 1 – Struttura e Obiettivi del Libro Bianco</b>	<b>12</b>
<b>Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero</b>	<b>16</b>
2.1 Trend globali del manifatturiero	20
2.2 Come si è arrivati all’Industria 4.0	24
2.3 Dove ci porterà l’Industria 4.0	27
2.4 L’evoluzione non si ferma	33
Box: Industria 4.0 in Lombardia	35
<b>Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi nella Fabbrica del Futuro</b>	<b>42</b>
3.1 Tecnologie alla base dell’Industria 4.0	46
3.2 Prototipazione virtuale, Digital Twin e Realtà Aumentata	52
3.3 Internet of Things	61
3.4 Data Analytics, Artificial Intelligence e Machine Learning	68
3.5 Blockchain	72
3.6 Cybersecurity	76
3.7 Robotica Collaborativa	83
3.8 Esoscheletro	89
3.9 Additive Manufacturing	94
3.10 Infrastrutture di rete	97
3.11 Gli scenari applicativi delle tecnologie della Fabbrica del Futuro	103
<b>Parte 4 – Persone, Organizzazione, Competenze e Formazione nella Fabbrica del Futuro</b>	<b>134</b>
4.1 Tecnologie, lavoro e organizzazione	135
4.2 Organizzazione 4.0	139

4.3 Competenze per la Fabbrica del Futuro	153
4.4 Gestire progetti e cambiamenti 4.0	162
4.5 Progettare l'interazione uomo-macchina	167
4.6 Nuovi modelli di formazione per Industria 4.0	172
<b>Parte 5 – La Fabbrica del Futuro</b>	<b>178</b>
5.1 La Fabbrica come “buon vicino”, attore dello sviluppo del e nel territorio	181
5.2 La Fabbrica come attore educante e inclusivo	185
5.3 La Fabbrica come polo di costante creazione ed innovazione	189
5.4 La Fabbrica circolare e sostenibile	193
5.5 La Fabbrica cognitiva e iper-connessa	197
5.6 La Fabbrica iper-personalizzante, agile e flessibile	201
5.7 La Fabbrica resiliente e affidabile	205
<b>Parte 6 – Raccomandazioni</b>	<b>208</b>
6.1 Pianificare l'evoluzione, per governarla	210
6.2 Mantenere la persona al centro	211
6.3 Imparare a cambiare	212
6.4 Allearsi per la formazione	213
6.5 Essere leader nella responsabilità	215
6.6 Sfruttare la convergenza tecnologica	216
6.7 Valorizzare i dati	217
6.8 Rafforzare la cybersecurity	218
6.9 Essere parte di un ecosistema	219
6.10 Promuovere l'innovazione del Sistema Paese	220
<b>Glossario</b>	<b>222</b>

# Struttura e Obiettivi del Libro Bianco

1

L'Italia è un Paese manifatturiero, da sempre. Anche tornando indietro di un paio di millenni (potremmo arrivare almeno fino ai Romani), troviamo come le sorti del nostro paese siano state segnate dal “saper fare”, con le mani e con la testa, in modo strutturato ed apprezzato dai clienti. L'arte della bottega e del maestro, dell'imprenditore e dell'attenzione al cliente hanno creato il Rinascimento europeo e posto le basi per il progresso e il benessere di cui godiamo in molti oggi.

Piccola nei numeri e nelle risorse naturali – siamo una piccolissima porzione della forza lavoro globale, oltre che una strettissima penisola senza grandi risorse naturali – l'Italia ha costruito un enorme vantaggio di competenza, passione ed intelligenza industriale. I sistemi sovrastrutturali complessi che ci caratterizzano – si pensi alla grande macchina burocratica e legislativa - come Italiani ci portano talvolta a dimenticare questi nostri risultati: il secondo Paese in Europa per incidenza industriale, tra i primi otto al mondo, con uno dei più potenti *brand* collettivi (il *Made in Italy*). Anche solo per rispetto alla sua stessa storia – economica, umana, sociale – l'Italia non può non dirsi un Paese manifatturiero in aggiunta alle altre peculiarità competitive, come la cultura, il turismo, il cibo e l'artigianato, l'agricoltura e la biodiversità. Il manifatturiero e la capacità di “fare industria” in giro per il mondo sono però una nostra intrinseca risorsa, da mantenere, custodire, governare, incentivare e migliorare, avendo una visione temporale non focalizzata solo sull'oggi (che corrisponde peraltro alla mera sopravvivenza in termini micro-economici), ma anche sul domani e sul dopo-domani (con una visione macro-economica globale).

Da questa considerazione nasce questo Libro Bianco. I libri sono spazi universali di riflessione, che aiutano a consolidare il pensiero e ai quali si ritorna nei momenti di smarrimento; così vuole essere questo contributo: un momento in cui definire dei punti fermi, identificare delle linee di azione e immaginarne lo svolgimento. Si tratta di un Libro dell'Industria per l'Industria,

## Struttura e Obiettivi del Libro Bianco

scritto a più mani da chi di Industria vive e di chi con l'Industria convive. Non ha ovviamente pretese di essere esaustivo, anche se cerca di poggiarsi su un ampio insieme di competenze.

È un Libro che, però, ha alcune pretese: definitorie, visionarie e programmatiche. Parte dal presente e lo definisce in termini di andamenti e prospettive, soluzioni e opportunità. Propone una visione, un'idea di Futuro dell'Industria. Suggerisce e raccomanda un programma, rivolto a più interlocutori, nel rispetto dei diversi ruoli su cui la nostra società – democratica, aperta e solidale – si fonda.

Pragmaticamente, il Libro è organizzato in altri cinque capitoli, oltre a questo strettamente introduttivo. Nel dettaglio:

- la Parte 2 ha lo specifico obiettivo di mettere tutti i lettori “sulla stessa pagina”, come direbbero i nostri colleghi americani. Quali sono i fenomeni che caratterizzano l'Industria moderna? Quali sono gli aspetti che i principali decisori economici devono considerare? Quali di questi sono particolarmente significativi per il Sistema Italia? In tutto questo, che cosa è oggi l'Industria? Quali modifiche tecnologiche la stanno caratterizzando? Come sarà in futuro? Cosa dovrà e potrà cambiare?
- la Parte 3 serve a dare il giusto rilievo al ruolo che le tecnologie dell'informazione e del digitale stanno oggi avendo sull'industria moderna. Il concetto paradigmatico di Industria 4.0 – noto ai più grazie al Piano Nazionale Industria e Impresa 4.0 – è qui analizzato nella sua stretta dimensione tecnologica. Quali sono le tecnologie coinvolte? Da dove arrivano? Cosa comportano? Dove vanno? Quali scenari tecnologici rendono già oggi possibili o saranno resi possibili nel prossimo futuro? Le tecnologie sono molteplici, attuali e in corso di evoluzione, con storie diverse e prospettive simili. Il taglio divulgativo è stato

mantenuto come bussola della scrittura, anche se talvolta i tecnicismi non si sono potuti evitare.

- la Parte 4 è stato espressamente dedicato alla risorsa più importante, l'uomo. Quali competenze saranno – in parte già sono – necessarie per ben governare la trasformazione tecnologica? Come dovranno adattarsi le organizzazioni? Come dovranno evolvere i sistemi di relazione? Come dovranno ammodernarsi i sistemi educativi? Questo capitolo cerca di dare le risposte più complete, oneste e chiare che oggi siano possibili a queste rilevanti domande.
- la Parte 5 – costruito sui presupposti creati dai precedenti capitoli – propone in una formulazione originale alcune visioni di Futuro dell'Industria, con una serie di archetipi evolutivi che oggi siamo in grado di immaginare e che potranno costituire dei punti di riferimento futuri, su cui costruire meccanismi di sviluppo e supporto. Nessuno ha in mano la sfera di cristallo, capace di prevedere dettagliatamente cosa accadrà, ma molti – con un po' di raziocino e spirito critico – sono in grado di leggere tra le righe “i segni dei tempi che verranno”.
- la Parte 6 cerca di andare ancora oltre, con spirito prettamente programmatico. Come possiamo costruire il Futuro dell'Industria fin da oggi? Quali azioni dobbiamo definire? Quali raccomandazioni possiamo fornire al Sistema Paese? Cosa possiamo suggerire alle nostre Imprese? Cosa dobbiamo chiedere a noi tutti? Da dove dobbiamo iniziare? Anche in questo non può esistere la certezza di aver affrontato tutti i nodi, ma possiamo supporre di averne toccati diversi, probabilmente i più rilevanti per il futuro.

**Come sta  
cambiando  
il settore  
manifatturiero**

**2**



La grande crisi finanziaria dell'ultimo decennio è ancora viva nella mente di molti così come la sua trasformazione in crisi reale e industriale, con fabbriche in difficoltà e posti di lavoro compromessi. La crisi ha colpito fortemente Paesi, settori e competenze, lasciando segni che ancor oggi vediamo.

Il ricordo della crisi *ad incipit* di questo paragrafo è doveroso per comprendere il contesto in cui oggi, nel 2020, il manifatturiero mondiale (e quindi quello Italiano) si trova a vivere. Molti dei fenomeni (*trend*) che le imprese manifatturiere si trovano ad affrontare ebbero un punto di origine, o per lo meno di svolta, in quello specifico periodo storico.

I momenti difficili aiutano a fare chiarezza: se accettati, danno un senso di lucidità al nostro agire, sia individuale che collettivo. Per il nostro Paese, una chiarezza che abbiamo ottenuto dalla crisi è stata quella di comprendere l'enorme rilevanza del settore manifatturiero industriale. Il "*manu-facere*" industriale è una parte fondamentale del benessere collettivo e del valore economico globale: oltre il 70% degli scambi commerciali mondiali sono direttamente legati alle attività industriali, e una quota rilevante delle posizioni lavorative sono legate a ciò che chiamiamo manifatturiero. Inoltre, i dati raccolti dal World Bank rilevano che il settore manifatturiero contribuisce alla crescita del PIL delle maggiori potenze industriali al mondo, per un valore minimo pari al 20% fino ad un apporto pari al 40%<sup>1</sup>.

Per l'Italia, il manifatturiero è una vera e propria forza motrice della società, che ci colloca al secondo posto tra le nazioni europee, dopo la Germania (con cui abbiamo un rapporto sia di competizione, sia di collaborazione in quasi tutte le filiere produttive), e tra le prime otto al mondo. La sola Regione Lombardia è la seconda regione europea in termini di competitività e sviluppo basati sul manifatturiero<sup>2</sup>. Conosciamo come il nostro tessuto industriale sia a forte prevalenza di Piccole e Medie Imprese (PMI,

1 - Elaborazione dati World Bank da "World Manufacturing Forum" (2018).

2 - Eurostat 2019.

## Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero

per circa 390.000 imprese, pari al 97% del totale)<sup>3</sup>, con una piramide in larga parte fatta da micro-imprese. Questa struttura è il risultato di anni di trasformazione dell'industria ed è una caratteristica fortemente nazionale, anche se non esclusivamente Italiana. I numeri macro-economici dell'ultimo anno – fortemente legati a quanto accade nella vicina Germania – ci confermano come il manifatturiero Italiano sia parte fondamentale del benessere collettivo: in uno scenario generale di diminuzione del tasso di disoccupazione del - 0,1% e contemporaneo aumento del tasso di occupazione del +1%, il settore manifatturiero si posiziona al primo posto, con un aumento dell'occupazione del +2,1%. Inoltre, il numero complessivo di imprese italiane, caratterizzanti l'industria in senso stretto, risulta essere circa pari a 411.000 registrando quasi 4 milioni di addetti<sup>4</sup>.

La grande crisi del 2008 (e anni seguenti) si è mostrata nelle imprese manifatturiere con un iniziale calo delle *performance*, comportando la contrazione del numero di imprese. Tale indebolimento è stato successivamente bilanciato da una crescente voglia di innovarsi da parte delle aziende stesse. In questi ultimi anni, si è potuto chiaramente notare come le imprese resistite alla crisi si siano allineate e adeguate al cambiamento, aumentando la propria capacità competitiva nel contesto europeo e globale.

L'archetipo delle “medie imprese eccellenti”<sup>5</sup> si è man mano consolidato nel panorama nazionale. Una ricorrente ricetta di spinta imprenditoriale, modelli organizzativi snelli, trasformazione digitale e propensione al mercato estero, ha permesso a numerose imprese di consolidare le proprie dimensioni e la propria penetrazione su mercati internazionali. Sulla base degli ultimi dati Istat<sup>6</sup>, la situazione corrente sembra godere di un aumento di fiducia nelle imprese (+0,6 % nell'ultimo anno), che fa oscillare

3 – Elaborazione dati Istat 2019 da “Automazione Industriale”.

4 – Istat (2018).

5 – Cit L. Serio, “Medie eccellenti: Le imprese italiane nella competizione internazionale”, 2017, Guerini e Associati.

6 – Istat (2019).

di poco sopra lo zero la produzione industriale, anche se le prospettive dell'ultimo semestre del 2019 mostrano un rallentamento in atto, dovuto alla sostanziale contrazione delle esportazioni tedesche – con cui condividiamo intere parti di filiere industriali – a seguito della guerra dei dazi in corso tra le superpotenze USA e Cina. In questo scenario altalenante, si può notare come il manifatturiero nazionale sia riuscito a riconquistare uno spazio globale, recuperando punti di produttività e quote di mercato, pressoché ritornando ai livelli pre-crisi. Il manifatturiero nazionale rappresenta oggi – come in passato – una cospicua parte del bene collettivo e contribuisce in modo più rapido di altri settori dell'economia al valore nazionale (dato un PIL aumentato mediamente dello 0,9% nell'ultimo anno, il comparto manifatturiero ha registrato un aumento del + 2,1%)<sup>7</sup>.

Senza lasciarci prendere da facili entusiasmi o – peggio – da ansie sull'andamento quotidiano dell'economia globale, non possiamo esimerci dal sostenere la tesi che l'Italia è un Paese manifatturiero, per il quale pensare al futuro del manifatturiero corrisponde a pensare al futuro dell'Italia stessa.

Per potere immaginare il futuro del manifatturiero – compito della Parte 5 di questo Libro Bianco – occorre partire dalla comprensione dei fenomeni che attualmente hanno un impatto (e lo avranno sempre più in futuro) sull'industria globale e quindi quella nazionale. Questi fenomeni – molti di quali hanno avuto origine anni addietro – sono solitamente identificati come *trend* paradigmatici del manifatturiero (*manufacturing trend*).

## 2.1 Trend globali del manifatturiero

Il mondo sta vivendo cambiamenti radicali, di portata globale e in rapida evoluzione, che impattano sul genere umano e sulla struttura degli attori economici, che siano nazioni e imprese. Per comprendere quale potrà essere il futuro dell'industria, dobbiamo imparare a leggere questi *mega-trend*, tra cui:

- L'aumento demografico, l'urbanizzazione crescente, lo spostamento di intere masse alla ricerca di una vita migliore stanno cambiando la struttura di grandi porzioni del pianeta. I Paesi emergenti lo sono innanzitutto da un punto di vista della popolazione. Cina, India, intere porzioni dell'Africa e diversi Paesi Sud-Americani sono caratterizzati da popolazioni in grande crescita, che fornisce una forza lavoro giovane, desiderosa di affrancarsi dalla povertà, e che diviene un promettente mercato di consumo all'aumentare del potere di acquisto. L'urbanizzazione ridisegna allo stesso tempo i bisogni, contribuendo alla creazione di consumi sofisticati (case, auto, cibo, svaghi, ecc.). I Paesi della prima industrializzazione divengono vecchi non solo a parole, ma anche nei fatti. Secondo gli studi sviluppati da *United Nations Industrial Development Organization*, l'aspettativa di vita è in aumento a livello globale ed entro il 2050 porterà ad avere circa il 33% della popolazione con età pari a 65 anni. Nei Paesi di primo sviluppo (tra cui la nostra Europa) oltre il 50% della popolazione sarà *over 50*. Tale fenomeno avrà impatti radicali nella società, negli stili di vita, nei bisogni e nei consumi. A titolo d'esempio, la richiesta di risorse alimentari si prevede che aumenterà globalmente del 35% entro il 2030<sup>8</sup>.

- Lo sfruttamento di risorse naturali finite (dai combustibili fossili, all'acqua potabile, dalle terre rare, ai materiali ferrosi) determina tensioni sociali, che a loro volta creano fluttuazioni imprevedibili nei costi delle materie prime. Secondo l'ente *United Nations International Resource Panel* si prospetta uno scenario futuro che consiste in un aumento pari al triplo in termini di estrazione di risorse primarie nel 2050. Più il pianeta aumenta i propri consumi, più la domanda di risorse sale, più i prezzi corrono, più le guerre commerciali, e non solo, si scatenano<sup>9</sup>.
- Come noto ormai ai più, l'impatto prodotto da attività umane sta mostrando il proprio effetto sui cambiamenti climatici, presentando costi rilevanti<sup>10</sup>.

Questi fenomeni si combinano con una profonda revisione dello scacchiere economico e un peso sempre maggiore dei Paesi emergenti "ad Est", desiderosi, anche per evidenti motivi demografici, di condizionare lo sviluppo mondiale. Con l'aumento della ricchezza globale si è registrato il progressivo soddisfacimento dei bisogni primari, che hanno lasciato il posto a bisogni più complessi. Nei Paesi avanzati e nei contesti economicamente emergenti sono ormai strutturalmente mutati i profili di domanda e di consumo, che costringono ad un adattamento delle forme di offerta e produzione. In particolare, è opportuno segnalare questi *market-trend*:

- Il consumatore moderno richiede prodotti personalizzati, su misura e capaci di soddisfare un bisogno intrinseco di individualità. La *mass customization* deve avvenire a costi contenuti, coniugando varietà ed efficienza. Si tratta di un fenomeno ben noto alle case automobilistiche, che offrono decine di migliaia di varianti,

9 - Elaborazione dati *United Nations International Resource Panel* (2018) da parte di *World Manufacturing Forum* (2018).

10 - *World Manufacturing Forum* (2018). *Recommendations for the Future of Manufacturing*.

## Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero

- come anche ai produttori del mondo dell'elettronica o della moda.
- Il mercato (sia di massa, che di *target* con elevato potere economico) è alla costante ricerca della novità. L'obsolescenza non è solo questione tecnologica, ma è un complesso fenomeno, in cui si mischiano bisogni di autostima e di ammodernamento tecnico, presunto e reale. L'innovazione continua è condizione imprescindibile per il mantenimento e il rafforzamento della posizione competitiva di un'impresa.
  - Il possesso non è più l'unica formula possibile per l'utilizzo di un bene. Modelli di consumo basati sul *pay-per-use*, il noleggio, l'affitto e l'usufrutto sono presenti in diversi settori. È il fenomeno della servitizzazione (*servitization*), contemporaneamente legato ad una modifica nei modi di consumo e ad una modalità di proposizione dell'offerta. È un dato di fatto che le nuove generazioni urbanizzate presentano una minore propensione all'acquisto e un maggior indirizzo alla condivisione, che li orienta verso profili di consumo ad utilizzo. Anche nei comparti più tradizionali, la servitizzazione tramuta entrate singole in ricorrenti: dalla macchina utensile in *leasing* orario, alla fotocopiatrice pagata per numero di fotocopie, al *Software As A Service*.
  - Sebbene non esistano soluzioni semplici, occorre osservare come sia in consolidamento un *trend* di domanda che apprezza e favorisce modi di produrre e commercializzare più sostenibili e più verdi. Sia i consumatori che i produttori richiedono oggi l'offerta di prodotti meno inquinanti e più sostenibili, come auto ecologiche, cibo biologico, moda sostenibile, impianti *green*.

In parallelo a questi *trend* globali (*mega-trend*) e di mercato (*market-trend*), occorre ovviamente segnalare l'enorme paradigma dell'evoluzione tecnologica, continua, veloce e inarrestabile. Dopo centinaia di anni di ritmi evolutivi prossimi alla stagnazione, nell'ultimo secolo lo sviluppo tecnologico ha assunto velocità mai registrate nella storia dell'umanità. Ciò vale su tutti i fronti, dalle tecniche di produzione ai materiali, dalle bioscienze alla tecnologia informatica, che ha drasticamente modificato le nostre abitudini. Ritorreremo nei prossimi paragrafi sul ruolo dell'evoluzione tecnologica, in particolare quella digitale, entrando anche nel vivo dei particolari di alcune tecnologie.

## 2.2 Come si è arrivati all’Industria 4.0

I *trend* globali impattano su tutti gli operatori economici, dai singoli individui alle imprese, dalle città, alle istituzioni sovranazionali. Queste trasformazioni sociali, culturali e tecnologiche impattano su tutti i settori e comparti dell’ingegno umano, modificando gli equilibri e i vantaggi comparati tra le nazioni e intere aree del pianeta. Si tratta di un processo di trasformazione continuo e inarrestabile, che chiama i singoli e le imprese ad una presa di consapevolezza.

Nei Paesi di storica industrializzazione (Europa, America, Giappone), i *trend* globali hanno un diretto impatto sulla competitività complessiva. Il “mondo avanzato” è chiamato a trovare risposte complete e organiche ai fenomeni globali, essendo innanzitutto conscio del mutato contesto competitivo. Al di là degli impegni etici, si tratta di una questione di stretta politica internazionale “di sopravvivenza”, i cui responsi determineranno le condizioni delle generazioni future. Non può esistere una economia solida basata sulla sola burocrazia o la sola finanza. Tutti i popoli basano il proprio sviluppo sull’ingegno, sulla propria capacità di fare e di creare valore per altri. Come gli economisti ormai insegnano, non può esistere ricchezza senza capacità creatrice; la capacità creatrice è l’insieme di fattori di produzione, che trasformano con il lavoro idee e *input* in *output* cui i consumatori riconoscono un valore.

È anche sulla base delle visioni di cui sopra che oggi il comparto manifatturiero è globalmente riconosciuto come ambito capace di generare vantaggi competitivi, per singole imprese e intere nazioni. I *policy makers* dei principali Paesi hanno chiaramente capito – anche dopo la doccia fredda della crisi 2008 – che non può esistere uno sviluppo socialmente ed economicamente adeguato senza un manifatturiero avanzato, innovatore e sostenibile. Da questa constatazione sono nate le numerose iniziative di indirizzo di politica industriale, quale la piattaforma “Industrie



4.0” del Governo Federale Tedesco (nata nel 2011, prima in Europa), o il consorzio della “Smart Manufacturing Alliance” (nata nel 2011 a latere della strategia di *re-shoring* del *manufacturing* promossa dalla presidenza Obama), la proposta “Industrie du Futur” promossa dal Governo Francese nel 2014, il nostro “Piano Industria 4.0” del 2016 (poi ribattezzato in “Impresa 4.0” nel 2017), il più ampio piano di “Digitizing Europe” promosso dalla Commissione europea, il quinquennale piano “Made in China 2025” della Repubblica Popolare Cinese, e via discorrendo. Al di là dei dettagli operativi, si tratta di iniziative unite dalla comune visione della necessità di disporre di un comparto manifatturiero moderno, aggiornato alle più avanzate tecnologie, capace di intercettare i bisogni dei mercati e di contribuire a fornire risposte allineate ai *trend* globali, su cui costruire e/o mantenere una posizione competitiva nello scacchiere globale. Si tratta di visioni sintetiche, che descrivono in modo omnicomprensivo una figura del futuro del *manufacturing*, secondo cui, grazie soprattutto alle tecnologie digitali, le imprese manifatturiere aumenteranno la propria efficienza operativa tramite la cooperazione delle loro risorse (macchine, impianti, persone e informazioni), siano esse interne alla fabbrica o distribuite lungo la filiera. I termini usati per descrivere questo concetto sono diversi: Industria 4.0, *Smart Manufacturing*, *Future Factory*, *Digital Manufacturing*, Fabbrica Intelligente, *Connected Factory*, ecc.

Al di là del nome, la visione sostanziale dell’Industria 4.0 è quella di creare sistemi produttivi sempre più efficienti, grazie all’utilizzo di diverse tecnologie informatiche e digitali capaci di aumentare la produttività delle risorse (macchine, impianti, ma anche persone) e l’efficacia dell’innovazione. Grazie all’efficiamento dettato da queste tecnologie, che permettono l’integrazione di sistemi produttivi, secondo una ricerca condotta da *SCM World Globalisation Survey* si prevede un incremento del 30% per quanto concerne il fenomeno di *re-shoring*<sup>11</sup>. Infatti, l’intuizione dell’Industria 4.0 è quella di essere ormai alla frontiera di una nuo-

11 – World Manufacturing Forum (2018).  
Recommendations for the Future of Manufacturing

## Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero

va rivoluzione industriale, in cui la tecnologia digitale è divenuta fattore rilevante della produttività aggregata, data la pervasività che la stessa ha ormai raggiunto con l'affermarsi della rete Internet. L'aumento più che esponenziale della capacità di calcolo, la dirompente connettività dei sistemi, l'interoperabilità dei paradigmi tecnologici, le aumentate potenzialità di virtualizzazione e modellazione sono tutti fattori concorrenti del moderno sviluppo digitale, che aprono nuovi scenari di adozione dell'informatica al mondo delle operations e del manufacturing in particolare, dalle sue accezioni più *standard* (ambienti collaborativi, sistemi informativi gestionali, ecc.), a soluzioni più avanzate (es. robotica, intelligenza artificiale). Il termine di "Industria 4.0" identifica il paradigma industriale emergente, basato sull'utilizzo pervasivo di tecnologie digitali, connesse e interoperabili. Con una parafrasi un po' altisonante, si è soliti dire che la moderna industria, grazie alle recenti evoluzioni informatiche, è di fronte ad una sorta di nuova rivoluzione industriale, la quarta, digitale e iper-connessa. Come le tre precedenti – quella meccanica, automatica ed elettronica – anche questa promette rilevanti recuperi di produttività, e – sempre come le precedenti – comporterà nei prossimi anni modifiche sostanziali all'assetto macroeconomico, contribuendo alla ridefinizione dello scenario competitivo industriale dell'economia globale.

Allo stesso tempo, Industria 4.0 rappresenta aspetti diversi dalle precedenti rivoluzioni. *In primis*, da un punto di vista tecnologico, Industria 4.0 non è una rivoluzione abilitata dalle funzionalità di un'unica tecnologia, ma al contrario è resa possibile grazie all'utilizzo complementare di una serie di tecnologie (definite genericamente "digitali") che hanno raggiunto un livello di maturità tale da garantire non solo un nuovo modo di fare industria, ma anche di fare impresa. In secondo luogo, il rapido arco temporale in cui la trasformazione sta avvenendo; se infatti le rivoluzioni precedenti hanno avuto uno sviluppo pari a quello di una vita media di una persona, Industria 4.0 è molto più veloce,

più immediata, quasi istantanea, e per tanto anche più rischiosa (se non colta, o colta male).

## 2.3 Dove ci porterà l'Industria 4.0

Se al momento l'Industria 4.0 è per i più ancora una visione un po' futuristica, le intuizioni tecnologiche stanno man mano diventando realtà, un prototipo ed un progetto alla volta. Gli impatti di questa evoluzione devono ancora manifestarsi nella loro interezza, ma è già possibile identificare le macro-categorie di attività e le sfide che l'evoluzione tecnologica sta iniziando ad affrontare, con le relative dimensioni di costo/limite e beneficio/risultato.

Nel prosieguo del Libro Bianco avremo modo di entrare nel dettaglio delle tecnologie dell'Industria 4.0, così da potere avere gli elementi oggettivi su cui costruire degli scenari di adozione delle stesse che riteniamo rilevanti per il sistema industriale italiano. Possiamo però fin da ora identificare almeno quattro ambiti di impatto sull'Industria 4.0, su cui richiamare fin dall'inizio l'attenzione del lettore: (i) i prodotti, (ii) i processi e i sistemi produttivi e logistici, (iii) i modelli di *business* e (iv) le competenze lavorative.

### 2.3.1 I prodotti 4.0

Il primo ambito che l'evoluzione del 4.0 sta sostanzialmente modificando è certamente quello della realizzazione di beni e prodotti allineati alla rivoluzione in atto. L'industria 4.0 è innanzitutto questione di "prodotti 4.0", beni connessi – attraverso diverse soluzioni tecniche – alla rete. Sono "beni 4.0" i macchinari connessi alla rete, monitorabili a distanza, i sistemi di logistica e movimentazione tracciabili nel loro avanzamento, gli utensili attrezzati in

## Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero

modo automatico al cambio *setup*, i motori controllabili nel loro stato di funzionamento con un *tablet*, gli equipaggiamenti di sicurezza che verificano le condizioni di salute di un operatore e che allertano i macchinari della presenza dell'uomo, le istruzioni di manutenzione e assistenza tecnica di un'apparecchiatura industriale comunicate al momento del bisogno sul terminale dell'operatore, gli *smart watches* che avvisano i responsabili di un'interruzione macchina, ecc. Tutto ciò è reso possibile dalla tecnologia dell'IoT, che risulta una realtà estensivamente affermata, con miliardi di oggetti connessi alla rete, che hanno ormai modificato le abitudini di molti di noi.

Realizzare “prodotti 4.0” – o *smart* – non è un passaggio indolore e immediato, ma servono diversi accorgimenti e revisioni al processo di creazione, progettazione e ingegnerizzazione degli stessi. Oltre al lato *hardware* (comprensivo di elettronica), nei “prodotti 4.0” occorre pensare anche allo sviluppo del lato software che accompagna un oggetto connesso. I prodotti *smart* sono dei sistemi complessi e come tali devono essere progettati, ricorrendo a competenze multidisciplinari e a sviluppi indirizzati alla *user experience*. L'armonizzazione di progettazione *hardware* e *software* è un'attività complicata, che richiede una combinata gestione dei due processi di sviluppo, *hardware* e *software*. Contemporaneamente, la capacità di raccogliere grandi basi di dati e di metterli in Rete pone una questione rilevante sulla gestione della proprietà intellettuale, sulla *data privacy* e sulla *data security*, come le vicende di cronaca di *cyber crime* testimoniano.

Ciò detto, non si può non constatare come oggi la connettività costante stia divenendo – o sia già – una *conditio sine qua non* per milioni di utenti e l'investimento in tecnologie di connettività 4.0 pare essere pressoché un passo obbligato per le aziende industriali, alla ricerca di leve competitive originali. C'è da aspettarsi che le imprese che non investiranno in queste tecnologie rischieranno di vedersi intaccare le proprie quote di mercato e, conseguentemente, ridursi ricavi e profitti, fino a vedere minata

la propria sopravvivenza. L'Italia manifatturiera deve essere in grado di gestire questo impatto, arricchendo la propria offerta commerciale e tecnologica di “prodotti 4.0”.

### 2.3.2 I processi 4.0

Il secondo grande ambito di impatto è quello dei processi e dei sistemi industriali, produttivi o logistici che siano. Diverse tecnologie digitali stanno modificando – un passo alla volta – le fabbriche e le reti distributive come le conosciamo, dalla stampa 3D alla robotica collaborativa, dalla simulazione alla *data analytics*. Ritorreremo sul dettaglio di queste tecnologie nella Parte 3 del Libro Bianco, qui ci limitiamo a notare come nonostante le combinazioni tecnologiche siano molteplici, gli ambiti di beneficio siano coerenti e focalizzati sul comune ottenimento di efficienza e produttività.

I processi dell'Industria 4.0 dovranno essere snelli, ad alto valore aggiunto, senza sprechi. Le tecniche di miglioramento continuo – oggi giorno note ai più come tecniche *lean* – hanno già avuto modo di mostrare la propria efficienza organizzativa e operativa. Le moderne tecnologie digitali non mettono in discussione la visione efficientistica evolutasi nell'ultimo mezzo secolo, ma anzi, ne sono ulteriore supporto. Le tecnologie dell'era 4.0 danno oggi nuovi spunti e mezzi per ridurre inefficienze procedurali. Non forniscono scorciatoie all'incapacità gestionale e operativa, ma offrono potenti strumenti migliorativi. Qualsiasi progetto di Industria 4.0 dovrebbe prima passare da una seria revisione dei processi e delle pratiche in essere, per non incappare nel potenziale errore della “digitalizzazione degli sprechi”. Le tecnologie digitali 4.0 – se ben governate – lo consentono, peraltro in diversi ambiti operativi (dalla produzione, alla logistica, dalla manutenzione, alla qualità).

Per onestà intellettuale, occorre far presente come già si sia molto sperimentato in Italia su questo fronte di “processi 4.0”. Secondo i dati dell’Osservatorio Industria 4.0 del Politecnico di Milano, i processi strettamente produttivi e logistici sono stati quelli in cui si è assistito al maggior numero di installazioni e sperimentazioni, visti anche gli incentivi fortemente mirati a questo ambito (l’iper e super ammortamento del Piano Nazionale 4.0 hanno fortemente incentivato l’uso di tecnologie digitali a supporto dell’efficienza produttiva e logistica). Anche la recente analisi di Confindustria “Dove va l’Industria Italiana” (Maggio 2019) ha messo sotto i riflettori il grande investimento di ammodernamento dei processi produttivi avvenuto in Italia, con oltre 10 miliardi di euro investiti in macchinari e processi produttivi 4.0. La trasformazione dei processi produttivi in ottica 4.0 è certamente iniziata nel sistema nazionale, anche se non pare opportuno sedersi sugli allori, visti anche i *trend* globali di investimenti in infrastrutture produttive che le maggiori potenze economiche stanno continuando ad esprimere<sup>12</sup>.

### 2.3.3 I modelli di *business* dell’era 4.0

Come sopra menzionato, l’uso combinato di più tecnologie 4.0, unito ad una buona dose di orientamento al mercato, porterà giocoforza con sé alla creazione di nuovi modelli imprenditoriali. L’ultimo decennio ce lo ha già mostrato, portando alla ribalta attori economici nuovi, che fondano il proprio vantaggio competitivo sulle tecnologie digitali. Interi comparti dei servizi sono già stati ampiamente modificati dalla rivoluzione digitale. Si pensi al settore della residenzialità o della mobilità pubblica, i cui più grandi operatori – che non esistevano prima della crisi economica – hanno fondato il proprio successo sull’uso pervasivo della rete e di strumenti di connessione digitale.

In particolare, i prodotti e i sistemi *smart* – abilitati dall’uso combinato di tecnologie IoT, *cloud* e di *analytics* – stanno cambiando lo scenario dell’offerta economica, modificando profili di consumo di intere porzioni del mercato. Gli oggetti connessi – sulla cui dimensione tecnologica ritorneremo nella Parte 3 – permettono ai consumatori di disporre di servizi nuovi e ad alto valore (locazione, posizione, consumo, utilizzo, *pay-per use*, ecc.) e allo stesso tempo permettono alle imprese di modificare la propria modalità di offerta al mercato (da venditore di parti e componenti, a fornitori di servizi, attività, fino al ruolo di *partner* esclusivo). Tutto ciò sta accadendo in contesti diversi, dai prodotti di consumo, ai beni durevoli, dal B2C, al B2C. Fenomeni vecchi (es. il *car sharing*) trovano nuova linfa e vigore, mentre nuovi usi e costumi si diffondono (dalla *Smart Home* alla *Smart Cities*).

Nel comparto manifatturiero dobbiamo aspettarci qualcosa di analogo, con una drastica spinta verso modelli economici di servitizzazione e a forte personalizzazione. Già alcuni dei contesti classici del manifatturiero – i tradizionali produttori di macchine utensili e di beni speciali di trasformazione – stanno affrontando i primi esperimenti di modifica al proprio modello di business, da chi offre attività e servizi di tele-controllo e tele-assistenza, a chi arriva al *pay-per-use* per “ore buone di produzione” realizzate dal proprio macchinario presso il cliente, al *Manufacturing As A Service* dei primi produttori esclusivi in stampa 3D, che forniscono la parte finita dal modello CAD 3D in 24/48 ore. Tutto ciò sta ponendo sfide nuove agli attori economici, chiamati a comprendere il passaggio tecnologico e comportamentale in atto per trovare il proprio spazio.

### **2.3.4 Le competenze dell'era 4.0**

L'evoluzione tecnologica in corsa sta certamente ponendo nuove sfide alla risorsa produttiva per antonomasia: l'uomo. Le nuove tecnologie offrono nuovi mezzi e nuovi modi di operare, non sempre alla portata di comprensione dei più. Ritourneremo con un'approfondita riflessione sulle nuove competenze dell'era 4.0 nella Parte 4, ma ci preme in questo paragrafo evidenziare la pervasività della mutazione delle competenze che il paradigma del manifatturiero digitale richiede. Solo una realtà aziendale capace di combinare contemporaneamente la capacità di innovazione, la competenza manageriale e un'efficace ed efficiente attività operativa sarà in grado di sfruttare le opportunità abilitate dalla quarta rivoluzione industriale. Le potenzialità delle tecnologie dell'Industria 4.0 devono essere adeguatamente supportate da competenze formative e culturali, che sappiano coniugare la capacità di comprensione con quella di utilizzo delle tecnologie stesse. Per questi motivi, oltre alle competenze, anche gli stessi mezzi di trasmissione della conoscenza e di addestramento dovranno evolvere, plausibilmente verso forme più esperienziali ed applicative. Questo Libro Bianco offre alcuni spunti di riflessione anche su questo ultimo aspetto, nella Parte 4, cui si rimanda.



## 2.4 L'evoluzione non si ferma

Il paradigma dell'Industria 4.0 ha impatti rilevanti e globali, come globale è la sua diffusione. Anche a rischio di risultare perentori, ci preme sottolineare che nessun attore economico può oggi giorno chiamarsi fuori da questa trasformazione – che è contemporaneamente culturale e digitale – pena l'esclusione dal mercato. L'Italia è il secondo Paese manifatturiero d'Europa, il quinto esportatore mondiale e tra le prime otto potenze economiche globali. Per le imprese italiane è importante cogliere – e diverse lo stanno già facendo – l'evoluzione dei *trend* globali, per cercare di mantenere la propria posizione competitiva e continuare a mantenere il proprio tasso di sviluppo umano e sociale.

Le esperienze raccolte nel panorama nazionale – frutto del lavoro di questi ultimi anni di attenzione mediatica e di pianificazione istituzionale – insegnano alcuni principi chiave, dei punti di riferimento che sono sensatamente da condividere. Ne formuliamo a chiusura di questa Parte 2, introducendo alcuni temi ripresi nei successivi capitoli di questo Libro Bianco:

- Importanza di una consapevolezza sistemica e tecnologica. Per rispondere alle sfide globali, gli attori economici nazionali – imprese, ma anche istituzioni – devono avere consapevolezza delle proprie capacità tecnologiche, che possono essere acquisite con l'opportuna attenzione e dedizione (cfr. Parte 3).
- Importanza di dotarsi delle giuste competenze. Le competenze sono uno dei fattori principali in grado di abilitare qualsiasi trasformazione. Il Paese ha in sé le competenze adeguate, ma spesso non sono sufficienti. Il segnale positivo è che le competenze possono essere create, trasmesse ed acquisite. Su questi punti verterà un contributo nella Parte 4.

## Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero

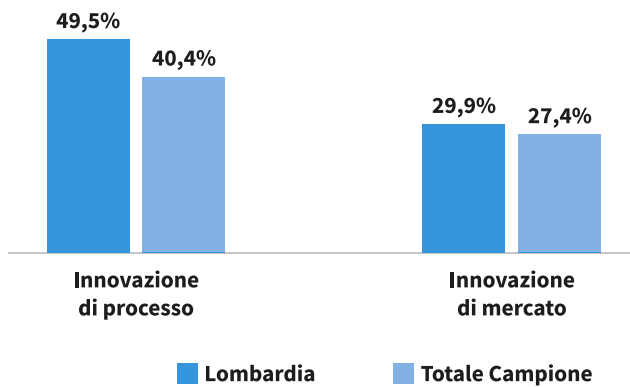
- Importanza di una progettualità chiara e messa bene a fuoco. Senza un piano d'azione concreto e puntuale, qualunque visione sarà destinata a rimanere poco comprensibile e difficilmente convincerà le persone a dedicare parte del proprio tempo e delle proprie energie al suo ottenimento. Il cambiamento industriale non si deve subire, si deve pianificare! L'intero Sistema Paese deve farsi carico di questa esigenza di chiarezza, aiutando gli attori economici a comprendere le trasformazioni in corso, supportando la condivisione di esperienza e incentivando i cambiamenti. Su questo aspetto ritorneremo nella Parte 5, con l'elaborazione di alcuni scenari di progettualità della Fabbrica del Futuro.

# BOX

## Industria 4.0 in Lombardia

“Le performance delle imprese europee: un’Analisi Benchmark”<sup>13</sup> di Assolombarda approfondisce strategie, sfide, fattori chiave e vincoli delle imprese manifatturiere in cinque regioni cardine del tessuto produttivo europeo (Lombardia in Italia, Baden-Württemberg e Bayern in Germania, Cataluña in Spagna e Auvergne-Rhône-Alpes in Francia). Giunta alla terza edizione, l’Analisi Benchmark raccoglie dati inediti, rappresentativi e comparabili a livello di impresa che descrivono un totale di 1.926 aziende (delle quali 590 intervistate nell’edizione 2019) lungo tre rilevazioni che coprono un arco complessivo di sette anni, dal 2011 al 2017, e che indagano 7 ambiti tematici (Innovazione, Industria 4.0, Internazionalizzazione, Struttura di Impresa, Forza Lavoro, Credito e Burocrazia).

→ **Grafico 2.1 – Innovazione di processo e innovazione di mercato (% imprese sul totale, 2015-2017).**

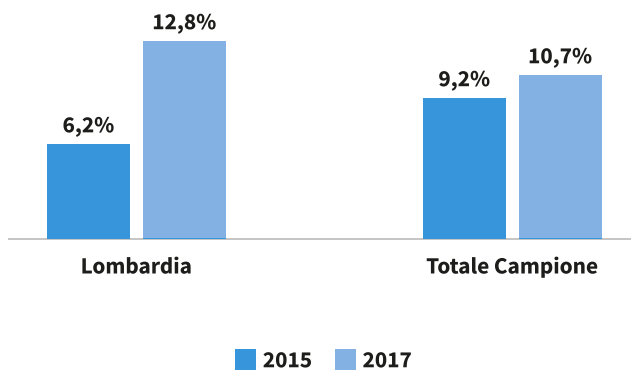


## Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero

Nel confronto europeo, la Lombardia mostra un particolare dinamismo nell'arco temporale analizzato per quanto riguarda le attività legate a ricerca e innovazione. Nel dettaglio, aumenta la diffusione dell'attività di Ricerca e Sviluppo (R&S): il 60% delle imprese dichiara di aver svolto attività di R&S nel triennio 2015-2017 (rispetto al 50% nel triennio 2013-2015 e al 40% nel triennio 2011-2013), arrivando così a superare la media campione. Rispetto al passato, cresce inoltre la propensione all'innovazione: ben il 50% delle imprese lombarde dichiara di aver introdotto innovazioni di processo tra il 2015 e il 2017 (dal 44% nel 2013-2015 e dal 31% nel 2011-2013, rispetto a una media campione del 40%), e il 30% innovazioni di prodotto e mercato, in linea con Baden-Württemberg (27%) e Cataluña (29%).

I dati suggeriscono, altresì, vi sia un'accelerazione nella transizione verso l'Industria 4.0. È pur vero che Baden-Württemberg e Bayern rimangono le regioni più avanzate: quasi il 70% delle imprese nelle regioni tedesche possiede macchinari che hanno meno di 10 anni, rispetto al 49% in Lombardia. In Lombardia c'è però fermento. La regione italiana si allinea alle tedesche per quanto riguarda gli investimenti in digitalizzazione e apparecchiature (76% delle imprese nel 2015-2017, rispetto alla media del 69% tra i periodi 2013-2015 e 2011-2013) e la quota di imprese che in produzione seguono alcune delle logiche avanzate di Industria 4.0 quasi raddoppia dal 6% nel 2015 al 13% nel 2017, a fronte di una sostanziale staticità del resto del campione. Inoltre, in linea con la media campione, sono quasi il 20% del totale le imprese lombarde con macchinari integrati da un punto di vista informatico che progettano di diventare ancora più *smart* acquisendo tecnologie 4.0 di produzione e controllo, e la quota dei potenziali utilizzatori di tali tecnologie aumenta dal 13% nel 2015 al 19% nel 2017.

→ **Grafico 2.2 – Imprese che hanno implementato progetti di Industria 4.0 (% imprese sul totale, 2015 e 2017).**



## Parte 2 – Come sta cambiando il settore manifatturiero

Oltre ai nuovi modelli di produzione, le imprese nel campione risultano interessate alla raccolta e all'analisi di *Big Data*. In linea con la media, circa un quinto (17%) delle imprese lombarde afferma inoltre di essere al passo con gli standard industriali dell'IoT e del *Cloud Manufacturing*, ossia non si limita ad analizzare i dati raccolti, ma in aggiunta li condivide tra i differenti reparti aziendali, se non addirittura lungo tutta la catena del valore.

Nonostante i progressi, è doveroso però sottolineare il permanere di alcuni punti di debolezza, soprattutto nel confronto con i *top performer* tedeschi. Da un lato il trasferimento tecnologico: le imprese che hanno usato almeno uno strumento di protezione della proprietà intellettuale in Lombardia, come anche in Cataluña e Auvergne-Rhône-Alpes, sono circa il 15%, la metà rispetto a quanto registrato in Baden- Württemberg (30%). Dall'altro lato in termini di investimenti in Industria 4.0: la maggior parte degli investimenti delle imprese lombarde riguarda i macchinari (63%) lasciando il residuo ad altri progetti digitali (15%); al contrario, nelle regioni tedesche le tecnologie di base per fornire intelligenza ai macchinari rivestono un peso maggiore (23% vs 43% per beni tangibili).





**Le Tecnologie 4.0  
e i loro scenari  
applicativi  
nella Fabbrica  
del Futuro**

**3**

Nell'ultimo secolo il genere umano si è abituato ad una continua e crescente evoluzione tecnologica, dai ritmi esponenzialmente accelerati. L'Homo Sapiens – già trasformatosi nel diciannovesimo secolo in Homo Faber – è divenuto sempre più “Homo Technologicus”, attore e consumatore del progresso tecnologico. Tale progresso è pervasivamente presente in più spazi inventivi del sapere, dai materiali, alle tecnologie produttive, dai processi trasformativi, alle scienze biologiche. Tra le numerose sfaccettature dell'evoluzione tecnologica, un ruolo chiaramente fondamentale è giocato dal comparto genericamente definito delle *Information Technologies*, le tecnologie dell'informatica, dell'elettronica e dell'automazione, o più comunemente dette “del digitale”.

Abbiamo già spiegato e commentato (cfr. Parte 2) come l'evoluzione digitale stia intervenendo nel mondo manifatturiero, tanto da identificare un paradigma evolutivo (noto ai più come Industria 4.0) nell'ordine e nella magnitudo di un'intera rivoluzione industriale. In questo capitolo, vogliamo ora riportare alcuni approfondimenti tecnologici, tutti afferenti al macro-cosmo del digitale. Gli approfondimenti sono mirati su alcune famiglie tecnologiche, selezionate tra quelle che riteniamo essere maggiormente differenzianti nella definizione di un “Manifatturiero Digitale”. Rispetto al più ampio concetto di Industria 4.0, “*Digital Manufacturing*” indica più specificatamente l'utilizzo di tecnologie informatiche in processi industriali, produttivi e logistici. Quando una tecnologia è più presente, si è soliti adoperare termini ancor più specifici, come *smart*, *connected*, *cloud*, *data-driven*, *model-based*, ecc., adoperati per mettere in risalto l'utilizzo di alcune specifiche tecnologie (l'IoT, il *Cloud*, i *Data Analytics*, il *Virtual Prototyping*, ecc.) nel *manufacturing*.

Gli ambiti di adozione del Manifatturiero Digitale sono quelli propri delle *operations*, come la progettazione, l'industrializzazione, la produzione, la qualità, la logistica, la distribuzione, la manutenzione e l'assistenza tecnica. Nel proseguo, le tecnologie di *Digital Manufacturing* sono presentate – in breve – nella

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

loro evoluzione storica, nella loro struttura archetipica e nelle potenzialità che offrono al comparto industriale (qui genericamente definiti come “benefici”). Dove possibile, viene presentata anche una breve riflessione sull’impatto “sociale” che ci aspettiamo da tali tecnologie.

L’ordine di presentazione è costruito secondo una visione di “fisicità crescente”, dalle tecnologie più prettamente di *Information Technologies* (IT) alle tecnologie più prossime all’*Operational Technologies* (OT), mappando per lo più lo schema classico dei processi industriali (progettazione, produzione, logistica, manutenzione). A tergo, è altresì presentata un’importante digressione sul ruolo e le promesse delle nuove tecnologie infrastrutturali di rete (la dimensione più fisica dell’informatica).

Le diverse tecnologie hanno spesso una forte commistione, risultando una la base o l’abilitante di un’altra. Per quanto possibile, nel seguito si cercherà di linearizzare queste relazioni tra tecnologie, ma prima di passare alla rassegna di questi approfondimenti, riteniamo sia opportuno osservare come tutte queste tecnologie digitali presentino altri tratti di comunanza “non tecnici”, che schematizziamo di seguito:

- Sono tecnologie oggi giorno “mature”, disponibili sul mercato, che hanno superato i confini della mera ricerca e che sono applicabili nelle imprese. Ciò è il risultato di un processo di evoluzione di alcuni decenni, che trova spesso le fondamenta nei modelli e negli archetipi prototipati negli anni ’80 e ’90 del secolo scorso. Non tutte le tecnologie sono a livello di semplice *commodity* (per alcune i costi sono ancora ragguardevoli), ma sono di certo alla portata – anche economica – della maggioranza delle imprese industriali.

- Sono tecnologie in continua e normale evoluzione, da cui possiamo aspettarci ancora molti sviluppi. L'evoluzione specifica delle singole tecnologie si muove lungo i più ampi parametri dell'evoluzione dell'informatica, quali una maggiore connettività, distribuibilità e mobilità, oltre che una crescente interoperabilità. Va peraltro osservato che le capacità operative – ciò che è possibile fare con la singola applicazione tecnologica – crescono al crescere della capacità computazionale che l'evoluzione dell'informatica mette a disposizione. Tale capacità di computazione cresce ormai a ritmi più che esponenziali, oltre la Legge di Moore del secolo scorso.
- Sono tecnologie capaci di fare efficienza e portare produttività. Spesso sono tecnologie che risolvono problemi operativi e/o che forniscono modalità operative più veloci, purché risultino adeguatamente inserite nei contesti aziendali. La maggior produttività è spesso realizzata dal legame tra mondo fisico (es. lo *shop-floor*) e virtuale (es. modelli di simulazione) che le stesse consentono. Oltre a una maggiore produttività, tali tecnologie offrono anche alcune interessanti opportunità a supporto della creazione di nuovi modelli di *business*, ad esempio supportando una maggior servitizzazione e/o abilitando metodi più sostenibili.
- Sono tecnologie che richiedono competenze adeguate, che agli occhi dei più risultano come nuove, che normalmente non fanno parte del bagaglio di competenze comunemente posseduto dagli addetti ai lavori – operatori e/o responsabili – dei tipici contesti manifatturieri. Per questo motivo, la loro applicazione al mondo industriale richiede giocoforza qualche forma di mutazione e/o di arricchimento delle conoscenze.

### 3.1 Tecnologie alla base dell'Industria 4.0

Il mondo dell'informatica e del digitale ha incontrato la fabbrica oltre 40 anni fa, quando i primi sistemi informativi furono introdotti a supporto dei processi operativi di produzione e gestione, in parallelo ai primi progetti di automazione meccatronica (cioè non strettamente basata su tecnologie meccaniche, ma anche elettroniche, di cui il più noto esempio sono i robot).

Dagli anni '70 in poi, le diverse attività che costituiscono l'impresa hanno potuto contare su strumenti informativi di supporto che si sono via via evoluti al mutare delle esigenze, compatibilmente con le tecnologie informatiche (*hardware*, *software*, infrastruttura di rete) nel frattempo disponibili. Tale andamento ha subito periodiche accelerazioni in concomitanza con l'introduzione di innovazioni tecnologiche in campo informatico: così è stato per i minicomputer negli anni '80, per i *personal computer* nei '90 e più recentemente per l'introduzione delle tecnologie dell'era di Internet, che hanno pervaso molte attività aziendali e, spesso, facilitato la ristrutturazione dei processi. Un esempio lampante è quello delle diverse forme collaborative (*co-design*, *co-engineering*, *manufacturing* distribuito, ecc.), nate in era pre-Internet, ma oggi facilitate dalla presenza della Rete nella loro applicazione e diffusione. Le soluzioni digitali hanno passo dopo passo fornito supporto ai diversi processi operativi tipici del mondo industriale, quali la progettazione, l'industrializzazione, la produzione, la logistica, ecc.

Ai fini di questo Libro Bianco, ci preme fare un rapido *excursus* storico di tre particolari ambiti dell'informatica industriale, utili a comprendere il resto delle tecnologie che andremo a presentare. I tre ambiti sono i seguenti: (I) il contesto della progettazione industriale, (II) l'automazione di fabbrica, (III) la digitalizzazione dei processi operativi. Questi tre ambiti costituiscono a tutti gli effetti le basi su cui le tecnologie più recenti che andremo a commentare nel proseguo si fondano. In modo un po' sche-

matico, possiamo dire che questi tre ambiti costituiscono quel gruppo di “Tecnologie Tradizionali” su cui si appoggiano e si sostengono le “Tecnologie 4.0”.

### 3.1.1 Progettazione assistita dal calcolatore

Nei processi di design, progettazione, industrializzazione, ingegneria, gli strumenti informatici si sono più volte evoluti, passando dai primi tecnografi digitali degli anni '70 (CAD, *Computer Aided Design*), ai modellatori 3D negli anni '90, agli strumenti di prototipazione e sperimentazione virtuale sempre più realistici e immersivi, alle macchine di produzione controllate direttamente dal modello digitale sviluppato a calcolatore (CAM, *Computer Aided Manufacturing*). Le tecnologie della Realtà Virtuale, Aumentata, del *Digital Twin*, del *Virtual Prototyping*, dell'*Additive Manufacturing* che andremo a commentare nel proseguo (3.2 e 3.9) sono le dirette eredi di questo contesto tecnologico. Grazie all'evoluzione degli strumenti di modellazione, è oggi possibile progettare a calcolatore interi prodotti, processi, macchine, sistemi, fino ad intere fabbriche e filiere, sperimentando in virtuale diverse ipotesi progettuali.

Grazie all'evoluzione informatica, i tecnici, i progettisti e gli ingegneri hanno potuto negli anni disporre anche di piattaforme informatiche sempre più duttili, tramite cui collaborare, anche se fisicamente dislocati in più centri. I documentali tecnici degli anni '90 (EDM / TDM, Engineering and Technical Data Management) sono diventati negli anni degli ambienti collaborativi a 360 gradi, in particolare grazie all'introduzione delle piattaforme collaborative basate sugli archetipi del web. Ad esempio, è oggi possibile storicizzare l'esecuzione di un intero progetto di sviluppo di un nuovo prodotto, accumulando tutti i dati, i documenti, i modelli e i file in piattaforme collaborative, dette di *Product Data*

*Management (PDM) / Product Lifecycle Management (PLM)*. Tali piattaforme sono accessibili facilmente, anche al di fuori dell'impresa, grazie all'utilizzo degli archetipi architettonici dell'informatica web. Le risorse della rete Internet hanno certamente accelerato il processo di integrazione negli strumenti a supporto della progettazione, mettendo a disposizione nuovi ambienti flessibili e facilmente distribuibili a basso costo, facilitando la comunicazione con i protocolli supportati da tutte le piattaforme *hardware*. Tale evoluzione è in continuo divenire, seguendo l'evoluzione stessa degli archetipi dell'informatica (mobilità, distribuibilità, connettività, ecc.)

#### **3.1.2 Automazione di fabbrica**

L'evoluzione industriale ha sempre portato con sé il concetto di automazione, cioè di operatività svolta da risorse automatiche, capaci di operare senza l'intervento umano. Il termine automazione industriale ha però una valenza specifica, nata a valle degli anni '50, che differisce dalla più generale "meccanizzazione" nel fatto che si basa sull'uso di tecnologie elettroniche e informatiche. Anche in termini disciplinari, l'automazione industriale è infatti una sotto-branca delle più generiche scienze informatiche.

L'automazione industriale ha il suo fondamento sulla logica del controllo di sistemi complessi (es. macchinari). Tale controllo è realizzato monitorando il funzionamento di un sistema tramite adeguati "sensori", che sono in grado di raccogliere e interpretare segnali inerenti specifici parametri di funzionamento del sistema stesso (es. consumo energetico). Il sistema automatico di controllo può poi essere in grado agire sul sistema, modificando il funzionamento dello stesso tramite alcuni "attuatori" in grado di realizzare delle modifiche (es. modifica ai parametri di un flusso). Le azioni possono essere decise da un attore uma-



no, oppure anche da un attore automatico (sistema di controllo, o supervisore). Le logiche automatiche implementate dal sistema di controllo possono essere articolate in modo più o meno sofisticato, ricorrendo a diversi metodi decisionali. Negli anni, molti metodi, algoritmi, modelli di supervisione sono stati sviluppati, secondo diversi approcci modellistici.

L'automazione di fabbrica è solitamente descritta secondo una architettura a piramide (storicamente codificata come piramide del *Computer Integrated Manufacturing*, CIM), a più livelli. Il livello base dell'automazione è il "campo", il "field" o "shop-floor", cioè il luogo dove si trovano i sistemi e i processi da controllare, collegati con i "sensori". I sensori raccolgono segnali che vengono interpretati da un calcolatore "controllore", che sta ad un livello logico superiore, ma prossimo (sono ad esempio a livello di macchinario, nelle tipiche interfacce di controllo macchina). L'automazione può prevedere poi ulteriori livelli di supervisione e gestione, realizzabili in applicativi informatici.

L'automazione moderna nasce e si diffonde dagli anni '70, quando i sistemi di regolazione fino ad allora basati su principi meccanici o pneumatici cominciarono a divenire elettronici. Per la gestione dei segnali analogici (es. pressione, temperatura, ecc.) e la regolazione di processi chimici vennero creati i sistemi di DCS (*Distributed Control System*). Per il controllo di macchinari, furono invece sviluppati dispositivi per elaborare i segnali digitali, detti PLC (*Programmable Logic Controller*). Come gli altri contesti dell'informatica, anche l'automazione industriale ha seguito le evoluzioni degli archetipi dei tempi: i *main-frame* sono stati sostituiti dai PC, i PC sono stati sostituiti dall'evoluzione dei paradigmi della rete. Oggi, le tecnologie della connettività (es. *Internet of Things*), della rete affidabile (es. 5G), della decisione automatica (es. Intelligenza Artificiale) stanno modificando il mondo di fare automazione industriale, come si vedrà nei prossimi paragrafi.

Oltre alla dimensione *software*, l'automazione industriale è fin dalla sua nascita anche *hardware*, cioè fisica. Ne sono un

esempio emblematico le macchine automatiche, i sistemi di produzione a controllo numerico (CNC), ma anche i manipolatori automatici, i sistemi di asservimento e movimentazione, i robot. La robotica industriale è essa stessa una disciplina dell'automazione industriale, di lunga storia. Dagli anni '70 ad oggi, la produzione assistita dal calcolatore ha fatto passi da gigante, lungo direttici di produttività, sicurezza e affidabilità. Alcune delle tecnologie 4.0 di seguito illustrate (Robotica Collaborativa, Esoscheletro, par. 3.7 e 3.8) sono la diretta evoluzione di questo contesto. Molti degli scenari che andremo a commentare (par. 3.11) vedono nell'automazione industriale un elemento di rilevanza.

#### 3.1.3 Digitalizzazione dei processi operativi

Qualcosa di molto simile al contesto della progettazione è accaduto nel resto dei processi aziendali, in particolare quelli più strettamente logistico-produttivi. Le prime attività gestionali – fin dagli anni '70 – ad essere informatizzate sono state quelle tipiche della gestione della produzione, con i sistemi MRP (*Material Requirements Planning*), poi evolutisi nei sistemi MRP II e CRP (*Capacity Requirement Planning*), fino a divenire moduli integrati dei più ampi ERP (*Enterprise Resource Planning*) aziendali, studiati per il supporto integrato di tutte le principali attività aziendali (dalla contabilità aziendale, alla gestione delle giacenze).

Nel contempo, man mano che le nuove esigenze dettate dai mercati si sono fatte sentire, ulteriori strumenti informatici sono aggiunti a supporto delle attività logistiche e produttive. Si sono così sviluppati i sistemi a supporto della logistica interna (es. per la gestione dei magazzini, *Warehouse Management System*), applicativi per la gestione di un'intera *supply chain* (SCM, *Supply Chain Management*), strumenti per il *Customer Care* (CRM, *Customer Relationship Management*), ecc. Anche funzioni più

specifiche hanno ricevuto supporto dall'informatica, con l'introduzione ad esempio di *software* di *Quality Management*, applicativi di *Demand Planning* (*Advanced Planning System*, APS), sistemi di *Computerized Maintenance Management* (CMMS), strumenti di *Project Management*, tool di *Business Process Modelling*, ecc. I principi dell'automazione avanzata propri del CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) degli anni '80, hanno trovato collocazione negli strumenti MES (*Manufacturing Execution System*) e in diversi strumenti a supporto della pianificazione e dello *scheduling* di produzione.

I costi delle tecnologie disponibili usate fino agli anni '90 (le reti EDI, *Enterprise Data Information*), hanno spesso frenato la diffusione di questi strumenti integrati, soprattutto nelle PMI nazionali. La situazione si è sostanzialmente sbloccata con l'introduzione, prima, dei *personal computer* e, poi, delle Rete basata su protocolli standard (TCP/IP in particolare). Molti dei contesti tecnologici che sono di seguito descritti (*Internet of Things*, *Data Analytics*, *Blockchain*, *Cybersecurity*) hanno un diretto impatto sul mondo dei tradizionali sistemi informativi di fabbrica. Infatti, oggi l'archetipo informatico della Rete sta spingendo il mondo di questi applicativi ad un'ulteriore evoluzione. Sempre più questi strumenti digitali sono disponibili su *web*, in ambiente *cloud*, connettabili (es. con *Internet of Things*) e interoperabili sia verticalmente (tra più strati dell'informatica) che orizzontalmente (tra più funzioni operative). Sempre più l'accesso a tali applicativi è basato su approcci *in content*, con la tipica configurazione a *business-app* che sta caratterizzando questo momento storico dell'informatica. Sempre più tali applicativi sono disponibili su più *device*, non solo dal *computer* collegato alla rete aziendale, ma anche in mobilità (si pensi alle tipiche *app* dello *smartphone*). Sempre più tali applicativi divengono dei sistemi di supporto alle decisioni in cui alcune scelte sono prese in modo reattivo e automatico dai sistemi stessi sulla base dei dati in essi accumulati (ad esempio da un algoritmo di *Artificial Intelligence* programmato per interpretare una grande base di dati).

## 3.2 Prototipazione virtuale, Digital Twin e Realtà Aumentata

Negli anni la virtualizzazione, intesa come capacità di vedere oggetti in 3 dimensioni, ha fatto importanti passi in avanti, agevolando l'introduzione di veri e propri prototipi virtuali in 3D. Strumenti di modellazione sono spesso adoperati nelle fasi di progettazione e sperimentazione dei processi industriali. È possibile fare numerose sperimentazioni in digitale, prima che un prodotto esista fisicamente, conducendo studi sul suo comportamento, sui suoi ingombri e scegliendo il risultato estetico migliore. Gli strumenti di modellazione e simulazione sono spesso identificati con il termine di "Prototipazione Virtuale", giacché sono solitamente adoperati a supporto di fasi di progettazione, prototipazione e sperimentazione, sia di prodotto, che di processo.

Nell'insieme delle soluzioni di prototipazione virtuale è possibile utilizzare semplici *work-station*, o ricorrere a strumenti di visualizzazione più immersivi, detti normalmente Realtà Virtuale, fino agli strumenti di Realtà Aumentata, in cui un utente può interagire in uno spazio che è contemporaneamente virtuale e fisico. Le tecnologie della modellazione e della simulazione digitale hanno una lunga storia di applicazione industriale e sono in costante evoluzione. Per questo riteniamo che necessitino alcuni approfondimenti, almeno nelle loro dimensioni più innovative. In questo paragrafo abbiamo deciso di riportarne due, considerati come i contesti di più recente evoluzione: (i) i Gemelli Digitali (*Digital Twin*) e (ii) la Realtà Aumentata (*Augmented Reality*).

### 3.2.1 Digital Twin

I *Digital Twin* (Gemelli Digitali) offrono oggi molte opportunità nel mondo manifatturiero e non soltanto. Questi possono rappresentare oggetti di vario tipo: dalla turbina alla città, dal robot all'essere umano; al giorno d'oggi si è sempre più orientati ad utilizzare tali sistemi per rappresentare entità intangibili come servizi, processi e conoscenza. I Gemelli Digitali sono stati introdotti già da diversi anni nel contesto manifatturiero, in particolare nel supportare attività quali: progettazione, pianificazione, produzione, funzionamento e previsione.

Il cuore della tecnologia del Gemelli Digitali è di fatto la simulazione assistita dal calcolatore, nelle sue diverse modalità di modellazione. Queste tecnologie infatti sono riconducibili ad un laboratorio virtuale che permette una riduzione dei costi di analisi, progettazione e test, rispetto ad eseguire le stesse operazioni con esperimenti complessi realizzati in laboratorio reale.

Inoltre, il settore manifatturiero non è il solo che è stato in grado di sfruttare l'avvento e lo sviluppo di tali sistemi. Tra gli altri settori che vedono l'utilizzo dei Digital Twins vi sono: l'agricoltura, i trasporti, l'assistenza sanitaria ed infine l'intrattenimento, ma è evidente che le applicazioni continueranno a crescere nel corso del prossimo decennio. Non sorprende dunque che Gartner abbia citato i Digital Twins tra le dieci tecnologie emergenti più strategiche per i prossimi anni<sup>1</sup>.

Quando si considerano i Gemelli Digitali, il *leitmotiv* è la parola "rappresenta". Fondamentalmente, un Gemello Digitale imita in *bit* gli atomi di un oggetto e le loro relazioni strutturali/funzionali. Non necessariamente li rappresenta tutti, ma ciò che conta è che la rappresentazione sia sufficientemente accurata per supportare gli obiettivi che sono stati identificati e che devono essere perseguiti. Infatti, la rappresentazione può variare

1 - Fonte Gartner: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mai>.

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

a seconda dell'obiettivo prestabilito. Ad esempio, se si volesse verificare il corretto funzionamento di un motore è necessario rappresentare tutti gli aspetti che siano funzionali a tale obiettivo, mentre ad esempio sarebbe normale ignorare il colore utilizzato per dipingere le parti di quel motore. Al contrario, qualora ci si fosse posti come obiettivo quello di modellizzare l'effetto che fa un'automobile sul compratore, il colore della vernice sarebbe elemento importante da tenere in considerazione e quindi funzionale all'obiettivo.

Nell'ipotesi in cui si dovessero perseguire diversi obiettivi, è possibile creare più Gemelli Digitali, rappresentanti fenomeni diversi, per poi farli interagire tra di loro e valutarne l'effetto combinato. Proprio per effetto di queste integrazioni, un Gemello Digitale può contenere più dati della sua controparte reale. Ad esempio, è probabile che il Gemello Digitale di un motore contenga l'elenco dei fornitori dei vari componenti dello stesso, nonché l'identità dei robot e dei lavoratori che lo hanno assemblato. Un Gemello Digitale è anche un archivio storico della sua controparte. Così, nel caso di un motore, può includere dati estesi su eventi e operazioni di manutenzione, ad esempio, il monitoraggio minuto per minuto dei dati del motore di un aereo, tra cui la velocità di rotazione, il consumo di olio, la pressione, la temperatura e così via. Infatti, con l'aumentare delle conoscenze e delle capacità di calcolo, è possibile trattare un numero sempre maggiore di dati legati a problemi sempre più complessi.

Proprio la complessità, nonché altri fattori come i costi o l'impraticabilità reale di vari esperimenti, hanno determinato un interesse crescente nei confronti delle simulazioni in ambienti controllati e i relativi strumenti per la loro realizzazione. Ogni sistema in cui meccanica, elettronica, controllo e dati inter-operano tra di loro al fine di ottenere il risultato voluto, rientrano oggi nei sistemi complessi chiamati mecatronici, in cui la simulazione rappresenta un valido aiuto per i progettisti al fine di determinarne le prestazioni. Di conseguenza, a questi strumenti si richiede la

capacità definita come “simulazione multi-dominio”: l'ambiente di simulazione deve consentire la modellazione di fenomeni fisici differenti e delle loro iterazioni con il giusto grado di dettaglio. Ma non solo fisica, anche dati e informazioni aggiuntive possono essere tenute in conto nella simulazione.

Segue la modificabilità e la modularità dei modelli, cioè la capacità di avere un grado sempre crescente di accuratezza insieme alla capacità di poter intervenire con personalizzazioni. L'accuratezza dei risultati e la capacità di modellizzare in modo coerente le equazioni ed i vincoli del sistema, diventano poi la caratteristica chiave. Il motore di soluzione deve essere in grado di gestire eventi e discontinuità che fanno parte del normale funzionamento dei sistemi.

### 3.2.2 Realtà Aumentata

La Realtà Aumentata si basa sul principio di poter visualizzare contenuti digitali, come modelli 3D, immagini, testi, video, ecc., contestualizzati ad un ambiente reale. Dal punto di vista pratico è necessario soddisfare i tre requisiti fondamentali della realtà aumentata: (I) il mix visivo, (II) la coerenza spaziale e temporale, e (III) l'interazione tra gli oggetti reali e quelli digitali.

I dispositivi che permettono di soddisfare questi tre requisiti possono essere di vario tipo e spesso includono tutte le caratteristiche tecniche che permettono alla persona di poter gestire autonomamente una applicazione di realtà aumentata:

- *Tablet* e *smartphone* rientrano in tale categoria e risultano essere tra i dispositivi più diffusi e più comunemente utilizzati in questo contesto, entrambi dotati di *touch screen* che rende più agevole l'interazione con il dispositivo stesso. In particolare, al fine di permettere di soddisfare i tre requisiti principali caratterizzanti la realtà aumentata,

il flusso video della camera, di cui è dotato il dispositivo, viene utilizzato come sfondo su cui sovrapporre i contenuti digitali. Il flusso video della camera viene elaborato per consentire di mantenere la coerenza spaziale tra lo sfondo ed i contenuti digitali con i quali l'utente può interagire attraverso il *touch screen*.

- Caschetti od occhiali consentono una modalità più immersiva e coinvolgente. L'utente può interagire con il dispositivo non attraverso un *touch screen*, ma grazie al riconoscimento dei gesti o vocale dell'utente stesso. Inoltre, il coinvolgimento risulta maggiore grazie alla possibilità di aggiornare la scena vista agli occhi dell'utente in funzione del suo punto di vista, attraverso un sistema di tracciamento spesso integrato nel dispositivo. La scena vista agli occhi dell'utente risulta essere un'integrazione di contenuti digitali, proiettati sotto forma di ologrammi su schermi trasparenti di cui i dispositivi sono dotati, all'interno del contesto reale.
- Ancora più coinvolgente, in quanto l'esperienza può essere condivisa con altri utenti senza la necessità di dover usare/indossare dispositivi, risulta essere l'alternativa che consiste nella generazione di un ambiente di Realtà Aumentata attraverso l'uso di sistemi di proiezione. Questa soluzione permette infatti di sovrapporre contenuti digitali direttamente su oggetti reali dando la possibilità di condividere tale esperienza.

Lo sviluppo tecnologico di questi dispositivi ha sicuramente giocato un ruolo fondamentale nella diffusione dell'uso della Realtà Aumentata in diversi ambiti. Nell'aeronautica, ad esempio, i primi caschetti per la realtà aumentata risalgono agli inizi degli anni '60 per diventare dispositivi di uso comune nel decennio successivo. Mentre bisogna aspettare la fine degli anni '90 per avere il primo ambiente di sviluppo integrato per la sperimentazione di Realtà



Aumentata presso università e centri di ricerca di tutto il mondo. Tuttavia, è solo dopo l'ingresso di colossi del web che il processo di diffusione della Realtà Aumentata su larga scala ha avuto una spinta considerevole, dando la possibilità a chiunque di poter provare sul proprio *computer* o *smartphone* applicazioni di realtà aumentata. Di conseguenza, mentre in passato la Realtà Aumentata era a totale appannaggio di università e centri di ricerca, ora si è raggiunto un grado di maturità e di consapevolezza tale da renderla accessibile a tanti.

In ambito industriale, l'ingresso della Realtà Aumentata tra le tecnologie abilitanti di Industria 4.0 ha notevolmente fatto crescere l'interesse da parte delle aziende. Infatti, ormai diverse *software house*, che sviluppano e commercializzano soluzioni per la progettazione, la produzione e la gestione aziendale, includono applicativi di realtà aumentata, eliminando di fatto la problematica legata all'*editing* e alla gestione dei contenuti. Ciò ha permesso a molte aziende di sperimentare in tempi rapidi questa tecnologia per attività specifiche.

### **3.2.3 Applicazioni, benefici e impatti di Prototipazione Virtuale, Digital Twin e Realtà Aumentata**

Gli strumenti della prototipazione digitale hanno da tempo mostrato i propri benefici sulla produttività di impresa, soprattutto nelle fasi di progettazione e sperimentazione. Le evoluzioni di questa famiglia tecnologica stanno però apportando anche nuove sostanziali modifiche all'operatività aziendale, tra cui riteniamo utile citare quanto segue.

Dando per scontata l'adozione delle tecnologie della simulazione, è importante comprendere quanto costerebbe un tale cambiamento per le imprese e quali rallentamenti per l'impresa porterebbe l'implementazione di un modello produttivo basa-

to interamente su modelli simulativi. Quest'ultimo aspetto non sempre è scontato: trasformare l'azienda in accordo ad una tecnologia significa indubbiamente stravolgerla soprattutto se vanno rispettate le esigenze produttive e dei clienti. L'aspetto positivo è che in molti casi l'adozione di questo modello è una naturale evoluzione dei processi aziendali, senza alcuna interruzione dei processi attuali, piuttosto un continuo – e gestibile – spostamento verso il mondo digitale. Queste tecnologie possono essere introdotte a livello micro, anche per aziende lontane dall'essere digitali. La simulazione non permette di ottenere solamente dati o informazioni dai modelli, ma anche abilitare nuove forme di collaborazione che permettono ai vari attori della filiera la possibilità di passare i propri modelli di simulazione agli analisti al fine di eseguire simulazioni più avanzate o per validare i loro risultati, o interagire con le produzioni o con i clienti.

Nel contesto del manifatturiero, i Gemelli Digitali sono il cuore del cosiddetto *Virtual Commissioning*<sup>2</sup>, che è oggi uno dei trend tecnologici più rilevanti del settore delle macchine e degli impianti. Per ridurre gli errori in fase di progettazione, i costi di produzione e velocizzare i tempi di risposta al cliente, soprattutto nella personalizzazione dei macchinari. Il punto di partenza è offrire al cliente ed al progettista degli strumenti che permettano di interagire tra di loro per effettuare una prima messa in servizio virtuale del proprio impianto o macchinario e deliberare il prodotto quando questo non è stato ancora realizzato. Da un lato, questo

2 – Il termine “*Commissioning*” non ha una traduzione efficace italiano. Per i più si riflette nel concetto di “collaudo”, ma in realtà è molto di più: sono tutte quelle procedure e processi aziendali rivolte all’installazione di una linea di produzione industriale o di un macchinario e servono a verificare che tutte le specifiche formulate dal cliente, sia in modo esplicito che implicito, siano state implementate e che tutto funzioni in modo corretto. È di fatto un controllo finale prima dell’avvio della linea che tradizionalmente si fa dopo la sua installazione, con costi elevati, in termini di denaro e di tempo, soprattutto nel caso in cui si rendessero necessari modifiche o aggiustamenti.

offre al cliente la possibilità di avere maggior controllo sulle varie fasi della progettazione. Dall'altro, garantisce all'azienda di non sviluppare un prodotto che poi non sia esattamente coerente con le specifiche del cliente.

Nel panorama industriale diventa, infatti, un elemento chiave la crescente complessità dei prodotti e le loro personalizzazioni che richiedono l'implementazione di nuovi processi di produzione anche essi flessibili. In modo particolare questa metodologia agevola la progettazione di tutti quei prodotti realizzati su commessa, ma può facilmente essere impiegata anche per altre tipologie di prodotto. In molti casi avere a disposizione un modello di simulazione della macchina permette al cliente di poter interagire con la progettazione al fine di valutare tutti gli avanzamenti di lavoro e nello stesso tempo poter suggerire modifiche di *layout* e di funzionalità già in fase di simulazione. La messa in servizio di un macchinario o un processo è un passaggio importante della fase di progettazione, in quanto rende evidenti, se ve ne sono, problemi nei sistemi e nei componenti progettati, prodotti ed installati. Gli obiettivi della simulazione avanzata, nell'ottica di *Virtual Commissioning*, sono diversi a seconda delle applicazioni e delle strategie di progettazione. Di fatto, alla base vi è l'esigenza di una integrazione ottimale della simulazione in quello che è il flusso di lavoro specifico dell'azienda.

Di fatto la famiglia tecnologica della simulazione (3D, multi-fisica, ecc.) diventa l'abilitatore di un processo sempre più richiesto dagli imprenditori: agevolare una filiera che va dal fornitore al cliente per rendere efficaci le trasformazioni fatte nella propria azienda. Consentendo a terzi di interagire con il Gemello Digitale di un prodotto stiamo – di fatto – abbattendo le barriere all'ingresso, stimolando così le piccole parti ad approfittare di un prodotto Gemello Digitale per creare caratteristiche aggiuntive, servizi. Queste aggiunte possono essere mirate alle esigenze di nicchie di mercato così piccole da non interessare un grande *player* ma possono rappresentare un'interessante fonte di reddi-

to per i più piccoli. Allo stesso tempo, l'aumento dell'offerta aumenta la percezione del valore da parte del cliente finale, aumentando indirettamente il valore del produttore del prodotto.

Nello specifico contesto della Realtà Aumentata, uno dei principali aspetti innovativi dell'impiego di tale tecnologia nella fabbrica riguarda il modo con cui è possibile accedere alla grande quantità di dati che un'azienda deve gestire durante il ciclo produttivo. La Realtà Aumentata, inoltre, diventa un modo efficace ed efficiente per fornire informazioni all'operatore in base al suo ruolo, alla attività che sta svolgendo in quel momento e al luogo in cui si trova. La contestualizzazione spazio-temporale delle informazioni può permettere quindi di ridurre fraintendimenti ed errori dal momento che l'operatore non ha la necessità di astrarre dati per poi applicarli al contesto reale. La Realtà Aumentata ha un impatto positivo su attività come assemblaggio, ispezione e manutenzione. Durante le fasi di assemblaggio, ad esempio, l'accesso rapido e diretto alle informazioni permette di aumentare la competenza tecnica dell'operatore, ottimizzate l'*output* di produzione e ridurre possibili errori. Nelle fasi di controllo qualità e ispezioni, la Realtà Aumentata può supportare la individuazione rapida dei problemi e la compilazione delle *check-list*. Per quanto riguarda la manutenzione, invece, è possibile ridurre i costi di assistenza, che può avvenire da remoto, ed i tempi di risoluzione di un problema aumentandone le probabilità di successo al primo tentativo. Tramite la Realtà Aumentata è possibile anche interrogare – in maniera rapida ed intuitiva – apparecchiature di vario genere presenti in azienda e tutti dispositivi connettabili, accedendo anche a risorse locali che normalmente non vengono condivise per motivi di sicurezza.

Gli strumenti di questo contesto tecnologico non sono limitati al solo settore manifatturiero, ma sono anzi oggi presenti in più ambiti, quali il medicale, l'*advertising*, l'*entertainment*, l'architettura, l'edilizia, ecc. Ad esempio, l'ottimizzazione di accesso, gestione e visualizzazione dei dati tramite soluzioni di

Realtà Aumentata, può supportare diverse attività chirurgiche: il medico può accedere in qualsiasi momento ai diversi dati relativi alla diagnosi del paziente e visualizzarli in tempo reale durante un intervento. O ancora, nel comparto delle costruzioni, una modellazione digitale esteticamente molto accurata è oggi spesso adoperata per gestire e concludere la negoziazione commerciale, ancor prima che sia posato il primo mattone delle fondamenta di una costruzione.

### 3.3 Internet of Things

L'espressione *Internet of Things* (IoT) fu utilizzata per la prima volta vent'anni fa, nel 1999, da Kevin Ashton dell'MIT di Boston, per indicare un mondo in cui i dati potessero essere acquisiti dagli oggetti senza il bisogno dell'intervento umano. La tecnologia di riferimento, a quei tempi, era l'RFID (*Radio Frequency Identification*) – l'identificazione automatica in radiofrequenza - e il caso d'uso era l'identificazione dei prodotti lungo la *supply chain*, dal produttore fino al punto vendita. Da allora ne è stata fatta di strada, con un eccezionale sviluppo tecnologico che vede oggi il moltiplicarsi di tecnologie di comunicazione disponibili, a corto, medio e lungo raggio. Nonostante ciò, alla base dell'IoT rimane l'idea originale di interconnettere nel mondo digitale gli oggetti della nostra esperienza quotidiana, che ci circondano nelle nostre case, al lavoro, nelle città: elettrodomestici, impianti produttivi, automobili, e così via.

L'*Internet of Things* è costituito da oggetti – definiti anche oggetti *smart* – che sono connessi e vengono dotati di un codice identificativo univoco nel mondo digitale. Oltre a queste proprietà di identificazione e connessione, che sono sempre presenti, gli oggetti *smart* possono essere caratterizzati da altre proprietà, a seconda del contesto di impiego:

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

- Possono fornirci informazioni su sé stessi, come ad esempio la posizione per consentire la loro localizzazione in tempo reale (si pensi al monitoraggio dei veicoli con finalità assicurative o alla gestione flotte) o per garantire la tracciabilità dei prodotti (particolarmente importante ad esempio quando si parla di settore alimentare, farmaceutico o *fashion*).
- Gli oggetti *smart* possono essere in grado di indicare il proprio stato di funzionamento, segnalando quando è necessario effettuare la manutenzione. Il caso più comune in un contesto manifatturiero, si riferisce al macchinario presente in fabbrica del quale è necessario effettuare della manutenzione a causa della propria usura.
- I dispositivi *smart* possono interagire con il mondo esterno. Parliamo in questo caso di *metering* per la misura di variabili di flusso, come i consumi di elettricità, acqua o gas, e di *sensing* per la misura di variabili di stato, ad esempio la temperatura o il livello di inquinamento. L'interazione con l'esterno si può spingere fino all'attuazione: si pensi, ad esempio, a semafori che fanno scattare il verde quando si avvicina un mezzo di soccorso.
- Gli oggetti *smart* possono essere in grado di elaborare dati in locale, per trasmetterli solo a fronte di necessità. Si pensi all'esempio di una videocamera posizionata all'ingresso di un negozio, in grado di riconoscere le immagini raccolte e che le trasmette solo se rileva una situazione anomala.

L'intelligenza non si ferma però agli oggetti, ma si spinge fin dentro alla natura della rete che li interconnette. Il termine "*Internet of*" indica che la rete ambisce ad avere quelle stesse proprietà di apertura e standardizzazione che hanno decretato il successo di Internet e che sono essenziali per poter interagire con gli oggetti e per garantirne la multifunzionalità applicativa, ossia la possibilità

di utilizzare un medesimo oggetto connesso in più applicazioni diverse. Il passaggio all'IoT segna non tanto, come spesso si crede, la raggiungibilità di oggetti con un unico indirizzo universale, ma l'utilizzo di architetture tecnologiche orizzontali ed aperte. Non esiste - e probabilmente non esisterà mai - un unico *standard* per la comunicazione IoT, ma è essenziale assicurare l'interoperabilità tra dispositivi diversi.

Per garantire tale interoperabilità, le applicazioni IoT sono articolate su diversi livelli. *In primis*, quello dei dispositivi di campo, che hanno il compito di raccogliere dati e attuare comandi ove previsto. Poi il livello di connettività, che ha il compito di portare i dati raccolti dalla periferia al centro per essere elaborati, e dal centro alla periferia comandi e configurazioni. Inoltre, le piattaforme IoT costituiscono il livello intermedio, volto a offrire una serie di servizi elementari che semplificano il compito degli sviluppatori che scrivono le applicazioni specifiche.

Lo sviluppo dell'IoT ha portato con sé anche il proliferare di diversi ambiti di applicazione, che vanno dalla casa alla città, fino alla fabbrica. Ed è proprio attorno alla *Smart Factory* e, più in generale, alle applicazioni di Industrial IoT<sup>3</sup> che è possibile notare un crescente dinamismo in termini di sviluppo del mercato e di nascita di nuovi modelli di *business* per le imprese. Con il termine *Smart Factory* si fa solitamente riferimento all'utilizzo di macchine connesse e intelligenti, in grado di rilevare informazioni in tempo reale, comunicare tra loro e capaci di "prendere decisioni". Un singolo macchinario di produzione può, infatti, avere centinaia di sensori che acquisiscono misure decine di volte al secondo, generando un patrimonio di dati dal grande valore per le imprese. Si pensi al monitoraggio dei macchinari da remoto, che consente di mettere a punto nuove logiche di manutenzione preventiva

3 – Con Industrial IoT si fa riferimento ad applicazioni di *Smart Factory*, *Smart Lifecycle* (es. miglioramento della gestione del ciclo di vita dei prodotti, supporto al processo di sviluppo di nuovi prodotti) e *Smart Logistics* (es. tracciabilità di filiera, protezione del brand, monitoraggio della catena del freddo).

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

e predittiva; oppure al supporto alle attività di produzione, ad esempio, grazie al monitoraggio puntuale dell'avanzamento delle attività; o ancora alla sicurezza dei lavoratori, grazie al monitoraggio della loro posizione e degli spostamenti all'interno della fabbrica e all'identificazione di condizioni ambientali di pericolo; o anche all'efficienza energetica, grazie al monitoraggio dei consumi e all'introduzione di soluzioni di automazione.

Nonostante la radice comune dei sistemi *smart* e IoT, la *Smart Factory* rappresenta una declinazione estremamente specifica del paradigma IoT. In primo luogo, requisiti tipici delle applicazioni industriali sono la continuità di funzionamento e la reattività (con un controllo quasi in *real-time*). Per coprire queste esigenze, esistono da molto tempo protocolli di comunicazione avanzati, in parte ancora lontani dai concetti di apertura e interoperabilità dell'IoT. Le alleanze e i consorzi stanno contribuendo alla definizione di soluzioni vicine alle esigenze delle aziende. Alcune organizzazioni in grado di attirare un numero significativo di aziende da vari settori stanno sperimentando nuovi *standard* attraverso la creazione di test-bed dedicati ad ambiti verticali specifici (es. *Industrial Internet Consortium*). Altra profonda differenza riguarda l'utilizzo privilegiato di connessione cablata, spesso l'unica in grado di garantire l'affidabilità e la latenza necessarie al sistema. Queste due caratteristiche evidenziano ulteriormente le profonde differenze rispetto all'IoT più *consumer*, dove i paradigmi di riferimento di Internet (connessioni *wireless*, comunicazione *best effort*) sono invece le pratiche dominanti.

Oltre al livello tecnologico, vi sono importanti peculiarità applicative. *In primis*, in ambito *Smart Factory* il controllo automatico è un requisito fondamentale. Gli sviluppi che si stanno perseguendo, pertanto, vanno nella direzione dei cosiddetti *Cyber-Physical Systems*, ovvero di una fusione ancora più spinta tra impianto fisico e suo simulacro digitale, su cui spostare le attività di simulazione e sperimentazione delle logiche di controllo autonomo. Tali sistemi di fatto uniscono la tecnologia dell'IoT a quella



del *Digital Twin*. Altra peculiarità applicativa, l'unità di analisi si sposta dal solo prodotto connesso (come accade tradizionalmente nell'IoT) fino a includere anche il mezzo di produzione connesso (e la sua interazione con il prodotto).

### **3.3.1 Applicazioni, benefici e impatti dell'Internet of Things**

Quali sono le reali opportunità di innovazione all'interno della fabbrica? Le applicazioni più mature sono quelle legate alla gestione degli *asset*. L'idea di base è quella di avere macchinari di produzione connessi e dotati di molteplici sensori. Diventa così possibile acquisire da remoto un patrimonio di dati di estremo valore, che può essere utilizzato per ottimizzare la manutenzione e le prestazioni operative. L'interesse è quello di andare verso logiche di manutenzione di tipo predittivo: non si tratta quindi di introdurre semplicemente interventi preventivi periodici o basati sulle ore di funzionamento di un macchinario per evitare l'insorgere di un guasto, ma di monitorare parametri di funzionamento (come ad esempio le vibrazioni del macchinario, le temperature raggiunte in alcune parti, e così via) per riuscire a prevedere l'insorgere di un guasto ed effettuare per tempo opportuni interventi di manutenzione. Per fare ciò sono essenziali, da un lato, la raccolta di molte informazioni sul funzionamento dei macchinari, dall'altro lo sviluppo di opportuni algoritmi per predirne i guasti.

Un ambito applicativo al centro dell'interesse dei programmi di Industria 4.0 è poi lo sviluppo di nuove logiche di pianificazione della produzione, che includano altri criteri oltre alla mera produttività dei macchinari, tra i quali si vedono obiettivi di sostenibilità come ad esempio l'efficienza energetica e l'ottimizzazione dei carichi rispetto al profilo dei costi dell'energia nel tempo. In prospettiva, questo tema risulterà certamente molto interessante se correlato allo sviluppo delle *Smart Grid*, che abiliteranno

nuove logiche di *pricing* dell'energia. Soprattutto nei settori energivori, il tema dell'utilizzo efficiente delle risorse energetiche è fondamentale comunque già oggi, sia dal punto di vista dei costi, sia dal punto di vista della sostenibilità delle attività produttive.

Oltre che per la pianificazione, l'IoT può inoltre offrire opportunità di miglioramento in produzione anche per l'operatività. Se da un lato l'utilizzo dell'RFid per tracciare l'avanzamento della produzione può essere considerata una prassi consolidata in molti settori, dall'altro si sono sviluppate anche altre soluzioni negli anni anche grazie alla combinazione con altre tecnologie come l'Intelligenza Artificiale. Ad esempio, telecamere connesse in grado di elaborare le immagini raccolte e utilizzare algoritmi di auto-apprendimento per identificare difetti di produzione, migliorando l'affidabilità dei controlli qualità. Oppure soluzioni di Realtà Aumentata per il supporto agli operatori nello svolgimento di attività operative, quali l'assemblaggio di prodotti complessi, che richiedono numerosi componenti tra loro simili.

Un altro contesto di applicazione delle soluzioni di *Industrial IoT* di estremo interesse è quello legato alla sicurezza. Grazie all'IoT è possibile monitorare la posizione e gli spostamenti dei lavoratori all'interno della fabbrica (o in siti di lavoro critici, come possono essere cisterne o dighe) e contestualmente identificare anche eventuali condizioni ambientali di pericolo. In questo modo, nel caso si verifichi un problema potenzialmente critico per la salute delle persone è possibile conoscere tempestivamente se sono presenti operatori nell'area coinvolta e definire di conseguenza i piani di intervento più idonei.

Le tipologie dei benefici che tali tecnologie sono in grado di abilitare possono quindi ricadere sia nella sfera dell'efficienza, sia in quella dell'efficacia. Non solo: sempre più spesso queste due aree di beneficio sono abilitate contemporaneamente all'interno di un unico progetto. Si pensi, ad esempio, alla possibilità di monitorare in tempo reale l'intera linea produttiva riuscendo così a ridurre errori e difettosità: ciò può generare sia risultati di efficienza,

come ad esempio la possibilità di intercettare tempestivamente tali errori, in modo da evitare di effettuare ulteriori lavorazioni su un semilavorato difettoso, o di ripararlo se possibile prima di effettuare altre lavorazioni. Sia risultati di efficacia: un migliore controllo qualità assicura la riduzione dei potenziali prodotti difettosi che arrivano al cliente, generando un miglior livello di servizio.

La *Smart Factory* ha davanti a sé importanti direzioni di sviluppo. Tra queste, una delle più interessanti è la possibilità di sviluppare servizi connessi all'attività industriale, la cosiddetta *servitization*. Pensiamo ad esempio ad aziende che producono e vendono beni strumentali, ad esempio macchinari utilizzati dai clienti nei propri processi produttivi. La possibilità di monitorarli da remoto può consentire non solo di offrire i servizi di manutenzione predittiva prima descritti, ma anche di proporre nuovi modelli di *pricing*, basati ad esempio sul pagamento di un canone la cui entità dipende dalle ore effettive di funzionamento: si passa così dall'acquisto di un macchinario all'acquisto di capacità produttiva. Tutto ciò richiede alla base la realizzazione di architetture che mescolino *storage* ed elaborazione locale e centrale, con un sapiente utilizzo delle soluzioni *edge*, *fog* e *cloud computing* a seconda della natura del problema.

### 3.4 Data Analytics, Artificial Intelligence e Machine Learning

Oggi giorno nel mercato, la *Data Analysis* ha raggiunto una rilevante notorietà, almeno a parole. Termini come *Big Data*, *Analytics*, *Deep Learning*, *Machine Learning*, *Artificial Intelligence*, sono diventati di utilizzo comune, anche se esistono delle differenze tra di essi. In particolare, i termini di *Data Analysis*, *Data Analytics* (DA) e simili costituiscono una sorta di ombrello che racchiude tutte le potenziali tecniche di analisi dei dati sviluppate fin dai tempi della fondazione della disciplina statistica e al suo impiego nel mondo informatico.

Le origini della DA possono essere ricondotte agli sviluppi della statistica moderna, dagli anni '60-'70 quando alcune delle tecniche ancora oggi utilizzate, come ad esempio il *k-means* e il *clustering* gerarchico, furono introdotte per la prima volta. Il primo tentativo di formalizzare e strutturare il processo di analisi dei dati si deve a John W. Tukey che definì il termine *Data Analysis*, all'inizio degli anni '60, e creò la *Exploratory Data Analysis* (EDA), a metà degli anni '70. In questo contesto, iniziò anche lo sviluppo dei primi linguaggi di programmazione statistici per implementare i processi di analisi dati. Negli stessi anni, viene introdotto il modello relazionale dei dati e le prime implementazioni di *database* relazionali, fornendo un modello di memorizzazione e di interrogazione per dati strutturati. Il punto di svolta nell'evoluzione della DA arrivò a metà degli anni '90, quando, grazie a una forte diminuzione del costo dei supporti di memorizzazione, divenne più semplice ed economico raccogliere grandi quantità di dati (*Big Data*). Passo passo, nacque il settore della *Knowledge Discovery in Database* (KDD) e venne coniato il termine "*Data Mining*". Per quella serie di combinate coincidenze che la storia ci insegna, nello stesso periodo – come noto ai più – nacque il *Web*. La comunità mondiale della DA ne capì immediatamente le potenzialità, come anche il mercato.

L'esplosione delle tecnologie del *Web* ha dato una fortissima spinta verso l'analisi dei dati che, arrivando sempre più in tempo reale in grande quantità (*Data Stream*), rendono impossibile la memorizzazione e l'analisi con la tecnologia dell'epoca precedente. Il successivo affermarsi della tecnologia *cloud*, spinto dai grandi *player* dell'informatica mondiale, ha reso possibile negli ultimi vent'anni la memorizzazione e l'analisi di grandi quantità di dati a un costo limitato, attraverso sistemi distribuiti di gestione ed elaborazione dati. Lo sviluppo più recente dei *Social Network* ha amplificato l'interesse verso l'analisi dei grafi di grandi dimensioni e sono stati creati numerosi algoritmi distribuiti per analizzare questo tipo di strutture che sfruttano il *cloud*. Parallelamente, le *Graphical Processing Unit* (GPU) si sono affermate come strumento per l'elaborazione di dati numerici e come piattaforma per utilizzare i nuovi modelli di reti neurali (*Deep Neural Network*, DNN), che hanno letteralmente rivoluzionato interi settori dei *Data Analytics*. In pochi anni, i risultati prodotti da questi nuovi modelli negli ambiti dell'analisi delle immagini, dell'audio e del testo hanno superato di gran lunga quelli raggiunti nei decenni precedenti, rendendo le DNN lo *standard de facto* di interi settori applicativi.

All'aumentare della capacità computazionali e risolutive, le diverse tecniche di analisi implementate a calcolatore e su base dati sempre più grandi sono state man mano identificate con i termini evocativi di Intelligenza Artificiale (*Artificial Intelligence*, AI), *Machine Learning*, *Deep Learning*, ecc., oggi così diffusi nel mercato. Per completezza, si è soliti intendere con *Artificial Intelligence* quelle tecniche di analisi e calcolo, risolte da un elaboratore, che appaiono ai più come di pertinenza umana (presa di decisioni, comparazione, stima di scenari, ecc.). Il *Machine Learning* (letteralmente Apprendimento Automatico) è una sotto-branca di questo mondo composito dell'AI, in cui un elaboratore è programmato – grazie a diverse tecniche – con l'abilità di apprendere qualcosa dai dati in maniera autonoma, senza ricevere istruzioni esplicite a riguardo (es. riconoscimento di ricorrenze, pattern).

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

Il *Deep Learning* (Apprendimento Profondo) indica a sua volta un sottoinsieme di tecniche di *Machine Learning*, basate su reti neurali artificiali organizzate in diversi strati, dove ogni strato calcola i valori per quello successivo.

L'attuale panorama della DA / AI vede convivere (i) tecniche tradizionali per l'analisi di dati strutturati memorizzati in forma tabellare; (ii) tecniche di *Machine Learning* per l'elaborazione di immagini, audio e testo; e (iii) algoritmi distribuiti per l'analisi di grafi di grandi dimensioni. Le tecniche tradizionali sono caratterizzate da un carico computazionale limitato rispetto alle reti neurali profonde e quindi, nella maggior parte dei casi, non necessitano di utilizzare tecniche di *storage* o elaborazione su *cloud*. Le tecniche neurali, al contrario, richiedono una potenza di calcolo molto maggiore sia in termini di numero di macchine, che in tempo di calcolo. Questo rende di fatto quasi obbligatorio l'uso di un *cloud*, sia esso locale all'azienda o esterno in affitto. L'evoluzione delle tecniche ha raggiunto negli ultimi decenni importanti traguardi, ottenendo anche grande visibilità nel pubblico (famosa la vittoria dell'AI Watson al quiz americano Jeopardy! nel 2011) e solleticando l'immaginario collettivo.

In questo panorama, si inseriscono le figure professionali del *Data Engineer* e del *Data Scientist* molto ricercate dalle aziende negli ultimi anni. Il primo è specializzato nelle tecniche per la gestione ed elaborazione dei dati e ha tipicamente un'ottima conoscenza delle tecniche di esplorazione e preparazione dei dati, che verranno poi elaborati dal *Data Scientist*. Il secondo è specializzato nelle tecniche di analisi e ha tipicamente una conoscenza approfondita dei metodi statistici e degli algoritmi di *Machine Learning*. Il *Data Scientist* è la figura cui viene affidata la selezione dei metodi più adeguati all'elaborazione, della loro parametrizzazione così come dell'interpretazione e la disseminazione dei risultati.

Negli anni l'attività di DA / AI è diventata sempre più complessa sia per la maggiore quantità di dati da analizzare sia per la complessità dei metodi di analisi che richiedono grandi capacità

di elaborazione e una profonda conoscenza delle tecniche utilizzate. Se da un lato, il numero sempre più grande di strumenti di analisi gratuiti, che possono essere utilizzati localmente, ha diminuito i costi di analisi, dall'altro la necessità di avere elaborazione su *cloud* ha aumentato esponenzialmente il numero di strumenti di analisi forniti come servizi dai grossi *player* in questo settore. In questo panorama, un'azienda che si trovi a implementare un processo di DA ha diverse opzioni. Può scegliere di tenere tutto il processo locale all'azienda, acquisendo le macchine e le professionalità necessarie per tutta la pipeline di analisi. In alternativa, può avere un team interno di DA, demandando all'esterno la memorizzazione e/o l'elaborazione. Infine, può decidere di affidarsi a un'azienda di consulenza che fornisca le competenze necessarie all'analisi utilizzando strumenti locali all'azienda o su *cloud*.

Il livello di applicabilità di tale gruppo di tecnologie è immenso, come anche i benefici e gli impatti che sono potenzialmente realizzabili. Proprio su questo contesto tecnologico sono costruiti molti degli scenari applicativi ipotizzare a chiusura di questo capitolo (par. 3.11).

## 3.5 Blockchain

Un'altra famiglia di tecnologie, comunemente nota con il termine *blockchain*, fa riferimento ad un insieme di tecnologie che consente di "eseguire" del codice informatico in modo distribuito, verificabile, non censurabile, non interrompibile. Che cosa significano questi aggettivi/modalità, e perché sono significativi? Proviamo a raccontarlo per differenza con l'esecuzione di un programma su un *computer* "classico". Se Bob fa girare un programma sul suo *computer*, un programma con il quale interagiscono altri utenti, Bob ha dei poteri rispetto all'esecuzione: può fermare il programma in ogni momento, può cambiare il contenuto del codice, o dei dati, può impedire a qualche utente di interagire. Inoltre, anche se Bob non intende fare nessuna di queste cose, gli è molto difficile, tecnicamente, convincere altri attori/utenti del fatto che lui non stia manipolando il codice. Uno dei modi di rappresentare una *blockchain* è come un *computer* in cui l'esecuzione di codice è distribuita su un (possibilmente) grande numero di dispositivi, che appartengono ad utenti diversi. Questo fa sì che nessun utente, singolarmente, possa interrompere l'esecuzione di un programma, o possa impedire ad altri di accedervi, o possa cambiare arbitrariamente il codice. Perché questo è importante/rilevante? Proviamo a metterlo in una prospettiva storica.

Le tecnologie *blockchain* affondano le radici nella storia di diverse tecnologie, le più rilevanti delle quali sono probabilmente i database distribuiti e la volontà di creare criptovalute. Bitcoin può in un certo senso essere considerato l'esito/l'apice/la conseguenza di una ricerca durata decenni volta a definire e implementare il *digital cash*, cioè un sistema di contabilizzazione e trasmissione del valore che offrisse le garanzie notevoli del contante (fungibilità, incensurabilità, *privacy*, ...) in modalità digitale (dematerializzata, facilmente trasferibile, ecc.). Il valore evidente di questa aspirazione ha spinto allo sviluppo di tentativi fin dagli anni '80. Alcuni dei più notevoli sono Digital Cash ed e-gold, ma



tutti avevano dei limiti. Nel 2008 un autore dalla natura misteriosa, dietro lo pseudonimo Satoshi Nakamoto, pubblica un articolo in cui descrive un sistema informatico per la contabilizzazione di *asset* (i *bitcoin*) con caratteristiche innovative: chiunque può farsi trasmettere bitcoin, senza doversi iscrivere ad alcunché o identificare; i dati sul possesso/distribuzione di bitcoin sono distribuiti su un gran numero (potenzialmente illimitato) di *computer* che sono coordinati da un cosiddetto meccanismo di consenso, al corretto funzionamento del quale chiunque può partecipare, senza identificarsi. Bitcoin riesce a coniugare i vantaggi di cash e digitale contabilizzando il valore su un registro distribuito aggiornabile soltanto secondo certe regole. La garanzia del rispetto delle regole e dell'immutabilità del registro è garantita replicando il registro (ognuno può averne una copia e verificarla) e attraverso un meccanismo che consente a tutti gli attori di accordarsi sul contenuto del registro (consenso). Il registro viene chiamato Blockchain, perché è una catena di blocchi concatenata con dei meccanismi crittografici che consentono di renderne evidente l'integrità (ogni manomissione/modifica è facilmente rilevabile da chiunque). Nel 2009, sempre Satoshi propone un'implementazione *software* effettiva di Bitcoin, che da allora ha aumentato la sua diffusione costantemente. Bitcoin può essere vista come una piattaforma in un cui del *software* implementa una specie di amministratore automatico, che tiene traccia del possesso di certi *asset* (i *bitcoin*), associandoli ad un codice che può essere sbloccato solo da chi possiede una corrispondente chiave. Chi possiede la chiave che corrisponde ad un *asset*, può usarla per sbloccarlo e associarlo ad un nuovo codice, e così via. Questo *software* potrebbe in linea di principio essere eseguito su un singolo *computer*, cosa che però non potrebbe dare garanzie significative sulla sua continuità (il *computer* potrebbe essere spento, censurato, ecc.). Il successo di Bitcoin ha portato a chiedersi se l'applicazione dello strumento della *blockchain* non possa essere esteso ad altre applicazioni, più generali e/o indipendenti dal *digital cash*.

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

In Bitcoin, il *software* in esecuzione è stabilito dall'inizio, e può essere cambiato di poco. Nascono quindi altri sistemi basati su *blockchain*, che enfatizzano il loro ruolo come piattaforme per l'esecuzione generale di *script/codice verificabile* e incensurabile. In particolare, Ethereum consente di eseguire programmi arbitrari con le garanzie delle *blockchain*. I programmi che girano in questa modalità vengono detti, per ragioni più storiche che legali, *smart contract*. È necessario rilevare che la chiara individuazione (e messa a fuoco) dei benefici potenzialmente derivanti dall'uso delle *blockchain* è uno sforzo ancora in corso, e oggetto di riflessione e di ricerca. Le caratteristiche peculiari delle *blockchain* si collocano al confine tra l'informatica e dimensioni più tipicamente sociali come la fiducia e il coordinamento tra attori diversi e potenzialmente reciprocamente sconosciuti.

Come detto, le *blockchain* consentono di creare processi *software* che hanno proprietà speciali (non sono interrompibili, censurabili, ecc.). Questo può essere sfruttato per creare meccanismi automatici di coordinamento/amministrazione fidati e garantiti tra attori che non si conoscono/non si fidano, cosa che a sua volta consente di creare sistemi di coordinamento efficienti ad un costo molto più basso e/o altrimenti inaccessibile. Un esempio tipico sono i processi assicurativi: più attori delegano ad uno *smart contract* di ricevere dei premi, e di pagare dei risarcimenti solo al verificarsi di certe condizioni. Normalmente ci sarebbe bisogno di un attore fidato che raccolga i premi, li custodisca e li gestisca. Con una *blockchain* sarebbe possibile rappresentare il comportamento dell'amministratore tramite del *software*, e poi eseguirlo come uno *smart contract*.

Venendo al mondo del *manufacturing* e dell'Industria 4.0, è ancora difficile mettere a fuoco con chiarezza i vantaggi specifici che la tecnologia potrebbe apportare al contesto della fabbrica. L'elemento centrale da tenere in considerazione è che la tecnologia può creare delle strutture/meccanismi di allineamento degli incentivi in direzioni desiderate. Se si allarga il contesto dalla

fabbrica alla *supply chain*, sono allora allo studio applicazioni che consentono di:

- Potenziare la raccolta dati, da parte di attori diversi, che riguardano il trasporto di materie, beni, semilavorati. Il vantaggio rispetto a soluzioni “classiche” e centralizzate è la possibilità di coinvolgere gli attori in modo paritetico, in modo da consentire di tracciare con più efficienza, precisione ed affidabilità le storie dei manufatti.
- Incentivare gli attori verso comportamenti virtuosi (es: rispettare determinate condizioni di trasporto) attraverso meccanismi che distribuiscano in modo credibile i vantaggi su tutta la filiera.

La *blockchain* è una di quelle famiglie tecnologiche che sta animando il dibattito – anche pubblico – di questo ultimo periodo storico. Non a caso, molti degli scenari applicativi ipotizzati alla fine di questo capitolo hanno nelle forti relazioni con questa tecnologia (par. 3.11).

## 3.6 Cybersecurity

I processi produttivi di fabbrica sono governati da sistemi informatici, fortemente interconnessi sia tra loro che con sistemi esterni, anche grazie all'utilizzo di sistemi IoT, all'integrazione dei sistemi di analisi di dati con servizi di *cloud computing*, e a innovazioni nelle tecnologie di comunicazione quali il 5G. Se da un lato queste innovazioni portano un indubbio valore aggiunto alla produttività della fabbrica, d'altra parte, pongono notevoli sfide relative alla *cybersecurity*. Per “*cybersecurity*” si intende l'insieme dei processi, delle *policy* e delle tecnologie atte a prevenire attacchi informatici, mitigarne gli effetti, nonché attuare prontamente azioni di rimedio e di minimizzazione dell'impatto.

I benefici dell'adozione di tecnologie di *cybersecurity* sono da riscontrare nella riduzione dei danni diretti e indiretti dati dalla presenza di minacce informatiche. Le minacce informatiche non solo possono compromettere la confidenzialità di dati riservati (*data breach*), ma possono influenzare direttamente la produttività della fabbrica e impattare il mondo fisico. In fabbrica, una minaccia informatica può avere conseguenze su tre aspetti: i dati, la produzione e la sicurezza (*safety*). I sistemi informatici e di produzione contengono svariati dati riservati e di potenziale interesse per soggetti esterni, come i dati, le statistiche di produzione e i progetti CAD / CAM, oltre che documenti e *report* commerciali e strategici. L'*asset* più importante è la produzione stessa: un attacco informatico può portare al blocco, anche per un periodo prolungato, dei sistemi informatici che governano la produzione, imponendo come unica soluzione il fermo temporaneo della fabbrica, con conseguenti perdite economiche e danni di immagine. Oltre a questo, alcuni attacchi particolarmente sofisticati potrebbero portare alla modifica di piani o programmi di produzione al fine di sabotare il prodotto introducendo dei difetti (magari impercettibili al controllo qualità, ma con l'effetto di accelerare l'usura del prodotto). Le conseguenze di questo tipo di danno

non sono soltanto di tipo economico: si pensi alle problematiche sollevate dall'introduzione di difetti nella produzione di componenti per automobili, o per veicoli, o per dispositivi medicali. Da ultimo, poiché i sistemi produttivi interagiscono col mondo fisico, una minaccia informatica può avere anche conseguenze sulla sicurezza (*safety*) del luogo di produzione e delle persone che vi lavorano, fino ad arrivare a problematiche di tutela ambientale.

Dal punto di vista della complessità, la fabbrica può essere un obiettivo di svariati tipi di minacce. Innanzitutto, anche semplici minacce generiche possono avere un effetto negativo sulla produzione. Ad esempio, un semplice *ransomware* – un *software* malevolo che blocca l'operatività di un sistema informatico per chiedere il pagamento di un riscatto) – può essere in grado di danneggiare e/o bloccare le reti e i sistemi indispensabili per la produzione<sup>4</sup>. È anche possibile che tali fabbriche siano oggetto di minacce mirate e specifiche, da parte di attori sofisticati (talvolta finanziati da Stati), a scopo distruttivo o di spionaggio industriale<sup>5</sup>.

Per affrontare le minacce informatiche, è necessario introdurre una serie di tecnologie e processi che permettano, da un lato, di proteggere i sistemi aziendali da minacce interne ed esterne e, dall'altro, di rilevare eventuali attacchi e mettere in atto adeguate azioni di risposta. Tali tecnologie e processi devono soddisfare i requisiti dell'ambiente fabbrica e, in particolare, non devono avere alcun impatto involontario sulla produzione (si pensi a un "falso positivo" in un ipotetico sistema di prevenzione delle intrusioni che blocca alcuni comandi mandati a una macchina di produzione, scambiandoli erroneamente per un'intrusione).

4 – A tal proposito, ha fatto notizia il blocco degli impianti produttivi della Honda per mezzo del noto *ransomware* *WannaCry* (Giugno 2017), nonché i problemi alla produzione della Hydro dovuti sempre alla propagazione di un *ransomware* (Marzo 2019).

5 – A titolo di esempio, nell'ambito delle infrastrutture critiche citiamo il caso di TRITON, che nel 2017 ha colpito un'azienda mediorientale nel campo dell'energia, e di Stuxnet, un attacco del 2010 a una centrale nucleare iraniana.

Alcune sfide derivanti dall'adozione di tecnologie e processi di *cybersecurity* in fabbrica sono dovute al fatto che il ciclo di vita dei macchinari di produzione è mediamente molto elevato, e alcuni di essi sono antecedenti alla diffusione di fenomeni di integrazione tra tecnologie informatiche (IT) e tecnologie di produzione (OT) e all'interconnessione della rete di fabbrica col mondo esterno, pertanto presentano poche o nulle protezioni e controlli di *cybersecurity* (ad esempio, nessuna forma di autenticazione).

All'interno dei principali elementi di un programma di protezione, da declinare rispetto alla specifica fabbrica, alla sua dimensione e al suo profilo di rischio, citiamo:

- Processi e strumenti per l'analisi del livello di sicurezza della fabbrica nel suo complesso e dei componenti *hardware* e *software* ivi presenti. Rientrano in questa categoria sia attività di analisi (periodica) della superficie di attacco e di verifica della presenza di vulnerabilità o errori di configurazione nel *software* in uso, che processi per la gestione degli *asset software* e *hardware*. In particolare, la gestione degli *asset* può anche essere supportata da apposite tecnologie, quali strumenti di rilevamento e mappatura tramite analisi automatica del traffico scambiato dai dispositivi all'interno della rete, ed è critica per un'adeguata valutazione della superficie di attacco e del livello di sicurezza.
- Misure convenzionali di protezione delle reti aziendali, che spaziano da tecniche di segmentazione e controllo accessi di rete (es. tramite *firewall* convenzionali o "*next-generation*"), all'abilitazione di protocolli sicuri se supportati dai sistemi in uso, fino ad attività di "*hardening*" della configurazione dei sistemi *hardware* e *software* in uso, all'introduzione di metodologie di gestione dell'identità digitale e all'adozione di sistemi centralizzati di autenticazione e autorizzazione, con credenziali legate al singolo utente e non condivise (ove supportati).

- Processi di gestione e applicazione degli aggiornamenti (*patch*) di sicurezza su tutti i dispositivi e sistemi *software* in uso presso la fabbrica. Si fa presente che la gestione degli aggiornamenti potrebbe risultare particolarmente complessa a causa dell'eterogeneità di dispositivi *hardware* e *software* nonché dei macchinari in uso, della necessità di dover garantire la compatibilità di eventuali aggiornamenti, nonché di applicare gli aggiornamenti minimizzando o azzerando il rischio di fermo macchina. Per questo motivo, può essere opportuno adottare processi di gestione e definizione delle priorità degli aggiornamenti da applicare.
- Sistemi di gestione e analisi centralizzata dei *log* provenienti dai vari dispositivi e sistemi, e sistemi di rilevamento delle intrusioni (*Intrusion Detection Systems*, IDS). L'adozione di tali tecnologie presuppone la presenza di un *Security Operation Center* (SOC), interno o esterno all'azienda (*Managed Security Service Provider*), i cui analisti possano monitorare in tempo reale gli eventi rilevati dalle tecnologie di *cybersecurity* in uso (es. gli allarmi sollevati da un IDS, il traffico di rete, i *log* di sistema) e rispondere prontamente a eventuali incidenti.

Oltre agli aspetti appena citati, che sono i pilastri alla base della *cybersecurity* aziendale, nel contesto di una fabbrica in cui sono presenti sistemi di controllo industriali, sono stati sviluppati e commercializzati alcuni prodotti specifici. Questi sono, perlopiù, piattaforme per l'analisi e il monitoraggio di reti industriali, e hanno un duplice scopo: da un lato, semplificare e automatizzare i processi di rilevamento e gestione degli *asset*, fornendo visibilità sui dispositivi connessi in rete e sul modo con cui comunicano; dall'altro, rilevare la presenza di traffico anomalo che può essere indice di un'intrusione. A seconda della tecnologia impiegata, il rilevamento di attacchi avviene per mezzo di "firme" di attacchi

note oppure tramite tecniche di *Anomaly Detection* (AD) basate su strumenti di apprendimento automatico (*Machine Learning* e Intelligenza Artificiale). Inoltre, i moduli di rilevamento e gestione degli *asset* spesso sono integrati con *database* di vulnerabilità note (*Common Vulnerabilities and Exposures*, CVE) e funzionalità di rilevamento delle modifiche alle configurazioni dei dispositivi. Alcuni dei prodotti presenti sul mercato permettono inoltre di generare in maniera semi-automatica *policy* di segmentazione di rete a partire dai pattern di traffico rilevato. Queste soluzioni si distinguono dagli strumenti rivolti a reti IT per: il supporto e la decodifica di protocolli tipici di reti industriali; l'utilizzo prevalente di tecniche passive di analisi (e per l'attenzione al mantenimento dei requisiti di disponibilità in caso di utilizzo di tecniche attive); per il supporto di dispositivi IoT di utilizzo industriale, estremamente diversificati e non gestiti centralmente; per la maggiore attenzione ai moduli di *Asset Discovery* e *Change Detection*. Il tema dell'AD in reti industriali è molto studiato anche dal punto di vista accademico: svariati ricercatori hanno proposto soluzioni per rilevare anomalie a livello semantico all'interno di dati provenienti da sensori e attuatori in una fabbrica, al fine di rilevare anomalie indice di attacchi oppure guasti. Tali tecniche risultano essere ancora a uno stadio di ricerca e prototipazione, e non hanno ancora avuto una forte validazione in ambito industriale.

Al di là delle tecnologie, un componente essenziale per il miglioramento della *cybersecurity* in fabbrica, così come in ufficio, è la formazione del personale tramite programmi di *awareness* che li rendano consapevoli, da un lato, dei rischi e, dall'altro, di come attuare alcuni piccoli accorgimenti per evitare di rimanere vittima di attacchi (es. sapere riconoscere le e-mail di *phishing*). Questo aspetto è ancora più importante in quegli ambienti che, storicamente, non sono mai stati soggetti a minacce informatiche o che hanno solo recentemente variato il proprio profilo di rischio, come risultano essere tipicamente le fabbriche manifatturiere.



### 3.6.1 Applicazioni, benefici e impatti della Cybersecurity

A differenza di altre tecnologie analizzate in queste schede, che possono fornire un beneficio diretto all'azienda e un ritorno sull'investimento misurabile (ad esempio come aumento della produttività o riduzione dei costi), il beneficio dato da un investimento in tecnologie e processi di *cybersecurity* è esclusivamente indiretto, misurabile soltanto come riduzione del rischio di danni economici derivanti da un incidente informatico e/o riduzione degli effetti di tale incidente. In particolare, si sottolinea come i benefici di un programma di *cybersecurity* non siano direttamente visibili se l'azienda o la fabbrica non è soggetta a un tentativo di attacco (e, anche qualora la fabbrica fosse soggetta a un attacco, l'analisi di quale specifica misura di sicurezza lo abbia prevenuto o ne abbia ridotto l'impatto non è sempre di immediata attuazione). Questa peculiarità rende particolarmente difficile calcolare il ritorno di un investimento in *cybersecurity*, misurabile soltanto in termini probabilistici e dipendente da variabili difficili da calcolare come: il danno economico che si avrebbe in seguito a un incidente, la probabilità che un incidente avvenga (in relazione anche con il profilo di rischio della singola realtà aziendale), e la quantificazione della riduzione del rischio di un incidente data da una specifica soluzione di sicurezza.

Fatta salva questa considerazione, si possono comunque analizzare i benefici derivanti dall'introduzione di tecnologie di *cybersecurity* su tre livelli:

- A livello della singola fabbrica, come riduzione del rischio di danni (es. fermo di produzione) diretti e indiretti derivanti da un attacco.
- A livello di filiera produttiva, e quindi di integrazione tra clienti e fornitori in un ecosistema B2B. Ad esempio, un attacco informatico a un fornitore può causare ritardi o danneggiamenti nella produzione di componenti necessari per i successivi stadi della filiera, amplificando il dan-

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

- no (e, viceversa, facendo sì che un investimento in *cyber-security* in uno stadio a monte della filiera porti benefici anche a valle).
- A livello di Sistema Paese e di società collettiva, perché permette di aumentare la resilienza dell’ecosistema industriale complessivo dell’Italia, e quindi la sua competitività, e permette di ridurre il rischio di eventi impattanti la società nel suo complesso (es. il rischio di danno ambientale nel caso di un attacco a infrastrutture critiche, come una centrale elettrica).

Inoltre, l’introduzione di opportune misure per la protezione dei dati permette di ridurre il rischio, ad esempio, di danni diretti, di immagine e verso terzi derivanti da un *data breach* di dati personali (se trattati), o dalla sottrazione di informazioni confidenziali e segreti industriali, nonché di adempiere a normative quali il GDPR.

### 3.7 Robotica Collaborativa

La robotica industriale è una tecnologia largamente assestata in fabbrica. Versatili, flessibili, in grado di compiere in autonomia varie tipologie di compiti con altissima precisione, i robot industriali accompagnano da decenni lo sviluppo dell'industria manifatturiera. Gli analisti della International Federation of Robotics (IFR) individuano nella "densità di robot" – valutata come il numero di robot installati ogni 10.000 lavoratori – una misura della penetrazione della tecnologia robotica nell'industria di un Paese. Nel 2018 la densità di robot in Italia ha raggiunto il ragguardevole valore di 200, contro una media mondiale di 99 (con picchi elevatissimi a Singapore, 831, e in Corea del Sud, 774). Saldatura, verniciatura, pallettizzazione, carico-scarico di linee, asservimento macchine, sono solo alcune delle operazioni ormai stabilmente appannaggio dei robot industriali, almeno nelle aziende medio-grandi.

L'accesso alla robotica industriale rimane però problematico per le PMI sebbene sia una tecnologia consolidata, che oggi vede le principali evoluzioni nello sfruttamento delle opportunità derivanti dalla connessione in rete delle macchine (e quindi nell'utilizzo di risorse in *cloud* per finalità di manutenzione predittiva, *analytics* di produzione, *performance*, consumo energetico, ecc.). Aspetti critici sono costi, sicurezza e conseguentemente spazi dedicati; il costo del robot è infatti solo una parte, nemmeno maggioritaria, del costo totale dell'installazione del robot stesso, che si compone del costo delle infrastrutture di protezione, degli strumenti *hardware* a servizio del robot, dei servizi di integrazione e sviluppo *software*. I robot industriali devono essere confinati in aree dedicate, all'interno di infrastrutture di protezione ("gabbie"), con consumo rilevante di superficie di *layout* produttivo. Il ritorno di investimento della robotizzazione delle linee di produzione è, quindi, impegnativo da raggiungere e le linee di assemblaggio delle PMI rimangono prevalentemente manuali, spesso affidate a terzisti.

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

Da alcuni anni, il panorama della robotica industriale si è tuttavia arricchito con l'ingresso e la progressiva diffusione dei robot collaborativi. Si tratta di robot concepiti per poter essere utilizzati anche in presenza dell'uomo, senza infrastrutture di protezione. Grazie al progetto meccanico, agli accorgimenti dell'elettronica a bordo macchina e alla riduzione delle masse e delle velocità, i robot collaborativi ("cobot") possono contemplare eventuali impatti con l'uomo, dal momento che tali impatti sono riconosciuti dal robot con arresto immediato della macchina e garanzia di non pericolosità per l'operatore coinvolto. Il robot collaborativo può quindi essere installato senza necessità di infrastrutture di protezione, potendo operare a diretto contatto con l'uomo. Le conseguenze di questo nuovo paradigma della robotica sono potenzialmente dirimpenti: la Robotica Collaborativa apre infatti la strada a nuove tipologie di linee di produzione, in cui all'uomo e al robot vengono affidate parti del processo produttivo più confacenti alle specificità del singolo agente. Al robot possono essere affidati compiti ripetitivi a basso valore aggiunto, mentre all'uomo compiti di difficile esecuzione per il robot, in cui la flessibilità e versatilità dell'uomo sono indispensabili.

Le PMI che intendono almeno parzialmente automatizzare le proprie linee produttive stanno trovando nei cobot un punto di accesso alla robotica industriale di crescente interesse per la facilità di installazione, la rapida messa in servizio, le interfacce di programmazione particolarmente semplificate. I numeri della Robotica Collaborativa sono ancora di nicchia: IFR stima che nel 2018 siano stati venduti nel mondo 14.000 robot collaborativi, pari solo a poco più del 3% della totalità dei robot industriali venduti, ma con un incremento del 25% rispetto all'anno precedente. Se di nicchia si tratta, certamente è una nicchia in forte espansione con tassi di crescita a doppia cifra previsti per i prossimi anni. La Robotica Collaborativa potrebbe, quindi, essere la chiave di volta per una diffusione capillare della robotica in svariati contesti produttivi attualmente a produzione largamen-

te manuale. Il cobot conferisce flessibilità al processo produttivo grazie alla facile riconfigurabilità del compito assegnatogli e *performance* di precisione e tempo ciclo migliori rispetto alle operazioni eseguite puramente in manuale. Parimenti, il robot collaborativo può fungere da assistente dell'uomo, alleviandone lo sforzo muscolare facendosi carico del sollevamento di parti o strumenti di peso non trascurabile.

### **3.7.1 Applicazioni, benefici e impatti della Robotica Collaborativa**

La Robotica Collaborativa, quale tecnologia abilitante della fabbrica intelligente, ha già avuto alcuni impatti significativi nella produzione manifatturiera. Il fatto stesso che realtà produttive finora estranee al processo di automatizzazione della produzione abbiano inserito dei robot collaborativi in alcune linee di produzione, è un esempio rilevante dell'impatto che tale tecnologia potrà avere nel futuro. Ci riferiamo, in particolare, alle piccole imprese che hanno trovato, o quantomeno stanno sperimentando, nei cobot quegli strumenti di automazione agile che meglio si adattano ai propri sistemi produttivi. Gli assemblaggi di parti meccaniche e di componentistica elettronica sono i processi produttivi maggiormente coinvolti dall'adozione di questa nuova tecnologia. Il paradigma completo della Robotica Collaborativa prevede una effettiva compartecipazione di uomo e robot al processo produttivo, previa assegnazione ai due agenti dei compiti più adatti alle rispettive prerogative: operazioni ripetitive a basso valore aggiunto per il robot, operazioni più complesse per l'uomo. Attualmente le installazioni dei robot collaborativi rispettano solo parzialmente questo paradigma. In molti casi si hanno organizzazioni della produzione in cui il robot, sebbene collaborativo, opera senza reale interazione con l'uomo o con interazione

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

sporadica. L'impatto positivo certamente esiste, dal momento che la robotizzazione di parte del processo produttivo, sia pure in modalità solo parzialmente collaborativa, aumenta l'efficienza, riduce gli errori e quindi gli scarti di produzione. Tuttavia, si configura anche una perdita di opportunità, dal momento che i benefici maggiori della Robotica Collaborativa si prevedono quando la collaborazione uomo-robot è più spinta e continuativa.

Si ritiene che per favorire l'affermazione piena della tecnologia siano necessari progressi nelle capacità percettive e cognitive del robot, già oggi in avanzata fase di sperimentazione. Un robot in grado di percepire l'ambiente, in quanto connesso a sistemi di visione artificiale, e di interpretare le azioni dell'uomo, prevedendone anche l'evoluzione futura, può meglio sincronizzarsi con l'operatore umano, eseguendo i propri compiti in modo da minimizzare i tempi di attesa dei due agenti. Il connubio tra intelligenza artificiale e Robotica Collaborativa è certamente un fattore abilitante destinato ad avere un impatto rilevante in termini di produttività delle stazioni di lavoro miste uomo-robot.

Al di là degli impatti sulla produttività, la Robotica Collaborativa ha anche, come naturale, impatti rilevanti sulla gestione delle tematiche di sicurezza in fabbrica. La normativa consente alcune forme di interazione uomo-robot anche per i robot industriali tradizionali (per esempio la guida manuale o la riduzione della velocità del robot in dipendenza della vicinanza dell'uomo al robot stesso). I robot collaborativi propriamente detti, che soddisfano la condizione di limitazione in forza e potenza stabilita dalla normativa ISO 10218 e ulteriormente dettagliata nella norma tecnica ISO-TS 15066, possono essere installati senza alcuna infrastruttura di protezione, purché l'operazione collaborativa sia intrinsecamente sicura. Infatti, anche se il cobot è certificato per operare in sicurezza, l'oggetto trasportato dal robot potrebbe non esserlo, vanificando quindi le prerogative di semplice installazione del robot. È quindi in ogni caso necessaria una attenta valutazione del rischio secondo procedure codificate che sempre più

spesso dovranno far parte del patrimonio tecnico dell'azienda. Le esigenze di sicurezza devono contemperarsi con quelle di produttività conseguendo un non facile equilibrio virtuoso. Ad oggi, il modo più semplice di garantire la sicurezza è installare dispositivi certificati di rilevazione della presenza dell'uomo, quali i laser scanner, che bloccano completamente l'operatività del robot in presenza dell'uomo.

Gli impatti della Robotica Collaborativa sulla persona sono rilevantissimi. Il paradigma dell'Industria 4.0, e segnatamente quello della Robotica Collaborativa, restituisce centralità all'uomo nel processo produttivo e dignità al suo operato. Le mansioni solitamente identificate in automazione con la sigla "3D" (*Dull, Dirty, and Dangerous*, ovvero ripetitive, sporche e pericolose) sono demandabili al robot, mentre l'uomo può dedicarsi alle operazioni a più alto valore aggiunto, in cui la propria versatilità è esaltata. In applicazioni più spinte – tipo la soluzione ad esoscheletro di cui parleremo nel prossimo paragrafo – del concetto di Robotica Collaborativa, il robot può anche essere di ausilio fisico alla persona, aiutandolo nel sollevamento di oggetti pesanti o reggendo strumenti come gli avvitatori, riducendo quindi l'esposizione del lavoratore a rischi di danni all'apparato muscolo-scheletrico. Si tenga presente che tali danni comportano un costo sociale e un costo diretto per l'azienda rilevante e sono fonte di fermi di produzione. Contrariamente quindi alla narrazione che vuole l'automazione, e ancor di più la robotica, nemica del lavoratore e portatrice di disoccupazione, la Robotica Collaborativa fa da complemento al lavoro manuale, lasciando l'uomo attore del processo produttivo ma aiutandolo nel suo operato, sia fisicamente, sia, in scenari ancora più evoluti, cognitivamente, mediante *input* di varia natura (sensoriali o di Realtà Aumentata) che lo guidino nell'esecuzione delle azioni in sincronia con l'operato del robot.

Trascendendo il campo dell'industria manifatturiera, la Robotica Collaborativa avrà impatti rilevanti anche in molti altri campi della nostra società. A titolo di esempio, robot collaborativi sa-

### **Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi**

ranno sempre più utilizzati nella riabilitazione motoria di pazienti o in applicazioni nella ristorazione (per esempio la preparazione di cibi nei *fast-food*). Gli sviluppi dei cobot in ambienti produttivi saranno certamente funzionali all'affermazione di questi strumenti in altri contesti non industriali.



### 3.8 Esoscheletri

Con il termine esoscheletro si indica un dispositivo indossabile capace di sgravare la persona che lo indossa di una parte del carico meccanico a cui essa è sottoposta; in ambito lavorativo, l'esoscheletro supporta l'operatore nello svolgimento di attività fisiche faticose, sostenendo parte del peso di un oggetto da sollevare o essendo di ausilio per movimenti specifici. La costruzione meccanica degli esoscheletri, in genere, rispecchia la struttura del corpo umano e prevede delle giunzioni cedevoli in corrispondenza delle articolazioni e dei motori o degli elementi passivi (molle e smorzatori) a coadiuvare l'azione muscolare. Il primo esoscheletro completo, Hardiman, è stato sviluppato da General Electric negli anni '60. Il dispositivo era costituito da una tuta munita di attuatori elettroidraulici e il principio di attuazione, insieme ai limiti tecnologici dell'epoca, aveva portato ad una struttura troppo ingombrante per usi sia civili sia militari. I primi esoscheletri per l'assistenza alla deambulazione sono stati sviluppati alla fine degli anni '60 presso l'istituto Mihajlo Pupin (Belgrado, Serbia) e nei primi anni '70 presso l'Università del Wisconsin (Stati Uniti). La sperimentazione, negli anni '80 e '90 è proseguita con lo sviluppo di prototipi per utilizzo medico, riabilitativo e militare. L'inizio del XXI secolo ha visto l'arrivo sul mercato dei primi esoscheletri commerciali, che hanno reso la tecnologia accessibile ad un numero limitato ma crescente di utenti.

Sempre agli inizi del XXI secolo, la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, Stati Uniti) si è appoggiata a due enti di ricerca per lo sviluppo di sistemi militari per la parte inferiore e superiore del corpo. Lo scopo degli esoscheletri era quello di consentire spostamenti e movimenti rapidi anche in presenza di carichi da trasportare elevati, consentendo operazioni logisticamente complesse in luoghi inaccessibili ai veicoli. All'esoscheletro possono essere collegati moduli aggiuntivi come forniture

specifiche per la missione, elementi di protezione dagli agenti atmosferici, armi o strumentazione per l'assistenza medica. Lo sviluppo nel campo militare ha dato origine ai primi dispositivi commerciali in ambito industriale e riabilitativo; dal 2010, un numero crescente di laboratori di ricerca e aziende hanno presentato prototipi che mirano ad aumentare la forza e la resistenza dell'utente. Le nuove generazioni di esoscheletri commerciali sono dotate di batterie efficienti e di strutture meccaniche leggere, che ne stanno consentendo una rapida diffusione in campo industriale.

Ad oggi, gli esoscheletri possono essere categorizzati in base a diversi criteri: (i) principio di generazione della forza, (ii) campo di applicazione principale, (iii) segmento corporeo di interesse e (iv) flessibilità della struttura di supporto:

- Per quanto riguarda la generazione della forza, gli esoscheletri possono essere classificati in due famiglie: attivi e passivi. Quelli attivi, vengono definiti tali nel caso in cui la forza venga generata da motori elettrici, idraulici o pneumatici; tale configurazione richiede solitamente l'utilizzo di batterie, che sono spesso l'elemento critico per l'utilizzo prolungato dei dispositivi. Per quelli definiti passivi, la forza viene generata da elementi elastici (molle) e/o dissipata da componenti smorzanti.
- Gli esoscheletri possono essere classificati in due sotto-classi anche in base al campo di applicazione, industriale o medico-riabilitativo. I primi vengono utilizzati in diverse realtà operanti nel campo della meccanica pesante, della logistica e nei cantieri. I secondi sono utilizzati per sopperire a carenze motorie del paziente o per coadiuvare processi riabilitativi tramite movimento passivo.
- Il terzo criterio di raggruppamento è quello del segmento corporeo di interesse; in tal caso, gli esoscheletri possono essere classificati in sei categorie: (a) esoscheletri completi (corpo intero), (b) arti inferiori, (c) supporti lombari, (d) guanti meccanici, (e) arti superiori (per suppor-

to utensili), (f) arti aggiuntivi. I primi (a) sono soluzioni meccanicamente complesse che interessano sia gli arti superiori sia quelli inferiori; storicamente sono stati i primi a essere sviluppati, ma sono stati soppiantati da soluzioni specifiche per i singoli segmenti, intrinsecamente più semplici e leggere. I secondi (b) sono esoscheletri leggeri che, una volta indossati sopra alla divisa da lavoro, consentono alla persona di sedersi. Una volta bloccati in una posizione, la persona è sgravata del proprio peso (in maniera simile a quanto avviene quando ci si siede su uno sgabello), riducendo l'affaticamento derivante dal mantenimento di posture semi-erette per lunghi periodi lavorativi. Per quanto riguarda la terza tipologia (c), si tratta di esoscheletri che consentono di mantenere una postura corretta della schiena durante le operazioni di sollevamento. In generale, sono concepiti per sgravare i muscoli dorsali e la colonna vertebrale di parte del carico biomeccanico. I guanti meccanici (d) sono ausili per aumentare la forza di presa su attrezzi di lavoro o su oggetti di uso quotidiano (ad esempio, alcuni dispositivi medici consentono l'apertura della mano di pazienti che hanno difficoltà nell'aprirli). La quinta tipologia (e) si rispecchia in esoscheletri il cui scopo principale è quello di supportare il peso di strumenti di lavoro pesanti; in generale, si tratta di strutture passive che sgravano l'arto superiore di parte del carico dovuto alla gravità, trasferendolo alla schiena o direttamente a terra. L'ultima tipologia (f) comprende esoscheletri che forniscono al lavoratore un secondo paio di mani, tipicamente per tenere in posizione utensili o materiali durante le lavorazioni. Sono solitamente esoscheletri passivi e tecnicamente ricalcano la struttura degli esoscheletri per supporto utensili.

- L'ultimo criterio di classificazione riguarda la flessibilità della struttura di supporto; gli esoscheletri possono

quindi essere rigidi o flessibili. I primi sono caratterizzati da una struttura meccanica avente una cedevolezza trascurabile rispetto a quella della persona. Inoltre, la mobilità della struttura è garantita da giunti di tipo cilindrico o sferico. Il loro limite è generalmente derivato dalla pesantezza della struttura, a cui si può ovviare con l'utilizzo di materiali compositi, che tuttavia comportano costi piuttosto elevati. Gli esoscheletri flessibili hanno solitamente la struttura meccanica più cedevole di quella dell'arto che devono supportare e il sistema di attuazione è di tipo pneumatico.

#### **3.8.1 Applicazioni, benefici e impatti dell'esoscheletro**

Gli esoscheletri, in ambito industriale, offrono diversi vantaggi. Il più evidente è il minor affaticamento del lavoratore, visto che la riduzione della fatica fisica porta ad un mantenimento dell'attenzione per periodi più prolungati, ad un aumento della produttività e della qualità del lavoro svolto. Un vantaggio indiretto è riscontrabile nella riduzione degli infortuni sul lavoro derivanti dal minore affaticamento. La diminuzione del carico fisico sul lavoratore comporta una riduzione del rischio di insorgenza di patologie muscoloscheletriche, che vedono larga diffusione nei lavoratori che effettuano movimentazione manuale dei carichi o che operano in condizioni ergonomicamente critiche. La diminuzione di patologie da affaticamento comporta una riduzione dei costi economici derivanti dalle spese mediche, dai congedi per malattia e dalle cause legali, nonché una riduzione dei costi sociali derivanti dall'invalidità del lavoratore. Infine, gli esoscheletri possono compensare la riduzione di forza in lavoratori in età avanzata, consentendo il mantenimento di personale esperto in compiti di montaggio o manutenzione particolarmente complessi.

I disturbi muscoloscheletrici derivanti da movimentazione manuale dei carichi e da posture incongrue rappresentano un problema importante in diversi settori industriali; tra i più colpiti troviamo il settore della logistica industriale, il settore dell'edilizia, e quello dell'assemblaggio. In letteratura, è stata studiata l'efficacia degli esoscheletri nella riduzione del carico fisico in diversi tipi di attività: per quanto riguarda il sollevamento dei carichi e la flessione del tronco, l'utilizzo di esoscheletri in condizioni simulate ha comportato una riduzione dell'attivazione muscolare compresa tra il 10 e il 40%. L'affaticamento muscolare è drasticamente inferiore nel caso di sollevamento e abbassamento ripetitivo prolungato e le forze interne sulla colonna vertebrale diminuiscono indicativamente del 20 - 30%. Nonostante l'interesse diffuso per gli esoscheletri in ambito industriale, l'implementazione su larga scala è ancora lontana. In generale, la sfida per gli esoscheletri attivi antropomorfi è quella di consentire movimenti naturali e confortevoli, per spostare pezzi speciali o di difficile maneggevolezza difficili (es. in temperatura). Una possibile limitazione nell'adottare in fabbrica gli esoscheletri è il fastidio all'interfaccia fisica dell'utente con l'esoscheletro stesso. In letteratura sono state riscontrate segnalazioni soggettive di fastidio localizzato dovuto dalla pressione locale di contatto tra esoscheletro e corpo; se non accuratamente progettate, le aree di contatto possono causare disagio o lesioni cutanee, il che può portare alla riluttanza dell'utente all'utilizzo dell'esoscheletro. La prossima sfida in questo ambito di ricerca dunque potrebbe essere nella progettazione e nella costruzione di esoscheletri, in particolar modo di quelli flessibili, che tengano in considerazione aspetti di comfort oltre che di mero supporto delle attività lavorative. Altre frontiere della ricerca riguardano l'individuazione dell'intenzione di movimento, per fare in modo che gli esoscheletri attivi consentano alcuni movimenti e ne impediscano altri. La necessità di consentire movimenti fluidi ad un ritmo da normale a veloce, la cooperazione e, lo scambio di informazioni uomo-macchina sono le sfide a cui le strategie di controllo devono rispondere.

### 3.9 Additive Manufacturing

Negli ultimi anni, le tecnologie di fabbricazione additiva o di *Additive Manufacturing* (AM) hanno ricevuto sempre maggiore attenzione nel quadro dei processi di manifattura discreta o per parti, soprattutto in relazione alla loro capacità di realizzare oggetti di forma complessa senza eccessivo aumento dei costi. Se nelle tecnologie convenzionali la complessità di prodotto è spesso associata a un aumento significativo del costo di prodotto (per attrezzature e utensili dedicati), con le tecnologie additive quest'incremento non si osserva, dal momento che il prodotto è realizzato "per strati" e quindi non necessita di attrezzature dedicate.

Con AM ci si riferisce a un insieme di tecnologie che permettono di realizzare prodotti in materiali anche molto diversi (principalmente materiali polimerici e metallici, ma anche compositi, ceramici). Nonostante la crescente attenzione ricevuta negli ultimi anni, molte delle tecnologie AM sono state ideate e brevettate negli anni '80, anni in cui nascono alcune tra le principali aziende di stampanti 3D. Da allora e per molti anni, la stampa 3D ha assunto il ruolo di tecnologia di prototipazione rapida, ossia tecnologia a supporto della progettazione per realizzare rapidamente e a basso costo i prototipi dei nuovi prodotti ideati, con evidenti benefici in termini di riduzione del *time to market*. A partire dalla fine degli anni '90, il principale cambiamento cui si è assistito è stato il passaggio dall'uso di queste tecnologie come strumenti a supporto della progettazione a veri e propri processi produttivi. In tale passaggio, si sono diffuse diverse soluzioni tecnologiche, differenti per materiale e/o tecnicità di stampa.

### 3.9.1 Applicazioni, benefici e impatti dell'Additive Manufacturing

Esistono molti settori industriali in cui le tecnologie AM sono state ormai adottate come tecnologie di riferimento per la produzione di prodotti finiti, *net-shape* o *near-net-shape*. In prima linea, troviamo il settore aerospaziale, dove l'AM porta benefici importanti in termini di riduzione di peso, riduzione del numero di componenti con conseguente aumento dell'affidabilità, e abilita l'introduzione di nuovi materiali a elevate prestazioni. L'AM riveste poi grande interesse in ambiti in cui la customizzazione è un fattore critico, come il dentale e il biomedicale. Le protesi realizzate in AM in ambito biomedicale hanno l'ulteriore caratteristica di lasciare una superficie porosa che facilita l'osteo-integrazione. La possibilità di realizzare canali interni conformali risulta poi vantaggiosa negli stampi, nel *tooling* e nel settore petrolifero. In questo caso, i canali conformali permettono di sottrarre calore nelle zone dove è necessario mantenere stabilità termica.

Le tecnologie additive abilitano alcuni cambiamenti di paradigma che caratterizzano la Fabbrica del Futuro: Grazie all'AM, dati e immagine virtuale di prodotto-processo diventano parte integrante del ciclo di vita del prodotto. La progettazione del prodotto può essere gestita con strumenti di ottimizzazione topologica, dove la geometria del prodotto viene disegnata per rispondere ai vincoli geometrici e ai carichi del prodotto in esercizio. L'ottimizzazione topologica non è uno strumento nuovo in progettazione, ma acquista finalmente un ruolo centrale solo ora che l'AM permette di realizzare geometrie complesse. I nuovi *software* di simulazione di prodotto e processo permettono di semplificare l'ottimizzazione di processo. Infine i dati raccolti in tempo reale durante la stampa permettono di predire i difetti e costruire una carta d'identità digitale del manufatto. Questa mappa digitale permette di semplificare o addirittura eliminare l'ispezione non distruttiva del prodotto finito, ottenuta con tomografia compu-

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

terizzata. La totale digitalizzazione del processo manifatturiero impatta fortemente sulla *supply chain*: è possibile in linea di principio stampare dove e quando necessario, con un semplice invio del file di stampa. Con l'AM, è possibile cambiare continuamente la geometria del prodotto e adattarla alle esigenze e funzionalità semplicemente cambiando il file di stampa. Questo apre un insieme di opportunità al coinvolgimento dell'utente e al co-design durante la fase di progettazione prodotto. L'AM è una tecnologia sostenibile, per due ragioni. Innanzitutto, la riduzione del peso dei prodotti determina una significativa riduzione dell'impatto ambientale in particolare, in ambito aeronautico. Secondariamente, l'AM permette di estendere la vita utile, grazie alle operazioni di manutenzione e riparazione che sono abilitate dalle tecnologie a deposizione diretta.



## 3.10 Infrastrutture di rete

Le tecnologie di cui sopra – presentate nella tradizionale lettura dall'IT all'OT – costituiscono degli specifici ambiti di contenuto, da cui nascono delle specifiche applicazioni. Pressoché tutte queste tecnologie prossime all'informatica devono disporre di un sub-strato infrastrutturale, che si connota nella definizione tradizionale di rete e apparati di rete (radiomobili, fissi, ecc.). Non è un caso che l'insieme delle tecnologie digitali e delle infrastrutture di comunicazione sono univocamente identificate con l'utilizzo di terminologie sintetiche, come *Information and Communication Technologies* (ICT), o più rapidamente scienza e ingegneria delle Telecomunicazioni. Senza entrare nell'estremo dettaglio dell'ingegneria delle infrastrutture di telecomunicazione, non si può però non considerare la trasformazione che è ad oggi in atto in tale mondo, normalmente identificata sotto il cappello dell'evoluzione del 5G.

### 3.10.1 Rete 5G

La tecnologia 5G non prevede un semplice aggiornamento o rinnovamento delle attuali reti radiomobili, ma di fatto obbliga gli operatori a riprogettare completamente l'infrastruttura di rete e a ripensare la tipologia e la qualità dei servizi offerti. Questa è una novità non trascurabile e disegna una netta demarcazione tra il mercato delle comunicazioni radiomobili “prima e dopo” il 5G. La tecnologia 5G nasce da una scelta progettuale radicalmente diversa che riconosce che i nuovi servizi ed applicazioni digitali che ci aspettano nel prossimo futuro hanno requisiti prestazionali molto diversi tra loro, in termini non solo di velocità di accesso, ma anche di ritardo di trasferimento dell'informazione, affidabilità del collegamento, densità di terminali connessi, ener-

gia necessaria per la comunicazione. Per limiti tecnologici e fisici fondamentali, non è però possibile perseguire un miglioramento delle prestazioni di tutti questi parametri contemporaneamente, ma occorre effettuare delle scelte e compromessi che ottimizzano alcuni dei parametri a scapito di altri (non è ad esempio possibile ridurre il consumo energetico ed aumentare il numero di dispositivi connessi, ed allo stesso tempo tenere alta la velocità di trasferimento dell'informazione). Il 5G è il primo sistema che riconosce l'impossibilità di una soluzione che vada bene per tutti gli scenari, e integra la flessibilità di poter definire numerosi punti di lavoro che rappresentano soluzioni tecniche diverse, ciascuna ottimizzata per specifici domini applicativi.

Per aiutare a comprendere quanto il 5G sia differente rispetto alle reti precedenti, possiamo dire che il mondo 4G attuale è ad una sola dimensione, quella della velocità di trasferimento. Il 5G sarà invece un mondo a più dimensioni, che includono il ritardo, la velocità, l'affidabilità e l'energia, all'interno del quale ci si potrà muovere in base alle esigenze delle applicazioni, rispettando però i vincoli imposti dai limiti fondamentali. Ovviamente, i valori massimi raggiungibili rispetto a parametri prestazionali principali sono comunque importanti e segnano il progresso delle soluzioni tecniche che sono messe in campo. Le reti 5G consentiranno di offrire una velocità del collegamento dati fino a 10 Gigabit al secondo, per più dispositivi *standard* in una stessa cella, mentre ora riusciamo a garantire 1 Gigabit al secondo per terminali di fascia molto alta. In termini di ritardo, la tecnologia 5G consentirà di scendere fino ad alcuni millisecondi nella comunicazione tra dispositivo, rete esterna e ritorno, paragonabile agli attuali collegamenti in fibra (FTTH, Fiber-to-the-Home), un notevole miglioramento rispetto alle decine di millisecondi delle attuali reti 4G. In termini di affidabilità, altra caratteristica determinante della nuova generazione, non possiamo realmente confrontare il 5G con le reti precedenti. Il 5G per la prima volta fornisce delle soluzioni tecniche in grado

di fornire garanzie quasi deterministiche sulla consegna dell'informazione entro limiti di tempo stabiliti.

Per il resto la novità della tecnologia radio è sicuramente la flessibilità che consente di gestire modalità operative anche molto diverse tra loro in funzione del tipo di applicazioni che si devono supportare. La configurazione dei molti parametri radio e la grande complessità derivante dalla necessità di ottimizzare il funzionamento della rete e l'uso delle risorse in base alle caratteristiche del servizio rappresenterà una sfida non banale per gli operatori di rete. A livello di spettro radio, l'armonizzazione a livello europeo ha portato ad individuare nelle frequenze tradizionali per reti radiomobili (sotto i 6 GHz) una porzione abbastanza ampia di spettro intorno ai 3.4-3.8 GHz che - con tempistiche un po' diverse - verrà resa disponibile nei vari Paesi, e alcune porzioni piccole intorno ai 700 MHz, derivanti dal rilascio di spettro attualmente impiegato per la TV digitale. La grossa novità qui è rappresentata dai progressi nella tecnologia elettronica di base che consente di utilizzare le bande di frequenze delle onde millimetriche, con una porzione molto ampia, circa 1 GHz, intorno alla frequenza dei 26 GHz. La tecnologia di accesso ad onde millimetriche non è ancora matura quanto quella a microonde, ma sicuramente nella seconda fase di sviluppo del 5G sarà quella che porterà i maggiori cambiamenti nella struttura fisica delle reti sul territorio.

La necessità di tenere insieme servizi ed applicazioni con requisiti e caratteristiche molto diverse tra loro, ha spinto il progetto dell'architettura di rete 5G verso il concetto di "*slicing*" (affettare). L'idea di base è quella di creare delle porzioni di rete dette "*slice*" (fette), separate dalle altre a livello logico, e ottimizzate per uno specifico insieme di applicazioni e servizi. La coesistenza di diverse *slice* sulla stessa infrastruttura fisica consente di sfruttare la flessibilità della tecnologia 5G tenendo insieme esigenze diverse. Questa grossa novità architettonica, gravida di conseguenze anche in termini di ecosistema e modelli di *business*, sfrutta co-

munque delle soluzioni tecniche che sono andate maturando negli ultimi anni e già parzialmente utilizzate nella generazione attuale come le tecnologie di virtualizzazione delle funzioni di rete su *hardware* di tipo generale (*Network Function Virtualization*, NFV), le architetture di processamento dei segnali centralizzate (*Centralized Radio Access Network*, CRAN), le *Software Defined Networks* (SDN), e le piattaforme di *Mobile Edge Computing* (MEC). Queste ultime meritano un'attenzione particolare perché sono alla base della già menzionata possibilità del 5G di ridurre sensibilmente i ritardi di reazione di applicazioni critiche. Sfruttando, infatti, l'evoluzione delle architetture *cloud*, attraverso il MEC l'operatore potrà avvicinare la potenza di calcolo dai *data center* remoti alla periferia della rete, vicino agli utenti, così da superare anche i limiti fisici dovuti ai ritardi di propagazione e ai segmenti di rete da attraversare. Una rete che non solo diventa programmabile per la gestione dei flussi di traffico (con SDN), ma anche una piattaforma *cloud* distribuita a disposizione di sviluppatori *software*, è sicuramente una novità di non poco conto rispetto alle opportunità di evoluzione.

### 3.10.2 Applicazioni, benefici e impatti del 5G

I settori applicativi che possono potenzialmente ricevere un significativo impulso di cambiamento e innovazione dalla connettività avanzata del 5G sono molti, anche se con livelli significativamente diversi negli stadi di sviluppo tecnico delle soluzioni. La necessità della costruzione dal basso delle applicazioni e del loro possibile mercato sta spingendo alcuni Paesi a sperimentare la tecnologia 5G già in questa fase iniziale di sviluppo e ancor prima che sia stato assegnato su base competitiva lo spettro, allo scopo di verificare quale siano gli ambiti più promettenti sulla base delle specificità del tessuto economico locale. Alcuni degli ambiti più promettenti del 5G e rilevanti per il mondo industriale sono elencati di seguito:

- Il settore automobilistico è al centro dell'attenzione del 5G, in particolare per gli sviluppi tecnici legati ai veicoli autonomi. Tuttavia, le opportunità applicative offerte dai veicoli connessi, oltre ad essere in grado di prefigurare scenari ancora più avanzati del solo veicolo autonomo, hanno possibili ricadute su orizzonti temporali più brevi. Obiettivo dell'interconnessione e condivisione delle informazioni tra autoveicoli è ovviamente quello di renderle più sicure e in possibilmente meno inquinanti rispetto a quanto lo siano oggi. Potendo contare infatti su un collegamento di rete ultra rapido (transito dei messaggi da/per il veicolo in pochi millisecondi) ed affidabile (consegna o ricezione nel 100% dei casi) reso disponibile dalle reti 5G, si svilupperanno molte applicazioni che consentiranno di rendere intrinsecamente più sicura la circolazione degli autoveicoli in autostrade e centri abitati rendendo l'autoveicolo parte integrante della *Smart City 5G*.

L'integrazione degli autoveicoli tra di loro e verso le infrastrutture che il 5G incentiva poi i produttori di autoveicoli a proporsi come fornitori di un servizio di "guida sicura"

integrato nelle loro automobili e che agli occhi di un utilizzatore è garantito dal produttore. In quest’ottica, sono proprio i produttori di automobili ad essere considerati gli attori con il maggior mercato potenziale abilitato dal 5G.

- Le applicazioni di intelligenza ambientale (*Smart Home, Smart Building, Smart City*) e più in generale di IoT che si sono sviluppate negli ultimi anni e che stanno contribuendo al veloce sviluppo del settore, sono spesso caratterizzate da requisiti di connettività non particolarmente stringenti in termini di velocità e ritardo. Il 5G potrà far fare un salto di qualità anche a questo settore con nuovi modelli di gestione degli spazi e dell’interazione con gli utenti che li vivono. La possibilità di aumentare moltissimo la densità di dispositivi connessi collegabili alla rete rappresenta la novità più nota e catturata da uno dei vertici del triangolo delle applicazioni 5G (*massive Machine Type Communications, mMTC*). Una seconda opportunità, meno nota è quella di definire nuovi modi di interazione tra ambiente ed utente che crei interfacce ad alta risoluzione per la comunicazione diretta e persino per un “adattamento digitale” che si trasforma e attua le modifiche conseguenti all’interazione con l’uomo.
- Infine, anche nella più focalizzata produzione e logistica industriale possiamo aspettarci interessanti impatti dal 5G. Nell’ambito dei processi di produzione e di logistica, le opportunità che offre il 5G di avere una rete ultra-affidabile e veloce consentirà di eliminare i vincoli che rendono complicata l’automazione della produzione e della movimentazione, soprattutto attraverso l’impiego massivo di robot ed intelligenza artificiale. Oltre, infatti, a poter coordinare un gran numero di macchine in tempi brevissimi rendendo possibile una efficace collaborazione tra di loro, gli avanzati algoritmi (es. riconoscimento immagini di pezzi meccanici), oramai irrinunciabili per

garantire un elevato *standard* qualitativo, consentiranno di produrre con volumi e qualità sempre maggiori attraverso la loro pervasiva integrazione in azienda.

### **3.11 Gli scenari applicativi delle tecnologie della Fabbrica del Futuro**

La carrellata sopra presentata ha cercato di presentare nel modo più lineare possibile alcune delle famiglie tecnologiche digitali più rilevanti per il futuro della manifattura. Per quanto possibile, per ogni tecnologia si è cercato di delineare anche i principali benefici ed impatti che la stessa dovrebbe apportare (o sta già apportando) al mondo dell'industria, evidenziando – ove possibile – la specificità degli interessi delle PMI nazionali. Nell'esposizioni di una singola tecnologia si è spesso dovuto fare riferimento ad altre tecnologie, presentate talvolta successivamente. Ciò è sintomatico del livello di integrazione e co-esistenza che le diverse tecnologie – tutte comunque afferenti al macro mondo dell'informatica e dell'automazione – necessitano e contemporaneamente comportano. Già questo è un primo grande insegnamento per le nostre imprese e per tutti gli attori economici: non ha senso prendere una tecnologia come a sé stante, anche se pare la più moderna o quella che in un certo istante risulta più di moda, ma occorre avere una visione sistemica delle stesse, focalizzata *in primis* sui benefici e sugli impatti che si intende ottenere.

Proprio per ricostruire questa visione sistemica e dare maggior praticità al lettore, in questa seconda parte del capitolo si è deciso di presentare degli scenari applicativi, calati tipicamente su un contesto industriale, provando a segmentare la discussione per macro-ambiti, più o meno corrispondenti ai principali processi industriali tipicamente riscontrabili in un contesto manifatturiero (la progettazione, la produzione, la logistica, la distri-

buzione, la manutenzione). Tali scenari applicativi e tecnologici saranno poi la base per comprendere gli archetipi di Fabbrica del Futuro che saranno oggetto di presentazione della Parte 5.

### 3.11.1 Digital Value Chain

Nella nostra epoca, in quella che è stata definita la *Data Economy*, le realtà manifatturiere stanno attraversando una profonda trasformazione, non solo all'interno dei propri confini, ma anche nella filiera di cui fanno parte e, soprattutto, nella relazione con la propria clientela. In questo paragrafo, esploreremo tre diverse direttrici di analisi per comprendere come evolve la catena del valore di una impresa manifatturiera al tempo della quarta rivoluzione industriale, ovvero come cambia la *Digital Value Chain*.

#### 3.11.1.1 Dati interni all'impresa: produttività del dato, e creazione della Digital Backbone

Nei primi anni del 1900, con la nascita della produzione di massa, nacquero i primi approcci manageriali moderni sotto il motto "you can't manage what you don't measure". Da allora i responsabili delle *Operations* in tutto il mondo hanno iniziato a misurare la produttività di materiali, macchine e lavoratori al fine di migliorare le proprie *performance*. Per contro, ancora oggi, sono di fatto assenti misure di produttività del patrimonio informativo. La prima sfida culturale da raccogliere, dunque, è far comprendere che misurare la produttività dei dati raccolti nel corso del processo produttivo deve essere altrettanto naturale che misurare la produttività dei macchinari (*Overall Equipment Effectiveness*, OEE) o del lavoro (utilizzo e rendimento del personale). Seguendo uno



schema concettuale analogo al modello OEE, è facile individuare le componenti che una impresa manifatturiera deve massimizzare per valorizzare il suo patrimonio informativo, disponibilità, qualità e sfruttamento prestazionale:

- La disponibilità misura quantitativamente il fatto che i dati vengano raccolti, storicizzati e resi disponibili in tempo utile per supportare processi decisionali complessi come la gestione del personale di fabbrica, la pianificazione dei materiali o le scelte *make or buy*. Alcune note sono rilevanti in merito a questa prima componente. In primo luogo, è inopportuno, talvolta inutilmente costoso e controproducente, seguire un approccio “raccolgo tutti i dati, prima o poi capirò come usarli”; in realtà l’approccio corretto richiede di riflettere su quali siano le decisioni gestionali che si vogliono affrontare, ed individuare di conseguenza i dati (anche in una ottica allargata) che possono servire.

Questo lavoro è guidato dalla conoscenza dei metodi decisionali più corretti, già disponibili nella letteratura o nella pratica, e delle informazioni che sono necessarie per decidere correttamente (si pensi ad esempio ad una scelta *make or buy*). In secondo luogo, proprio parlando di *Digital Value Chain*, l’enfasi non va posta su un problema strettamente tecnico, che richieda un set di dati estremamente circoscritto (si pensi ad un problema di manutenzione, o di ottimizzazione della vita degli utensili di taglio) quanto su problemi gestionali (come quelli sopra citati) in cui le scelte corrette si debbano basare su dati provenienti da molteplici sistemi. In questi casi, diviene indispensabile creare quella che viene definita una *Digital Backbone* aziendale, ovvero un ambiente unificato per la gestione dei dati raccolti / generati da sistemi diversi, che ne renda efficiente ed ordinato l’accesso, e garantisca la scalabilità del processo di trasfor-

mazione digitale.

- La seconda componente fa riferimento alla qualità dei dati, o più esattamente alla loro completezza e correttezza. Da questo punto di vista, esistono già diversi studi che possono essere presi come riferimento pratico per definire misure di completezza e correttezza del dato raccolto.
- La terza componente fa riferimento allo sfruttamento prestazionale, ovvero all'utilizzo di algoritmi allo stato dell'arte per trattare il dato raccolto, nonché al fatto che le elaborazioni siano facilmente fruibili (leggibili, esplorabili) anche da parte di *manager* non esperti di tecnologia.

Con riferimento dunque ad una specifica decisione (ad esempio “conviene sostituire questo macchinario oppure conviene un intervento di ammodernamento?”) creare una *Digital Value Chain* interna all'azienda significa individuare i dati che servono, raccogliarli e valutarne tempestività, correttezza, completezza, *performance* dell'algoritmo di trattamento e usabilità delle informazioni elaborate, perché sia davvero valorizzato, ovvero reso davvero produttivo, il patrimonio informativo interno all'azienda. Non sono poche le difficoltà che si incontrano nella creazione di una *Digital Value Chain* interna: le aziende negli anni si sono dotate di una serie di sistemi e applicativi monolitici e indipendenti, facendo scelte che talvolta hanno ulteriormente frazionato e reso meno accessibile il patrimonio informativo. Per mettere a terra questa trasformazione, è dunque necessario non solo pensare agli investimenti sulle tecnologie dedicate alla raccolta di informazioni (IoT) ma anche sulle tecnologie dedicate a costruire la *Digital Backbone*. È necessario poi un forte presidio organizzativo, definendo degli obiettivi di utilizzo del patrimonio informativo, i ruoli aziendali responsabili della sua gestione durante tutto il ciclo di vita dei dati, e le cui valutazioni dipenderanno proprio dalla produttività dei dati. Questo richie-

de anche un cambio culturale, pensando la decisione manageriale come un atto che può certamente essere arricchito dall'intuito e dall'esperienza, ma che innanzitutto deve originarsi dal dato, e dal suo corretto sfruttamento.

### **3.11.1.2 Dati lungo la catena del valore: l'Impresa Estesa ed il paradigma del Cloud Manufacturing**

Oltre alla necessità di governare il flusso dei dati all'interno dei propri confini, è sempre più forte il bisogno di raccogliere e sfruttare dati che vengono dall'esterno dell'impresa: *partner* logistici, fornitori, clienti, enti istituzionali, *data broker*, questi ed altri attori possono detenere, anzi detengono, informazioni preziose per una corretta gestione dei processi aziendali. E, viceversa, una impresa dispone di informazioni preziose per il lavoro dei suoi *partner*. In questa seconda accezione, parlare di *Digital Value Chain* significa quindi cogliere il bisogno che le aziende hanno di aprirsi (ovviamente, con tutte le dovute precauzioni) per condividere informazioni con l'ambiente esterno per migliorare il coordinamento, le attività esecutive, lo sviluppo di un prodotto o di un servizio innovativo per il cliente. Per cogliere questo bisogno, esaltato anche dall'avvento dell'IoT che ha reso sempre più economica ed efficiente la raccolta dei dati dal campo, sono nate nuove soluzioni *software cloud-based*, sviluppate negli ultimi anni, focalizzate proprio su attività che richiedono collaborazione con altri *partner* della catena del valore: la condivisione dei dati di progetto, la pianificazione collaborativa, lo *scouting* e l'*enrollment* dei fornitori, la gestione dei trasporti, il controllo dell'avanzamento, il monitoraggio delle prestazioni, per citarne alcune. Queste piattaforme (nel 2016 ne sono state censite oltre 350 a livello globale, anno in cui è iniziato un importante processo di mutua acquisizione e consolidamento) sfruttano il modello "*Software As A Service*" in

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

modo sostanziale, ovvero per creare ambienti applicativi dove una molteplicità di utenti possa condividere parte delle proprie basi dati (disegni, previsioni, piani, ordini, etc.) perché delle applicazioni (di progettazione, di pianificazione, di ottimizzazione) possano lavorare su questi *dataset* allargati, per ottenere delle prestazioni che sarebbero altrimenti impossibili da ottenere con processi tradizionali basati su scambio di dati punto a punto, ed elaborazione con applicativi locali. Si pensi ad esempio a sistemi *cloud-based* per l'integrazione con i 3PL per la prenotazione e l'ottimizzazione dei trasporti, o ancora alle cosiddette “*Control Tower*”, soluzioni che abilitano scenari di visibilità estesa e di simulazioni *what-if* rispetto ai dati di stato e di flusso condivisi verticalmente (ovvero da tutti gli attori agganciati ad un'unica catena, dai fornitori ai distributori) oppure orizzontalmente (ovvero da tutti gli attori che operano ad un determinato livello, come i distributori).

Se si compongono più di una di queste applicazioni *cloud-based* a supporto di processi collaborativi si ottiene una sovrastruttura informatica che rappresenta (nel mondo digitale) una vera e propria “*Extended Enterprise*”, in cui è possibile collegare numerosi fornitori di servizi (a monte) e clienti (a valle): con queste architetture si mira a collaborare in maniera integrata con tutte le imprese che contribuiscono a fornire valore al prodotto/servizio, sfruttando il potenziale di ciascuna di esse. Le prime applicazioni di *Extended Enterprise* iniziano a vedersi in grandi imprese manifatturiere americane globali, ma diversi grandi gruppi europei stanno iniziando a lavorare in ambienti collaborativi *cloud* separati, per cui è ragionevole attendersi che a breve questo trend avverrà anche nei nostri territori. Ovviamente, perché si possa fare pienamente ricorso ad una architettura *cloud* da *Extended Enterprise* è condizione necessaria la costruzione di una *Digital Backbone* interna, che colleghi e renda accessibili i dati che saranno poi messi in condivisione con gli ambienti applicativi *cloud*. Estremizzando questo concetto, si giunge al modello pro-

duittivo del “*Cloud Manufacturing*”, replicando nel mondo fisico manifatturiero il modello del *cloud computing*: tramite la rete è possibile accedere ad un numero di risorse produttive (macchine, reparti) disponibili *on-demand*, da utilizzare per soddisfare la capacità produttiva che si richiede. In questo modo, chiunque (privato o impresa) voglia realizzare un prodotto può accedere alle risorse offerte da una piattaforma *cloud* e acquistare servizi di progettazione, produzione e logistica, così come oggi si acquistano risorse di *storage* o servizi di *mailing*. La piattaforma diventa quindi “un intermediario totale” del servizio (di progettazione, manifattura e trasporto) agendo di fatto come unica interfaccia per il cliente. Se questo scenario può apparire futuristico, soprattutto per le nostre piccole realtà imprenditoriali italiane, si consideri che all'estero sono proprio le piccole imprese che hanno dato avvio a iniziative di questo tipo, avendo intuito l'importanza del *software* e del digitale nella nuova manifattura.

### **3.11.1.3 Dati lungo il ciclo di vita: dal processo al prodotto**

Assieme ad una solida *Digital Backbone* interna, assieme ad una infrastruttura *cloud* che apra le porte alla *Extended Enterprise*, è necessario riflettere su cosa accadrà alla *Digital Value Chain* guardando al vero protagonista della catena del valore: il cliente. Le imprese manifatturiere italiane sono state, storicamente, assai capaci di reinventare il proprio prodotto all'evolversi delle tecnologie, passando dalla meccanica, alla mecatronica, alle prime generazioni di prodotti connessi. I nostri prodotti sono già oggi dei sistemi complessi che combinano un *design* eccellente a delle *performance* tecniche di primo ordine, ottenute con *hardware*, sensori, microprocessori, memoria e *software* locale e (più di recente) capacità di connettersi alla rete. Più forte però del cambiamento che avviene nel prodotto è il cambiamento che avviene

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

negli strati tecnologici sovrastanti, ovvero il “*product cloud*” che contiene il *database* dei dati del prodotto, la piattaforma per la creazione di applicazioni *software*, il motore di regole e le applicazioni di analisi e raccomandazione basate sui dati raccolti dai prodotti intelligenti. Trasversalmente al prodotto ed al suo *cloud*, vi è inoltre una struttura di gestione delle identità e della sicurezza informatica, un *gateway* per l'accesso ai dati esterni e strumenti che collegano i dati dei prodotti ad altri sistemi aziendali (ad esempio, sistemi ERP e CRM).

Lavorando opportunamente su queste tecnologie, l'impresa può raccogliere i dati provenienti dal campo, utilizzarli per migliorare alcune scelte interne (es. *design* della successiva generazione di prodotto), offrire servizi personalizzati, oppure estendere le proprie opportunità a *business* laterali. I dati raccolti dai prodotti intelligenti e connessi aprono nuove scelte relative al modo in cui il valore viene creato, come vengono ridefiniti i rapporti con i *partner* commerciali tradizionali e quale ruolo le aziende dovrebbero svolgere man mano che i confini del *business* si espandono. Diventa sempre più evidente, inoltre, che i consumatori stanno spostando la loro attenzione dai semplici prodotti a bisogni più ampi e destrutturati (es. dall'auto alla mobilità) ed in questo cambiamento lo sfruttamento del patrimonio di informazioni intercettate nell'utilizzo del prodotto, per comprendere il reale bisogno, è essenziale.

### 3.11.2 Smart & Connected Innovation

I concetti e le tematiche relativi all'Industria 4.0 non rivoluzionano soltanto il modo di produrre e gestire le fabbriche, ma possono avere un forte impatto anche sul modo di progettare i prodotti e i servizi. All'interno della quarta rivoluzione industriale possiamo anche parlare di "rivoluzione progettuale", visto che alcuni elementi peculiari dell'Industria 4.0 possono guidare verso un nuovo modo di impostare e sviluppare la progettazione.

Ripercorriamo il percorso storico delle rivoluzioni avvenute all'interno del mondo della progettazione:

- La prima evoluzione, risalente agli anni '70, ha trasformato la progettazione da "progettazione su carta" a "progettazione digitale". Questa rivoluzione, durata all'incirca 25 anni, ha permesso ai progettisti di abbandonare fogli e squadre per lavorare con calcolatori e *personal computer*, e questi ultimi nel corso degli anni, hanno subito modifiche sostanziali. L'aumento continuo della potenza di calcolo ha aumentato parimenti la possibilità di sviluppare la progettazione. Lungo questo periodo, i primi *software* di "progettazione digitale", i CAD 2D sono stati sostituiti dai nuovi CAD 3D. La "prima rivoluzione progettuale" ha riguardato quindi la digitalizzazione dei disegni e dei modelli.
- La seconda evoluzione, avvenuta a metà degli anni '90, ha introdotto la possibilità di sfruttare nuove funzionalità collegate alla digitalizzazione dei modelli. I progettisti non solo possono progettare in tre dimensioni, ma possono anche realizzare prototipi virtuali che vengono testati in ambienti virtuali. In questo periodo nasce una varietà di *software*, come il *Computer Aided Manufacturing* e il *Computer Aided Engineering*.
- Possiamo poi rintracciare una terza evoluzione della progettazione, che avviene all'inizio del nuovo millennio,

- e che porta con sé il concetto di realtà virtuale. Con la VR, si è divenuti in grado di simulare in modo “realistico la realtà”, aumentano il grado di iterazione tra progettisti e sistemi. In un certo qual modo, si è iniziato a digitalizzare non solo disegni e modelli, ma intere porzioni di conoscenza.
- Nella quarta evoluzione – che per qualcuno è una vera e propria rivoluzione – la digitalizzazione progettuale si è estesa allo stesso oggetto fisico, trasformatosi in un elemento connesso e potenzialmente intelligente. L’uso combinato di IoT, *cloud*, *Data Analytics* sta creando un vero e proprio nuovo spazio per la progettazione e l’innovazione, che si trova ad essere costantemente alimentata da dati e informazione provenienti direttamente dal campo (ad esempio riguardanti i profili di consumo di un bene, o anche alcune prestazioni progettuali, come l’affidabilità e la disponibilità di un sistema).

Questa ulteriore evoluzione digitale, ultra-connessa, è oggi in grado di influenzare e cambiare radicalmente il modo stesso di innovare e di progettare prodotti e sistemi, creando un’innovazione più intelligente (*Smart Innovation*). Per sfruttare appieno le tecnologie offerte dal paradigma dell’Industria 4.0, bisogna concentrarsi non solo sulla progettazione del prodotto (la parte *hardware*), ma anche sulla progettazione della tecnologia da integrare nel prodotto, che abilita la collezione e la raccolta di dati dal campo. Nella progettazione tecnologica è anche rilevante scegliere lo strumento di comunicazione fra i diversi componenti e prodotti. Una parte fondamentale è la scelta del *software* da utilizzare per la gestione dei dati e delle informazioni raccolte, in modo da garantire che esse siano utilizzabili in modo efficace ed efficiente, sia da parte dei progettisti, sia da parte dei consumatori. L’accesso a dati reali, ottenuti nella fase di utilizzo del prodotto, permette ai progettisti di monitorare e quindi di conoscere i prodotti durante la fase in cui essi vengono utilizzati, favorendo



così una migliore comprensione dei bisogni dei consumatori e di come si possa migliorare il soddisfacimento delle loro necessità. I dati possono essere utilizzati per le future progettazioni, in modo da migliorare i futuri prodotti, non solo tramite la conoscenza sviluppata in fase di progettazione, ma anche grazie alla “conoscenza” generata dai dati provenienti dall’utilizzo del prodotto. Questi dati permettono anche un intervento più efficace ed efficiente nel caso in cui, dall’uso dei prodotti, vengano notati errori nella progettazione, resi più facilmente individuabili e risolvibili.

All’interno di questa panoramica risulta chiaro come le informazioni e i dati diventino via via sempre più importanti per una migliore (in termini di efficienza ed efficacia) progettazione. Fondamentale diventa pertanto la loro gestione, affinché essi siano resi disponibili, cioè leggibili nel modo più semplice e veloce possibile dai progettisti. Le aziende devono quindi investire in sistemi che permettano l’immagazzinamento e il trattamento dei dati e delle informazioni in un unico sistema. Il mercato normalmente identifica tali sistemi con il termine olistico di sistemi di *Product Lifecycle Management* (PLM), la cui diffusione risulta ancora contenuta, soprattutto nelle PMI nazionali. Ad oggi, tali sistemi sono in grado di gestire le informazioni riguardanti la progettazione, l’ingegnerizzazione e la produzione di un prodotto, mentre non sono ancora pienamente utilizzati per la gestione delle fasi di vita successive del prodotto. Grazie all’applicazione della connettività IoT, tali sistemi possono finalmente evolvere e divenire dei veri sistemi a supporto di una coordinata gestione del processo di innovazione. Questo passaggio tecnologico – che sta man mano avvenendo nei fornitori – permetterà di abilitare un nuovo modo di progettare e di fare innovazione, basato sul costante *feeding* di dati e informazioni e su un migliore accumulo e gestione della conoscenza aziendale. Una migliore e più intelligente innovazione, connessa con i propri risultati – *Smart & Connected Innovation* – sarà quindi possibile.

### 3.11.3 Data Driven Factory

Lo sviluppo delle tecnologie nel campo dell'informatica e il contemporaneo aumento delle prestazioni di dispositivi elettronici di piccolissime dimensioni ed a basso consumo, in grado di raccogliere, elaborare e trasmettere informazioni a costi sempre più bassi, prefigura un incremento vertiginoso della quantità di dati (non necessariamente informazioni) che in moltissimi domini – tra cui sicuramente quello industriale – porterà ad un radicale cambiamento nei modelli di gestione dei processi. Alcune previsioni anticipano che per l'anno 2021 saranno presenti su scala globale 25 miliardi di dispositivi permanente connessi ad Internet in grado di raccogliere e trasmettere stabilmente informazioni. Questa quantità di dati richiederà capacità elaborative e di immagazzinamento che porteranno nei prossimi 20 anni a far sì che il consumo elettrico per i *Data Center* passerà dal 2% di oggi al 20% sul totale nel 2040. I dati raccolti conterranno uno spettro tale di informazioni da rendere il loro sfruttamento uno degli aspetti più sensibili per la stabilità sociale e politica del pianeta<sup>6</sup>.

Le principali tecnologie abilitanti questa linea di tendenza fanno riferimento all'IOT, all'AI e al *Machine Learning* (ML), gestione flussi multimediali – tra cui spicca *Augmented and Virtual Reality* (AR/VR), sostenute da tecnologie di infrastruttura informatica sempre più performanti per la elaborazione (HPC, *High Performance Computing*) – trasmissione (*Software Defined Networks*) e *storage*. Tutte queste tecnologie sono sempre più disponibili su dispositivi sempre più piccoli, potenti ed a basso consumo. Tali dispositivi sono inoltre provvisti di ambienti applicativi che conferiscono loro la capacità di prendere decisioni autonome

<sup>6</sup> – A questo proposito nel G20 del Giugno 2019 ad Osaka il Primo Ministro Giapponese Shinzo Abe ha lanciato il DFFT (*Data Free Flow with Trust*) con l'intento di sensibilizzare le massime autorità mondiali alla gestione dei flussi informativi.

e collaborative senza dover necessariamente dipendere da entità gerarchicamente superiori <sup>7</sup>.

Le ripercussioni di quanto descritto vanno già ora ben al di là di un semplice ambito tecnologico, ma impattano anche i processi operativi ed i modelli di *business* nel campo industriale. Basti pensare come già oggi in molti settori il valore del bene venduto si sia spostando dall'aspetto materiale tangibile al servizio che il cliente riceve, spostando quindi il baricentro della catena dal produttore (la fabbrica) al fornitore di servizio. In questo processo trasformativo, l'informazione assume un valore chiave nel definire le relative relazioni di forza. I modelli produttivi si stanno spostando da un approccio *Material Driven* che ha sostenuto le metodologie di pianificazione tipiche della tarda seconda rivoluzione industriale, tramite lo sviluppo di soluzioni come l'MRP (*Material Requirement Planning*) con una relazione lineare rispetto a fabbisogni stimati, verso uno stadio intermedio che si è affermato con la automazione della fabbrica. In questa fase, la gestione dei processi è stata *Event Driven* (i sensori riportavano eventi che perturbavano il flusso del processo e questi venivano gestiti da metodiche definite a priori secondo uno schema rigido). Con lo sviluppo del paradigma Industria 4.0, la gestione del processo produttivo si è estesa sia all'interno della fabbrica che al di fuori (idealmente lungo il Ciclo di Vita del prodotto) e richiede di considerare molti più dati, su di un orizzonte più ampio, potremmo quindi dire con un approccio integrativo. A sostegno di questa visione, si sta affermando il citato concetto *Digital Twin* (cfr. par. 3.2.1), che è stato istanziato in maniera diversificata ed a secondo dei domini di riferimento.

7 – Tutto ciò senza contare che si stanno già affacciando all'uso industriale altre tecnologie che si annunciano dirompenti, quali le Nano tecnologie, le Bio-Nano tecnologie e l'informatica quantistica.

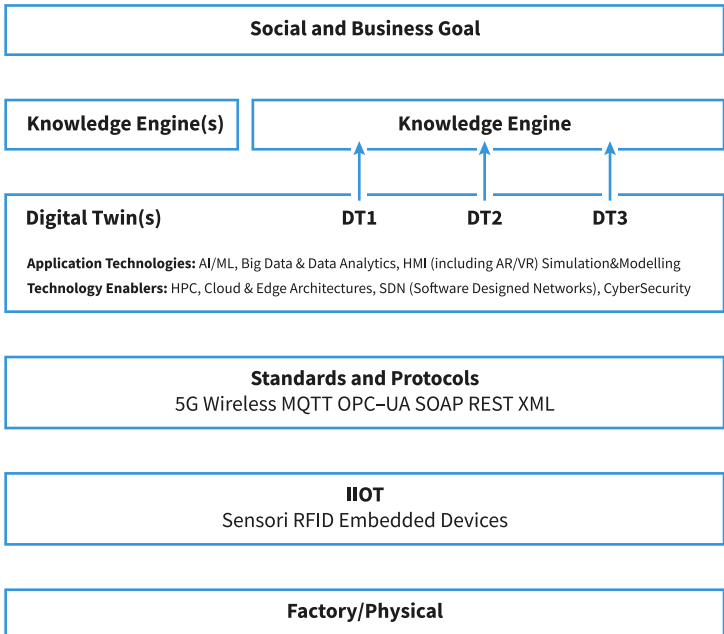
### 3.11.3.1 Dal Digital Twin al Knowledge Engine

L'aumento della complessità degli scenari industriali e di *business* richiede di rendere le basi informative delle aziende permeabili a tipologie di influenze (sorgenti informative, impatti socio-culturali, vincoli normativi, etc.) che vanno oltre le classiche dinamiche della produzione. Basti pensare alla pressione competitiva su scala globale che si manifesta non solo su aspetti ingegneristici, ma include modelli organizzativi e di *business*; allo stesso modo la gestione delle aspettative del mercato e dei clienti, richiede l'interpretazione di esigenze e la loro mappatura sui processi produttivi e di vendita estremamente complessi. Anche all'interno del perimetro aziendale le relazioni tra funzioni e con le maestranze non sono più strutturabili secondo paradigmi precostituiti. Va inoltre rimarcato che tutte queste fattispecie hanno dinamiche con cicli caratteristici sempre più brevi che poco si conciliano con una visione statica e settoriale della realtà.

Sempre più frequentemente la soluzione delle sfide si deve cercare in approcci multidisciplinari distanti dal tradizionale mondo industriale, ad esempio nel campo dell'intelligenza cognitiva, la sociologia, l'economia, la psicologia, il *design*, l'evoluzione della tecnologia produttiva ed il progresso delle tecnologie informatiche. Sempre più spesso gli obiettivi strettamente industriali ed economici si devono conciliare con aspetti quali *Smart Living/Working* (l'impatto sulla vita delle persone), *Human/Robot interaction* in ottica collaborativa, relazione con l'ambiente e l'ecosistema specifico in cui si colloca l'azienda incluso il tessuto urbano, le caratteristiche degli ambienti e l'ergonomia.

L'approccio che ha portato quindi allo sviluppo del *Digital Twin* si arricchisce ulteriormente sulla base dei contributi e correlazioni con realtà non strettamente provenienti dal particolare processo produttivo, muovendosi verso un nuovo concetto che definiamo *Knowledge Engine* (Figura 3.1).

→ **Figura 3.1 – Dal Digital Twin al Knowledge Engine**



### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

Rispetto al *Digital Twin* possiamo dire che la qualità delle informazioni ottenute è maggiore di quella dei contributi ricevuti, per esempio vengono eliminate le componenti non significative, ripetitive o spurie e l'informazione risulta quindi più concentrata e fruibile. Il *Digital Twin* descrive comunque in maniera semanticamente ricca e consistente una realtà fisica specifica. Il *Knowledge Engine* invece, aggregando sorgenti eterogenee e facendo leva su competenze diversificate crea una rappresentazione estesa della realtà, in questo cogliendo possibili aspetti altrimenti non evidenziabili. Possiamo anche dire che nel *Knowledge Engine* l'interazione delle varie sorgenti consente di ottenere una quantità di informazioni maggiore della somma dei singoli componenti. Da un punto di vista tecnologico anche il *Knowledge Engine* fa leva sulle moderne tecnologie quali AI e *Data Analytics*, appoggiandosi su dati acquisiti tramite gli abilitatori tecnologici.

Una visione più estesa della base informativa facilita la sua mappatura su aspettative prestazionali che trascendono la tradizionale misurazione tramite indicatori di prestazione settoriali, ma ne consentono la valutazione su spettri più ampi che indirizzano le tematiche della sostenibilità non solo economica, ma anche sociale e ambientale. Ecco quindi che scenari complessi potrebbero essere più facilmente approcciati, avendo la possibilità di correlare domini eterogenei. In generale, possiamo pensare alle implicazioni che hanno sui processi produttivi la struttura e le competenze della forza lavoro, l'impatto delle scelte ingegneristiche di progettazione sull'ambiente invece che sull'esperienza dell'utente nell'utilizzo del prodotto, la valutazione dei parametri prestazionali del processo o del prodotto sulla base dell'attitudine da parte dell'operatore o dell'utilizzatore, e così via.

Vanno inoltre considerate le possibilità di individuare potenziali aree di sinergia nell'adozione di modelli di *business* in domini diversi; tramite metamodelli individuati all'interno del *Knowledge Engine* si può pensare di applicare un modello di *business*

in un altro dominio (*Service Injection Loop*). Allo stesso modo si potranno implementare modelli di *business* non presidiati (senza intermediari) per la transazione di beni materiali ed immateriali sfruttando le opportunità individuate dal *Knowledge Engine* e con il supporto del *Distributed Ledger Technologies* (anche chiamate *blockchain*). Tra questi ultimi si può immaginare di fornire (una parte) del *Knowledge Engine* come servizio con una logica *pay-per-use* in ottica di *Knowledge Market Place*.

In ambito più strettamente industriale, alcune applicazioni del *Knowledge Engine* potrebbero portare a significativi vantaggi da un punto di vista di efficienza, rapidità e qualità. Pensiamo infatti ad uno scenario in cui si voglia rendere più efficiente un impianto esistente, intervenendo sulle politiche di manutenzione ed al contempo valutare l'inserimento di nuovi macchinari. La valutazione delle prestazioni e delle caratteristiche operative di macchine simili o utilizzate in contesti simili potrebbe dare informazioni significative al miglioramento del processo. La valutazione del degrado e del guasto richiede la disponibilità di serie di dati non facile da ottenere su un impianto operativo, ma può essere ricavata per inferenza da impianti simili e su quella base comparare le strategie di manutenzione. La relazione causa effetto non è sempre facilmente individuabile all'interno di ogni specifico dominio, ma la comparazione con domini industriali anche diversi può fornire utili indicazioni. Un problema spesso equivalente alla scarsità di dati è la loro eccessiva (non significativa) proliferazione. Le metodiche di filtraggio e correlazione in domini diversi possono aiutare a cogliere i segnali significativi. La componente umana (operatore o utente) può fornire utili indicazioni alla comprensione o al miglioramento del prodotto o del processo. Non è così facile ed immediato raccogliere queste informazioni con il livello di accuratezza e significatività necessario. L'attribuzione di un valore informativo (semantico ad un dato) non è sempre evidente in un dominio specifico, mentre può esserlo per analogia in altri domini.

Le aziende sono chiamate oggi a operare in un ambiente caratterizzato da una forte pressione competitiva e tempi di reazione richiesti estremamente ridotti in un ecosistema complesso. L'atteggiamento non può quindi essere semplicemente reattivo a dinamiche esogene non sempre facilmente intellegibili. Da qui la sfida di dotarsi della capacità di anticipare le problematiche al fine di anticipare le soluzioni. Questo obiettivo oggettivamente complesso può essere aiutato nella soluzione dalle tecnologie disponibili per il totale monitoraggio e controllo del sistema produttivo in senso lato. In questo senso il *Digital Twin* nei suoi vari stadi di implementazione fornisce la base per poter avere la completa cognizione del sistema e poter prendere decisioni informate. Il passo successivo è l'allargamento della prospettiva cogliendo gli aspetti innovativi da ambienti diversi ma correlati, guidati nella loro interpretazione ancora una volta da tecnologie specifiche, ma anche da uno sforzo culturale per immaginare soluzioni che vadano oltre il processo materiale di fabbricazione.

#### 3.11.4 Lean 4.0

*Lean* è il termine con cui i ricercatori del MIT, Jim Womack e Daniel Jones, hanno sinteticamente definito il Toyota Production System a metà degli anni '80. Da ricercatori, studiando le aziende del settore automotive, essi scoprirono il rivoluzionario sistema di produzione di Toyota grazie al quale la casa giapponese produceva di più, con una qualità migliore, utilizzando meno ore di manodopera, meno materiali, meno spazio, meno scorte e meno denaro (da qui il termine "*Lean*", snello, fatto con meno). La *Lean* non era solo un sistema più efficiente di quello delle altre aziende, bensì era un sistema completamente diverso. Una vera rivoluzione organizzativa, pari a quella realizzata da Henry Ford con la produzione di massa all'inizio del secolo scorso.



I principi del Toyota Production System sono così profondamente diversi e così potenti che si sono estesi dal sistema produttivo a tutta la *supply chain*, inclusi fornitori e clienti, e all'azienda nella sua interezza. Il Toyota Production System si è di fatto trasformato in un più ampio *Thinking People System* (TPS), cioè un sistema in cui il personale dell'azienda contribuisce con idee e azioni non solo al funzionamento dell'azienda ma anche, e soprattutto, al suo miglioramento, aumentando la propria soddisfazione professionale. Il TPS non solo rivoluziona il modello operativo di un'azienda, i suoi processi e il loro funzionamento, ma anche il ruolo delle persone che, a tutti i livelli, diventano l'anima propulsiva dell'azienda. L'esperienza empirica, anche italiana, ha dimostrato che il TPS può essere applicato con successo anche fuori da Toyota e dal comparto automotive. Come studiato dal Lean Excellence Center del Politecnico di Milano, anche in Italia esistono imprese che hanno ottenuto importanti miglioramenti nelle prestazioni operative facendo propri i principi del TPS, in numerosi settori industriali. Nelle più recenti ricerche del Politecnico, si è potuto constatare come spesso le aziende che per prime hanno investito in *Lean*, hanno poi anche investito in tecnologie digitali per ottenere ulteriori recuperi di efficienza. Il TPS è certamente uno dei prerequisiti per ottenere il massimo dagli investimenti digitali dell'era 4.0. Definiamo la combinata presenza di Lean Management e tecnologie digitali come "Lean 4.0".

L'Industria 4.0 può supportare e favorire la *Lean* digitalizzando alcune delle sue tecniche, rendendole così più facili da implementare e, rendendo agevole il loro utilizzo anche da parte di persone che sono fisicamente distanti fra loro. Possiamo suddividere le tecniche *lean* in (i) tecniche di analisi e ricerca delle cause dei problemi, e (ii) tecniche di miglioramento.

Fra le tecniche di analisi possiamo ricordare *Fishbone Diagram* (per la ricerca delle cause di un problema), il diagramma di Pareto (per la loro prioritizzazione), l'analisi di correlazione, l'analisi di *cluster*. La digitalizzazione permette una più semplice rac-

colta delle informazioni e una più rapida elaborazione, facilitando l'attività degli operatori e quindi aumentandone la capacità di miglioramento e innovazione. Oggi, tantissime informazioni sono raccolte dalle varie macchine e dai loro sensori, ma non risultano opportunamente strutturate, né è impostato alcuno strumento di analisi, rendendo lungo e faticoso il processo di ricerca delle cause dei problemi. Lean 4.0 riguarda, quindi, la strutturazione della raccolta delle informazioni in modo da renderle più facilmente fruibile nella ricerca delle cause dei problemi. Ad esempio, molte macchine hanno un sistema di registrazione delle fermate alle quali può essere associata una causale; grazie all'IoT, è oggi possibile avere a disposizione degli strumenti di monitoraggio, raccolta e analisi dei dati di macchina, tramite cui visualizzare, ad esempio, le fermate del periodo corrente e confrontarle con quelle del periodo precedente per identificare se ci sono stati miglioramenti o peggioramenti, ma anche cercare delle correlazioni con altri fattori (es. tipologia lavorazione, materiale utilizzato, ecc.) per capire come ridurle, ecc. Anche gli sviluppi più avanzati della digitalizzazione, quale l'Intelligenza Artificiale, bene si adattano al supporto del personale dell'azienda nella fase di analisi, in quanto capaci di trattare un grande volume di dati e renderli fruibili in modo più semplice all'operatore.

L'altro insieme di tecniche *Lean* riguarda il miglioramento, e fra questo possiamo citare le 5S, la SMED, il *Value Stream Mapping* (VSM), il Kanban, l'Obeya Room. Fare Lean 4.0 con queste tecniche significa avere la possibilità di condividere con persone che sono fisicamente distanti e farle partecipare al miglioramento. Così l'Obeya Room può essere digitalizzata e quindi resa accessibile e modificabile da persone in qualsiasi parte del mondo. O ancora, il Kanban elettronico permette di implementare il sistema Kanban con fornitori fisicamente distanti mandando loro un segnale che li raggiunge in tempo zero. In questo, Lean 4.0 permette quindi una più facile ed estesa implementazione delle tecniche della *lean*, ottenendone i benefici più rapidamente e in modo più esteso.

Oltre a questo, ci piace come ultimo passaggio di questo paragrafo, far osservare come fare Lean 4.0 voglia dire anche fare investimenti digitali guidati dai principi *lean*, che siano cioè basati una linearizzazione dei flussi, una drastica riduzione dei tempi, dei meccanismi di coordinamento ad approccio pull, un miglioramento continuo e progressivo, ecc. Esiste cioè un modo *lean* di gestire la transizione digitale di un'azienda, che può portare un miglioramento alla volta, le imprese nell'era dell'Industria 4.0. Anche questa è un'indicazione che va sotto il più estensivo scenario di Lean 4.0.

### 3.11.5 Logistica 4.0

La Logistica 4.0 è l'applicazione al mondo della *supply chain* dei paradigmi dell'Industria 4.0. Può far riferimento ai magazzini (siano essi di fabbrica o di distribuzione) o ai sistemi di trasporto. Nel primo caso si traduce in nuovi sistemi di stoccaggio e movimentazione caratterizzati da un livello di sviluppo variabile lungo tre assi:

- Il primo asse indica il grado di Automazione fisica del sistema: le soluzioni di Logistica 4.0 non includono soltanto macchine completamente automatiche, ma anche sistemi in cui le attività vengono svolte, parzialmente o totalmente, in modo manuale. Ai fini di una classificazione delle soluzioni impiegate si può considerare che l'asse possa assumere tre diversi valori, corrispondenti ad un'automazione fisica *full*, ibrida o assente. Un esempio di soluzione con automazione *full* è costituito da carrelli completamente automatici, con sistemi di navigazione sempre meno vincolati. In particolare, i sistemi più recenti si basano su guida inerziale o navigazione naturale. Nel primo caso, il carrello rileva la propria posizione leg-

gendo *marker* magnetici o digitali (*QR code*) posti sul pavimento ed è in grado di spostarsi in modo autonomo tra un *marker* e l'altro. Nel secondo caso, in fase di installazione il carrello effettua automaticamente una scansione laser del magazzino e crea un profilo 2D dell'ambiente; successivamente, il carrello è in grado di rilevare la propria posizione senza l'ausilio di riflettori o altri dispositivi esterni.

- Il secondo asse (connessione) fa riferimento alla capacità di un oggetto o di una macchina di raccogliere e trasmettere dati: si passa da sistemi con oggetti non connessi, in cui i dati vengono acquisiti in modo manuale o con lettura *barcode*, a soluzioni in cui oggetti *smart* sono in grado di rilevare ed immagazzinare dati mediante sensoristica e *tag* RFID, fino ad arrivare a contesti in cui i sistemi di movimentazione, stoccaggio e trasporto possono anche inviare e ricevere informazioni strutturate, stabilendo una comunicazione tra risorse. Un esempio di sistema in cui la connessione è basata su comunicazione da oggetti è l'installazione di sensori a bordo di carrelli manuali o automatici che rilevano dati e li inviano al sistema informatico tramite una connessione di rete o *bluetooth*. I dati possono essere relativi a: stato di funzionamento del carrello, velocità, carica della batteria / consumo energetico, posizione del carrello all'interno del magazzino. Tale sensoristica può essere integrata con soluzioni di realtà aumentata per guidare le missioni degli operatori.
- La disponibilità di informazioni a livello decentralizzato rende possibile un aumento del grado di autonomia decisionale delle macchine, misurato dal terzo asse (Processo decisionale). Se tradizionalmente le decisioni vengono prese in modo centralizzato, talvolta con l'ausilio di sistemi *software* quali WMS (*Warehouse Management System*) o MES (*Manufacturing Execution System*), le soluzioni 4.0 possono portare ad un processo decisionale

parzialmente decentralizzato, in cui le macchine si auto-configurano, soprattutto in situazioni *standard*, senza l'intervento di agenti esterni, o completamente decentralizzato; in quest'ultimo caso, le macchine hanno ampia autonomia decisionale, sono in grado di interpretare il contesto e decidere azioni appropriate (*swarm logistics*). È il caso ad esempio di una Connessione basata su comunicazione tra risorse e Processo decisionale parzialmente decentralizzato: rulliere e macchine utensili comunicano direttamente con gli AGV (*Automated Guided Vehicle*) che, in alcuni casi, sono in grado di evadere gli ordini e definire le priorità in modo autonomo, senza l'intervento di un uomo o di un *software* centralizzato. Oppure di sistemi con automazione *full*, connessione basata su comunicazione tra risorse e processo decisionale decentralizzato, quali carrelli o *shuttle* che si muovono in modo autonomo all'interno del magazzino (navigazione naturale), sono in grado di rilevare ed aggirare ostacoli e comunicano tra loro per gestire le precedenza ed assegnare gli ordini.

I principali benefici attesi della Logistica di magazzino 4.0 non si limitano al solo aumento della produttività, ma includono anche un miglioramento della sicurezza, della visibilità sui processi e della tracciabilità dei prodotti. Per ottenere questi risultati è importante indirizzarsi verso un ampio spettro di soluzioni: se infatti l'aumento della produttività può essere ottenuto mediante l'automazione, parziale o totale, di alcuni processi – è il caso, ad esempio, dei carrelli ad automazione ibrida o *full*, o degli *Smart Warehouse*, ossia sistema con Automazione *full* e Connessione basata su comunicazione tra risorse, costituiti da magazzini automatizzati che uniscono alla funzione di stoccaggio soluzioni di movimentazione e rilevamento peso-volume, con sensoristica che rileva i dati in *real-time* e li invia al sistema informativo – il miglioramento della sicurezza può derivare dalla comunicazione

### Parte 3 – Le Tecnologie 4.0 e i loro scenari applicativi

tra risorse e da un processo decisionale parzialmente decentrato, con l'introduzione di sistemi di segnalazione di ostacoli e frenata automatica; infine, l'incremento di tracciabilità e visibilità può essere ottenuto grazie ad oggetti *smart* come sensori e *beacon* che rilevano dati e li inviano al sistema informativo.

Le prime soluzioni di Logistica 4.0 relative ai magazzini sono già state implementate negli ultimi anni. Più di recente, anche il mondo della logistica dei trasporti è stato interessato da questa trasformazione, con lo sviluppo di nuove soluzioni 4.0 integrate. Nella maggior parte dei casi, queste tecnologie sono state introdotte a supporto di un singolo processo, senza considerare possibili sinergie derivanti dalla connessione con altri sistemi. È evidente che al di là dei vantaggi legati all'installazione di singole soluzioni, l'interconnessione tra diverse soluzioni di Logistica 4.0 può abilitare l'integrazione tra le aree del magazzino e i nodi della *supply chain*. Più in dettaglio, la comunicazione automatica tra sistemi informativi, macchine ed oggetti *smart* può portare ad una migliore pianificazione e gestione delle attività di ricevimento merci e stoccaggio, grazie all'integrazione tra fabbriche e magazzini, e delle attività di allestimento ordini e spedizioni, mediante l'interconnessione tra magazzini centrali, magazzini periferici e mezzi di trasporto. Ad esempio, esistono contesti in cui le attività di preparazione degli ordini in magazzino sono lanciate in automatico dal sistema gestionale di magazzino sulla base di *alert* ricevuti da sistemi GPS a bordo dei mezzi di trasporto; in altri casi, lettori ottici posti in corrispondenza dei varchi di accesso al piazzale del magazzino sono in grado di leggere in automatico la targa dei mezzi in ingresso e comunicarla al sistema informativo che, dopo aver verificato lo stato di avanzamento degli ordini, procede all'assegnazione di una baia di carico o di uno *slot* all'interno del parcheggio, comunicata all'autista tramite applicazione sullo *smartphone*. Le soluzioni di Logistica integrata 4.0 per il trasporto possono essere descritte utilizzando 4 livelli, tra di loro interconnessi:

- *Physical System*, che rappresenta l'oggetto a cui può venire applicata la soluzione di Logistica 4.0 per il trasporto (principalmente dal mezzo di trasporto o dal piazzale del nodo di origine o di destinazione visitato durante le attività di carico/scarico merce).
- *Data Acquisition*, che comprende le tecnologie utilizzate per raccogliere i dati generati dal sistema fisico (ad esempio *logistics app*, *telematic box*, sensoristica a bordo mezzi, sistemi GPS, telecamere per il *data catching*).
- *Data Transmission*, che fa riferimento alle soluzioni che permettono la trasmissione dei dati raccolti a scopo di condivisione o di ulteriore elaborazione.
- *Data Processing*, quarto e ultimo livello che riguarda la trasformazione del dato in informazione e il suo utilizzo a scopo decisionale.

L'implementazione di soluzioni di Logistica 4.0 per il trasporto è più complessa della Logistica 4.0 per il solo magazzino, data l'eterogeneità del mondo dell'autotrasporto (diverse tipologie di mezzi, punti di origine e destinazione, oltre che servizi di trasporto). I benefici riguardano non solo l'attività di trasporto in sé, ma l'intera filiera. Con una Logistica 4.0 integrata sarà ad esempio possibile sviluppare algoritmi di IA (Intelligenza Artificiale) sempre più precisi per il calcolo del tempo previsto di arrivo dei mezzi in consegna ai magazzini di fabbrica. Grazie a queste informazioni, sarà possibile ottimizzare l'organizzazione della produzione, sincronizzando le attività di assemblaggio con l'arrivo della merce, spingendo al massimo la logica *just-in-time*.

### 3.11.6 Manutenzione 4.0

Manutenzione 4.0, riconosciuta anche con il termine di *Smart Maintenance*, è il più delle volte intesa con un’accezione tecnica e tecnologica che enfatizza gli sviluppi della manutenzione predittiva. Tale accezione può essere interpretata come evoluzione di una disciplina sviluppata nel corso degli anni grazie alle tecniche di misura e di analisi diagnostica dei segnali premonitori del guasto. Oggigiorno, grazie alla pervasività della misura, ai sensori a più basso costo, all’esposizione dei dati misurati dal campo nell’architettura IoT, alle tecnologie di *cloud computing* e, ultimo ma non meno importante, all’impiego di tecniche di *Data Analytics* mutuata dagli ambiti più opportuni (la statistica, l’*Artificial Intelligence*), la capacità di predizione è potenziata. È cioè possibile effettuare, come estensione dell’automazione industriale pre-esistente, il monitoraggio delle condizioni di funzionamento delle macchine / impianti, a beneficio dello sviluppo di programmi di manutenzione su condizione e manutenzione predittiva (*Condition Based Maintenance, Predictive Maintenance*).

Con la manutenzione predittiva si può pensare di realizzare le promesse, già prospettate nel passato, di capacità avanzate per la prognostica di macchina / impianto, consistente nella previsione della cosiddetta vita residua rimanente (*Remaining Useful Life, RUL*) e, possibilmente, anche della probabilità di guasto (*Probability of Failure, PoF*), calcolate a partire dalle condizioni monitorate attuali della macchina / impianto *target*. A tal fine, è interessante osservare l’importanza dello sviluppo di modelli e algoritmi di *Data Analytics* capaci di sfruttare diversi tipi di dati per rappresentare sia lo stato di salute della macchina / impianto, sia le condizioni ambientali ed operative in cui la macchina / impianto lavora, per poter riconoscere i carichi (meccanici, termici, ecc.) e, quindi, i meccanismi che determinano l’avanzamento del processo di degrado. Così, unitamente all’uso delle tecniche “tradizionali” di misura e diagnostica industriale nel sistema di



Manutenzione 4.0 (analisi delle vibrazioni, analisi termografica, analisi degli olii, ecc. ...), si stanno sviluppando applicazioni che sempre più sfruttano, per il monitoraggio delle condizioni, i dati già nativi con l'automazione industriale (da fonti come sensori, PLC, CNC, SCADA, ecc.), oggi resi disponibili nell'architettura IoT. Inoltre, a fianco dei dati di monitoraggio non si possono dimenticare gli eventi registrati nei sistemi di gestione delle operazioni sul campo, a livello di reparto produttivo, particolarmente adatti per avere informazioni di dettaglio sulle modalità di produzione e su altre evidenze per quanto attiene alla manutenzione e alla qualità del processo, tutte informazioni utili per il *Data Analytics*, unitamente ai dati di monitoraggio.

La Manutenzione 4.0 non è però solo manutenzione predittiva. Globalmente, una delle caratteristiche che appare come ispiratrice per lo sviluppo della visione di lungo termine della Manutenzione 4.0 è il *Data Driven Decision Making*. Con le tecnologie dell'Industria 4.0 è promessa una trasformazione che porta da un processo decisionale che, tradizionalmente, è basato sull'esperienza e sulle raccomandazioni di esperto (es. il costruttore) ad un sistema che potenzia le capacità decisionali con le evidenze portate dai dati, attraverso informazioni "chiave" per definire i requisiti di manutenzione dei diversi macchinari / impianti. Tale concetto è naturalmente valido per la manutenzione predittiva, ma non solo, riguardando in maniera più estensiva la pianificazione della manutenzione che deve essere capace di sfruttare la *Data Analytics* in un quadro più integrato dei processi di gestione. Così, come prima naturale direzione di sviluppo dell'integrazione dei processi di gestione, è raccomandabile l'integrazione del programma di *Condition Based/Predictive Maintenance* con attività di pianificazione delle risorse (sia personale tecnico/specialistico, sia materiali di manutenzione), per poter garantire un'ottimizzazione orientata ad una maggiore produttività e profittabilità del *business* aziendale. In tal senso, spesso si sente parlare di manutenzione prescrittiva, termine recente e non ancora normato, che si ricollega alla capaci-

tà di sfruttare la capacità predittiva in un quadro di ottimizzazione delle attività operative e di manutenzione.

Al di là dei termini impiegati e delle relative definizioni, è evidente che, nel momento in cui sia disponibile la predizione del guasto, è noto un tempo medio di guasto, vale a dire una finestra temporale durante la quale organizzare opportunamente la programmazione degli interventi di manutenzione prima dell'occorrenza del guasto. È per questo che non si può considerare pienamente sfruttata la capacità predittiva se non si arriva a pensare ad altre ricadute in ambiti quali: (i) la gestione delle parti di ricambi, (ii) la programmazione del personale impiegato per gli interventi e, infine, anche (iii) l'ottimizzazione dei *trade-off* implicati dalle decisioni valorizzati in termini di prestazioni tecniche (es. tempo di non produzione) e di costi propri e indotti della manutenzione (es. costo dell'intervento in sé, costo della non produzione). Ragionando su direzioni di sviluppo di più lungo termine, si possono prospettare altre ricadute, con prospettiva certamente avanzata. Si pensi ad un processo di pianificazione integrata tra Produzione e Manutenzione, che sfrutta l'impiego delle informazioni dovute al monitoraggio delle condizioni e alla prognostica per una presa di decisione sul lancio dei piani di produzione che sia più consapevole dei rischi incombenti che sono collegati al degrado delle macchine/ impianti. Anche questa è una possibile ricaduta che deriva da un pensiero sistemico dei processi, certamente non di immediata fruibilità, ma con elevati benefici, quali la capacità di impiegare la migliore conoscenza del degrado dei diversi mezzi produttivi nelle scelte di gestione prese per il sistema.

L'integrazione dei processi gestionali passa anche attraverso soluzioni di digitalizzazione che nascono originariamente prima dell'Industria 4.0: un sistema di gestione di manutenzione computerizzato non è infatti ancora Manutenzione 4.0, tuttavia può trovare oggi piene ragioni di essere considerato un suo fondamento o, in altri termini, un prerequisito necessario. A tal riguardo, negli anni passati, si sono sviluppati sistemi CMMS (*Computerized Main-*

*tenance Management System*), moduli manutentivi parte integrante di sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), piuttosto che sistemi che coniugano sia la parte più operativa tipica dei CMMS sia la parte più manageriale in ottica *business*, i cosiddetti sistemi EAM (*Enterprise Asset Management*). Al di là dei termini prevalentemente portati dai fornitori sul mercato, è evidente una tendenza che è intrinsecamente presente nell'offerta di tali *software* gestionali: l'apertura all'integrazione e, in particolare, alla connettività e interoperabilità in un *network* di sistemi che comprenda anche l'architettura IoT, il *cloud computing* ed altri strumenti messi a disposizione dall'Industria 4.0. Così, grazie al supporto di una siffatta piattaforma d'integrazione a disposizione mediante diversi strumenti pre-Industria 4.0 e Industria 4.0, si può anche considerare l'utilizzo di dispositivi più o meno evoluti a supporto delle attività in mobilità sul campo da parte degli operatori. Si può quindi affermare che CMMS, ERP, EAM diventano un elemento centrale, fulcro dell'integrazione di diversi processi, alcuni dei quali delegati agli abilitatori tecnologici forniti con l'Industria 4.0.

Merita poi una particolare sottolineatura il ruolo che la Manutenzione 4.0 va assumendo per la centralità dell'operatore e l'importanza di un suo supporto avanzato. Da un lato, il potenziamento delle sue capacità di *decision making* con un approccio *data driven* è un'opzione concreta: i dati vengono infatti trasformati, con una maggiore automazione del processo, per essere fruibili come informazioni con il giusto livello cognitivo affinché l'operatore possa meglio controllare i processi e prendere le decisioni più opportune. Dall'altro lato, l'operatore è concretamente supportato dall'utilizzo di molteplici dispositivi che possono essere designati come *smart device*, comprendendo terminali mobili, quali *tablet*, palmari, *smartphone*, *smartwatch*, utili per facilitare la raccolta dati e la visualizzazione diffusa di informazioni aggregate e/o di istruzioni operative di dettaglio. Nella prospettiva di soluzioni più evolute si prospetta anche l'uso di interfacce *hardware* come visori e l'impiego di tecnologie *software* di *Augmen-*

*ted/Virtual Reality* sia per il supporto alla conduzione dell'intervento di manutenzione, sia per il *training*.

Complessivamente, gli *smart device* abilitano gli operatori sul campo ad un accesso istantaneo e ampio alle informazioni rilevanti per gli interventi manutentivi (come procedure, schemi di impianto, storico degli interventi sulla specifica macchina ed altro) e permettono il *reporting* degli interventi stessi al momento dell'esecuzione. La prospettiva di utilizzo di sistemi avanzati, basati sull'utilizzo di *Augmented/Virtual Reality*, riguarda soluzioni che sono ancora lontane da impieghi industrializzati su larga scala; ciò nondimeno, si prospettano già interessanti applicazioni. Un possibile caso d'uso, ad esempio, riguarda un operatore che svolge la diagnosi dello stato di funzionamento di una macchina, supportato dall'impiego dell'*Augmented Reality* per disporre in maniera semplice di una serie di informazioni reperite da altri sistemi, rilevanti alla diagnosi stessa, e visualizzate automaticamente dopo aver riconosciuto le diverse parti di macchina target della diagnosi. Questo esempio rende evidente che scenari avanzati di questa fattispecie sono da interpretare sempre nella direzione di integrazione dei processi gestionali e, quindi, dei flussi di informazioni ad essi associati. Alcuni prerequisiti sono perciò necessari, come l'esistenza di informazioni digitalizzate (es. disegni CAD degli impianti) e di sistemi di gestione adatti allo scopo, in modo che le stesse informazioni digitalizzate possano essere fruibili nell'interfaccia uomo-macchina avanzata.

Altre tendenze avanzate che possono essere interpretate nel quadro più ampio della gestione della Manutenzione nel ciclo di vita della gestione dell'asset industriale (*Asset Management*) non possono essere tralasciate in questa analisi. È in questo ambito che la valenza della Manutenzione 4.0 si allarga a funzionalità proprie della *Collaboration* all'interno di *network* di fornitori e dell'*Asset Lifecycle Management*, tanto da permettere di pensare ad un perimetro ben più ampio di azione e decisione rispetto alla produzione e alla manutenzione. Quando si pensa a processi colla-

borativi, la prospettiva di integrazione si allarga al coinvolgimento di *business partner* all'interno di un ecosistema di gestione delle risorse che, attraverso una piattaforma di collaborazione (basata su *cloud*), realizza diverse funzioni di gestione. Come caso d'uso, si può ad esempio pensare ad un costruttore o un fornitore di servizi avanzati che notifica il gestore di impianto con una serie di raccomandazioni da considerare per i piani di manutenzioni, piuttosto che con una *news* sul cambio di cataloghi dei materiali di manutenzione. Pensando nello spettro più ampio di attività di *Lifecycle Management* dell'*asset* industriale, le prospettive portano ad ulteriori potenzialità che derivano dalla gestione integrata dell'informazione lungo il ciclo di vita. In tale quadro, la *Data Analytics* avanzata può essere integrata con strumenti di *Asset Performance Management* e *Risk Management* che, da un lato, permettono una migliore integrazione della Ingegneria di Manutenzione nel ciclo di vita dell'*asset* con altre funzioni di Direzione tecnica e Progettazione degli impianti industriali, dall'altro permettono di supportare in una maniera più integrata, sulla base di analisi di *performance*, rischi e costi, anche la definizione delle strategie manutentive che, poi, diventano piani di manutenzione da implementare. Tra le capacità indotte da questa visione più allargata, supportata dalla digitalizzazione lungo il ciclo di vita, si può pensare a nuove opportunità per una più efficace pianificazione e monitoraggio del *Total Cost of Ownership* (TCO) degli impianti.

Complessivamente, è innegabile come la digitalizzazione permetta di pensare ad ambiti di gestione più ampi rispetto allo spazio di azione della manutenzione di per sé, quali la gestione tecnica ed economica degli *asset* industriali. Questa comprende sia la manutenzione sia la capacità di sviluppare un ecosistema di *business partner* e di funzioni di fabbrica a garanzia della gestione di informazioni e conoscenze utile per raggiungere i migliori risultati in termini di efficienza di produzione, quindi produttività, ed efficacia in termini di capacità produttiva e qualità richieste dal mercato, quindi profittabilità.

**Persone,  
Organizzazione,  
Competenze  
e Formazione  
nella Fabbrica  
del Futuro**

**4**

## 4.1 Tecnologie, lavoro e organizzazione

Come visto nei capitoli precedenti le Tecnologie 4.0 offrono grandi potenzialità di miglioramento ed innovazione per le aziende manifatturiere. Tali potenzialità non si limitano all'efficientamento, per quanto importante, dei processi attraverso tradizionali logiche di automazione, ma forniscono opportunità per un miglioramento sistemico dei processi industriali, fino ad arrivare ad un completo ripensamento del modello di *business* e dei prodotti dell'azienda. Se queste sono le potenzialità offerte dalla tecnologia, la possibilità di coglierle effettivamente passa attraverso una visione strategica che le imprese devono sviluppare rispetto agli obiettivi che si vogliono perseguire e il modello di produzione e di impresa che si vuole raggiungere in futuro.

Tale visione strategica si fonda molto spesso sulla *vision* e la *mission* dell'impresa e i valori che questa vuole perseguire. Tra i possibili obiettivi che un'impresa può perseguire attraverso l'introduzione di Tecnologie 4.0 possiamo individuare le seguenti dimensioni:

- Efficienza dei processi grazie alla possibile riduzione dei tempi di attraversamento, alla maggiore flessibilità al *mix*, alla riduzione dei costi, dei difetti, degli sprechi e delle rilavorazioni, al miglioramento dell'efficienza energetica.
- Miglioramento della flessibilità e della rapidità di risposta al cliente.
- Personalizzazione dei prodotti e introduzione di modelli di *mass customization*.
- Offerta di nuovi servizi o aumento del contenuto di servizio del prodotto.
- Miglioramento delle condizioni di lavoro attraverso la riduzione della fatica fisica, il miglioramento dell'ergonomia ma anche l'arricchimento dei ruoli e lo sviluppo di nuove competenze.

#### **Parte 4 – Persone, Organizzazione, Competenze e Formazione**

- Miglioramento della sicurezza sul lavoro e la riduzione degli incidenti.
- Miglioramento delle prestazioni ambientali, attraverso la riduzione dei consumi energetici, l’abilitazione di modelli di recupero e riutilizzo dei materiali e di gestione del fine vita dei prodotti, tipici del paradigma dell’economia circolare.

Complessivamente, le Tecnologie 4.0 abilitano modelli di produzione con enfasi anche molto diverse dal punto di vista degli obiettivi strategici, dalla ricerca di efficienza e produttività, al supporto all’innovazione e alla varietà o personalizzazione dei prodotti, alla sostenibilità ambientale, alla maggiore inclusività, soddisfazione e benessere dei lavoratori. Osserviamo in particolare che, a fianco di obiettivi di prestazione più tipicamente organizzativa, possono avere una certa importanza anche obiettivi di sostenibilità sociale del modello produttivo perseguito, sia in riferimento alle prestazioni verso i lavoratori – la qualità del lavoro, sia rispetto alle prestazioni rispetto alla comunità sociale in cui l’azienda si colloca e rispetto alla quale sempre più le imprese sono chiamate ad adottare condotte responsabili.

Per poter perseguire questo complesso insieme di obiettivi e visioni strategiche, i progetti di Tecnologia 4.0 devono adottare un approccio sistemico e di ampio respiro che includa, a fianco dell’innovazione tecnologica e al conseguente adeguamento dei processi produttivi, anche una profonda innovazione organizzativa che consenta di implementare i modelli organizzativi che più si adattano al nuovo contesto tecnologico. In alcuni casi, anche, è il modello organizzativo stesso, che è parte della visione strategica dell’azienda e che spesso discende dall’impronta di fondo che caratterizza l’azienda e il suo modo di operare, che in qualche modo determina le scelte tecnologiche stesse. Questa visione più ampia e olistica dei progetti 4.0 richiama il concetto che la fabbrica, o più in generale i processi operativi di un’impresa, sono un insieme di variabili tecnologiche, organizzative e sociali che interagiscono



strettamente tra loro, secondo una visione socio-tecnica dell'impresa e delle sue attività. Di conseguenza, anche la loro progettazione o innovazione richiede di agire contemporaneamente, in modo sinergico e congiunto su tutti questi aspetti al fine di poter raggiungere in modo pieno gli obiettivi.

Per questo motivo, oltre ad un'analisi dettagliata di quali sono le Tecnologie 4.0 – rappresentata nella Parte 3 di questo Libro Bianco – occorre passare in rassegna i cambiamenti nell'organizzazione e nelle variabili sociali legate al lavoro e alle competenze delle persone che devono essere attuati in corrispondenza dell'innovazione tecnologica. In particolare, le variabili fondamentali da considerare per comprendere appieno i cambiamenti organizzativi e al sistema sociale apportati o richiesti dalle nuove tecnologie riguardano:

- L'organizzazione del lavoro, in termini di disegno (o ridisegno) dei ruoli, delle responsabilità, del contenuto decisionale e cognitivo, dell'autonomia delle persone che lavorano nei processi operativi.
- La struttura organizzativa, in termini di progettazione (o riprogettazione) delle unità organizzative legate ai processi operativi e di trasformazione.
- Le competenze necessarie nel nuovo contesto tecnologico e organizzativo.

Un'ultima considerazione generale, che ci permette di completare il quadro dei temi trattati in questo Capitolo, riguarda gli approcci allo sviluppo e alla gestione di progetti 4.0. Se infatti le iniziative 4.0 devono essere sistemiche, risulta fondamentale che l'impostazione dei progetti sia olistica e multidisciplinare, per poter individuare fin da subito tutte le opportunità, ma anche le criticità, legate all'introduzione della nuova tecnologia e per dare concretezza fin da subito al nuovo modello produttivo che si vuole implementare. Tra gli aspetti fondamentali da includere in questa visione olistica del progetto vi sono proprio gli aspetti

#### **Parte 4 – Persone, Organizzazione, Competenze e Formazione**

organizzativi e le implicazioni sociali legati alle tecnologie. Si propone infatti un approccio ai progetti 4.0 che non si limiti a gestire le conseguenze organizzative e sociali dell'introduzione della tecnologia ma che invece utilizzi logiche di progettazione congiunta e di partecipazione al fine di massimizzare le potenzialità derivanti dall'utilizzo delle nuove tecnologie e di facilitare la gestione del cambiamento. Due aspetti specifici di progettazione a cui vale la pena porre particolare attenzione riguardano l'interfaccia uomo macchina e i percorsi di formazione necessari per sviluppare le nuove competenze. Nel prosieguo del Capitolo ciascuna di queste tematiche verrà trattata con maggiore dettaglio.

## 4.2 Organizzazione 4.0

### 4.2.1 Industria 4.0 come sistema socio-tecnico

È indubbio il fatto che l'introduzione di nuove tecnologie porti necessariamente ad un ripensamento dell'organizzazione. Questa è una nozione che è risultata evidente in tutte le rivoluzioni tecnologiche che hanno preceduto quella attuale, dalla prima rivoluzione industriale fino alle più recenti ondate di automazione e digitalizzazione dei processi dell'impresa. Una considerazione ricorrente in tutte le precedenti esperienze è proprio che l'introduzione di nuove tecnologie, in assenza di un parallelo ripensamento dell'organizzazione e delle variabili sociali, porta a risultati piuttosto limitati e a volte addirittura controproducenti. Oggi è frequente sentir parlare di "digitalizzazione degli sprechi" a proposito di questo approccio di introduzione delle tecnologie su processi e modalità di lavoro non efficienti.

Gli impatti più immediatamente evidenti sono quelli delle tecnologie sui processi, sulle modalità di lavoro e sugli strumenti di lavoro che vengono utilizzati. Ad esempio se le istruzioni di lavoro o gli ordini di produzione non sono più passate agli operatori tramite documenti cartacei ma invece sono messi a disposizione su un dispositivo portatile di facile accesso, il modo di lavorare della persona cambia perché sarà ad esempio portato a consultare più frequentemente questi documenti, ma dovrà adeguarsi ad utilizzare una tecnologia non del tutto familiare. Tuttavia, possiamo ben immaginare che l'elevata mole di dati ed informazioni messe a disposizione delle persone dalle tecnologie di Industria 4.0, l'utilizzo di tecnologie che aumentano e virtualizzano la realtà, la presenza di robot e cobot sempre più sofisticati che affiancano o sostituiscono l'uomo in alcuni compiti ed attività, possano avere impatti più profondi sull'organizzazione e il lavoro

delle persone, fino a richiedere di ripensare anche in modo radicale i ruoli esistenti oggi nel contesto produttivo e disegnare ruoli completamente nuovi. Anche a livello di unità organizzative, la maggior collaborazione ed integrazione resa possibile dalle tecnologie, oltre alla minore specializzazione necessaria per realizzare alcune attività grazie al supporto intelligente delle tecnologie, porta a ridisegnare i confini e le relazioni tra le diverse unità organizzative.

Riteniamo dunque importante, in questo contesto, richiamare l'importanza di considerare le variabili organizzative come elemento fondamentale di progettazione o riprogettazione del modello di produzione in una visione sistemica e coerente con la visione strategica del nuovo modello di impresa che si vuole realizzare. D'altra parte vorremmo anche ricordare che il semplice adattamento dell'organizzazione alle "esigenze" dettate dalla tecnologia non è sempre l'approccio vincente, poiché limita fortemente le opportunità che si potrebbero cogliere dal ridisegnare congiuntamente la tecnologia e l'organizzazione secondo una visione comune ed integrata. In altre parole, il cosiddetto determinismo tecnologico – o visione tecno-centrica dell'innovazione dei processi – ha sempre dimostrato, e dimostra ancora oggi in un contesto di Industria 4.0, di portare benefici tutto sommato limitati, oltre ad essere più critico in termini di gestione delle implicazioni sociali e di adesione al cambiamento da parte delle persone.

Partendo da questa considerazione di fondo, occorre allora capire quali sono gli impatti organizzativi delle Tecnologie 4.0. Ma prima ancora di fare questo vogliamo sottolineare quali sono le dimensioni rilevanti per effettuare questa analisi. Da un lato l'introduzione delle tecnologie può andare a modificare significativamente le modalità ed i processi di lavoro, con la conseguente necessità di riprogettare i ruoli e le mansioni dei lavoratori, individuando anche nuovi mestieri e nuove figure tipiche di Industria 4.0. La dimensione toccata è dunque quella dell'organizzazione del lavoro. D'altra parte, la forte interconnessione tra i processi

e la complessità delle tecnologie richiedono spesso di ripensare gli ambiti e i confini tra le diverse unità organizzative coinvolte dai processi operativi, e le relazioni che intercorrono tra queste. Parliamo in questo caso di struttura organizzativa.

#### **4.2.2 Principali direzioni di cambiamento dell'organizzazione**

Pur essendo difficile trarre delle considerazioni generalizzate sugli impatti organizzativi di Industria 4.0, anche in funzione del limitato livello di maturità che molte implementazioni di Tecnologie 4.0 presentano ancora oggi, è però possibile delineare qualche tendenza e anche qualche controtendenza. Se osserviamo i ruoli delle persone nelle fabbriche intelligenti, appare innanzitutto evidente che l'ampiezza delle mansioni e il livello di polivalenza delle persone aumenta nella maggior parte dei casi. L'operatore tende ad intervenire sempre meno direttamente nel processo di trasformazione, in quanto sostituito da tecnologie di automazione flessibili, e tende invece ad avere un insieme di mansioni più ampie, spesso legate ad attività di supervisione, controllo, programmazione e gestione dei sistemi e dei processi. Anche lo "scope" della mansione tende a diventare più ampio, passando dalla responsabilità della singola postazione, alla macchina, fino alla responsabilità dell'intero flusso o processo di lavoro.

In parallelo a questo, ed anche in sinergia, il contenuto del lavoro si sposta dalla sfera manuale, legata alla pura trasformazione fisica, alla sfera cognitiva, con significativi contributi degli operatori nei processi decisionali, di miglioramento e di progettazione dei processi e delle singole tecnologie. Anche a seguito della maggiore varietà e variabilità delle attività realizzate grazie all'innovazione tecnologica, l'operatore ha un ruolo fondamentale di gestione, programmazione e controllo di tale complessità. D'altro

canto, uno degli aspetti caratteristici delle Tecnologie 4.0 è legato alla necessità di trasferire l'intelligenza del lavoro dell'uomo all'intelligenza della macchina. Questo diventa dunque un contributo fondamentale che gli operatori possono dare non solo in fase di progettazione delle tecnologie ma anche al loro continuo miglioramento ed aggiornamento. La conseguenza di tale trasferimento di intelligenza dall'uomo alla macchina porta però anche ad alcune controtendenze nel ridisegno delle mansioni. L'ampliamento dei ruoli ed il maggior contenuto cognitivo spesso sono accompagnati da una maggiore autonomia degli operatori, che hanno maggior capacità di valutazione autonoma delle *performance* di processo e dei risultati del proprio lavoro grazie ai dati messi loro a disposizione e il supporto di strumenti di analisi e interpretazione dei dati stessi. Questa maggiore autonomia si traduce anche in un'accresciuta responsabilizzazione degli operatori e una richiesta di maggiore capacità di interlocuzione sia con livelli gerarchici superiori, sia con altre unità e funzioni organizzative, anche in modo disintermediato rispetto ai propri supervisori.

Un'altra dimensione di cambiamento che si riscontra frequentemente è quella del lavoro in *team*. Su questa dimensione tuttavia sembrano emergere direzioni contrastanti. Da un lato la maggior polivalenza ed autonomia dei lavoratori passa attraverso un'accresciuta importanza del lavoro in *team*. È frequente infatti che la responsabilità della gestione, controllo e miglioramento di un processo o sistema sia data ad un *team* più che ad un singolo individuo. *Team* che diventa sostanzialmente autonomo nella conduzione del processo o del sistema, grazie al supporto dato dalle Tecnologie 4.0. In altri casi invece, l'accresciuta polivalenza, lo snellimento dei compiti operativi a favore di compiti decisionali, e la maggior guida operativa consentita dalle nuove tecnologie rendono l'operatore completamente autonomo nella gestione di una parte consistente dell'attività, rendendo meno utile il lavoro in *team* e spingendo dunque verso mansioni più isolate, per quanto fortemente interfacciate

con altre “monadi”, altre funzioni e altre unità organizzative.

Un ultimo elemento rilevante da sottolineare riguarda il fatto che la crescente opportunità di integrazione dei diversi processi operativi, dalla progettazione, all’ingegnerizzazione, alla produzione e alla gestione dei flussi, fino all’interfaccia con il mercato a valle, portano in parallelo una maggiore ibridazione tra ruoli tecnici e ruoli operativi, che vedono sempre più confini sfumati, l’emergere di figure ibride – ad esempio l’operatore/manutentore o il progettista/ingegnerizzatore – e quindi la diluizione dei confini tra funzioni tecniche e funzioni operative. Anche nei casi in cui non si arrivi a questa ibridazione spinta, è sicuramente significativo l’aumento della collaborazione e dell’interazione tra esperti di diverse discipline.

Quali sono invece i nuovi ruoli che sembrano emergere come conseguenza di Industria 4.0? Anche qui non è possibile stendere un elenco esaustivo, riportiamo dunque solo qualche esempio per sottolineare la varietà e anche “novità” dei ruoli che sembrano essere necessari. Ad esempio, nel report del World Economic Forum del 2018, venivano citati quali ruoli emergenti figure di esperti legati alle nuove tecnologie, quali i *Data Analyst & Scientist*, gli specialisti di Intelligenza Artificiale e *Machine Learning* o gli specialisti di *Big Data*. O anche ruoli più specifici quali il “dronista” (ovvero l’esperto nell’utilizzo di droni) o il “chippista” (ovvero l’installatore di sensori nei processi di implementazione di soluzioni basati sull’IoT). Un’altra tipologia di ruoli emergenti è quella che riguarda i progettisti di tecnologia, che sono chiamati a progettare dall’insieme delle soluzioni tecnologiche o digitali ad aspetti più di dettaglio quali l’interazione uomo-macchina, le soluzioni e i servizi verso i clienti o anche i percorsi formativi orientati alle Tecnologie 4.0. Infine, è interessante notare come anche ruoli orientati a supportare il cambiamento organizzativo, quali gli specialisti di sviluppo organizzativo o di gestione delle persone e della cultura aziendale vengano citati tra i nuovi ruoli che avranno crescente importanza nel futuro.

Osservando, invece, quanto avviene in termini di modifica delle strutture organizzative a seguito dell'introduzione di Tecnologie 4.0, i cambiamenti sembrano meno marcati, forse anche in seguito alla maggiore inerzia delle organizzazioni nel modificare le proprie strutture e, di nuovo, alla limitata maturità media delle implementazioni. In coerenza con i maggiori livelli di autonomia dei lavoratori e dei *team* di lavoro una prima direzione di cambiamento riguarda lo snellimento delle strutture organizzative, in termini di livelli gerarchici e presenza di supervisor intermedi. D'altro canto, le nuove tecnologie abilitano sia modalità di controllo centralizzate, grazie alla maggior facilità di raccolta e analisi dei dati e alla possibilità di attuazione delle azioni correttive da remoto, sia anche modalità di controllo in linea, fornendo agli operatori dati, informazioni e strumenti di supporto alle decisioni in modo tempestivo ed efficace. Di conseguenza, la scelta del livello di accentramento o decentramento dei processi decisionali e di controllo è molto variabile tra implementazioni diverse e dipende molto dal modello di produzione che si vuole implementare.

Infine, occorre sottolineare l'importanza della costituzione di unità organizzative, oltre che di ruoli, dedicate alla progettazione, gestione e sviluppo delle nuove tecnologie sia *hardware* che *software* ed allo sviluppo delle relative competenze *in house*.



### **4.2.3 Allineare l'innovazione organizzativa e l'innovazione tecnologica**

Il quadro fin qui tracciato rappresenta le tendenze in atto che si possono osservare oggi nelle Imprese 4.0 più avanzate. Tuttavia è difficile giungere ad una visione sintetica di come cambi l'organizzazione del lavoro e la struttura organizzativa in relazione ad uno specifico progetto di Industria 4.0. Da un lato, infatti, un progetto di Industria 4.0, soprattutto se di ampia portata, racchiude in sé numerose applicazioni specifiche, che si riferiscono a processi o ambiti di intervento diversi. Possiamo ad esempio avere applicazioni in ambito di integrazione tra l'ingegneria di prodotto, di processo e la produzione, applicazioni in ambito di manutenzione e applicazioni in ambito di gestione della qualità. Oppure applicazioni che hanno l'obiettivo di raccogliere ed integrare moli rilevanti di dati che riguardano i processi operativi – la cosiddetta “datificazione” dei processi, o applicazioni orientate a rendere più facile l'ispezione o la manutenzione dei processi e delle macchine. Un concetto chiave che ci aiuta a comprendere questa varietà di applicazioni è quello di “caso d'uso”, che fa riferimento ad un uso integrato di diverse Tecnologie 4.0 finalizzato ad uno specifico obiettivo di miglioramento o innovazione, implementato su uno o più processi specifici. Utilizzando questo concetto, possiamo dire che i cambiamenti organizzativi richiesti dalle tecnologie sono dipendenti dalla specifica applicazione o caso d'uso, ovvero il modello organizzativo è esso stesso una parte integrante del caso d'uso. Emerge dunque che in un ampio progetto di Industria 4.0 i cambiamenti organizzativi saranno tanti e diversi quanti sono i casi d'uso implementati.

D'altro canto un aspetto fondamentale nel determinare il tipo di impatto che le Tecnologie 4.0 hanno sull'organizzazione riguarda il tipo di uso che si vuole fare della tecnologia rispetto al lavoro delle persone. Un'ampia letteratura ha provato a rappresentare il tipo di utilizzo delle tecnologie lungo un *continuum*, che

va da un obiettivo di sostituzione del lavoro umano nel processo o nella singola attività produttiva ad un obiettivo di potenziamento del lavoro. In questa seconda prospettiva la tecnologia costituisce uno strumento che arricchisce le potenzialità dell'uomo, "aumentandone" di volta in volta diverse capacità, quali ad esempio la potenza o resistenza fisica (ad esempio attraverso l'utilizzo di esoscheletri), la capacità visiva (ad esempio tramite l'utilizzo di realtà virtuale), la capacità di reperimento dei dati (tramite dispositivi IoT), la capacità di elaborazione dei dati (attraverso strumenti di *Data Analytics*), e così via.

È importante sottolineare che una delle caratteristiche di Industria 4.0 rispetto ad ondate di automazione e innovazione tecnologica precedenti, consiste nel fatto che la scelta tra sostituzione e potenziamento riguarda non solo le attività con maggiore contenuto fisico o maggiormente ripetitive, ma anche attività di carattere cognitivo e con un contenuto di indeterminatezza maggiore rispetto al passato. Ed è proprio questa prospettiva che è stata stigmatizzata in molti studi che presentano visioni pessimistiche sul futuro del lavoro, con previsioni di forte sostituzione del lavoro umano da parte delle macchine e, di conseguenza un significativo spiazzamento di molti dei mestieri attuali. Secondo quanto affermato nel *report Future of Jobs* del 2018 del World Economic Forum, tuttavia è stato suggerito che le aziende possono cercare di utilizzare l'automazione di alcune attività lavorative per integrare e rafforzare i punti di forza relativi della forza lavoro umana e, in ultima analisi, per consentire ai dipendenti di raggiungere il loro pieno potenziale e vantaggio competitivo<sup>1</sup>. Piuttosto che concentrarsi strettamente sui risparmi di costo della manodopera generati dall'automazione, una strategia di potenziamento prende in considerazione l'orizzonte più ampio di attività di creazione di valore che possono essere realizzate dai lavoratori, spesso in complemento alla tecnologia, quando sono liberate dalla necessità di eseguire attività di *routine*, compiti ripetitivi e sono quindi messi nella condizione di usare al meglio i loro talenti tipicamente umani.”

Sembra dunque risiedere qui il maggior valore che può essere estratto dall'implementazione di Tecnologie 4.0, pur rimanendo ampio lo spazio di efficientamento e miglioramento dei processi legati all'uso pervasivo di tecnologie in sostituzione del lavoro fisico e cognitivo delle persone. Per quanto la scelta tra sostituzione e potenziamento sia spesso dettata da una filosofia e una visione di fondo del modello di produzione corrente o desiderato da parte dell'impresa, è tuttavia importante sottolineare come questa scelta avvenga spesso a livello di singola applicazione della tecnologia o di singolo caso d'uso. Ad esempio, se da una parte nei processi di produzione un'impresa potrebbe adottare una logica di sostituzione attraverso l'implementazione di robot interconnessi e integrati con i processi di progettazione e pianificazione, dall'altra nella fase di assemblaggio potrebbe invece preferire un approccio di potenziamento, mantenendo il contributo del lavoratore per le sue capacità di controllo e di gestione di flussi complessi e di elevata variabilità, supportandolo con dispositivi intelligenti che forniscano loro tutte le informazioni rilevanti di processo per poter ottimizzare le scelte.

Abbiamo citato come fondamentale la scelta della filosofia di utilizzo della tecnologia perché questa ha chiaramente un'influenza importante nel determinare il tipo di cambiamenti necessari nell'organizzazione e il tipo di implicazioni sociali che ne conseguono. Un primo tentativo di sintesi di come il diverso uso della tecnologia porti a modelli organizzativi diversi è stato proposto nell'ambito dell'Osservatorio Industria 4.0 del Politecnico di Milano, che propone tre modelli di fabbrica in qualche modo emblematici, rispetto ai quali provare a mappare le diverse soluzioni implementate:

- Un primo modello è rappresentato dai casi in cui le Tecnologie 4.0 – ad esempio robot o collaborativi – vengono introdotte per sostituire gli operatori nello svolgimento di attività tipicamente manuali (come l'assemblaggio o lo spostamento di materiali o carichi pesanti). Possiamo

quindi denominare questo modello come *Automated Factory*. In questi casi si assiste quindi all'automazione del processo ed alla riduzione del numero di operatori che lavorano direttamente nel processo produttivo. Nel contempo, in questi casi si assiste spesso alla creazione di nuove figure specializzate che hanno il compito di controllare e supervisionare le macchine e gli impianti. Anche i ruoli di progettazione, settaggio e miglioramento continuo del processo e delle tecnologie assumono una posizione rilevante. In questo tipo di scenario la struttura organizzativa non viene sostanzialmente modificata, se non per una crescente centralizzazione delle decisioni e del controllo, presente in alcuni casi.

- Un secondo modello – denominato *Facilitated Factory* - riguarda il caso in cui le Tecnologie 4.0 vengono implementate per supportare il lavoro degli operatori, eliminando le attività a scarso valore aggiunto (come ad esempio la raccolta manuale o su carta di dati) e per fornire in modo più efficiente ed efficace informazioni complete e dettagliate sulle attività da svolgere o le procedure da seguire, o sui dati tecnici di prodotto. In questo modo l'operatore è meglio supportato anche nelle mansioni che richiedono un più elevato contenuto cognitivo e può dedicare più tempo ad attività a maggior valore aggiunto quali l'analisi e la soluzione di problemi o il miglioramento dei processi. In diversi casi, però, il contenuto del lavoro rimane abbastanza prescritto, e le tecnologie tipicamente supportano l'operatore nello svolgimento di tali procedure, senza aumentare la responsabilità o il livello di autonomia del lavoratore. In questo tipo di scenario viene parzialmente abilitata la decentralizzazione di attività decisionali verso i livelli più operativi e, di conseguenza, la riduzione dei livelli gerarchici, in quanto anche i livelli più operativi dispongono di un insieme di informazioni più ampio ri-

spetto a prima. Inoltre è piuttosto frequente che alcune attività delle funzioni tecniche, quali il controllo qualità o il coordinamento con l'ingegneria di produzione o con la manutenzione, vengano trasferite all'operatore o alle unità di produzione, grazie alla maggior disponibilità di dati ed informazioni e alla maggiore integrazione tra processi. Di conseguenza anche i confini tra funzioni tecniche e funzioni di produzione diventano meno marcati.

- Infine, è possibile implementare modelli in cui l'utilizzo delle Tecnologie 4.0 abilita un radicale cambiamento di paradigma di fabbrica. In questi casi, infatti, l'introduzione delle tecnologie porta ad un vero e proprio potenziamento degli operatori, grazie alla messa a disposizione di dati che permettono loro di controllare i processi e prendere decisioni in modo autonomo. Insieme all'aumento dell'autonomia, gli operatori sperimentano un aumento del contenuto cognitivo nelle attività che svolgono e un aumento delle interazioni sia tra pari sia lungo la gerarchia. Questo abilita a sua volta una struttura organizzativa più snella e orizzontale, uno spostamento del potere decisionale verso il basso e una sempre minor distinzione tra unità di linea e unità di *staff*, le cui attività vengono svolte dai *team* operativi. In questo caso ci troviamo di fronte ad un modello di *Smart Factory*.

Da cosa dipende l'adozione di uno di questi modelli? Abbiamo già osservato che un ruolo fondamentale è giocato dal tipo di obiettivi strategici che l'impresa vuole raggiungere con l'introduzione di Tecnologie 4.0 nei singoli processi. Abbiamo anche sottolineato che non si tratta in realtà di una scelta che avviene a livello di tutta la fabbrica ma, più spesso, a livello di singola applicazione. Tuttavia appare evidente, osservando diversi casi di implementazione più avanzata, che la scelta è spesso dettata dalla visione di fondo dell'organizzazione e della fabbrica. Sappiamo che già

prima dell'avvento della quarta rivoluzione industriale eravamo in presenza di modelli di fabbrica molto diversi per livello di automazione, ampiezza e ripetitività delle mansioni degli operatori, livello di autonomia, ruolo del lavoro in *team* e così via. In sintesi, rispetto alla centralità che le persone hanno nei processi di trasformazione. Questa varietà di modelli organizzativi è spesso stigmatizzata in tre modelli alternativi:

- Il modello Taylorista, caratterizzato da elevati livelli di standardizzazione e ripetitività dei processi, caratterizzati da un elevato livello di automazione con l'obiettivo di massimizzare l'efficienza e la produttività dei processi. L'organizzazione del lavoro in questo contesto è caratterizzata da elevati livelli di specializzazione ed un limitato contenuto cognitivo delle mansioni degli operatori dei processi produttivi. Hanno invece mansioni più ampie e caratterizzate da maggiore responsabilità e contributo cognitivo i tecnici e i progettisti dei processi, responsabili del disegno e della manutenzione complessiva del sistema. In questo tipo di contesto Industria 4.0 sembra più frequentemente implementata secondo il modello di *Automated Factory* descritto sopra, con una conseguente ulteriore riduzione del ruolo delle persone nei processi produttivi – fino ad una loro completa eliminazione – ed un rafforzamento dell'importanza e dell'ampiezza dei ruoli tecnici.
- Il modello di *Lean* “tradizionale”, in cui i processi produttivi sono stati ridisegnati per minimizzare gli sprechi e le inefficienze e i flussi sono stati ottimizzati e resi sincroni con il fabbisogno del mercato. L'ottimizzazione dei processi è basata su principi di miglioramento continuo, nei quali gioca un ruolo fondamentale il contributo degli operatori, che sono chiamati a fornire – e spesso anche ad implementare – suggerimenti per continue possibili innovazioni e alla soluzione di problemi. In questo caso

le Tecnologie 4.0 possono supportare in modo molto efficace la capacità dei lavoratori di contribuire al miglioramento dei processi, da un lato liberando il loro tempo da attività a minor valore aggiunto, dall'altro fornendo loro in modo più tempestivo ed efficace dati ed informazioni di processo utili per evidenziare opportunità di miglioramento. Un altro principio alla base dei modelli *Lean* consiste in una maggiore integrazione delle attività di supporto nei processi produttivi. Anche in questo caso le Tecnologie 4.0 possono fornire un utile strumento per rafforzare questa tendenza.

- Infine, il modello di *Lean* “evoluta”, che prevede modelli produttivi in cui il ruolo degli operatori è centrale non solo per fornire miglioramenti al processo ma, più in generale, per prendersi in carico il funzionamento e l'ottimizzazione dei processi produttivi stessi. Nei modelli di *Lean* evoluta questa responsabilità viene spesso assunta da *team* autonomi che integrano non solo attività di trasformazione ma anche attività di supporto, e che si interfacciano in modo autonomo con le funzioni di supporto alla produzione, quali programmazione, controllo qualità, manutenzione, ingegneria di processo o anche di prodotto. In questo contesto le Tecnologie 4.0 possono fornire opportunità importanti di incremento dell'autonomia dei lavoratori e dei *team*, che hanno la possibilità di essere in completo controllo della porzione di processo a loro affidata, con ampi spazi e capacità di decisione autonoma e di innovazione continua dei processi e delle attività.

I modelli di *Lean*, siano essi più tradizionali o più evoluti, risultano dunque essere più coerenti con modelli di *Facilitated* o *Automated Factory*. In conclusione, appare abbastanza evidente che le imprese adottano modelli di Fabbrica 4.0 coerenti e in continuità

con la filosofia di fondo e il modello organizzativo già implementato da tempo. Nel momento in cui l'azienda percepisce le opportunità derivanti da un modello di *Automated Factory*, provenendo però da modelli di produzione più orientati al taylorismo, si rende necessaria un'innovazione organizzativa verso modelli *Lean* che affianchi, se non preceda, l'innovazione tecnologica legata alle Tecnologie 4.0. Abbiamo infatti osservato casi di progetti complessi in cui le due dimensioni di trasformazione sono state portate avanti di pari passo per portare ad un nuovo modello di fabbrica centrato su un insieme di "operatori potenziati" che interagiscono con macchine intelligenti.



### 4.3 Competenze per la Fabbrica del Futuro

Come ampiamente discusso nel paragrafo precedente la trasformazione delle fabbriche e delle imprese, con l'introduzione delle nuove tecnologie digitali nel quadro di nuovi modelli organizzativi e di *business*, ha importanti implicazioni sui ruoli e sulle competenze delle persone. In particolare, è stato sottolineato il ruolo chiave delle persone *in primis*, nel ri-definire la strategia dell'impresa. Una volta delineata la strategia, altre persone sono necessarie per progettare e valutare gli interventi necessari alla trasformazione, per definire, creare le condizioni ed avviare i progetti di implementazione e cambiamento. Infine, le persone devono operare ed interpretare ruoli profondamente modificati o nuovi, all'interno delle nuove organizzazioni di tecnologie e persone.

Come discusso nel paragrafo precedente nelle Imprese 4.0 si assiste a mutamenti significativi dei ruoli esistenti e l'emergere di nuovi ruoli e profili specializzati nella progettazione, implementazione, esercizio, manutenzione delle nuove applicazioni tecnologiche lungo tutto il loro ciclo di vita<sup>2</sup>. I ruoli e i profili professionali del futuro – sia in termini di evoluzione di quelli attuali che di nuovi ruoli - saranno caratterizzati da un ampliamento del tradizionale insieme di competenze, che riguarda sia il rafforzamento delle competenze di base e delle competenze *core* del dominio manifatturiero, sia lo sviluppo di competenze legate alle Tecnologie 4.0. In funzione dell'ampliamento dei ruoli, la crescente autonomia e responsabilità, saranno inoltre sempre più necessarie competenze di gestione e capacità decisionali, oltre a competenze trasversali e relazionali<sup>3</sup>.

La sfida per le imprese, il sistema di educazione e formazione, i *policy maker*, i lavoratori e i sindacati è quella di saper svi-

2 – Osservatorio Industria 4.0 (2017). *Jobs & Skills 4.0: quel evoluzione per professioni, competenze e formazione?*

3 – World Manufacturing Forum (2019). *Skills for the Future of Manufacturing*. <https://www.worldmanufacturingforum.org/report-2019>

luppare tali competenze per favorire l'occupazione, il benessere e l'inclusione sociale delle persone e la competitività del settore manifatturiero. A tal fine, occorre intervenire su più fronti: da un lato, per aggiornare e riqualificare le competenze di chi già lavora – con attenzione anche alle persone più mature – e di chi purtroppo al momento è escluso dal mercato del lavoro, e dall'altro, per sviluppare le competenze delle nuove generazioni. Nel seguito sono sintetizzate le principali categorie di competenze che riteniamo fondamentali in un contesto di Industria 4.0.

### 4.3.1 Competenze di base

Un primo ambito di competenze che dovranno essere rafforzate sono quelle di base, ovvero competenze alfabetiche, matematiche, STEM e digitali. Un miglioramento progressivo delle competenze matematiche sarà essenziale nel complesso, ma probabilmente non sarà sufficiente. Sarà, inoltre, necessario rafforzare le competenze digitali di base, ovvero le capacità di utilizzare con dimestichezza e spirito critico le tecnologie dell'informazione<sup>4</sup>, che sempre più diventano indispensabili per il lavoro e la vita quotidiana. Dato il mondo globale in cui viviamo, anche un aumento delle competenze alfabetiche e linguistiche, su cui costruire una maggior capacità di relazione con il mondo esterno, sarà auspicabile. La mancanza di un buon livello di competenze base, infatti, rende le persone più a rischio di cadere in un circolo vizioso di competenze non aggiornate e non rafforzate, che tendono a deteriorarsi nel tempo. L'innalzamento del livello delle competenze di base è quindi irrinunciabile per creare fondamenta solide per lo sviluppo e l'aggiornamento continuo delle competenze tecnico-professionali e trasversali per i ruoli della manifattura del futuro.

<sup>4</sup> – Agenzia per L'Italia Digitale (2018). Quadro delle competenze europee digitali per i Cittadini. [https://competenze-digitali-docs.readthedocs.io/it/latest/doc/competenze\\_di\\_base/Intro\\_Modello\\_Europeo\\_DigComp\\_2\\_1.html](https://competenze-digitali-docs.readthedocs.io/it/latest/doc/competenze_di_base/Intro_Modello_Europeo_DigComp_2_1.html)

### 4.3.2 Competenze manifatturiere “core”

Il manifatturiero del futuro avrà sempre bisogno di forti competenze legate alle attività “core” che lo caratterizzano. Prima di tutto, la capacità di saper realizzare quanto richiesto dal mercato, il saper progettare e produrre la soluzione migliore, con la tecnologia migliore. Si tratta di disporre di competenze strettamente legate ai prodotti, che sempre più si trasformano in soluzioni personalizzate basate su prodotti e servizi di qualità personalizzati rispetto alle esigenze dei clienti durante tutto il ciclo di vita, utilizzando materiali avanzati (micro, nano, bio, eco-compatibili, ecc.), forme e *design* innovativi, e tecnologie all'avanguardia.

Serviranno poi competenze legate ai processi e sistemi manifatturieri, necessarie per progettare, gestire e innovare processi e sistemi dalla Ricerca e Sviluppo, alla produzione, dalla qualità, alla manutenzione, alla logistica e alla *supply chain*. Inoltre, è importante sottolineare la crescente importanza dei temi dello sviluppo sostenibile, nella sua triplice accezione di sostenibilità economica, ambientale e sociale, che saranno sempre di più integrati in tutti gli aspetti della manifattura. Ciò richiederà competenze tecniche specifiche, ma anche capacità di innovazione e di *partnership* con altri attori del sistema<sup>5</sup>, che permettano di ridurre le emissioni, ottimizzare il consumo energetico e di risorse dei sistemi produttivi e dei prodotti lungo il ciclo di vita, di abilitare la manifattura circolare, ma anche di creare in modo proattivo impatti positivi su dipendenti, sui lavoratori nella *supply chain*, sui clienti, sulle comunità locali e altri *stakeholder*.

Nello specifico contesto delle PMI nazionali, segnaliamo come sarà sempre più necessario – lo è già oggi – disporre di competenze manageriali allineate alle sfide della competizione globale. Il ruolo dell'imprenditore, decisionista e creativo, sarà sempre rilevante, ma la complessità dei mercati mondiali necessita – e necessiterà sempre più – di adeguate capacità di pianifica-

zione, progettazione, esecuzione, miglioramento tipiche di figure manageriali adeguata formate.

### 4.3.3 Competenze per le Tecnologie 4.0

Le competenze caratteristiche del dominio manifatturiero dovranno però essere arricchite da nuove *skill* di tipo tecnico e manageriale necessarie per cogliere a pieno le potenzialità offerte dalle Tecnologie 4.0. In Figura 4.1 è sintetizzato il repertorio di *skill* realizzato dall'Osservatorio Industria 4.0 che copre cinque macro-aree fondamentali per il Manifatturiero 4.0: (i) la gestione delle *operation*, (ii) la gestione della *supply chain*, (iii) la progettazione e gestione del prodotto-servizio nel suo ciclo di vita, (iv) la scienza dei dati, e (v) l'integrazione e gestione delle tecnologie dell'informazione con quelle operative.

Nell'area "*Operation*" emergono la capacità di migliorare i processi *end-to-end* grazie all'introduzione di tecnologie digitali e innovazioni organizzative, la capacità di effettuare un'analisi per scenari per valutare e preparare possibili interventi, la manutenzione predittiva. Inoltre, con l'introduzione nello *shop-floor* delle tecnologie "accrescitive", sarà necessario sviluppare *skill* per l'uso di realtà aumentata e virtuale, esoscheletri e altri dispositivi per aumentare le capacità sensoriali, fisiche e cognitive. Con l'avvento dell'automazione di tipo collaborativo, la capacità di programmare i co-robot e di interagire con essi risulteranno competenze importanti. Inoltre, emergeranno sempre più il saper monitorare e controllare le attività attraverso dispositivi digitali che ricevono informazioni in tempo reale, saper interfacciarsi con sistemi di *knowledge management* e *reporting*, risolvere problemi e contribuire al miglioramento continuo.

Nell'area "*Supply Chain*", emergono le capacità di progettare *Digital Supply Network* locali e globali, soprattutto attraverso stru-

menti di *virtual design*, adattandoli di volta in volta alle più recenti tecnologie per ottimizzarne il funzionamento. Occorre inoltre sapere utilizzare il *cloud* per pianificare il funzionamento della catena a livello globale, grazie alle principali piattaforme e sistemi gestionali utilizzati, oltre che saper comprendere i dati in tempo reale delle diverse risorse inserite nei processi. Inoltre, risultano importanti conoscenze in materia di piattaforme e sensoristica, oltre che in materia di sicurezza informatica e di gestione di dati sensibili. In ultimo possiamo individuare alcune competenze relative agli aspetti logistici. Queste riguardano in particolare la conoscenza delle più recenti tecnologie in materia di logistica automatizzata di magazzino, veicoli autonomi all'interno delle fabbriche e *wearable device* in grado di coordinare meglio le attività.

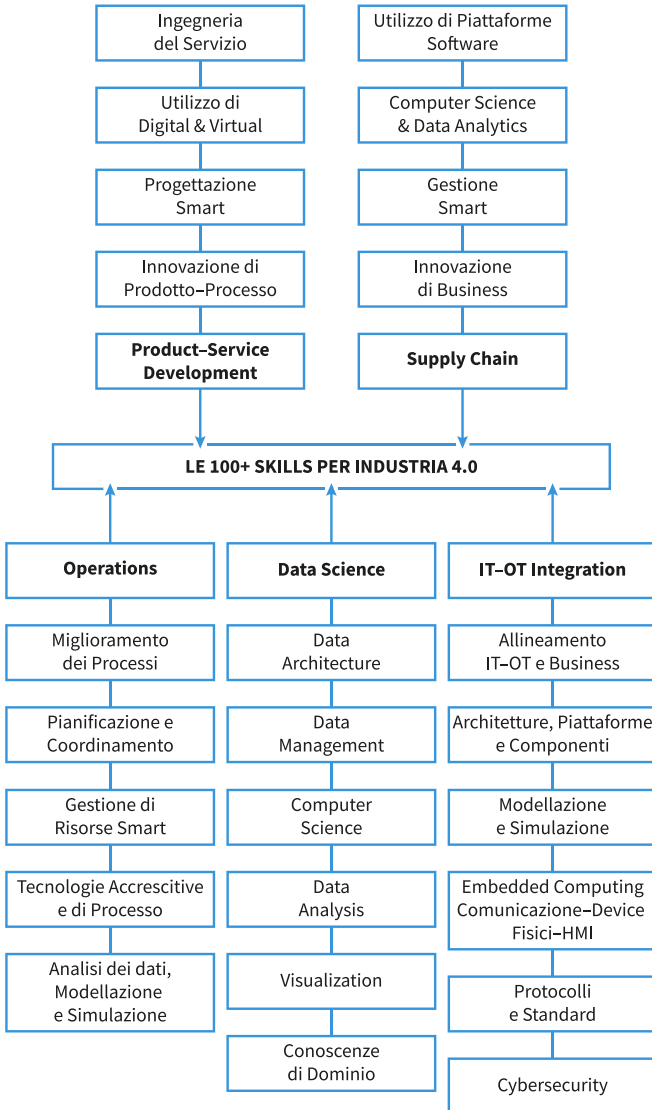
L'evoluzione delle *skill* andrà anche al di là dei confini della fabbrica. Nell'area relativa al "Prodotto-Servizio", ad esempio, dovranno essere sviluppate le competenze necessarie ad innovare i prodotti-servizi sfruttando le opportunità offerte dal digitale. Conoscenze relative a nuovi materiali e nuovi processi saranno coniugate con competenze relative alla progettazione di un prodotto *smart* e connesso, insieme ai servizi ad esso collegati. Durante il processo di progettazione oltre alle competenze di grafica digitale per poter disegnare i prototipi, e analisi dei dati raccolti dai prodotti e simulazioni, emergerà l'utilizzo della realtà virtuale e/o aumentata per condurre le "*design review*".

Nell'area della "Scienza dei dati", si possono evidenziare la capacità di definire dati rilevanti e identificarne le origini, armonizzare il flusso di dati proveniente dalla fabbrica, ma anche dall'intera *Supply Chain* e dall'esterno (es. *Social* e *Web Sentiment*), analizzare i *Big Data* attraverso metodi matematici e statistici avanzati, utilizzare linguaggi di programmazione per sviluppare applicazioni e strumenti operativi, e tecniche di visualizzazione al fine di trasformare i dati in informazioni comprensibili e utili alla persona che deve prendere decisioni. In prospettiva, saranno necessarie capacità di utilizzare e proget-

tare nuove soluzioni basate sull'intelligenza artificiale, tenendo in considerazione anche le implicazioni etiche, di pre-elaborare i dati e di interpretarne i risultati criticamente, riconoscendo i limiti degli algoritmi, identificandone comportamenti “anomali”, e intervenendo quando necessario<sup>6</sup>.

Nell'area di “Integrazione IT-OT”, si ritrova la capacità di anticipare i requisiti dell'azienda, di utilizzare la conoscenza di diverse aree tecnologiche per capirne l'impatto, in modo da sviluppare e implementare una strategia IT-OT che sia orientata alla creazione di valore. Inoltre, sarà necessario saper costruire un'architettura orientata a tale strategia, selezionando piattaforme e componenti sia *hardware* che *software*, e di utilizzare linguaggi di modellazione e *tool* per la specifica, l'analisi, la progettazione e la verifica di processi e sistemi produttivi complessi. Infine, diventerà sempre più rilevante la capacità di eseguire analisi del rischio, di definire e gestire politiche e misure di protezione della *privacy*, della *safety* e della *security*.

→ **Figura 4.1 – Le skills per Industria 4.0.**



#### 4.3.4 Competenze trasversali

È poi importante evidenziare che non saranno necessarie solamente nuove o evolute competenze tecnico-professionali, ma queste dovranno essere accompagnate da competenze trasversali – quali i tratti prettamente umani di creatività e imprenditorialità, competenze personali e sociali – il cui peso si rafforzerà<sup>7</sup>. Risulta innanzitutto fondamentale la capacità di gestire una crescente complessità. I processi di produzione e le organizzazioni diventano sempre più complessi e integrati. I lavoratori manifatturieri del futuro dovranno far fronte a questa crescente complessità e sviluppare la capacità di gestire requisiti multipli, talvolta anche contrastanti tra loro, l'interazione e la cooperazione di tante e diverse intelligenze e capacità, artificiali e umane.

Occorre poi un adeguato orientamento al cliente, con le relative competenze necessarie ad interpretarne, e anticiparne, bisogni e preferenze, nonché per identificare, esplorare e presidiare nuovi mercati, spostandosi verso produzioni sempre più ad alto valore aggiunto e nuovi modelli di *business*.

Anche la risoluzione creativa dei problemi, la capacità di innovazione e la mentalità imprenditoriale sono fondamentali in un contesto 4.0. In questa nuova era caratterizzata da abbondanza di dati e risorse tecnologiche, le competenze necessarie per trovare soluzioni innovative a problemi complessi e gestire con successo iniziative di innovazione avranno sempre più valore per le persone e le organizzazioni. Creatività, capacità di pensare fuori dagli schemi, pensiero strategico e proattività nell'identificare, sviluppare e implementare nuovi modi per creare valore per l'organizzazione, gli *stakeholder* e la società nel suo complesso, saranno sempre più rilevanti. Le capacità di cambiamento e apprendimento continuo sono anch'esse centrali. I cicli di vita della tecnologia si sono ridotti drasticamente e il cambiamento è sempre più veloce e costante. Di conseguenza, sarà necessario sviluppare ca-

7 – World Economic Forum (2018). *Future of Jobs Report 2018*. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018>



pacità di anticipare i cambiamenti, saper cogliere le opportunità, perseguire obiettivi di sviluppo delle competenze, nonché continuare ad aggiornarle e svilupparle lungo tutto l'arco della vita, in una prospettiva crescita professionale e personale.

Infine, la capacità collaborativa si rende sempre più necessaria poiché l'integrazione di molte delle tecnologie, che si collocano in domini tecnici diversi e piuttosto specializzati, nonché l'integrazione dei processi dentro e fuori la fabbrica, richiederanno una sempre maggiore collaborazione tra persone che lavorano in gruppi e dipartimenti diversi, nonché fornitori esterni, clienti e altri *stakeholder*. La capacità di comunicare efficacemente – anche attraverso diversi media – e lavorare in *team* sarà quindi essenziale, così come l'adattabilità, poiché le attività cambieranno frequentemente e i singoli professionisti contribuiranno a diversi *team*. Inoltre, la produzione non è disconnessa da *trend* globali come l'aumento delle migrazioni, l'invecchiamento della popolazione e la maggiore diversità della società, anzi l'utilizzo delle tecnologie digitali può contribuire a creare nuove opportunità per una maggiore inclusione lavorativa. Serviranno quindi competenze personali, relazionali e sociali per operare in contesti produttivi più diversificati – in termini di età, genere, etnia, capacità fisica e così via – e più inclusivi.

## 4.4 Gestire progetti e cambiamenti 4.0

Abbiamo visto nei paragrafi precedenti quanto sia importante prendere in considerazione le variabili organizzative e sociali per sviluppare un progetto 4.0 allineato con una visione strategica più ampia rispetto a quella della ottimizzazione dei processi. Per poter fare questo non occorre solo la sensibilità e la visione del *management* e degli *sponsor* di progetto. Occorre invece un approccio alla progettazione che includa fin dalle fasi iniziali tutte le variabili del progetto, sia tecnologiche che organizzative e sociali.

Tuttavia questa sensibilità non risulta molto diffusa. Da un'analisi condotta dall'Osservatorio Industria 4.0 del Politecnico di Milano emerge che per la maggior parte delle imprese gli impatti delle Tecnologie 4.0 considerati sono prevalentemente riferiti ai processi e ai flussi di lavoro (54,2% delle imprese intervistate), alle modalità di lavoro (45,3%) o alle competenze tecniche richieste (42,7%), mentre solo un numero piuttosto limitato di imprese considera come parte del progetto anche gli impatti sul ridisegno dei ruoli o sulle competenze gestionali e relazionali dei lavoratori (meno del 20%).

Anche quando considerati, i cambiamenti organizzativi necessari emergono solo nelle fasi avanzate di progetto, ovvero in fase di sviluppo delle soluzioni o anche solo in fase di implementazione, spesso a seguito di problemi di gestione del cambiamento. Questo dato è coerente con la dichiarazione della maggior parte delle imprese di coinvolgere in modo limitato e tardivo sia la funzione Risorse Umane, responsabile del disegno organizzativo e dei processi di adeguamento delle competenze, sia anche degli operatori e degli utilizzatori dell'innovazione tecnologica.

Da questo quadro sembra emergere un approccio ai progetti 4.0 prevalentemente orientato allo sviluppo di soluzioni tecnologiche e di processo, dove la variabile organizzativa emerge in fasi avanzate secondo una logica sequenziale, "a cascata". In questo approccio l'aspetto organizzativo è considerato prevalentemente

per le conseguenze sociali che occorre gestire in seguito ai cambiamenti resi necessari dalle tecnologie nel modo di lavorare delle persone e dei loro ruoli; c'è molta meno attenzione alle opportunità che potrebbero invece emergere da un ridisegno congiunto di tecnologia e organizzazione. Questo approccio tuttavia non risulta essere ottimale, sia per la visione strategica più limitata che ne consegue, sia per la maggiore difficoltà nella gestione del cambiamento in fase di implementazione del progetto. In entrambi i casi, l'efficacia dell'innovazione risulterà limitata.

Occorre infatti notare che la gestione del cambiamento risulta essere una preoccupazione fondamentale nell'ambito di cambiamenti tecnologici di entità così rilevante, soprattutto quando portano ad un ripensamento complessivo del modello di produzione e di impresa. Come in tutti i cambiamenti, la necessità di modificare il modo di lavorare e gli strumenti utilizzati, di sviluppare nuove competenze e anche lo spiazzamento dei ruoli esistenti e la creazione di nuovi ruoli porta a naturali resistenze al cambiamento che potrebbero ostacolare l'implementazione delle nuove soluzioni e limitarne gli effettivi vantaggi. Oltre a queste naturali resistenze al cambiamento, nel caso di Industria 4.0 si pone in modo ricorrente un problema della percezione di un aumentato controllo nei confronti dei lavoratori a seguito della tracciabilità di ogni singola azione ed operazione resa possibile dalle tecnologie. Sebbene nella maggior parte dei casi questo non sia l'obiettivo dell'impresa nell'implementare Tecnologie 4.0, questa percezione può generare notevoli preoccupazioni da parte dei lavoratori. Per tutti questi motivi risulta fondamentale integrare azioni di gestione del cambiamento nell'ambito dei progetti 4.0. Tra le azioni che riteniamo fondamentali per massimizzare l'adesione al cambiamento di tutta l'impresa vi sono la comunicazione anticipata della visione strategica e delle motivazioni del progetto e la capacità di raccogliere *feedback* e suggerimenti sulle esigenze e sui requisiti degli utilizzatori delle nuove tecnologie e soluzioni, ed anche sulle opportunità di ulteriori miglioramenti da essi se-

gnalati. Più in generale, un ampio coinvolgimento di tutte le funzioni e tutte le categorie di persone che saranno in qualche modo impattate dal cambiamento risulta essere l'approccio vincente.

In effetti, sempre ricordando l'indagine dell'Osservatorio di Industria 4.0 citata in precedenza, esistono imprese che considerano le variabili organizzative e sociali quale parte integrante e centrale del progetto 4.0 fin dalle sue prime fasi, e che coinvolgono tutte le funzioni aziendali rilevanti, inclusa la funzione risorse umane, e gli operatori stessi, dall'inizio del progetto. Si tratta di una percentuale di aziende per il momento piuttosto limitata (meno del 10%) che però riteniamo rappresentino un modello virtuoso di approccio ai progetti 4.0, che possiamo chiamare di anticipazione. Questo approccio presenta due caratteristiche fondamentali: da un lato la progettazione congiunta di tecnologia e organizzazione; dall'altro il coinvolgimento e la partecipazione ampia e multifunzionale al progetto.

L'approccio congiunto alla progettazione si fonda innanzitutto su una visione olistica del progetto, che includa, come aspetti definitori di fondo, la dimensione strategica (quali obiettivi vogliamo raggiungere), la dimensione organizzativa (quale modello organizzativo di produzione vogliamo implementare) e tecnologica (con/grazie a quali tecnologie vogliamo ottenere questi risultati). Questo approccio è chiaramente in linea con quanto richiamato più volte in questo Capitolo, ovvero con la sfida di affrontare la rivoluzione 4.0 non solo come modalità per innovare le tecnologie dei processi esistenti, ma per rivoluzionare il modo di fare produzione o anche di fare impresa. Ciò che appare importante, tuttavia, è che questo approccio non riguardi solo il *concept* generale del progetto 4.0, ma venga calato anche in ogni singolo caso d'uso ed applicazione all'interno del progetto. In secondo luogo, e come conseguenza di questo approccio olistico al progetto, la progettazione in questi casi avviene attraverso un coinvolgimento multidisciplinare di tutte le funzioni e i saperi rilevanti all'interno dell'impresa. Quindi il *team* dedicato alla progettazione delle

soluzioni tecnologiche è affiancato ed integrato ad esempio da *team* che si occupano rispettivamente del ridisegno dei processi, del ripensamento dei modelli organizzativi, dell'analisi delle nuove competenze necessarie, delle azioni necessarie per comunicare e gestire al meglio il cambiamento. In altri casi questo approccio multidisciplinare viene implementato nell'ambito dello stesso *team* di sviluppo delle soluzioni, che coinvolge figure diverse secondo un approccio interfunzionale. Infine, anche dal punto di vista delle modalità di lavoro nel progetto, un approccio congiunto richiede un'elevata interazione e simultaneità nella progettazione dei diversi aspetti. Interazione e simultaneità che spesso si ottengono attraverso un approccio iterativo di generazione di alternative e sperimentazione attraverso cicli rapidi e agili.

L'approccio partecipativo alla progettazione fa invece riferimento all'ampio coinvolgimento degli *stakeholder* rilevanti del progetto in fasi anticipate del progetto. Gli *stakeholder* sono innanzitutto le funzioni produttive che verranno coinvolte dal cambiamento, dai livelli del *management* fino agli operatori e ai tecnici. Ma anche la funzione Risorse Umane, responsabile del disegno organizzativo e della formazione delle competenze necessarie. Infine altre funzioni interne, a monte o a valle della produzione, o anche fornitori e clienti esterni, possono in qualche modo essere impattati dal progetto che si sta realizzando e possono di conseguenza essere interpellati in fase di progetto al fine di considerare tutti i vincoli e le opportunità che possono derivare dal cambiamento pianificato. Il concetto di partecipazione si riferisce dunque sia alla dimensione orizzontale, suggerendo un ampio coinvolgimento di funzioni e figure diverse all'interno dell'impresa, sia alla dimensione verticale, implicando il coinvolgimento sia dei livelli gerarchici più alti, sia del *middle management* che poi anche dei capi-reparto o capi-turno e degli operatori o tecnici. Questo coinvolgimento può avvenire in diverse fasi del progetto ma deve necessariamente essere profondo per poter prendere in considerazione tutte le implicazio-

ni, ma anche tutte le opportunità o i suggerimenti di miglioramento che possono venire “dal basso”.

Osserviamo che la partecipazione può avere valenza ed entità diversa, lungo un *continuum* che va dalla semplice informazione degli *stakeholder* fino ad un loro coinvolgimento nelle principali decisioni e scelte progettuali. Nelle prime fasi del progetto è più comune che la partecipazione riguardi prevalentemente gli aspetti informativi, con l’obiettivo di informare fin da subito gli *stakeholder* e trasferire loro le principali motivazioni del progetto, mentre in fasi più avanzate la partecipazione decisionale è fondamentale per fare scelte progettuali che massimizzino la funzionalità e l’accettazione da parte degli utenti della soluzione tecnologica e dei processi che si stanno innovando.

In sintesi, riteniamo che un progetto di Industria 4.0 che voglia perseguire con successo obiettivi strategici di revisione del modello di produzione e di *business* grazie alle potenzialità offerte dalle nuove tecnologie debba considerare fin dalle prime fasi tutte le variabili rilevanti per il progetto, ed in particolar modo le variabili organizzative e i diversi impatti sociali che l’innovazione potrà portare, e coinvolga direttamente tutti gli *stakeholder* rilevanti, primi tra tutti gli utenti finali delle nuove soluzioni, ovvero i lavoratori. Solo in questo modo il progetto potrà sfruttare i vantaggi di una innovazione sistemica e potrà essere implementata limitando le naturali resistenze al cambiamento che ogni organizzazione naturalmente oppone all’introduzione dell’innovazione.

## 4.5 Progettare l'interazione uomo-macchina

Un aspetto cruciale nella progettazione di sistemi e soluzioni di Industria 4.0 riguarda l'interfaccia tra le persone e l'insieme di tecnologie che vengono implementate. Tale interfaccia si fa sempre più complessa ed articolata in questo contesto, fino a rendere obsoleto e riduttivo il concetto di interfaccia uomo-macchina. Infatti, nella Fabbrica del Futuro le persone operano ed interagiscono non più con una singola macchina ma con una rete di sistemi *cyber-fisici*, ovvero con sistemi di componenti fisici e computazionali progettati per interagire l'uno con l'altro. Bisogna immaginare questi sistemi decentralizzati, dinamici, aperti, e sensibili al contesto. Sono dotati infatti di nodi di intelligenza distribuita; intervengono su macchinari, dispositivi e processi; sono connessi a reti di comunicazione private o pubbliche; sono dotati di sensori per rilevare variabili di processo o ambientali; incorporano modelli digitali del mondo fisico; sono per loro natura in continua evoluzione e si intrecciano sempre di più con il mondo mentale e sociale delle persone, tanto da essere definiti *cyber-fisici-sociali*. Non è immediato comprendere appieno la portata di questa trasformazione, le interazioni o addirittura la compenetrazione e integrazione tra sistemi artificiali e persone possono essere analizzati da diverse prospettive, come illustrato di seguito:

- Coinvolgimento nei cicli di controllo dei processi fisici di produzione. L'operatore è vicino ai processi di produzione, e nello svolgimento di certi compiti agisce direttamente sulle trasformazioni fisiche dei prodotti. Come evidenziato da numerosi studi in ambiti nei quali l'autonomia dei sistemi e l'intelligenza artificiale hanno raggiunto livelli elevati, è opportuno che in queste situazioni l'operatore, rimanga sempre nel ciclo di controllo, *Human-in-the-Loop*. Inoltre, secondo un approccio antropocentrico, è importante che abbia sempre la nozione di quanto stia avvenendo e sia stato opportunamente for-

mato per potere intervenire in caso di imprevisti. Le altre persone della Fabbrica del Futuro, e l'operatore stesso quando non interviene direttamente nei processi fisici di trasformazione, sono comunque immerse nella rete dei sistemi *cyber-fisici-sociali*, *Human-in-the-Mesh*.

- Luogo della presenza fisica. Grazie ai sistemi *cyber-fisici-sociali*, sempre più compiti possono essere svolti a distanza: non solo operazioni di monitoraggio e telecontrollo grazie a dispositivi fissi, ma nuove attività di esplorazione ed intervento da remoto abilitati dall'utilizzo di dispositivi mobili quali droni. Inoltre, tecnologie di video connessione consentono a tecnici remoti di guidare passo passo persone sul campo, in fabbrica, nell'effettuare interventi complessi, eventualmente aiutando la comunicazione con applicazioni di realtà aumentata per meglio riferire le indicazioni agli oggetti fisici, alla loro geometria, configurazione, orientamento e posizione. La tecnologia permette di arrivare ad esperienze di telepresenza sempre più ricche e realistiche: una persona, ad esempio, arriva a percepire e agire attraverso il corpo di un robot.
- Velocità, periodicità. Alcuni compiti richiedono o beneficiano del fatto che le persone interagiscano con i sistemi *cyber-fisici-sociali* in sincronismo, in tempo reale. È questo il caso citato sopra come *Human-in-the-Loop* di attività che impattano direttamente sulla qualità e le altre prestazioni della fabbrica, o più in generale il caso di attività critiche dal punto di vista della sicurezza, intesa sia come protezione e incolumità delle persone, che difesa dei beni della fabbrica, e salvaguardia dell'ambiente, nei quali la persona è eventualmente chiamata ad intervenire immediatamente. Altri compiti necessitano invece di ricevere periodicamente, in modo asincrono, informazioni e indicazioni a maggiore valore aggiunto, oppor-



tunamente filtrate, integrate ed elaborate, che possano fornire la base per prendere decisioni con un orizzonte di tempo non istantaneo.

- Fase del ciclo di vita di prodotti/servizi, processi e sistemi. La creazione, modifica, simulazione di modelli digitali consente alle persone di progettare vari elementi della fabbrica del futuro anticipandone comportamenti e prestazioni lungo tutto il ciclo di vita. Più in generale dati, informazioni, istruzioni possono essere generati e scambiati tra le diverse fasi: dalla progettazione alla produzione, uso o “disassemblaggio” e “*remanufacturing*”; ma anche in senso opposto, i dati raccolti nelle fasi di uso o *end-of-life* possono essere utilizzati nella progettazione. La possibilità di catturare elementi del mondo reale, eventualmente di miscelarli in proporzioni diverse, e di restituirli sotto forma di realtà virtuale e aumentata, rende l’anticipazione più facilmente comprensibile e valutabile dai potenziali utilizzatori e *stakeholder*. L’ulteriore introduzione di elementi sensoriali, tattici o uditivi, con la creazione di prototipi virtuali, potenzia ulteriormente l’anticipazione dell’esperienza. Un lavoratore può ad esempio testare e valutare il progetto di una postazione di lavoro interagendo con la sua rappresentazione virtuale sia in fase di configurazione che di utilizzo.
- Caratteristiche dei dispositivi di interazione. L’interazione con i sistemi *cyber*-fisici-sociali può avvenire con il supporto di molteplici tipologie di dispositivi: ambientali (schermi, proiettori, telecamere) o mobili/indossabili (*tablet*, braccialetti, occhiali, guanti, elmetti, abiti o esoscheletri, equipaggiati con sensori/attuatori). Inoltre l’interazione, può avvenire attraverso segnali visivi, auditivi, tattili/cinestetici elaborati con funzionalità sempre più evolute di riconoscimento di parole (*speech recognition*), gesti, movimenti oculari.

- Funzionalità erogate. I sistemi possono effettuare operazioni di monitoraggio su oggetti, processi, ambiente e persone e comunicare eventuali stati di allerta; raccogliere, elaborare e visualizzare indicatori di *performance*; analisi, previsioni e simulazioni, azioni raccomandate. Possono collaborare, nel caso ad esempio di robot, per adeguare spostamento e azioni ai gesti, comportamenti, e in tendenza alle intenzioni e bisogni, delle persone. Possono fornire indicazioni sui compiti da realizzare, ad esempio sequenze e istruzioni per l'assemblaggio di prodotti complessi; possono supportare il *training* e l'apprendimento. Possono rilevare lo stato psicofisico delle persone, riconoscere i comportamenti, catturare il *know-how*. Infine, non meno importante, l'insieme delle tecnologie permette alle persone di comunicare tra loro, condividere informazioni e conoscenza, di prendere insieme decisioni complesse anticipandone gli effetti sui diversi obiettivi, di continuare osservazioni, commenti e pratiche individuali per costruire una memoria ed un'esperienza collettiva di impresa.

La complessità dei sistemi *cyber*-fisici-sociali emerge con maggiore evidenza man mano che nuove applicazioni stabiliscono ulteriori connessioni tra dispositivi, sistemi e persone. Un operatore che si interfaccia con la macchina che controlla per svolgere i propri compiti in produzione inizia a ricevere informazioni per tracciare, localizzare ed eventualmente farsi portare da robot carrellati a guida autonoma componenti ed utensili. Funzionalità di manutenzione predittiva possono portare ulteriori elementi informativi relativi alla macchina con la quale l'operatore sta lavorando, ma anche di altre macchine, che influenzano la sequenza e programmazione del lavoro. L'operatore, così come gli altri colleghi, interagisce non con una, ma con "centomila" macchine, dispositivi e individui. Esprimendo appieno il proprio potenziale,

i sistemi *cyber*-fisici consentono alle persone di superare confini fisici, spaziali, e organizzativi e, attraverso i mezzi digitali e virtuali, di navigare tra le fasi del ciclo di vita dei prodotti-servizi, processi, macchinari, fabbriche e ecosistemi produttivi.

L'interazione tra le persone e sistemi artificiali diventa sempre più pervasiva e intima, con implicazioni non ancora del tutto chiare e che possono destare elementi di preoccupazione. Perché la relazione tra individui e sistemi si possa sviluppare positivamente, portando benefici sia alle persone che alle imprese, occorrono quadri di riferimento che indirizzino l'utilizzo delle tecnologie in relazione a temi quali l'etica, la *privacy*, diritto del lavoro, la sicurezza. Sarà compito delle imprese industriali, insieme ai lavoratori e agli altri *stakeholder*, contribuire alla ricerca e al dialogo per costruire un modello di Fabbrica del Futuro non solo estremamente economicamente competitiva, ma anche socialmente sostenibile ed umana.

## 4.6 Nuovi modelli di formazione per Industria 4.0

Come abbiamo visto nel paragrafo 4.3, l'evoluzione verso modelli di Industria 4.0 richiede un profondo ripensamento ed aggiornamento nel sistema delle competenze a disposizione delle imprese e dei lavoratori, e che possono – e devono – essere sviluppate anche nell'istruzione di base orientata all'introduzione nel mondo del lavoro. Sappiamo come istruzione e formazione siano fondamentali per la crescita e la competitività: le *skill* sono determinanti per incrementare la produttività e, nel medio periodo, stimolare l'innovazione e lo sviluppo del *business*, per contribuire al futuro mercato del lavoro<sup>8</sup>.

In generale, i paradigmi di riferimento dell'istruzione stanno evolvendo: lo scopo si sposta dall'insegnamento all'apprendimento, dall'insegnante all'allievo. L'approccio educativo si concentra sugli studenti e sugli obiettivi di apprendimento da raggiungere, anziché lasciare che i risultati siano semplicemente un effetto dell'istruzione erogata. Solo se l'apprendimento è focalizzato sull'acquisizione di conoscenze, abilità e competenze, attraverso un processo di apprendimento, anziché sul tempo di frequenza nelle scuole ed istituti, l'istruzione e la formazione possono realmente contribuire all'economia e alla creazione di posti di lavoro.

La complessità crescente, la globalizzazione, i *trend* geopolitici e tecnologici portano ad una crescente dinamicità e trasformazione del sistema industriale: le persone non svolgeranno più lo stesso lavoro per anni, non percorreranno solo carriere lineari, ma seguiranno traiettorie personali e professionali variegata e variamente intersecate, con conseguente necessità di arricchire o riconvertire le proprie competenze. Da ciò ne consegue, che sia istruzione che formazione non sono più associate alla fase iniziale della preparazione giovanile, ma diventano sempre più sviluppo continuo delle competenze, un "*Long Life Learning*". In questa

8 – COM (2012) 669 final - Communication from Commission to the European Parliament "Rethinking Education: Investment in skills for better socioeconomic outcomes.

prospettiva, le persone non devono essere più considerate come consumatrici di contenuti, ma come partecipanti attive e co-creatrici dell'apprendimento. Metodi che stimolano l'apprendimento attivo ed esperienziale sono sempre più incoraggiati e utilizzati a partire dalle scuole dell'infanzia, risalendo tutti i livelli, fino alle università. La formazione professionalizzante acquisisce uno scopo più ampio rispetto alla preparazione ad una posizione lavorativa, favorendo una pluralità di percorsi verticali e orizzontali nel corso della vita lavorativa delle persone.

Se questi sono gli orientamenti generali, per la Fabbrica del Futuro occorre tenere conto di alcune specificità. La manifattura è caratterizzata da una fisicità importante, costituita da prodotti, attrezzature e macchinari eterogenei e articolati. Non solo, il sistema manifatturiero, come illustrato nelle sezioni precedenti del capitolo, è un sistema socio-cyber-fisico complesso, nel quale i singoli attori e *team* hanno diverse prospettive e conoscenze, perseguono una pluralità di obiettivi, operano ed interagiscono sul piano psicomotorio, cognitivo, e affettivo.

Una parte significativa delle conoscenze, abilità e competenze rilevanti per le persone che lavorano in un contesto di fabbrica sono strettamente connesse a questa materialità, e alle dinamiche lavorative e sociali che agiscono nei sistemi produttivi.

In generale, l'apprendimento per la Fabbrica del Futuro deve essere attivo, le persone devono essere stimolate a mettersi in gioco, a fare esperienze, sia individuali che in gruppo. Studenti e non, nei diversi momenti dei loro percorsi e della vita, affrontando casi (CBL, *Case Based Learning*), problemi (PBL, *Problem Based Learning*) o vere e proprie sfide (CDE, *Challenge Driven Education*), possono acquisire non solo competenze tecniche settoriali, ma anche competenze trasversali o *soft skill*. È evidente che accompagnare le persone durante tutto il percorso di vita, dall'infanzia alla vecchiaia, ponendo attenzione allo sviluppo di competenze utili, sia nella prospettiva dell'impiegabilità che del lavoro autonomo o imprenditoriale, sia un tema di carattere generale

che richiede la convergenza tra diverse politiche per l'istruzione e la formazione, per il lavoro lo sviluppo industriale e l'allocazione di risorse umane e finanziarie. In questa cornice, le imprese manifatturiere giocano un ruolo di rilievo nell'orientare istruzione e formazione verso lo sviluppo di competenze per rispondere ai bisogni del settore. Contribuiscono a creare un ecosistema per l'identificazione delle competenze necessarie al settore nel medio e breve termine e nella progettazione ed erogazione dei programmi formativi, offrendo proprie risorse quali laboratori ed esperti (come nel caso della partecipazione agli Istituti Tecnici Superiori, ITS). Collaborano con scuole, università, centri di formazione e di competenza contribuendo continuamente ad integrare approcci e contenuti con le più recenti innovazioni. Promuovono la formazione del proprio personale, anche tenendo in considerazione obiettivi di trasferibilità delle competenze e impiegabilità.

Fatto salvo quanto sopra, considerate le specificità del contesto manifatturiero, si possono identificare quattro principali approcci che possono contribuire allo sviluppo delle competenze per l'Industria 4.0. La figura seguente ne evidenzia le principali caratteristiche con riferimento (i) al contesto di riferimento, reale o didattico e (ii) al tipo di interazione, fisica o digitale.

→ **Figura 4.2 – Approcci di apprendimento per la manifattura.**

	<b>REALTÀ INDUSTRIALE</b>	<b>SIMULAZIONE DIDATTICA</b>
<b>INTEGRAZIONE FISICA</b>	<b>Alternanza scuola-lavoro Tirocinio</b>	<b>Learning Factory</b>
<b>INTEGRAZIONE DIGITALE</b>	<b>Teaching Factory</b>	<b>Learning Platform, realtà virtuale</b>

#### Parte 4 – Persone, Organizzazione, Competenze e Formazione

I Tirocini, l'Alternanza Scuola/Lavoro, l'Apprendistato, il più generale *Training-on-the-job* consentono di apprendere interagendo con i processi di produzione reali, o con postazioni di lavoro e strumenti specificatamente dedicati al *training*, di essere istruiti e ricevere *coaching*, di essere immersi e in qualche misura partecipare anche al contesto sociale della fabbrica. La recente ondata tecnologica ha reso disponibili nuovi metodi per il *training* in un contesto industriale. Ad esempio, la Realtà Aumentata consente di offrire alle persone in *training* informazioni e istruzioni a supporto dell'apprendimento, dinamicamente adattate sulla base del contesto fisico. La persona riceve indicazioni e istruzioni visive, ad esempio su un dispositivo portatile, che la guidano nell'effettuare dei compiti, quali assemblare un prodotto o effettuare un intervento di manutenzione.

Le *Learning Factories* (LF) sono linee o fabbriche semplificate, ma funzionanti, che supportano l'apprendimento esperienziale, basato su problemi, e in molti casi prevedono la collaborazione in *team*. Sono basate su processi e tecnologie reali, permettendo un approccio diretto al processo di creazione di prodotti, ma a differenza di Tirocini ed Alternanza, si realizzano in un contesto didattico, nelle scuole, istituti di formazione, università.

Le *Teaching Factories* (TF) hanno preso ispirazione dal settore della Salute, dagli ospedali universitari, e dal concetto di integrare l'istruzione con la ricerca e l'innovazione. Le TF connettono digitalmente l'ambiente di lavoro della fabbrica con l'ambiente di apprendimento: il personale della fabbrica propone sfide e problemi tecnici in condizioni industriali agli studenti in aula, gli studenti con il supporto dei docenti elaborano e propongono soluzioni basate sui metodi più aggiornati e con contributi di innovazione. Gli studenti si confrontano con un contesto reale, applicano conoscenze e abilità, sviluppano competenze. Le imprese ricevono una rosa di soluzioni e proposte, talune secondo gli orientamenti più recenti della disciplina, altre fuori dagli schemi, si fanno conoscere e stabiliscono relazioni con potenziali



futuri collaboratori. I benefici sono quindi per entrambe le parti. Le TF consentono di integrare nel processo di apprendimento la componente umana e sociale dell'ambiente di lavoro, ampliano lo scopo all'identificazione di possibili differenze di prospettive tra diversi *stakeholder*, al riconoscimento di obiettivi e vincoli non esplicitati nella formulazione iniziale del problema.

Le *Learning Platform* (LP) offrono alle persone la possibilità di fruire di contenuti digitali per acquisire nuove conoscenze e competenze. L'offerta è molto ampia sia nella forma di veri e propri corsi *on line*, come i *Massive Online Open Course* (MOOC), sia nella formula "*blended*" in associazione con sessioni in aula. Le LP costituiscono una risorsa importante per sviluppare le competenze della Fabbrica del Futuro. In particolare, più che corsi corposi, la disponibilità di moduli focalizzati e di peso contenuto consente a studenti e persone già inserite nel mondo del lavoro di costruire percorsi personalizzati per incrementare le competenze (*up-skilling*) e riconvertirle (*re-skilling*), in mobilità. Esercitazioni e test permettono di verificare l'effettivo raggiungimento degli obiettivi formativi identificati ed eventualmente di ottenerne una certificazione.

# La Fabbrica del Futuro

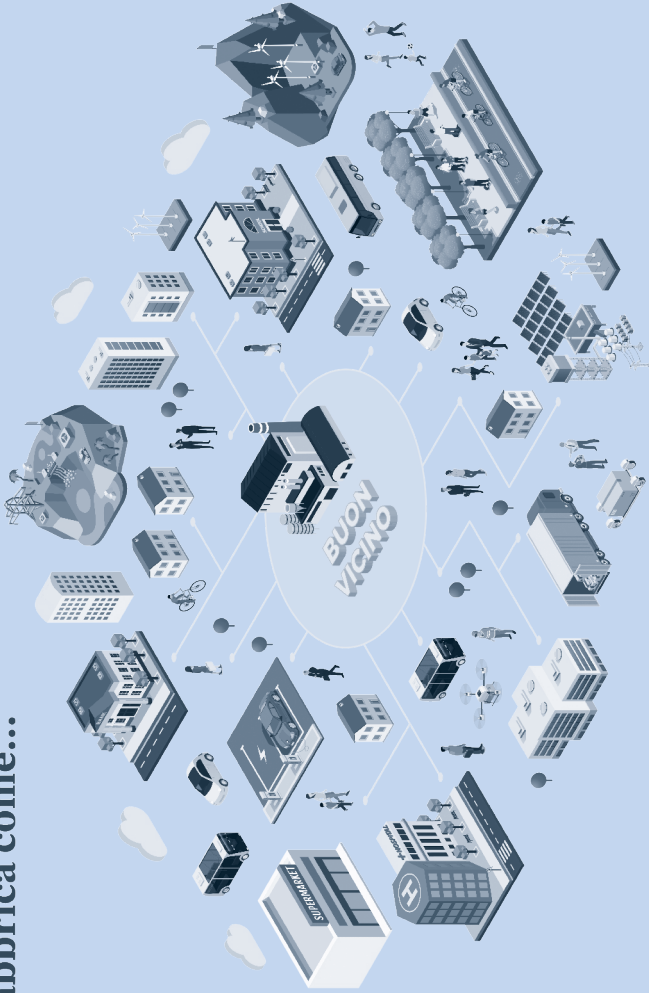
5

Conosciamo l'industria italiana, la sua struttura di PMI ad alto tasso di imprenditorialità, la flessibilità operativa delle sue filiere, la multi-focalizzazione dei suoi comparti, la sua estero-filia. Il manifatturiero italiano è il frutto *in primis* di una storica vocazione imprenditoriale e industriale del nostro Paese ed è ovviamente il risultato della storia che ci ha preceduto, nel bene e nel male dell'andamento economico. L'Italia non è all'anno zero dello sviluppo industriale e in nessun comparto siamo in condizioni di progettualità da *green field* ("prato verde", su cui pensare di poter costruire in modo radicale un progetto), come altri paesi *competitor* hanno invece sperimentato negli ultimi anni (Cina tra tutti). In questa condizione, per il nostro Paese occorre pensare ad uno sviluppo industriale che sia capace di trasformare tutte le proprie caratteristiche in risorse ed *asset* competitivi, differenzianti rispetto alla concorrenza mondiale e adeguati al contesto umano e sociale del nostro sistema nazionale.

Siamo convinti che l'Italia abbia le risorse adeguate per affrontare le sfide che il manifatturiero mondiale porrà nei prossimi anni, purché oggi prenda consapevolezza di tali sfide e formuli un piano di azione collettivo. Tale piano di azione deve innanzitutto avere una capacità "visionaria", al fine di individuare degli "scenari di riferimento" verso cui poi orientare il progresso dell'intero sistema. Siamo altrettanto convinti che questi scenari avranno dimensioni diverse e saranno plausibilmente integrabili e non esclusivi.

Nel proseguo di questo capitolo presentiamo quelli che riteniamo essere degli scenari di riferimento della Fabbrica del Futuro adatti al Sistema Italia. Si tratta di scenari che – dopo l'analisi dei *trend*, delle tecnologie e delle competenze – riteniamo rilevanti per avviare una riflessione collettiva sul futuro del manifatturiero nazionale. I diversi scenari non sono da intendersi come esclusivi, ma fra essi esiste un intrinseco legame e correlazione.

Fabbrica come...



## 5.1 La Fabbrica come “buon vicino”, attore dello sviluppo del e nel territorio

La Fabbrica del Futuro sarà – come già spesso oggi è in Italia – un attore attivo del territorio in cui andrà ad inserirsi. Non sarà un corpo estraneo al contesto urbano, che sia metropolitano o provinciale. Già oggi, molte realtà industriali nazionali – spesso PMI – sono attori vivi del proprio territorio, con cui crescono in modo sinergico. Sono realtà che offrono spazi logistici ed operativi per l'intero bene di una realtà locale, che sia un paese o una più grande città. Queste fabbriche offrono servizi condivisi e spesso svolgono una vera e propria azione sociale di presidio dei territori e della vivacità degli stessi.

L'archetipo urbanistico della “zona industriale” separata dal resto ha presentato con la crisi alcuni sintomatici problemi. La chiusura di stabilimenti e capannoni – costruiti nelle zone periferiche secondo l'approccio urbanistico tipico degli anni tra il '70 e il 2000 – conseguentemente alla crisi ha presentato un conto salato a diverse realtà urbane, creando vere e proprie aree di vuoto e non presidio nel tessuto territoriale. Laddove invece la Fabbrica – ovviamente ammodernata sotto i presidi di salute ed ambiente, oltre che di accessibilità logistica – ha convissuto con il tessuto urbano, si sono generati minori fenomeni di degrado. Anche per queste osservazioni, un archetipo di co-esistenza tra tessuto industriale e urbano ci sembra essere un modello da riproporre per il futuro. Una fabbrica come “buon vicino”, capace di generare valore per tutti, mettendosi in sinergia con l'ambiente circostante. Ad esempio, modelli di condivisione della potenza energetica, realizzazione di spazi comuni (es. parcheggi, aree logistiche), utilizzo differenziale di spazi attrezzati, sono già una realtà per alcuni territori nazionali. In alcuni paesi del Nord-Europa, tale coesistenza è spesso indicata come “simbiosi industriale”, indicando con questo termine sia la co-esistenza tra più realtà produttive, sia la co-esistenza con contesti urbani e di convivenza sociale. Nella

## Parte 5 – La Fabbrica del Futuro

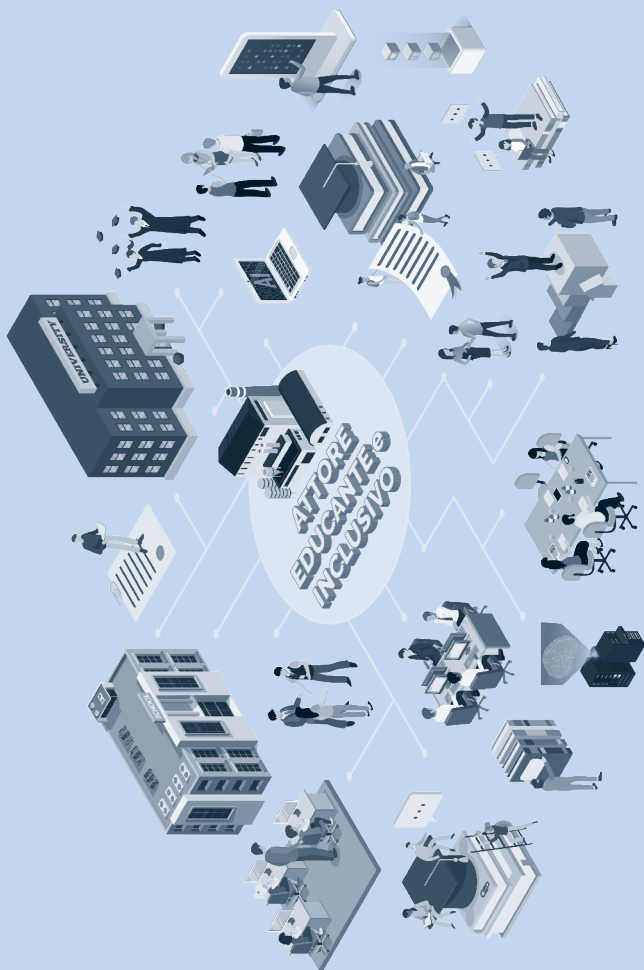
penuria di spazio che distingue la nostra stretta e lunga Penisola, tale archetipo di co-sviluppo industriale ed urbano ci pare di rilevante interesse, peraltro non lontano dalla culturale industriale nazionale (nata con i primi villaggi operai di fine '800).

Plausibilmente, tale modello di Fabbrica del Futuro non è tale da avere dei diretti impatti sulla competitività economica delle imprese. Non ci aspettiamo, infatti, un aumento dei fatturati conseguentemente ad una diversa scelta di collocazione territoriale, ma possiamo aspettarci una serie di benefici laterali nella vita degli individui e di interi territori, che possono tradursi in maggior produttività e valore sociale anche nel prossimo futuro.

Naturalmente, l'archetipo di una Fabbrica come "buon vicino" non può che fondarsi sul rispetto delle norme di comportamento civile che rendano possibile la coesistenza. Stiamo, quindi, dando per risolti tutti i problemi di convivenza strutturale, come rispetto delle norme di impatto ambientale e di sicurezza. Non possiamo più immaginare che una Fabbrica sia un attore inquinante (in senso lato e fisico, dall'aria all'acqua), ma diamo per scontato il fatto che un sistema produttivo debba essere già oggi parte integrante di un ecosistema bilanciato, rispettoso dell'ambiente e della salute di tutti (dagli operatori, ai cittadini). Sappiamo tutti che le tecnologie necessarie alla realizzazione di questa visione sono oggi esistenti (almeno nella stragrande maggioranza delle situazioni produttive), come parimenti sono attivi – nel nostro mondo di coabitazione civile e corretta – tutti gli strumenti legislativi e i meccanismi di controllo per renderlo possibile.



Fabbrica come...





## 5.2 La Fabbrica come attore educante e inclusivo

La Fabbrica del Futuro è chiamata a svolgere l'impegnativo compito di essere un attore educante, capace di trasmettere e rinnovare al suo interno la conoscenza del "sapere fare" sia nella sua dimensione collettiva (a livello di organizzazione), sia individuale (di lavoratore). Le tecnologie digitali stanno modificando alcune delle modalità operative del mondo della produzione, ma non si stanno sostituendo alle specificità delle metodologie e delle tecniche di produzione e alla capacità tutta umana di gestire e "plasmare la materia". La conoscenza dei materiali di produzione, dei cicli produttivi, delle technicalità di lavorazione potrà certamente in parte essere storicizzata e accumulata nei sistemi informativi, ma molto sarà – come è oggi – nella testa delle persone, che dovranno trasmetterla alle future generazioni.

Allo stesso tempo la Fabbrica è un ambiente gestionale complesso, che necessita di comportamenti e attitudini adeguate delle persone per poter essere condotta in modo efficace ed efficiente. Anche queste competenze, più *soft*, devono essere veicolate tra persone e generazioni, pur nel rispetto di norme e sistemi di gestione che dovranno essere costantemente aggiornate.

L'ambito più adeguato e funzionale per consentire questo scambio di conoscenze – sia tecnica, sia relazionale – non può che essere il *learning by doing*. Già oggi questo accade, ma nel futuro è quanto mai necessario che l'azienda nel suo complesso ne acquisisca piena consapevolezza, anche riflettendo su possibili riorganizzazioni delle modalità e degli spazi di lavoro. Una fabbrica educante dovrà essere una fabbrica aperta, capace di attrarre i giovani talenti (e non di spaventarli), un ambiente salutare in cui operare, un contesto di lavoro socialmente interessante. Dovrà essere un ambiente inclusivo, rispettoso delle esigenze delle differenti generazioni di collaboratori e delle diversità culturali, attento alla sostenibilità nelle sue diverse declinazioni. Proprio

## **Parte 5 – La Fabbrica del Futuro**

grazie a questa inclusività, la Fabbrica del Futuro potrà diventare un attore educante, capace di lavorare in sinergia con le istituzioni formative (Scuole, Università, Istituti tecnici superiori) e con la comunità nel suo complesso.

Forse anche in questo scenario di Fabbrica del Futuro non aumenterà il fatturato, ma migliorerà ampiamente lo scambio sociale inter e intra generazionale, oltre che il benessere collettivo. Ciò porterà con sé – come naturale relazione con la risorsa umana – maggior produttività, che potrà trasformarsi in vantaggio competitivo.



**Fabbrica come...**



### 5.3 La Fabbrica come polo di costante creazione ed innovazione

La Fabbrica del Futuro dovrà essere un centro di costante creazione ed innovazione. Questo è un archetipo che già oggi troviamo in molte delle Medie Imprese eccellenti, che si giocano la competizione globalmente, portando la propria capacità creativa globalmente.

L'Italia non è il Paese del “*Design in*” e del fatto altrove (come altre nazioni hanno scelto di fare), ma è intrinsecamente il Paese del “*Made in Italy*”, dove la capacità creativa e progettuale si fonde con la capacità del “saper fare”, del “saper produrre”. Questo è valido nelle numerose imprese operanti a commessa nel mondo dell’automazione, nell’intero comparto della produzione alimentare, nelle imprese della moda in grado di combinare creatività nazionale con artigianalità locale e volumi di produzione e di vendita mondiali.

La Fabbrica del Futuro dovrà continuare ad essere questo continuo spazio di creazione, progettazione, sperimentazione, realizzazione, miglioramento. Nella capacità di produrre, di mettere a terra le idee creative, di realizzare i progetti ingegneristici più ambiziosi sta la grandezza delle fabbriche del nostro Paese.

Per migliorare la propria capacità creatrice la Fabbrica del Futuro farà uso delle tecnologie digitali per generare più idee, almeno quanto i *competitor*. L’informatica e l’automazione aiuteranno a gestire la maggiore capacità creatrice, consolidando la conoscenza e realizzando con precisione quanto immaginato. Per aumentare la propria capacità innovativa la Fabbrica del Futuro sarà il nodo di un ecosistema dell’innovazione, aperto e pronto a cogliere i bisogni dei clienti globali, espressi o taciti che siano. La Fabbrica del Futuro sarà costantemente tesa all’innovazione, in costante spinta verso la frontiera inventiva e pronta a sperimentare e a mettere le proprie risorse all’opera.

## **Parte 5 – La Fabbrica del Futuro**

La maggiore e costante capacità creatrice fornirà alla Fabbrica del Futuro continua linfa, permettendo di giocare la competizione a livello globale. Maggiore innovazione consentirà maggiori fatturati, maggiori quote di mercato e un aumento della posizione competitiva.



**Fabbrica...**





## 5.4 La Fabbrica circolare e sostenibile

Se diamo uno sguardo a quello che può significare un'innovazione orientata all'ambiente, ci troviamo davanti a varie correnti "sostenibili" applicabili in fabbrica. Tra le più diverse che esistono in letteratura, la più nota e quella più diffusa si riflette nel paradigma di Economia Circolare (*Circular Economy*), che in un contesto manifatturiero si può meglio identificare con il termine di *Circular Manufacturing*.

Tale paradigma ha come obiettivo quello di ridurre la generazione di scarti – permettendo nel caso più estremo di raggiungere zero scarti lungo tutto il ciclo di vita del prodotto – ridurre la creazione di agenti inquinanti e l'utilizzo di risorse. Questo obiettivo è già, oggi, reso possibile attraverso l'uso di tecniche e strategie volte al riutilizzo delle risorse, come energia e materiali. Nel prossimo futuro, possiamo aspettarci che le nuove tecnologie digitali potranno ulteriormente supportare l'utilizzo e la gestione dei dati e delle informazioni riguardanti l'intero ciclo di vita dei beni e dei sistemi, a partire dall'ideazione e progettazione, passando attraverso le fasi di ingegnerizzazione e produzione, per concludere con la gestione del fine di vita in termini di servizio offerto e reintroduzione nel ciclo.

Ci aspettiamo che l'Economia Circolare possa portare fino a dei nuovi modelli di *business* "rigenerativi", in cui il ciclo di vita dei beni sia "chiuso" in maniera sistematica. Pensiamo che tutto ciò possa però accadere solo se adeguatamente pensato e progettato per "chiudere il cerchio" e permettere il massimo riutilizzo delle risorse nel tempo. Ciò deve avvenire per i singoli prodotti, che devono essere progettati con una visione di lungo termine, senza l'utilizzo di agenti inquinanti e considerando fin dall'inizio gli scenari possibili di riciclo, rigenerazione e di riuso dei componenti e dei materiali. Deve e può avvenire anche per gli interi sistemi produttivi, che dovranno essere pensati in modo analogo per essere riutilizzati e recuperati. Sarà parimenti necessario pensare a

impianti *ad hoc* per il riuso e la rigenerazione dei componenti, in un'ottica che vada oltre il mero utilizzo di rifiuti industriali.

Questa Fabbrica del Futuro, circolare e sostenibile, andrà di pari passo con l'evoluzione e la diffusione di modelli di *business* orientati alla servitizzazione, in cui il numero di componenti e prodotti da rigenerare e riutilizzare sarà molto plausibilmente più alto dello stretto numero di unità vendibili al mercato. Ciò sta già accadendo in comparti industriali caratterizzati da un approccio B2C, ma sempre più dobbiamo aspettarci un passaggio ai comparti più tradizionalmente B2B (come i produttori di beni durevoli, di macchine e di equipaggiamenti industriali). Ad esempio, la Fabbrica del Futuro produttrice di macchinari e impianti sarà plausibilmente un ambiente produttivo in cui co-esisterà la produzione di nuovi impianti, il *revamping* di impianti esistenti, oltre che modalità operative di noleggio/affitto/*leasing* di intere soluzioni impiantistiche. In questo scenario, alcune delle tecnologie dell'Industria 4.0 saranno fondamentali. Tra tutte, l'introduzione di soluzioni IoT per la sensorizzazione e il relativo monitoraggio di impianti noleggiati da clienti sarà una *conditio sine qua non* tramite cui abilitare questa operatività.

Una Fabbrica del Futuro costruita su un modello circolare sarà più sostenibile, meno impattante, consumerà plausibilmente meno risorse e avrà più ridotti costi operativi. Prodotti – soprattutto impianti e beni durevoli – offerti con archetipi di servitizzazione garantiranno flussi finanziari costanti a chi saprà renderli commercialmente valevoli. Le quote di mercato tenderanno a polarizzarsi verso attori economici capaci di gestire l'intero ciclo di vita dei beni. La produttività delle risorse – se adeguatamente governata – non potrà che trarre giovamento da una ripartizione delle attività più livellata e meno soggetta ai picchi di domanda tipici di beni offerti a mero consumo.



**Fabbrica...**



## 5.5 La Fabbrica cognitiva e iper-connessa

L'utilizzo congiunto di più tecnologie digitali dell'Industria 4.0 – in particolar modo IoT, *cloud*, *Machine Learning* ed automazione avanzata – permetterà la realizzazione di un nuovo modo di “fare fabbrica”, basato su un enorme capacità elaborativa, computazionale, connettiva e cognitiva. Sarà un manifatturiero più consapevole, in cui la grande base di dati disponibile – proveniente da macchinari connessi, informazioni non strutturate raccolte dalla rete, *feedback* collezionati in *real-time* dai clienti – permetterà l'elaborazione di strategie adattive e la presa di decisioni oggettivate. Gli operatori diventeranno sempre più degli strateghi della decisione, mentre l'operatività semplice sarà demandata a sistemi produttivi auto-adattanti e semi-autonomi. La fabbrica cognitiva e iper-connessa sarà un meta-sistema intelligente, in cui gli uomini coopereranno con le macchine, per raggiungere una maggiore produttività, evitare gli sprechi e garantire la qualità dei processi e dei prodotti.

I seguenti elementi costituiranno la dorsale di questa Fabbrica del Futuro (elencati per ordine di plausibile accadimento):

- Manifatturiero collaborativo e servitizzato. L'adozione di tecnologie IoT, *cloud* e di produzione digitale e automatizzata permette già oggi la creazione di un ambiente informatico tramite cui mettere in rete risorse produttive, anche di operatori diversi, grandi e piccoli. Tale ambiente può essere trasformato in un portale e in un nuovo canale verso la clientela, che può quindi accedervi per noleggiare, prenotare e riservare capacità produttiva. Come in un *market-place* elettronico, un cliente può quindi ordinare una certa produzione e ricevere comodamente a casa i prodotti realizzati. Le imprese coinvolte in questa rete guadagnano nuovi accessi al mercato, spesso rendendo le proprie filiere più globali. Nel prossimo futuro, con l'ampliarsi dell'utilizzo della rete come

fattore di connessione, questo modo di produrre potrà creare un vero e proprio modello di *Manufacturing As A Service*, basato sulla collaborazione tra più attori, anche indipendenti, e orientato a portare il massimo risultato al cliente finale. Lo stato di un ordine di produzione sarà aggiornato costantemente grazie alle risorse connesse e i clienti avranno trasparente visibilità degli avanzamenti produttivi e logistici.

- Sistemi produttivi connessi e intelligenti. Le risorse produttive saranno connesse in rete e saranno in grado di reagire ed auto-adattarsi alle richieste di altre risorse, sia produttive che logistiche. I sistemi potranno svolgere auto-diagnosi sul proprio funzionamento e potranno richiedere interventi manutentivi, sia verso operatori che verso altre risorse automatizzate. I sistemi produttivi potranno auto-adattarsi ad aumenti o riduzioni della domanda, predisponendo un maggiore o un minore utilizzo di risorse automatiche.
- Ottimizzazione intelligente di risorse limitate. Combinando dati e informazioni provenienti da risorse, operatori, impianti e clienti, il manifatturiero cognitivo ottimizzerà l'uso delle risorse limitate, massimizzando la produttività delle stesse. I macchinari potranno essere utilizzati al massimo della produttività con il minimo consumo delle risorse energetiche. La turnazione degli operatori potrà essere ottimizzata, bilanciando anche le richieste di benessere organizzativo degli stessi (pause, attese, periodi di *training*, ecc.).
- Processi operativi auto-adattivi. Grazie alla raccolta di terabyte di dati provenienti dalle macchine, le tecniche di *Machine Learning* e Intelligenza Artificiale potranno identificare pattern ricorrenti nell'utilizzo degli impianti. Ciò permetterà di anticipare eventuali problemi – ad esempio ricorrendo alle logiche di manutenzione predit-

tiva – come anche di identificare soluzioni ottimali non normalmente perseguite nell’impianto (ad esempio nella pianificazione e *scheduling* della produzione).

In questo scenario di Fabbrica del Futuro, fortemente spinto dalle tecnologie, la produttività e l’efficienza saranno i principali risultati, su cui sarà possibile costruire dei vantaggi comparati di medio termine, con un aumento e/o un rafforzamento della posizione competitiva sul mercato. La sicurezza dell’ambiente produttivo crescerà e il valore aggiunto degli operatori e dei tecnici tenderà a crescere con il crescere delle competenze. Le nuove strategie produttive e commerciali – orientate ad un modello servitizzato – modificheranno i flussi finanziari, drasticamente cambiando la ripartizione tra costi di investimento (CAPEX) e costi operativi (OPEX) verso questi ultimi. La capacità di focalizzare e soddisfare i bisogni dei propri clienti sarà fattore distintivo di successo.

Fabbrica...





## 5.6 La Fabbrica iper-personalizzante, agile e flessibile

Con Internet e i servizi digitali che pervadono ogni aspetto della vita, c'è un chiaro passaggio dalla standardizzazione alla produzione di massa, alla personalizzazione attraverso l'automazione e la produzione intelligente. Con le aziende che diventano sempre più incentrate sul cliente, il cliente diventa il punto focale di come devono essere progettate le operazioni di produzione. Il mercato chiede e chiederà sempre di più prodotti e soluzioni *ad hoc* per gli individui e i clienti, secondo il principio di personalizzazione, singola e di massa. L'utilizzo delle tecnologie digitali offrirà un grande supporto alla realizzazione di questo archetipo di mercato, permettendo la creazione di ambienti produttivi ad alta reattività e flessibilità, che riusciranno a produrre *on demand* prodotti anche complessi. Il lotto di produzione tenderà a diventare sempre più prossimo alla singola unità e i processi efficienti dell'*one-piece flow* saranno la modalità produttiva di riferimento.

L'iper-personalizzazione della produzione sarà resa innanzitutto possibile grazie ad una conoscenza specifica, approfondita e potenzialmente predittiva delle esigenze dei clienti. I macchinari e le risorse produttive potranno quindi ricombinarsi lungo il flusso produttivo per creare le varianti di prodotto richieste e recuperare le materie e i componenti necessari. Il sistema produttivo, con le sue risorse produttive (macchinari) e logistiche (*buffer* di stoccaggio), potrà essere modificato in *real-time*, in modo agile e flessibile, in moda da massimizzare la produttività e la flessibilità richiesta in quel momento dal mercato. La manifattura additiva permetterà di produrre direttamente dai modelli digitali i singoli componenti, appena in tempo per essere utilizzati in linea di produzione e/o montaggio. Gli avanzamenti dell'automazione e della robotica permetteranno di creare un sistema produttivo a facile e rapido riadattamento, secondo i principi della flessibilità e dell'agilità produttiva. Nell'affrontare

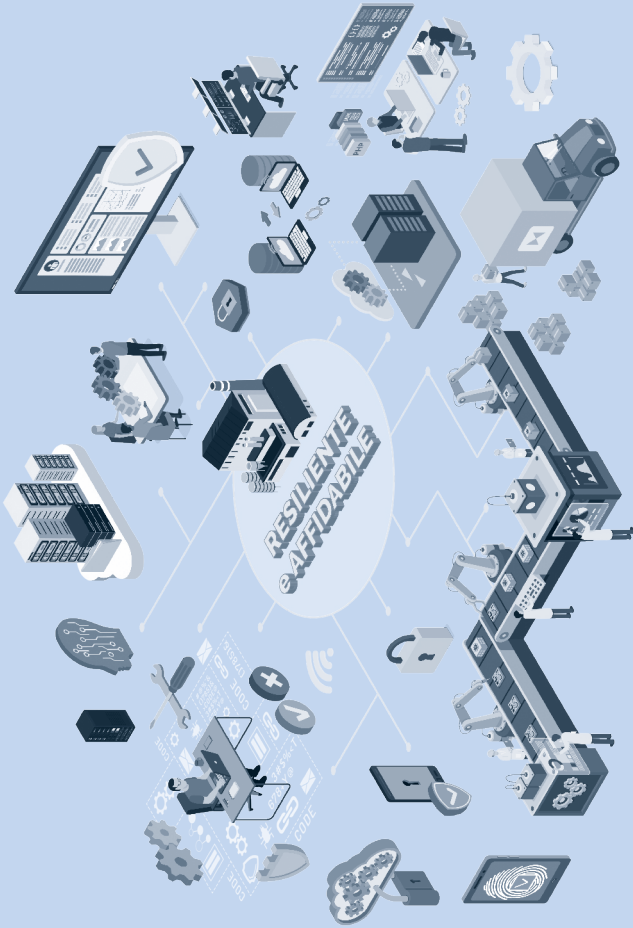
## Parte 5 – La Fabbrica del Futuro

le esigenze personalizzate dei clienti, le aziende manifatturiere del futuro saranno in grado di sviluppare prodotti personalizzati a prezzi accessibili, e contemporaneamente personalizzare prodotti per i mercati locali e globali.

Potenzialmente la Fabbrica del Futuro iper-personalizzante e flessibile sarà senza scorte e con un ridotto “*Work in Process*” (WIP), con un flusso commerciale e produttivo direttamente tirato dal cliente, al quale sarà data la completa trasparenza sull’avanzamento delle fasi produttive e logistiche. La Fabbrica del Futuro sarà rapidamente reattiva, costruita su modelli operativi agili, flessibili, snelli e potenzialmente predittivi, che sarà in grado di mutare rapidamente e seguire i cambiamenti delle condizioni di mercato, anticipando le preferenze dei clienti e le esigenze sociali. Sarà quindi una fabbrica a rapida innovazione e rapido rinnovo.



Fabbrica...



## 5.7 La Fabbrica resiliente e affidabile

La Fabbrica del Futuro sarà affidabile e resiliente, resistente ai rischi globali. Lo sarà tecnologicamente, costruita sull'archetipo di una rete connessa resiliente in cui le diverse risorse saranno connesse e rapidamente riconfigurabili. Lo sarà gestionalmente e operativamente, in grado di ripianificare la propria capacità produttiva per riallinearsi alla domanda globale, senza subire l'impatto di eventuali interruzioni dovute ad eventi esogeni. Lo dovrà essere anche informaticamente, con l'enormità di dati generati che dovrà essere difesa da qualsiasi rischio di attacco informatico.

Per raggiungere questa visione di resilienza, la Fabbrica del Futuro dovrà tenere in stretta considerazione la propria sicurezza informatica e informativa. Inoltre, con la connettività spinta dell'IoT che renderà interoperabili risorse e persone da tutto il mondo, aumenteranno drasticamente le potenziali fonti di vulnerabilità. Allo stesso modo, in un mondo globale ad alta competitività le minacce da attori esterni all'impresa non potranno che crescere. La Fabbrica del Futuro dovrà essere protetta da questi *cyber*-attacchi in un'ottica sistemica e non localistica; non sarà solo questione di proteggere qualche calcolatore da un attacco virale, ma sarà questione di difendere intere filiere industriali e interi comparti del Sistema Paese.

Per instaurare meccanismi di sicurezza e di tutela, le tecnologie automatiche di certificazione e protezione (criptografia, *blockchain*, ecc.) faranno parte della quotidianità dell'operatività di una fabbrica resiliente e sicura. Le stesse tecnologie potranno essere adoperate per certificare interi distretti e filiere produttive, rendendo il "*Made in Italy*" un *brand* sicuro e inviolabile. Insieme all'uso combinato di tecnologie digitali, i distretti manifatturieri nazionali troveranno nuovi meccanismi di *governance*, più resilienti alle tempeste della competizione globale e più adattivi. Un'impresa sarà contemporaneamente coinvolta in più filiere commerciali, distribuite su scala globale, e sarà in grado di mo-

## Parte 5 – La Fabbrica del Futuro

dificare il proprio modo di generare valore a seconda seguendo il costante mutamento dei mercati. Anche grazie a questa flessibilità adattiva di filiera, le aziende del futuro potranno anticipare le minacce di una competizione globale basata sul mero costo, consolidando le proprie capacità e abilità produttive, mantenendo un fronte di competitività multi-obiettivo (ad esempio coniugando costo, qualità, tempi, innovazione, sostenibilità). Questi meccanismi di resilienza e flessibilità si tramuteranno *in primis* in competitività diretta, che potrà quindi tramutarsi in un rafforzamento delle posizioni commerciali globali.



# Raccomandazioni

6



Anche solo facendo scivolare tra le dita le pagine di questo Libro Bianco, ciascun lettore può notare il ricorrente *leitmotiv* del Cambiamento. Il mondo sta cambiando, il nostro Paese sta cambiando, la nostra Società sta cambiando.

Data la sua costanza e ricorrenza, il cambiamento stesso è divenuto la regola a cui il Sistema Paese, e il comparto industriale in particolare, non possono evitare di prestare la massima attenzione.

Nelle pagine precedenti si è cercato di definire e modellare gli assi di questa trasformazione, utilizzando una lente prettamente “manifatturiera” e industriale, su cui proiettare possibili scenari di sviluppo. Naturalmente nessun analista potrà mai avere la presunzione di essere certo del futuro che egli stesso sta immaginando. Ricordiamo come l'imprevedibilità della crisi finanziaria globale di dieci anni or sono colse di sorpresa anche i più grandi economisti in modo plateale, compromettendo le visioni prevalenti. Resta però tutta la ragionevolezza che l'azione di immaginare il futuro porta con sé, a maggior ragione in questo tempo di grandi trasformazioni tecnologiche. Peraltro, fa strettamente parte dell'umana natura immaginare – per poi realizzare – il futuro. L'uomo non può esimersi dall'immaginare come sarà il domani. Da questa tensione evolutiva dell'umano nasce il vero progresso.

Nelle pagine precedenti abbiamo immaginato diversi scenari, da quelli prettamente tecnologici descritti nella Parte 3, a quelli più di visione, commentati nella Parte 5, nessuno dei quali è da intendersi come esclusivo. Anzi, molte delle visioni formulate hanno un intrinseco legame e qualche correlazione.

Gli scenari ipotizzati riguardano un futuro di medio orizzonte; nonostante la maggior parte delle tecnologie sia disponibile già ora, infatti, l'adozione delle stesse e la modifica strutturale dei contesti organizzativi in cui si inseriscono richiedono plausibilmente tempistiche di almeno un lustro. Proprio per questo, in chiusura di questo Libro Bianco, riteniamo fondamentale fornire alcuni spunti di riflessione per un ampio pubblico di interlocutori, dagli imprenditori che devono oggi orientare le proprie decisioni

strategiche di *business*, ai *policy makers* che hanno il compito di definire scelte politiche e sociali, alla più ampia Società Civile che deve poter trarre beneficio dall'evoluzione in corso. A queste tre tipologie di interlocutori sono quindi rivolte le “Raccomandazioni” contenute in questo ultimo capitolo.

### 6.1 Pianificare l'evoluzione, per governarla

Il manifatturiero italiano è – come ampiamente commentato nella Parte 2 – fonte di vantaggio competitivo per l'intero Sistema Paese. L'industria nella sua evoluzione crea benessere collettivo, come la storia economica ci ha insegnato negli ultimi due secoli. L'evoluzione è spinta dalla combinata pressione del progresso tecnologico e dalla mutazione dei bisogni del mercato. L'Italia, Paese industriale, non può permettersi di perdere la propria capacità e abilità industriale, per non pagare pesanti ripercussioni economiche e sociali, che impatterebbero sulle future generazioni. L'evoluzione – che non si può fermare (cfr. par. 2.4 del presente Libro Bianco) – deve essere gestita, pianificata, implementata e quindi governata. Il compito di pianificare l'evoluzione è di tutto il Sistema Paese. Certamente di chi è chiamato a progettare e sviluppare politiche industriali ed economiche, a livello internazionale, nazionale e locale. Ma anche di tutti quei corpi intermedi che compongono la Società Civile (associazioni, enti, istituzioni, organizzazioni ecc.), come pure delle singole imprese. L'esigenza di un Piano di Politica Industriale che sia capace di coniugare la visione di lungo termine con i passi realizzativi di breve è forte in tutto il sistema nazionale e una prima raccomandazione non può che essere questa, nel rispetto dei ruoli di ogni attore economico e sociale.

## 6.2 Mantenere la persona al centro

Ogni sistema economico e sociale dovrebbe contemplare la centralità della persona, dei suoi bisogni e delle sue aspirazioni. L'impresa e la Fabbrica del Futuro deve mantenere sempre la persona al centro delle proprie azioni e decisioni. Si tratta, in particolare, di assicurare un ambiente di lavoro che massimizzi l'intelligenza creativa e distintiva dell'attività umana, valorizzando ciò che non può essere replicato dalle macchine (il lato umano, l'empatia, la capacità di giudizio, le relazioni, la gestione dell'imprevisto) e costruendo le condizioni per rendere il più possibile semplice ed efficace tale attività. Questa focalizzazione è a maggior ragione necessaria per attrarre e trattenere i giovani talenti, i quali potranno trovare le condizioni più consone all'espressione delle proprie potenzialità.

Anche la contrattazione che privilegia il livello nazionale potrebbe non essere la più adatta a rappresentare le esigenze del lavoratore e dell'impresa del futuro, che, in particolare in alcuni settori, possono meglio sposarsi con una contrattazione decentrata a livello aziendale.

Si può quindi immaginare lo sviluppo del coinvolgimento dei lavoratori nella dimensione organizzativa dell'azienda (cosiddetta "dimensione partecipativa delle relazioni industriali"), finalizzata al buon andamento dell'impresa come obiettivo comune. In questo senso è opportuno che il concetto di "retribuzione garantita" possa avere delle evoluzioni, in particolare per certi figure, superando aspetti relativi a mansioni fisse e rigidamente definite, al fine di porre realmente al centro la persona e la sua peculiare professionalità.

## 6.3 Imparare a cambiare

Il mondo cambia e continuerà a cambiare. Il cambiamento stesso è un modo di esistere, per i singoli, come anche per le imprese e gli attori economici e sociali. Per questo è necessario diffondere a tutti i livelli la “cultura del cambiamento”. Vale per i singoli, che devono imparare a superare l’umana ansia e paura del cambiare. Vale, in particolare, per gli individui con responsabilità, il *top management* e la proprietà delle imprese, gli amministratori e i responsabili delle diverse istituzioni, sociali, economiche, politiche.

Le scienze economiche e sociali ci insegnano come nel momento in cui la cultura del cambiamento diventa pervasiva di un’organizzazione, diversi aspetti della vita – dei singoli, delle imprese, delle fabbriche, della Società – cessano di essere interpretati come vincoli, diventando strumenti funzionali, modificabili e migliorabili. Gli esempi più chiari del cambiamento si possono leggere in relazione alla struttura organizzativa e alla gestione dei processi (che dovrebbero costantemente cambiare verso una maggiore efficienza), ma anche gli stessi modelli di *business* sono oggi chiamati ad un cambiamento ricorrente (ad esempio, in conseguenza di una costante rifocalizzazione dei bisogni del cliente). L’“imparare a cambiare” è un importante abilitatore per la creazione di un’efficace strategia competitiva, basata sulla continua evoluzione, capace di dare benessere ai singoli e all’intera società.

## 6.4 Allearsi per la formazione

Nel mondo che cambia, è necessario consentire a tutti gli attori sociali (individui, organizzazioni), nel rispetto dei differenti ruoli e livelli di responsabilità, di essere costantemente allineati con l'evoluzione e il cambiamento (tecnologico, ambientale, sociale, civile, ecc.). L'addestramento iniziale e il progressivo adeguamento delle competenze devono essere costantemente presidiati attraverso una formazione continua e non limitarsi solo ad alcune fasi della vita (dei singoli, come delle intere organizzazioni).

Per le imprese, la formazione deve configurarsi come *asset* fondamentale dello sviluppo della propria competitività. Per questo, la formazione aziendale deve essere il più possibile tarata sulle esigenze dei singoli individui incrociate con le diverse funzioni ed esigenze aziendali. Gli individui devono essere stimolati a un continuo aggiornamento e apprendimento, al fine di colmare i propri *gap* e mantenere la propria *employability*. In particolare, data la pressante spinta del progresso, per permettere una corretta sinergia tra uomo e tecnologia, è indispensabile che la formazione sia pensata e strutturata in sinergia con altri attori, enti e istituzioni preposti alla trasmissione delle competenze.

Un costruttivo rapporto tra impresa e sistema educativo deve essere consolidato attraverso un coinvolgimento reciproco e integrato. La collaborazione e la condivisione degli obiettivi formativi tra impresa e attori della formazione, soprattutto per le giovani generazioni, è cruciale per la competitività del Sistema Paese. I giovani, quali future risorse aziendali, devono essere messi in condizione di comprendere, e possibilmente governare, il progresso tecnologico e sociale in cui andranno a inserirsi.

Nell'opinione pubblica persiste una narrazione un po' data-ta dell'industria: la fabbrica è rappresentata come un ambiente quasi malsano, in cui ci "si sporca le mani" e banali attività operative affaticano il fisico. Tale visione, distorta e negativa, allontana spesso le giovani generazioni dall'intraprendere un percorso pro-

## Parte 6 – Raccomandazioni

fessionale anche di responsabilità in azienda. Tale mistificazione deve essere smontata già a partire contesti formativi, agevolando la sinergia tra imprese e istituzioni formative attraverso l'aggiornamento dei contenuti dei programmi formativi e la valorizzazione di esperienze di contatto precoce e di qualità dei giovani con la dimensione aziendale (alternanza scuola-lavoro, tirocini curriculari, apprendistato duale). Tutto ciò è possibile – come diverse esperienze di eccellenza presenti nel nostro Paese già oggi ci dimostrano – definendo una vera e propria alleanza sulla formazione, che unisca imprese, scuole, università, istituzioni, nel rispetto dei relativi ruoli.

Il settore manifatturiero possiede un potenziale determinante per la crescita economica del Paese, con un chiaro impatto sul benessere collettivo della nostra società. Le tecnologie digitali ci offrono la grande opportunità non solo di efficientare l'industria, ma anche di renderla più attrattiva, soprattutto per le giovani generazioni. Costruendo un'alleanza sulla formazione, gli attori economici e sociali del nostro Paese hanno oggi la grande opportunità di lanciare un messaggio forte, chiaro e accattivante: fare impresa è bello, fare industria è buono, il manifatturiero è benessere per tutti, per farlo servono le intelligenze e le competenze di tutti.

## 6.5 Essere leader nella responsabilità

L'impresa è un potenziale ascensore sociale per i singoli individui, come per interi comparti e aree geografiche. Quando l'impresa prospera nelle sue relazioni, nei suoi edifici, nelle sue risorse, anche la società attorno prospera. Sono molteplici gli esempi di benessere che le imprese che vivono il territorio in cui operano sono in grado di apportare: *welfare*, borse di studio, assicurazioni sanitarie, spazi condivisi, politiche sociali e ambientali, ecc. Quando i valori aziendali di una *leadership* responsabile sono fortemente radicati internamente, si tramutano in modo pressoché automatico esternamente. Campagne di supporto sociale, di sensibilizzazione ambientale, *partnership* per attività educative e scolastiche sono alcuni degli esempi in cui la responsabilità di impresa si tramuta in più ampia responsabilità sociale. Tutto questo porta con sé la crescita personale e professionale dei collaboratori, dei giovani, delle famiglie, delle associazioni, delle istituzioni e degli enti con cui l'impresa si trova ad interagire. Anche la sola diffusione in azienda di capacità e approcci culturali rilevanti (ad esempio i metodi di *cybersecurity*) permette di tradurre anche nella vita privata comportamenti più evoluti, con conseguente beneficio per la collettività.

Tutti sono oggi chiamati ad essere maggiormente responsabili delle proprie azioni, anche quelle di semplice consumo e produzione. Le imprese industriali, data la loro presenza nel territorio, sono oggi chiamate ad essere un riferimento positivo nella cura e difesa dell'ambiente, adottando le logiche volte alla sostenibilità (es. mitigazione dei cambiamenti climatici) e sentendosi parte di un'Economia Circolare di ampie vedute. La responsabilità sociale ed ambientale è richiesta a tutti gli attori economici e sociali. Chi ha la responsabilità di amministrare il benessere collettivo è chiamato a incentivare e supportare gli attori economici e sociali che lavorano nella direzione del bene comune, che siano imprese, aziende, fabbriche, scuole, enti, associazioni, istituzioni, organizzazioni ecc.

## 6.6 Sfruttare la convergenza tecnologica

Le tecnologie sono oggi disponibili, alla portata di mano e di tasca dei più. Come ampiamente discusso nella Parte 3, in questo preciso momento storico abbiamo a disposizione tecnologie sinergiche, frutto di evoluzioni parallele del mondo dell'informatica e dell'elettronica, che oggi vanno a convergenza.

Tale convergenza deve essere colta e sfruttata, per abilitare un salto nel progresso collettivo. L'insieme combinato di tecnologie abilitano grandi recuperi di produttività, aumenti di efficacia e l'attivazione di nuovi modelli di *business*. Tutte queste opportunità possono essere colte dalle imprese nel momento in cui le potenzialità delle tecnologie sono comprese, e la loro implementazione adeguatamente progettata. L'esperienza empirica dei primi "campioni digitali" – anche nazionali – ci insegna chiaramente che è necessario progettare l'utilizzo delle tecnologie digitali in azienda in modo coordinato e integrato, secondo logiche di complementarità che consentano di moltiplicarne il potenziale e di massimizzarne i benefici.

La convergenza tecnologica che viviamo in questo momento storico è potenzialmente alla portata di tutti gli attori economici e sociali, di vario livello. La "*smartification*" può essere colta da più attori (si parla di *Smart City*, *Smart Organization*, *Smart Government*, ecc.) ed è necessario che venga supportata da chi ha le responsabilità amministrative di indirizzare l'agenda dello sviluppo di una collettività.



## 6.7 Valorizzare i dati

La grande massa di conoscenza registrata e resa accessibile attraverso il digitale costituisce un unicum nella nostra storia e può permetterci di fare un enorme balzo in avanti nella comprensione dei fenomeni che ci circondano, che siano umani, produttivi, tecnologici, ambientali, fisici, ecc.

Le imprese già oggi potrebbero disporre di mezzi e strumenti adeguati a valorizzare la grande base dati in loro possesso nei numerosi sistemi informativi. Quello che però spesso manca è la consapevolezza di quanto già si disponga, le competenze per produrre delle analisi utili ed efficaci, e, talvolta, anche l'attitudine a voler credere ai dati e alle analisi. I dati costituiscono un vero e proprio valore per l'impresa, al pari delle materie prime, dell'energia, della forza lavoro. Analizzando i dati di un sistema è sempre possibile comprenderne meglio il funzionamento, determinare gli spazi di miglioramento, definire delle strategie di intervento. È fondamentale associare il dato al contesto all'interno del quale è stato generato, alla ricerca delle interazioni rilevanti che consentano di individuare le priorità e le leve di competitività. Le fabbriche dovranno tendere al modello di *Data Driven Factory* (cfr. Parte 3) e la disponibilità di dati e di informazioni dovrà essere non più considerata come un mero elemento collaterale "*nice-to-have*", ma come la spina dorsale (*Data Back-bone*) lungo cui disegnare e gestire l'intero sistema produttivo e logistico.

## 6.8 Rafforzare la cybersecurity

Il rischio di vulnerabilità informatica riguarda tutte le organizzazioni, sia private che pubbliche, sia grandi che piccole, sia manifatturiere che di servizi. Nell'era della conoscenza disponibile in modo digitale (quindi trasferibile), la *cybersecurity* è una questione rilevante, che non si può considerare superficialmente. L'esistenza stessa delle imprese, delle infrastrutture, delle istituzioni è oggi digitale, e come tale attaccabile informaticamente. È quindi questione vitale disporre meccanismi di difesa e di protezione all'altezza del rischio. Se in termini di strumenti la convergenza tecnologica facilita la transizione da attività di difesa preventiva ad attività di difesa predittiva, è in generale opportuno raccomandare la definizione di una vera e propria strategia della *cybersecurity*, da porre in essere con tattiche articolate e parametrate su tutti i livelli sistemici. Occorre instaurare una vera e propria cultura della sicurezza informatica, da instillare negli individui, nelle organizzazioni, nelle istituzioni e nella società complessiva. Tale cultura deve passare attraverso pratiche flessibili, aggiornabili ed estensibili a tutto il sistema economico, dalla singola azienda, alle intere filiere, fino all'amministrazione pubblica. Per le imprese, gli stessi prodotti e servizi che offrono al mercato devono essere intrinsecamente sicuri, progettati e sviluppati secondo un approccio di *security-by-design*.

Oltre agli individui e alle imprese, tutto il resto del sistema nazionale deve rafforzare attentamente la propria sicurezza informatica, dalle funzioni dello Stato, ai corpi intermedi della Società Civile. Chi ha responsabilità di governo di sistema e di territorio deve lavorare a supporto della diffusione della sicurezza informatica, promuovendo la creazione di consapevolezza e prevedendo misure a sostegno degli investimenti necessari ad attuarla (infrastrutturali, applicativi, e culturali).

## 6.9 Essere parte di un ecosistema

La fabbrica si configura sempre più come nodo di una rete e parte di un ecosistema, composto da altre imprese, clienti, fornitori, ma anche istituzioni e altri attori economici. Nell'ecosistema, la dimensione del singolo nodo non è per forza determinante, quanto lo è invece il suo posizionamento strategico. La posizione strategica è definita in termini di gerarchia e numero di connessioni. In un ecosistema, è importante essere il più vicino possibile a dove le scelte strategiche sono consolidate, dove il mercato è analizzato e compreso, dove il valore principale è generato. In un ecosistema, è importante avere connessioni, stringere alleanze, sfruttare le proprie competenze differenziali.

Con le moderne tecnologie le connessioni dell'ecosistema non sono solo relazionali, ma anche fisiche: connettere una rete di un ecosistema significa fisicamente connettere processi, sensorizzare impianti e risorse, predisporre piattaforme digitali tramite cui comunicare e collaborare. L'aggregazione a rete, fisicamente infrastrutturata dalle tecnologie digitali, può permettere non solo l'efficientamento dei processi produttivi e logistici, ma anche la creazione e l'abilitazione di nuovi modelli di *business* e di relazione con i mercati globali. La convergenza tecnologica di questi anni – ad esempio di IoT e *blockchain* – contribuisce in modo significativo all'integrazione e all'efficienza di ecosistemi complessi, anche risolvendo tecnologicamente questioni più relazionali, come la fiducia tra i membri dell'ecosistema, la trasparenza delle transazioni, la visibilità e la condivisione degli accadimenti.

Essere parte di un ecosistema è quindi una raccomandazione strategica in quanto la collaborazione tra attori diversi porta risultati eccellenti. Ciò vale per tutti gli attori economici, che siano imprese industriali consolidate, start up innovative, associazioni, istituzioni.

## 6.10 Promuovere l'innovazione del Sistema Paese

La Fabbrica del Futuro richiede anche una controparte pubblica “del Futuro”. Non possiamo immaginare che mentre le imprese e le fabbriche diventano sempre più innovative, efficienti, digitali, produttive, sostenibili, resilienti, il resto del Sistema Paese rimanga fermo. Se ciò accadesse, si potrebbe creare una vera e propria frattura, a scapito di tutti. Non è solo questione di introdurre qualche tecnologia digitale negli uffici di enti ed istituzioni del Paese, è invece questione di una più ampia innovazione del Sistema nel suo complesso. In particolare, risulta necessario agire su:

- Adeguamento dell'infrastrutture.
- Supporto all'interoperabilità e all'integrazione degli ecosistemi e delle filiere.
- Sburocratizzazione e linearizzazione del rapporto tra privato e pubblico, basato su un contesto normativo efficace, stabile e chiaro.
- Garanzia di tempi certi e rapidi nella gestione dei processi operativi, sia pubblici che privati.
- Contenimento di comportamenti distorti e incentivazione di comportamenti virtuosi.
- Definizione di piani pluriennali di Politica Industriale a supporto della Fabbrica del Futuro.
- Sostegno agli attori economici che posso incontrare maggiori difficoltà.

In definitiva, ciò che può contribuire a una rapida e positiva transizione verso la Fabbrica del Futuro dovrebbe essere al centro di una politica di accompagnamento e accelerazione: ricerca, sviluppo, innovazione, adozione di nuove tecnologie, formazione, trasferimento e diffusione di nuove competenze.



# Glossario

Il presente glossario – in ordine alfabetico – permette al lettore di comprendere rapidamente i principali contenuti di questo Libro Bianco. Per i dettagli, si rimanda ai capitoli del Libro.

**5G:** è una tecnologia che spinge gli operatori a riprogettare l'infrastruttura di rete e a ripensare alla tipologia e la qualità dei servizi offerti ai clienti. Non si tratta di un semplice rinnovamento delle reti radiomobili, ma garantisce in modo flessibile, a seconda del dominio applicativo di riferimento, di andare incontro a diversi scenari come ad esempio la necessità di una più elevata velocità di accesso, riduzione di ritardo di trasferimento, maggior affidabilità di collegamento e maggior densità di terminali connessi.

**Additive Manufacturing:** detta anche Stampa 3D, è un insieme di tecnologie che permettono di realizzare i prodotti per strati attraverso l'utilizzo di materiali diversi, tra i quali quelli polimerici, metallici, compositi e ceramici. Tale tecnologia permette di produrre oggetti utilizzando minor quantità di risorse riducendo dunque il peso dell'oggetto stesso.

**Big Data:** tale concetto nasce sotto il paradigma di Industria 4.0. Si tratta di ingenti quantità di dati caratterizzati dalle così dette 5 V (Volume, Velocità, Varietà, Veracità, Valore).

**Blockchain:** è un insieme di tecnologie che consente di eseguire del codice informatico in modo distribuito, verificabile, non censurabile, non interrompibile.

**Circular Manufacturing:** descrive un paradigma di gestione dell'impresa, basato sull'adozione da parte delle fabbriche di strategie di Economia Circolare volte allo sviluppo sostenibile attraverso il riutilizzo delle risorse.

**Cloud Manufacturing:** è una tecnologia nata con il paradigma di Industria 4.0 che permette di avere accesso, tramite la rete, a risorse manifatturiere in maniera distribuita e flessibile.

**Cobot:** è il termine che viene comunemente utilizzato per far riferimento ai robot collaborativi. Tali robot sono utilizzati in presenza dell'uomo, senza la necessità di introdurre infrastrutture di

protezione perché studiati contemplando eventuali impatti con l'operatore. Infatti, possibili impatti vengono riconosciuti dal robot con un arresto immediato della macchina, garantendo la non pericolosità per l'uomo.

**Competenze per la Fabbrica del Futuro:** competenze tecniche e non solo, necessarie al singolo operatore per operare in un contesto dove le tecnologie di Industria 4.0 sono state introdotte in modo pervasivo. Queste includono: STEM, manifatturiere tradizionali, nuove competenze legate all'utilizzo di tecnologie di Industria 4.0 e competenze trasversali legate prettamente ad aspetti umani.

**Customization (personalizzazione):** è la capacità di offrire un prodotto e/o servizio *ad hoc* per il consumatore finale sulla base delle sue preferenze.

**Cybersecurity:** si intende l'insieme dei processi e delle tecnologie atti a prevenire attacchi informatici, mitigarne gli effetti, nonché prontamente realizzare azioni di rimedio e di minimizzazione dell'impatto.

**Data Analytics:** sono tecniche di analisi dati. La tecnica utilizzata dipende dalla struttura dei dati analizzati, i quali possono essere forniti in forma tabellare, di grafi, di immagini, di audio e di video. Infatti, si passa dalle tecniche più tradizionali a quelle più avanzate di *Deep Learning* per la rielaborazione di immagini, audio e testo.

**Data Breach:** violazione di sicurezza, accidentale o illecita, che può causare la distruzione, la perdita, la modifica, la divulgazione o l'accesso non autorizzato ai dati personali.

**Data Driven Factory:** è la fabbrica in cui l'adozione delle nuove tecnologie emerse sotto il paradigma dell'Industria 4.0 permette di raccogliere un'ingente quantità di dati che permette e permetterà sempre di più di cambiare radicalmente i modelli di gestione dei processi. Tra le tecnologie abilitanti di questa tendenza vi sono: IoT, *Data Analytics* e la realtà aumentata (si vedano nel glossario le relative definizioni).



**Digital Backbone:** si tratta di un ambiente aziendale unificato per la gestione dei dati raccolti/ generati da sistemi aziendali differenti, per permettere un accesso efficiente e ordinato ai dati stessi. La presenza di questo ambiente garantisce la scalabilità del processo di trasformazione digitale dell'azienda stessa.

**Digital Value Chain:** è la catena del valore di un'impresa manifatturiera operante al tempo della quarta rivoluzione industriale.

**Economia Circolare (Circular Economy):** è un'economia pensata sin dal principio per rigenerarsi autonomamente. Tale economia si pone l'obiettivo di ridurre al minimo le risorse utilizzate e di estendere il più a lungo possibile il ciclo di vita del singolo prodotto, per supportare uno sviluppo sostenibile.

**Esoscheletro:** è un dispositivo indossabile capace di sgravare la persona che lo indossa di una parte del carico meccanico a cui essa è sottoposta.

**Gemelli Digitali (Digital Twin):** rappresentano digitalmente un oggetto. In particolare, imitano in *bit* gli atomi di un oggetto e le loro relazioni strutturali/funzionali in modo sufficientemente accurato al fine di supportare gli obiettivi che sono stati identificati e che devono essere perseguiti. Questa tecnologia permette di ridurre i costi di analisi, progettazione e test, rispetto ad eseguire le stesse operazioni con esperimenti complessi realizzati in laboratorio reale.

**Industria 4.0:** è un paradigma nato in Germania nel 2011 che integra le nuove tecnologie emergenti (*Cloud, Big Data, Additive Manufacturing, Internet of Things, Advanced Robotics, Augmented Reality*) per promuovere e migliorare la produttività, la qualità produttiva e creare nuovi modelli di business attraverso la connessione e integrazione di diversi sistemi.

**Information and Communication Technologies (IT, ICT):** si tratta di un insieme di tecnologie presenti in azienda che permettono la raccolta dati, il mantenimento dei dati, il continuo aggiornamento e il loro utilizzo attraverso la trasmissione degli stessi.

**Intelligenza Artificiale (Artificial Intelligence, AI):** è una tecnologia basata sul comportamento del cervello umano, in particolare sui principi dei comportamenti neuronali, per riprodurre gli stessi tramite *computer*. Tale tecnologia, attraverso un'analisi dati avanzata, promuove la simulazione e la predizione di determinati comportamenti di un certo sistema.

**Internet of Things (IoT):** è una tecnologia costituita da oggetti che sono connessi tra loro e che vengono dotati di un codice identificativo univoco nel mondo digitale. Permette di interconnettere nel mondo digitale gli oggetti della nostra esperienza quotidiana domestica ed industriale.

**Intrusion Detection System:** sono tipologie di *software* o di *hardware* utilizzate per identificare accessi non autorizzati ai computer o alle reti locali.

**Kanban:** è termine giapponese che letteralmente significa "insegna" o "cartellino". È un tipico elemento dei sistemi di produzione *Lean* e serve a gestire la reintegrazione delle scorte mano a mano che vengono consumate. Oggigiorno ne esiste la versione elettronica, in cui il cartellino di riordino è registrato in un sistema informatico.

**Knowledge Engine:** è un concetto che fa leva sulle tecnologie di *Data Analytics* e *Big Data* ed esprime la possibilità di raccogliere dati da fonti eterogenee permettendo di superare le proprietà del *Digital Twin*, che permette di descrivere in maniera semanticamente ricca e consistente una realtà fisica specifica, creando una visione più completa ed estesa della realtà andando a sommare le informazioni dei singoli componenti.

**Lean 4.0:** indica l'implementazione in fabbrica di pratiche *Lean*, le quali comportano una trasformazione organizzativa volta all'incremento del valore per il cliente attraverso l'utilizzo più efficace delle risorse, supportate dall'adozione di tecnologie tipiche del paradigma di Industria 4.0.

**Logistica 4.0:** indica l'adozione di tecnologie derivanti dal paradigma di Industria 4.0 per lo sviluppo di nuove soluzioni per i magazzini, la movimentazione delle merci ed i trasporti.

**Machine Learning:** è un metodo avanzato di analisi dati, si colloca sotto i principi del *Data Analytics* e permette di supportare la simulazione del comportamento di un definito sistema attraverso la creazione automatizzata di un modello analitico.

**Manifatturiero Digitale:** è l'utilizzo di tecnologie informatiche in processi industriali, produttivi e logistici. Gli ambiti di adozione del Manifatturiero Digitale sono quelli propri delle *operations* che si traducono in progettazione, industrializzazione, produzione, qualità, logistica, distribuzione, manutenzione e assistenza tecnica.

**Manutenzione 4.0 (Smart Maintenance):** è intesa con un'accezione tecnica e tecnologica che enfatizza gli sviluppi della manutenzione predittiva. Attraverso l'adozione di nuove tecnologie emerse con la quarta rivoluzione industriale, tra le quali l'IoT e il *Data Analytics*, le tecniche di misura e analisi diagnostica dei segnali premonitori del guasto sono state sempre più perfezionate e ad oggi, è possibile implementare e sviluppare programmi di manutenzione su condizione e di manutenzione predittiva.

**Obeya Room:** termine giapponese, che significa letteralmente "grande sala". Un'Obeya Room è un ambiente di controllo, in cui si registrano e si discutano progetti e processi, solitamente avvalendosi di strumenti di comunicazione visuale (poster, grafici, cartelli, ecc.).

**Operational Technologies (OT):** si tratta di una combinazione di *hardware* e *software* utilizzati al fine di garantire il monitoraggio degli impianti industriali.

**Prototipazione Virtuale:** è l'utilizzo di strumenti immersivi di modellazione e simulazione digitale in 3 dimensioni, solitamente adoperati a supporto delle fasi di progettazione, prototipazione e sperimentazione di prodotto e/o processo. In questo Libro Bianco si parlerà di due tecnologie in particolare: Gemelli Digitali e Realtà aumentata.

**Realtà Aumentata (Augmented Reality, AR):** è una tecnologia che permette di visualizzare contenuti digitali, come modelli 3D, immagini, testi, video, ecc., contestualizzati ad un ambiente reale, permettendo di supportare la modellazione e la simulazio-

ne digitale a costi ridotti di analisi, progettazione e test.

**Realtà Virtuale (Virtual Reality, VR):** è una tecnica avanzata di rielaborazione dati che, attraverso degli strumenti quali ad esempio visori, permette di visionare in tre dimensioni una realtà simulata molto vicina alla realtà effettiva.

**Security Operations Center:** si intendono i centri specialistici da cui vengono erogati servizi per sicurezza dei sistemi informativi dell'azienda stessa (SOC interno) o di clienti esterni.

**Servitizzazione:** è un modello di *business* che permette all'azienda di generare profitto attraverso l'offerta di un servizio piuttosto che la vendita di un prodotto fisico. Si sta diffondendo sempre più anche grazie alla possibilità di utilizzare le nuove tecnologie per offrire al consumatore finale il servizio attraverso il prodotto stesso.

**Smart Innovation:** innovazione e progettazione di prodotti e sistemi attraverso l'utilizzo di tecnologie offerte dal paradigma dell'Industria 4.0, considerando nella progettazione non solo la parte *hardware* del prodotto stesso ma anche la tecnologia da integrare con il prodotto al fine di abilitarlo alla raccolta dei dati dal campo.

**Smart:** sotto il concetto di *smart* si vogliono indicare tutti gli oggetti connessi attraverso le nuove tecnologie (es. IoT) che permettono di rendere più flessibili processi come ad esempio produzione, logistica, gestione del ciclo di vita del prodotto.

**Trend del manifatturiero:** si tratta dell'identificazione di tutti i fattori che concorrono alla modifica del settore manifatturiero, andando ad indicare quali aspetti del settore si stanno evolvendo a quali siano le implicazioni (es. PIL generato, tasso di occupazione, tecnologie abilitanti, ecc.).

**Virtual Commissioning:** sono tutte quelle procedure e processi aziendali rivolte all'installazione di una linea di produzione industriale o di un macchinario e servono a verificare che tutte le specifiche formulate dal cliente, sia in modo esplicito che implicito, siano state implementate e che tutto funzioni in modo corretto. Si tratta di un test di collaudo prima di avviare la linea.



## **La visione di Assolombarda sul futuro della fabbrica**

**La fabbrica, elemento tanto distintivo del nostro sistema industriale da rendere l'Italia il secondo paese manifatturiero d'Europa, rappresenta un fattore centrale per la crescita sociale ed economica del Paese.**

**Questo libro intende fornire indicazioni utili a comprendere il contesto in cui la fabbrica moderna opera e a identificare le possibili soluzioni e gli scenari applicativi delle tecnologie 4.0, promuovendo una visione di lungo periodo che affronta impatti da gestire, criticità da governare e opportunità da cogliere.**

**Ecosistema, sostenibilità, responsabilità, resilienza, centralità dell'uomo sono i concetti chiave rispetto ai quali identificare delle linee d'azione e accompagnarne l'attuazione per costruire il futuro della fabbrica.**

**Con questo sesto libro Assolombarda prosegue la serie di volumi dedicati ai temi strategici per la crescita delle imprese, delle persone e del territorio.**