



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI**  
**"M. FANNO"**

**CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA**

**PROVA FINALE**

**"Human-Driven Digital Transformation: un percorso integrato di  
trasformazione in ottica Industria 5.0"**

**RELATORE:**

**CH.MO PROF. Andrea Furlan**

**LAUREANDO: Filippo Simoncini**

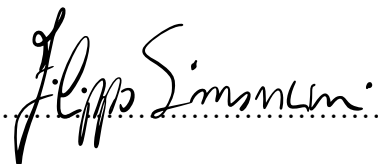
**MATRICOLA N. 2034891**

**ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024**

Dichiaro di aver preso visione del “Regolamento antiplagio” approvato dal Consiglio del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali e, consapevole delle conseguenze derivanti da dichiarazioni mendaci, dichiaro che il presente lavoro non è già stato sottoposto, in tutto o in parte, per il conseguimento di un titolo accademico in altre Università italiane o straniere. Dichiaro inoltre che tutte le fonti utilizzate per la realizzazione del presente lavoro, inclusi i materiali digitali, sono state correttamente citate nel corpo del testo e nella sezione ‘Riferimenti bibliografici’.

*I hereby declare that I have read and understood the “Anti-plagiarism rules and regulations” approved by the Council of the Department of Economics and Management and I am aware of the consequences of making false statements. I declare that this piece of work has not been previously submitted – either fully or partially – for fulfilling the requirements of an academic degree, whether in Italy or abroad. Furthermore, I declare that the references used for this work – including the digital materials – have been appropriately cited and acknowledged in the text and in the section ‘References’.*

Firma (signature) .....

A handwritten signature in black ink, reading "Filippo Simoncini". The signature is written in a cursive style and is positioned over a dotted line that serves as a signature line.

# Sommario

<b>Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Industria 4.0: Le tecnologie abilitanti.....</b>	<b>4</b>
1.1 ADVANCED MANUFACTURING .....	5
1.2 ADDITIVE MANUFACTURING.....	6
1.3 AUGMENTED REALITY .....	8
1.4 SIMULATION .....	9
1.5 HORIZONTAL AND VERTICAL INTEGRATION .....	11
1.6 INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS .....	12
1.7 CLOUD COMPUTING .....	12
1.8 CYBERSECURITY .....	14
1.9 BIG DATA & ANALYTICS .....	15
<b>2. Analisi del rapporto tra lavoratori e tecnologie 4.0 .....</b>	<b>17</b>
2.1 RISCHI PER I LAVORATORI DERIVANTI DALLE TECNOLOGIE 4.0.....	18
2.1.1 Rischi Fisici.....	18
2.1.2 Rischi Psicologici.....	19
2.1.3 Rischi Sociali e Comportamentali.....	20
2.1.4 Fattori che influenzano il tipo, il livello e la criticità dei rischi .....	20
2.1.5 Implicazioni organizzative e manageriali.....	22
2.2 TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL (TAM).....	23
<b>3. Industria 5.0: Il caso Bianchi S.p.A. ....</b>	<b>25</b>
3.1 IL CASO BIANCHI S.P.A.: LA CONCEZIONE DI FABBRICA IN OTTICA 5.0.....	26
3.1.1 Il contesto aziendale e gli obiettivi del progetto .....	27
3.1.2 Le fasi di progettazione ed implementazione.....	27
3.1.3 Fattori critici di successo e valutazioni finali.....	30
<b>Conclusioni .....</b>	<b>32</b>
<b>Bibliografia e Sitografia .....</b>	<b>34</b>

# Introduzione

Nel corso degli ultimi decenni l'incontro tra il mondo informatico e quello industriale ha dato vita a una trasformazione senza precedenti nel settore manifatturiero. Sin dagli anni '70, l'introduzione dei primi sistemi informativi ha segnato l'inizio di un'evoluzione costante, che ha subito accelerazioni significative con l'avvento di nuove tecnologie informatiche, come i minicomputer negli anni '80, i personal computer negli anni '90 e, più recentemente, Internet. Tuttavia, è nell'ultimo decennio, con l'arrivo della Quarta Rivoluzione Industriale, che stiamo assistendo al cambiamento più radicale. L'Industria 4.0 si basa infatti sulla creazione di *Cyber Physical System* (CPS) come risultato dell'interazione tra sistemi informatici e sistemi fisici, dove tecnologie come *Internet of Things* (IoT), Intelligenza Artificiale (IA), *Cloud Computing*, Robotica Avanzata e Realtà Aumentata convergono per dare vita ad un sistema produttivo interconnesso ed intelligente estendibile ad ogni area di un'azienda. Concetto centrale di questa quarta rivoluzione industriale è quello della digitalizzazione e del relativo percorso di trasformazione digitale che deve caratterizzare necessariamente ogni impresa, se questa vuole sopravvivere, crescere e competere in un panorama che, dopo il Covid-19, ha visto un drastico aumento della velocità con cui il digitale sta cambiando il modo di fare business (Agrawal *et al.*, 2021).

Parallelamente alla continua innovazione sul fronte tecnologico, è fondamentale per le imprese garantire all'uomo un ruolo centrale nel sistema produttivo, elemento principale della nuova concezione di Industria 5.0, che vede la tecnologia non come un sostituto delle abilità umane, ma come un mezzo per supportarle, potenziarle e valorizzarle, al fine di creare una simbiosi che migliori l'efficienza tanto quanto il benessere individuale e collettivo. Questo concetto, tuttavia, è raramente preso in considerazione dalle imprese manifatturiere che si avvicinano alla digitalizzazione. Evidenziarne la necessità, anche tramite la descrizione di un caso reale, è l'obiettivo di questo elaborato, organizzato in tre capitoli.

Il primo capitolo descriverà ciascuna delle nove categorie di tecnologie che caratterizzano l'Industria 4.0, approfondendone il funzionamento e il ruolo all'interno di una realtà manifatturiera. Il secondo capitolo, invece, si concentrerà sull'analisi del rapporto tra lavoratori e nuove tecnologie, facendo emergere l'importanza di valutare i potenziali rischi per gli individui e di adottare un approccio che metta l'uomo al centro della progettazione e del disegno del sistema. Infine, il terzo ed ultimo capitolo sarà dedicato al caso di successo rappresentato da *F.I.V. E. Bianchi S.p.A.*, storico produttore italiano di biciclette che recentemente ha inaugurato il suo nuovo stabilimento produttivo a Treviglio, in provincia di

Bergamo, il primo in Italia che segue i principi di Industria 5.0 concentrandosi, oltre che sulla sostenibilità economica, su quella delle persone e dell'ambiente.

In conclusione, questa prova finale vuole offrire uno spunto di riflessione per tutte le imprese manifatturiere italiane, promuovendo il bisogno di avviare un necessario processo di digitalizzazione che abbia come principio cardine la centralità dell'uomo, oltre che la sostenibilità e la resilienza.

# 1. Industria 4.0: Le tecnologie abilitanti

La digitalizzazione dei processi aziendali, in particolare quelli legati alla progettazione industriale, all'automazione di fabbrica e alla digitalizzazione dei processi operativi, ha costantemente ridefinito i paradigmi produttivi e gestionali.

La progettazione assistita dal computer ha consentito di passare dai primi sistemi CAD (*Computer Aided Design*) degli anni '70 ai modellatori 3D e alle tecnologie di prototipazione virtuale, preparando il terreno per l'adozione di soluzioni più avanzate come la Realtà Virtuale e Aumentata e i *Digital Twin*.

L'automazione di fabbrica ha conosciuto una vera e propria rivoluzione dagli anni '70, con l'introduzione dei sistemi DCS (*Distributed Control System*) e dei PLC (*Programmable Logic Controller*), che hanno introdotto nuove possibilità di monitoraggio e controllo dei processi produttivi in tempo reale. Con l'avvento delle reti e delle tecnologie digitali, come l'*Internet of Things* e l'Intelligenza Artificiale, l'automazione industriale sta raggiungendo livelli di complessità e flessibilità mai visti prima, consentendo maggiore personalizzazione e adattabilità ai processi produttivi in funzione delle mutevoli esigenze aziendali, a loro volta scandite da quelle del mercato.

La digitalizzazione dei processi operativi ha rivoluzionato l'intera catena del valore aziendale, dall'approvvigionamento alla produzione, dalla logistica alla gestione del cliente. Dai primi sistemi MRP (*Material Requirements Planning*) degli anni '70, utilizzati per pianificare e gestire le risorse materiali in fase di produzione, si è passati ai moderni sistemi ERP (*Enterprise Resource Planning*), che integrano tutte le principali attività aziendali in un'unica piattaforma, e a strumenti come il CRM (*Customer Relationship Management*) e il MES (*Manufacturing Execution System*), che consentono un controllo ancora più preciso e dettagliato delle attività aziendali. Inoltre, la possibilità di ottenere dati in tempo reale e la capacità di analizzarli e interpretarli in grandi quantità stanno aprendo nuove opportunità di ottimizzazione continua dei processi e di miglioramento delle prestazioni complessive dell'azienda.

In sintesi, la digitalizzazione nell'ambito dell'Industria 4.0 ha trasformato e sta trasformando radicalmente il modo in cui le imprese operano e gestiscono le proprie attività. Nei successivi paragrafi verranno approfondite le principali categorie di tecnologie che stanno guidando questa rivoluzione, illustrando come esse si integrino e si sostengano reciprocamente, contribuendo a creare un ecosistema industriale sempre più interconnesso e intelligente.

### Example areas of value potential in Industry 4.0 (factory network)



#### Data, computational power, connectivity

- Blockchain
- Cloud technology
- Internet of Things
- Sensors



#### Human-machine interaction

- Virtual and augmented reality
- Robotics and automation (collaborative robots, automated guided vehicles)
- Robotic process automation, chatbots



#### Analytics and intelligence

- Automation of knowledge work
- Big data, advanced analytics, and AI



#### Advanced production methods

- Additive manufacturing (including 3-D printing)
- Renewable energy

#### Value potential

**15–20%**

inventory-holding cost reduction

**15–30%**

labor productivity increase

**30–50%**

machine downtime reduction

**10–30%**

throughput increase

**85%**

forecasting accuracy improvement

**10–20%**

cost-of-quality improvement

McKinsey  
& Company

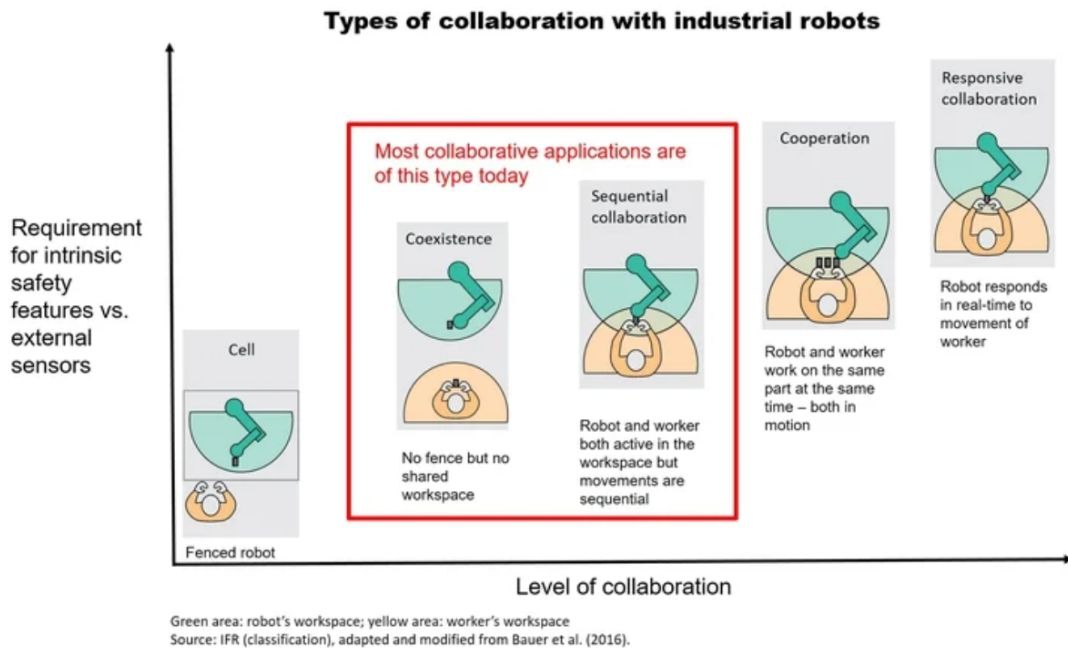
Figura 1: Valore potenziale apportato dall'Industria 4.0  
Fonte: Gregolinska et al. (2022)

## 1.1 Advanced Manufacturing

L'*Advanced Manufacturing* riguarda l'integrazione di tecnologie avanzate nei processi produttivi al fine di aumentarne la personalizzazione e la flessibilità, mantenendo la stessa efficienza per qualsiasi quantità prodotta, e di favorirne l'innovazione continua, grazie all'implementazione di Intelligenza Artificiale e analisi dati (Shipp *et al.*, 2012). Nello specifico, questo paragrafo si concentrerà sulla Robotica Collaborativa.

L'unione in un unico sistema del lavoro umano e di quello robotico, superando la tradizionale divisione tra sistema manuale ed automatico, permette a sistemi di produzione complessi di avere una maggiore adattabilità ed efficacia. I robot industriali, sebbene eccellano nell'esecuzione di compiti con precisione e velocità costanti, mancano di flessibilità, caratteristica che li rende inadatti per ambienti di lavoro dinamici o per la produzione in piccoli lotti. È qui che nasce il concetto di Robotica Collaborativa, un campo della robotica che si concentra sulla creazione di *cobot*, progettati per lavorare fianco a fianco con gli esseri umani in ambienti di lavoro condivisi. A differenza dei tradizionali robot industriali che operano in ambienti separati, i *cobot* sono pensati per interagire direttamente e in modo sicuro con gli operatori. Questo tipo di robotica mira a combinare l'automazione con la flessibilità e le abilità decisionali degli esseri umani, consentendo una collaborazione più efficace ed efficiente in attività come prelievo e posizionamento, movimentazione, confezionamento e pallettizzazione, assistenza e manutenzione.

Principalmente bracci meccanici, aventi a volte uno strumento di lavoro all'estremità, questi robot collaborativi (le ultime generazioni) si caratterizzano, infine, per la semplicità con cui vengono “addestrati”, memorizzando i movimenti che l'operatore impartisce manualmente ed eseguendo successivamente il compito in autonomia, senza alcun bisogno di una riprogrammazione informatica costante.



*Figura 2: Tipi di Collaborazione tra Esseri Umani e Robot Industriali  
Fonte: International Federation of Robotics*

## 1.2 Additive Manufacturing

L'*Additive Manufacturing* (AM) è un processo industriale innovativo per la creazione di componenti, semilavorati o prodotti finiti attraverso l'accumulo di strati di materiale “per addizione”, differenziandosi dalla manifattura tradizionale che opera “per sottrazione” (Tofail *et al.*, 2018). Questa tecnologia è ampiamente utilizzata per la sua capacità di produrre oggetti complessi con grande precisione e personalizzazione, utilizzando una vasta gamma di materiali, tra cui metalli, ceramiche, polimeri e loro combinazioni. Il processo di stampa 3D inizia con la creazione di un disegno CAD a tre dimensioni che, una volta completato, viene inviato alla stampante, dove il software interno decodifica il disegno e lo suddivide in livelli. La stampante poi utilizza queste informazioni per creare il percorso che seguirà durante la realizzazione dell'oggetto, sovrapponendo materiali strato su strato fino al completamento del prodotto finale.

I principali vantaggi industriali offerti dall'*Additive Manufacturing* sono sia tecnologici sia economici (Sisca *et al.*, 2016). Sul fronte tecnologico, la libertà geometrica di progettazione



permette la realizzazione di componenti complessi senza la necessità di stampi o attrezzature speciali, consentendo la produzione diretta delle parti in un'unica fase. Questo approccio elimina la necessità di effettuare diversi passaggi di lavorazione tipici delle tecnologie tradizionali, riducendo i costi e i tempi delle attività produttive. Inoltre, grazie a specifiche logiche di progettazione, come il *Design for Additive Manufacturing* (DFAM), è possibile ottimizzare le geometrie per massimizzare le prestazioni del componente e ridurre il peso complessivo, consentendo di realizzare componenti più leggeri e più efficienti rispetto ai processi tradizionali. Infine, la produzione guidata esclusivamente dai requisiti funzionali del prodotto, anziché dai vincoli di produzione, permette una maggiore flessibilità nel soddisfare le esigenze dei clienti e nell'adattarsi alle mutevoli condizioni di mercato.

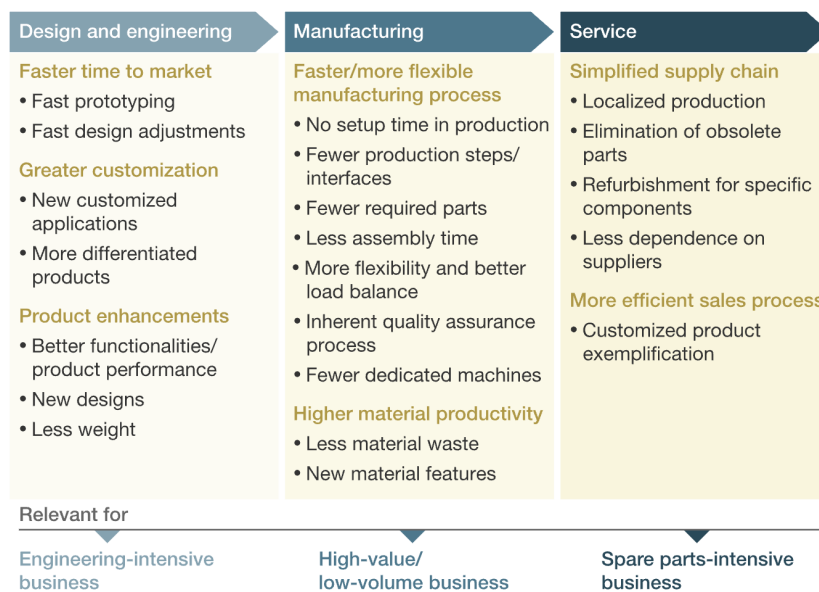


Figura 3: I benefici dell'Additive Manufacturing  
Fonte: Bromberger e Kelly (2017)

Dal punto di vista economico, la riduzione dei costi di produzione, ottenuta attraverso la già citata eliminazione di stampi e attrezzature speciali, insieme alla capacità di produrre parti complesse in un'unica fase, porta a una maggiore efficienza e competitività sul mercato. Altro vantaggio significativo è rappresentato dalla rapida interazione tra progettazione e feedback del cliente, permettendo di ridurre drasticamente i tempi di sviluppo e commercializzazione. Questa tecnologia consente infatti di passare rapidamente dalla progettazione alla produzione di prototipi funzionali e di adattare i prodotti in base ai riscontri dei clienti in tempo reale. Infine, dal momento che quasi l'intero quantitativo di materiale coinvolto contribuisce a fabbricare il componente finale, la produzione AM garantisce una notevole riduzione degli sprechi.

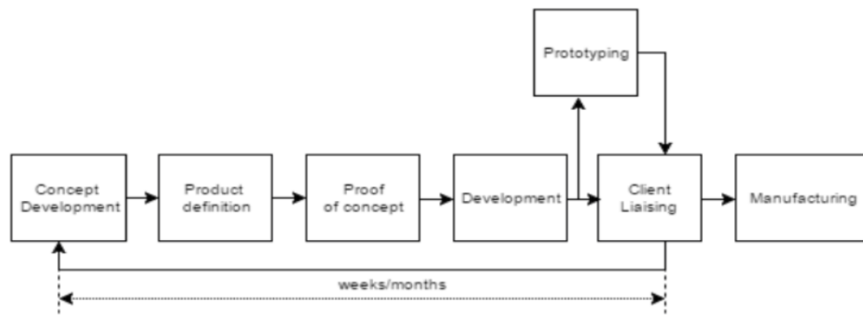


Figura 4: Sviluppo prodotto secondo il concetto tradizionale di produzione  
Fonte: Sisca et al. (2016)

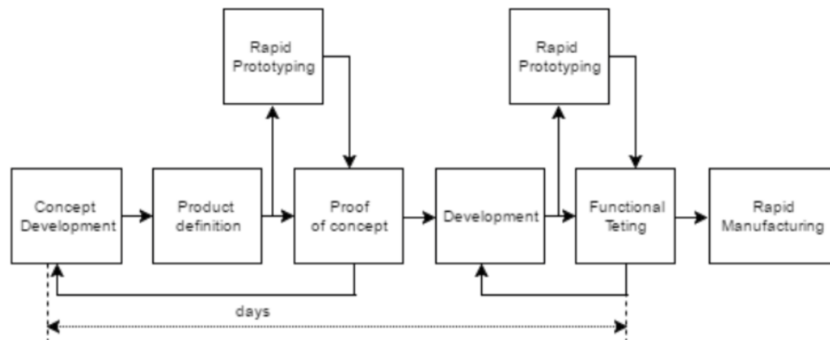


Figura 5: Sviluppo nuovo prodotto con Additive Manufacturing  
Fonte: Sisca et al. (2016)

Grazie alle proprietà intrinseche di questa tecnologia, la flessibilità dell'*Additive Manufacturing* può essere sfruttata in tutti i settori manifatturieri, con l'adozione maggiore che si riscontra nei settori automotive, aerospaziale e biomedico, contesti in cui le dimensioni o la complessità dei componenti rendono difficile, in alcuni casi, lo sfruttamento delle tecniche convenzionali. Per quanto riguarda le applicazioni, queste sono suddivisibili principalmente in quattro categorie: la prototipazione rapida, la creazione di forme per la produzione di stampi e attrezzature (*Rapid Tooling*), la produzione di componenti finali e la manutenzione e riparazione di prodotti o macchinari (Sisca et al., 2016).

Tutti questi fattori dimostrano come l'*Additive Manufacturing* rappresenti una tecnologia rivoluzionaria che sta trasformando diversi settori industriali, consentendo maggiore flessibilità, velocità e personalizzazione nella produzione di componenti e prodotti.

### 1.3 Augmented Reality

La Realtà Aumentata (AR) è una tecnologia che comporta la sovrapposizione di informazioni digitali sull'ambiente reale attraverso dispositivi come smartphone, tablet, occhiali intelligenti o visori specializzati, aumentando così l'interazione dell'utente con l'ambiente circostante (Jose, 2023). Nel contesto della produzione, ciò significa dare accesso ai lavoratori

a dati, istruzioni e informazioni in tempo reale, direttamente all'interno del loro campo visivo. Negli anni, i progressi nella visione artificiale e nelle altre tecnologie come l'*Internet of Things* e l'Intelligenza Artificiale stanno amplificando ulteriormente il potenziale impatto di questa tecnologia sulle operazioni manifatturiere.

Con i processi produttivi che diventano sempre più complessi e basati sui dati, cresce l'esigenza di informazioni intuitive e in tempo reale, fattore che aumenta lo sviluppo e la diffusione della Realtà Aumentata nel settore manifatturiero. L'assistenza al montaggio e alla manutenzione è una delle principali applicazioni di questa tecnologia, che può fornire istruzioni passo per passo agli operatori durante le fasi assemblaggio e manutenzione, migliorando l'accuratezza delle attività e riducendone i tempi. Un'altra delle principali applicazioni riguarda l'addestramento del personale, in quanto l'AR consente ai lavoratori di praticare compiti in un ambiente controllato, migliorando lo sviluppo delle competenze e la sicurezza delle operazioni. Il controllo qualità, dove la Realtà Aumentata viene impiegata per sovrapporre indicatori digitali e specifiche sui prodotti fisici garantendo una maggiore precisione nell'ispezione, e la progettazione e la prototipazione di prodotti, dove questa tecnologia facilita la progettazione collaborativa proiettando prototipi virtuali nello spazio fisico e consentendo di effettuare aggiustamenti in tempo reale, sono altre applicazioni della Realtà Aumentata nel settore manifatturiero. Infine, questa tecnologia è utilizzata nella logistica e nel magazzinaggio, le cui operazioni sono supportate da indicazioni visive per la gestione dell'inventario, il *picking* degli ordini e l'imballaggio, migliorando la velocità e l'accuratezza dei processi di spedizione (Jose, 2023).

## **1.4 Simulation**

La simulazione è un processo che coinvolge la creazione di un modello di un sistema reale o ipotetico per descriverne e analizzarne i comportamenti (de Paula Ferreira *et al.*, 2020). Questa metodologia è fondamentale per analizzare sistemi di produzione complessi, in quanto consente di evitare l'alto costo generalmente associato allo sviluppo di esperimenti che coinvolgono il sistema reale stesso o un modello fisico, oltre al fatto che un sistema può essere troppo complesso per essere analizzato analiticamente. Altri vantaggi associati all'utilizzo della simulazione comprendono la capacità di eseguire test in modo rapido, oltre che economico, senza interrompere il sistema reale, e la possibilità di comprimere o espandere il tempo per effettuare osservazioni specifiche.

Gli approcci basati sulla simulazione utilizzati nel contesto dell'Industria 4.0 sono molteplici, ma verranno qui analizzati in breve solo due dei principali: Realtà Virtuale e *Digital Twin*.

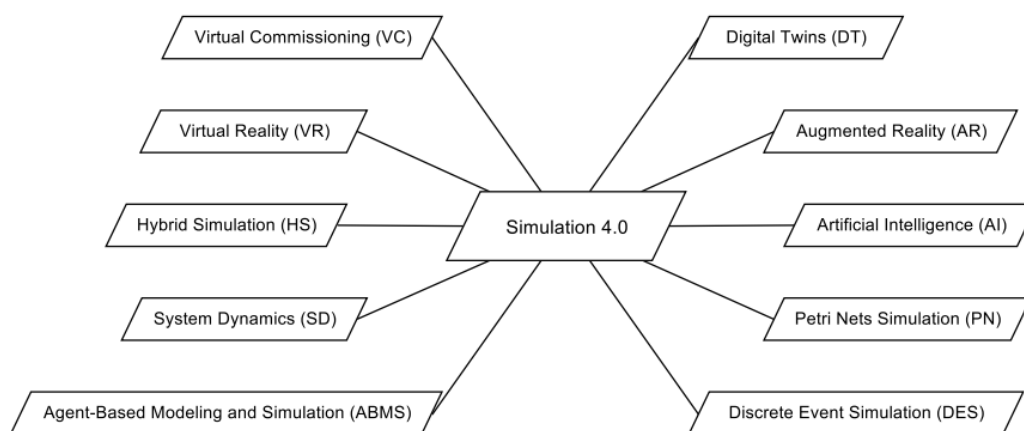


Figura 6: Approcci basati sulla simulazione applicati al contesto dell'Industria 4.0  
Fonte: de Paula Ferreira et al. (2020)

La Realtà Virtuale è un'esperienza immersiva che coinvolge l'utente in una simulazione interattiva all'interno di un ambiente virtuale dinamico e adattivo. Un sistema di Realtà Virtuale è identificato da tre caratteristiche principali: immaginazione, intesa come rappresentazione di un ambiente virtuale che simula uno scenario con regole e oggetti predefiniti, interazione, dal momento che la simulazione risponde e si adatta ai comportamenti dell'utente, e immersione, che deve essere ottenuta sia dal punto di vista fisico, attraverso aggiornamenti visivi in tempo reale, sia dal punto di vista mentale, tramite la qualità visiva, la stimolazione sensoriale e la narrazione dello scenario (Sekaran *et al.*, 2021). Attualmente, la Realtà Virtuale trova applicazione prevalentemente in operazioni come progettazione e prototipazione, pianificazione e ottimizzazione dei *layout* della linea produttiva e degli eventuali percorsi dei robot, manutenzione e, infine, formazione.

Un *Digital Twin* è invece descritto come “un modello digitale o una simulazione virtuale dinamica e in costante evoluzione di un soggetto o oggetto reale (come un componente, una macchina, un processo, una persona, ecc.) che rappresenta lo stato esatto del suo gemello fisico in qualsiasi momento, attraverso lo scambio di dati in tempo reale e la conservazione dei dati storici. Non è solo il gemello digitale ad imitare il suo gemello fisico, ma anche qualsiasi cambiamento nel *Digital Twin* viene rispecchiato nel gemello fisico” (Singh *et al.*, 2021). La potenzialità di questa tecnologia è evidenziata dai numerosi vantaggi che la sua adozione apporta. Per esempio, le fasi di prototipazione e redesign del prodotto sono facilitate dalla possibilità di esplorare molteplici scenari, accorciando quindi i cicli di design e analisi. Questo

processo consente la personalizzazione dei prodotti in base alle esigenze degli utenti e permette di confrontare le prestazioni reali con quelle previste, al fine di poter migliorare la progettazione del prodotto di conseguenza. Inoltre, l'adozione di questa tecnologia riduce i costi complessivi della prototipazione, soprattutto se questa fase richiede test distruttivi, azzerando gli sprechi associati e accorciando il tempo necessario ad arrivare sul mercato. Infine, altro vantaggio significativo concerne tutto ciò che riguarda l'ottimizzazione, il monitoraggio e la manutenzione dei sistemi, dal momento che il *Digital Twin* può prevedere problemi futuri del suo gemello fisico, consentendo una pianificazione adeguata del sistema stesso, oltre che una manutenzione proattiva e programmata.

## 1.5 Horizontal and Vertical Integration

L'integrazione dei sistemi nell'Industria 4.0 richiede una collaborazione tra progettazione, produzione, marketing, catena di approvvigionamento e clienti, seguendo il flusso di informazioni e i livelli di automazione. Questo si realizza attraverso due approcci principali: integrazione orizzontale e integrazione verticale, entrambi catalizzatori fondamentali della condivisione dei dati in tempo reale. L'integrazione orizzontale avviene tra diverse aziende, facilitando una stretta collaborazione attraverso sistemi informativi che arricchiscono il ciclo di vita del prodotto e creano un ecosistema interconnesso all'interno della stessa rete di creazione del valore. L'integrazione verticale, invece, avviene all'interno della stessa azienda, favorendo lo scambio di informazioni e la collaborazione tra i vari livelli gerarchici e le varie funzioni e divisioni. Infine, una dimensione aggiuntiva considera l'integrazione lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione alla produzione, fino alla logistica e al fine vita del prodotto, includendo riutilizzo, riciclo e smaltimento. Questa visione olistica mira a colmare le lacune tra design, produzione e cliente, garantendo un modello integrato.

La combinazione tra tecnologie 4.0 per la raccolta, la comunicazione e l'analisi di dati e sistemi informativi, connessi sia a livello aziendale sia lungo l'intera rete del valore, consente di creare un'infrastruttura in grado di favorire una collaborazione efficace e una gestione completa delle attività, realizzando tutti e tre i livelli di integrazione citati.

## 1.6 Industrial Internet of Things

L'*Industrial Internet of Things* (IIoT) è uno dei pilastri centrali dell'Industria 4.0. È definito come un sistema composto da oggetti connessi in rete, asset cyber-fisici, tecnologie informatiche generiche e piattaforme di *Cloud Computing* che consentono l'accesso, la raccolta, l'analisi, la comunicazione e lo scambio di informazioni in tempo reale (Boyes *et al.*, 2018). Mentre le soluzioni IoT tradizionali sono spesso progettate per l'uso individuale e integrate in dispositivi come orologi intelligenti, assistenti vocali digitali ed elettrodomestici smart, l'IIoT, pur basandosi sulle stesse tecnologie fondamentali, è orientato verso l'automazione e l'efficienza di un ecosistema organizzativo connesso. Differenza sostanziale è quindi rappresentata dalla funzione svolta dall'IIoT, che mira a migliorare l'intera operatività industriale piuttosto che concentrarsi su singoli utenti.

L'*Industrial Internet of Things* offre numerosi vantaggi alle imprese che lo adottano, primo fra tutti l'aumento dell'agilità aziendale. I dispositivi IIoT, infatti, condividono dati in tempo reale consentendo un'analisi finalizzata ad un continuo adattamento ed una continua ottimizzazione dei flussi di lavoro, volti all'aggiornamento dei processi, all'eliminazione di inefficienze e al conseguente generale aumento della produttività. In secondo luogo, l'analisi dei dati operativi trasmessi costantemente da questi dispositivi può essere utilizzata per prevedere e prevenire guasti, contribuendo a mantenere le macchine in condizioni ottimali. Altri vantaggi importanti apportati dall'adozione di queste tecnologie possono riguardare la gestione dello *stock*, che beneficia della visione in tempo reale dell'inventario, la sicurezza, migliorata dall'introduzione di dispositivi indossabili e sensori che monitorano le condizioni dei lavoratori e dell'ambiente di lavoro, e la ricerca e sviluppo, utilizzando l'esperienza e i feedback dei clienti per adattare rapidamente i prodotti alle preferenze emerse.

## 1.7 Cloud Computing

Il *Cloud Computing* è un modello che consente un accesso ubiquo e su richiesta a una rete di risorse informatiche configurabili condivise (ad esempio, reti, server, archiviazione, applicazioni e servizi) che possono essere rapidamente fornite con un minimo sforzo di gestione o interazione da parte del fornitore (Mell e Grance, 2011). Questa tecnologia consente quindi di archiviare, gestire ed elaborare dati, oltre che di accedere da ovunque ci sia una connessione ad Internet a servizi quali software, applicazioni, database, server e reti.

I modelli più comuni di servizi cloud sono tre: *Software-as-a-Service* (SaaS), *Platform-as-a-Service* (PaaS) e *Infrastructure-as-a-Service* (IaaS). SaaS è un modello di distribuzione del software in cui le applicazioni sono ospitate da un provider di servizi e rese disponibili agli utenti via Internet. Questo elimina la necessità per le aziende di installare e mantenere il software sui propri server, riducendo i costi e la complessità della gestione IT. Esempi di SaaS includono *Microsoft 365*, che offre strumenti di produttività come *Word* ed *Excel* accessibili ovunque, e *Salesforce*, un CRM accessibile tramite interfaccia web. PaaS, invece, fornisce un ambiente di sviluppo e distribuzione di applicazioni nel cloud, permettendo agli sviluppatori di costruire, testare e distribuire applicazioni senza preoccuparsi dell'infrastruttura sottostante. Questo modello facilita il processo di sviluppo offrendo strumenti integrati e servizi preconfigurati. Infine, IaaS offre risorse di elaborazione virtualizzate tramite Internet, come server, storage e reti. Questo modello consente alle aziende di noleggiare infrastrutture IT in base alle necessità, pagando solo per l'uso effettivo, e scalare rapidamente le risorse in risposta alla domanda. *Amazon Web Services* e *Microsoft Azure* sono due delle principali soluzioni IaaS presenti sul mercato.

L'adozione di tecnologie cloud offre numerosi vantaggi alle aziende, primo fra tutti l'ottimizzazione dei costi IT derivante dall'eliminazione delle spese associate all'acquisto, configurazione, gestione e manutenzione di software, hardware e data center locali. Secondo grande vantaggio è associato alla migliore produttività e scalabilità che questa tecnologia consente di avere, attraverso l'accesso ubiquo ai servizi, l'interconnessione di dati derivanti da diversi input, l'azzeramento del tempo e delle risorse necessarie alla gestione di data center locali e la possibilità di ridimensionare in modo elastico le capacità del cloud in base ai bisogni e alle necessità. Caratteristica intrinseca del *Cloud Computing* è inoltre l'aumento dell'affidabilità, dovuto al fatto che i dati sono memorizzati su server remoti, accessibili da qualsiasi dispositivo connesso a Internet: ciò significa che anche se un dispositivo dovesse mal funzionare o essere danneggiato, i dati sarebbero ancora accessibili e recuperabili da un altro dispositivo. Infine, ultimo vantaggio significativo riguarda le prestazioni, dal momento che nella maggior parte dei casi questi servizi vengono offerti da grandi *player* su una rete mondiale di data center, che garantisce migliori performance ed economie di scala superiori rispetto a ciò che può essere offerto da un singolo data center locale. In questo contesto, quindi, il *Cloud Computing* si posiziona come un catalizzatore per l'innovazione e la trasformazione digitale, facilitando la creazione e la distribuzione di soluzioni tecnologiche avanzate in vari settori industriali.

## 1.8 Cybersecurity

Se da una parte l'Industria 4.0 introduce innovazioni che garantiscono un indubbio aumento della competitività, dall'altra l'integrazione di sistemi informatici nell'ambiente aziendale porta con sé significative minacce, rappresentanti notevoli sfide di *Cybersecurity*. È con questo termine, infatti, che ci si riferisce all'insieme di processi, tecnologie e policy atto a prevenire e minimizzare eventuali attacchi informatici. Questi attacchi possono avere conseguenze principalmente su tre aspetti: i dati, la produzione e la sicurezza (Assolombarda - Il futuro della Fabbrica, 2020). Dal punto di vista dei dati, i sistemi informatici e di produzione contengono informazioni sensibili, come statistiche produttive, progetti CAD e documenti, che possono essere di grande interesse per attori esterni. Un attacco rivolto alla produzione, invece, può causare l'arresto dei sistemi che la governano, obbligando a sospendere temporaneamente l'attività e provocando ingenti perdite economiche e reputazionali. Inoltre, attacchi avanzati potrebbero anche alterare piani o programmi di produzione, sabotando i prodotti con difetti non rilevabili facilmente dal controllo qualità. Infine, poiché i sistemi produttivi interagiscono con l'ambiente fisico, le minacce informatiche possono compromettere la sicurezza dei lavoratori e dell'ambiente di lavoro, con potenziali conseguenze anche sull'ecosistema ambientale.

Per contrastare queste minacce è quindi fondamentale implementare tecnologie e processi che proteggano i sistemi aziendali e permettano di rilevare gli attacchi per rispondervi adeguatamente. Elementi imprescindibili per un programma di protezione comprendono l'analisi complessiva del livello di sicurezza della fabbrica e dei suoi componenti hardware e software, la protezione delle reti aziendali, la gestione e l'applicazione di aggiornamenti di sicurezza sui sistemi e sui dispositivi, la centralizzazione della gestione e dell'analisi degli accessi e la relativa adozione di sistemi di rilevamento delle intrusioni. Infine, la formazione del personale è un elemento altrettanto cruciale per migliorare la *Cybersecurity*, specialmente negli ambienti industriali, solitamente meno consapevoli dei rischi informatici.

A differenza di altri investimenti tecnologici che possono portare benefici diretti, gli investimenti in *Cybersecurity* offrono vantaggi principalmente indiretti, riducendo il rischio di danni economici derivanti da possibili attacchi informatici. Nonostante calcolare il ritorno su questo tipo di investimento sia complesso, è diventato ormai fondamentale adottare questi sistemi di protezione per poter affrontare le nuove sfide presenti nel panorama digitale attuale e per poter agevolare la realizzazione futura dell'ecosistema digitale.



## 1.9 Big Data & Analytics

Il termine *Big Data* si riferisce a insiemi di dati aventi dimensioni, varietà e velocità così grandi che le tecniche e tecnologie tradizionali non sono in grado di gestirli in modo efficace. Questi dati sono caratterizzati da "6 V": volume, varietà, velocità, veridicità, valore e variabilità (Akter *et al.*, 2019). Il volume rappresenta la quantità di dati raccolti da varie fonti, come motori di ricerca, social media e dispositivi IoT; la varietà indica la diversità dei dati, che possono essere strutturati, semi-strutturati o non strutturati; la velocità riguarda il ritmo con cui questi dati vengono generati e dovrebbero conseguentemente essere analizzati; la veridicità si riferisce all'incertezza e all'affidabilità dei dati, mentre il valore rappresenta il potenziale economico che può essere estratto attraverso l'analisi appropriata; infine, la variabilità indica la variazione nei flussi di dati dovuta all'incoerenza nella velocità di generazione degli stessi. *Big Data Analytics* rappresenta invece il processo olistico che coinvolge la raccolta, l'analisi, l'uso e l'interpretazione di questi dati per ottenere intuizioni attuabili, creare valore aziendale e stabilire un vantaggio competitivo (Akter, Wamba e Dewan, 2017). Il processo di analisi può avvenire con quattro diverse finalità, spesso fortemente interconnesse: l'analisi descrittiva, che sintetizza e descrive le informazioni raccolte, l'analisi diagnostica, che cerca di identificare le cause e le tendenze che vengono osservate, l'analisi predittiva, che si occupa di prevedere le tendenze future, e infine l'analisi prescrittiva, che fornisce raccomandazioni su come ottimizzare le azioni future.

Le aziende utilizzano quindi tecniche avanzate di analisi per trasformare grandi volumi di dati grezzi in informazioni utili che possono essere impiegate per prendere decisioni strategiche e operative. In particolare, l'analisi dei *Big Data* viene applicata in quattro principali aree dei sistemi manifatturieri: progettazione del prodotto, pianificazione e programmazione, gestione della qualità e manutenzione predittiva (Wang *et al.*, 2022).

La progettazione del prodotto guidata dall'analisi dei *Big Data* consente di creare schemi di progettazione ottimizzati basati su dati di mercato e valutazioni degli utenti, utilizzando tecniche di apprendimento automatico e analisi statistica per identificare le preferenze dei consumatori. Per quanto riguarda la pianificazione e la programmazione della produzione, queste vengono ottimizzate mediante l'uso di dati storici e in tempo reale, raccolti tramite sensori e sistemi informativi aziendali, migliorando l'allocazione delle risorse e gestendo le incertezze operative attraverso algoritmi di ottimizzazione e apprendimento automatico. La gestione della qualità basata su soluzioni di *Big Data Analytics*, invece, permette di tracciare e migliorare la qualità del prodotto mediante l'analisi dei dati di produzione e di ispezione, utilizzando modelli di correlazione per prevedere e migliorare la qualità dei prodotti.

Infine, la manutenzione predittiva sfrutta i dati temporali raccolti dai processi di produzione e dai macchinari per identificare potenziali anomalie e prevedere la vita residua dei sistemi, ottimizzando i programmi di manutenzione.

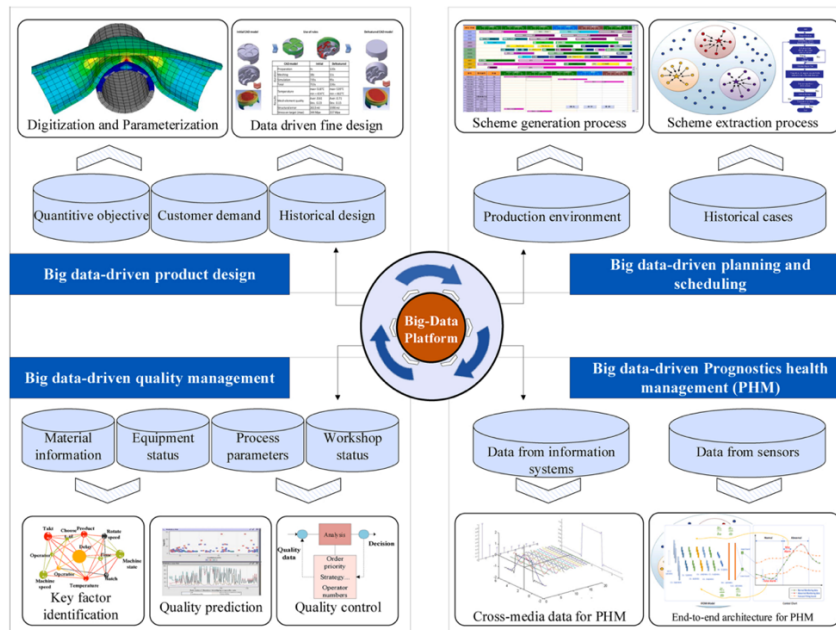


Figura 7: Applicazioni dell'analisi dei Big Data nei sistemi manifatturieri  
 Fonte: Wang et al. (2022)

## 2. Analisi del rapporto tra lavoratori e tecnologie 4.0

L'avvento dell'Industria 4.0 segna una trasformazione profonda nel mondo del lavoro, modificando radicalmente contenuti, processi, organizzazioni e ambienti nelle fabbriche. Come sottolineato da Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), queste nuove tecnologie richiedono ai lavoratori una maggiore capacità di *problem-solving*, astrazione e gestione della complessità, oltre che la necessità di sviluppare migliori abilità comunicative, maggiore indipendenza e una maggiore responsabilità nell'organizzazione dei propri compiti. Tali cambiamenti aumentano di conseguenza il carico cognitivo delle attività, alterando l'equilibrio tra carico fisico e mentale nei sistemi industriali. I sistemi cyber-fisici, che combinano componenti umani, computazionali e fisici, creano infatti nuovi livelli di interazione sociotecnica tra persone, macchine, materiali e oggetti (Wang, Törngren e Onori, 2015), portando allo sviluppo di complesse interdipendenze tra organizzazione, produzione e strutture di controllo (Zhong e Nof, 2015) e inducendo di conseguenza cambiamenti tecnici, organizzativi e umani. Inoltre, con l'emergere del concetto di Operatore 4.0 e con la continua evoluzione delle nuove tecnologie, i ruoli degli individui sul piano di produzione si evolveranno. La figura dell'Operatore 4.0, infatti, si riferisce ad un lavoratore che collabora con tecnologie che supportano, potenziano e valorizzano le abilità umane, creando una simbiosi che ne migliora la performance e l'efficienza (Ciccarelli, Papetti e Germani, 2023). L'Operatore 4.0 consente quindi di adottare una nuova filosofia di progettazione per sistemi di produzione flessibili, dove le capacità fisiche, cognitive e sensoriali degli individui sono amplificate attraverso l'integrazione di sistemi cyber-fisici umani, risultando in una valorizzazione delle competenze che facilita la gestione di sistemi complessi.

Tuttavia, questa evoluzione comporta anche potenziali rischi. L'impatto delle nuove tecnologie sul benessere degli operatori è infatti un tema sempre più rilevante, con particolare attenzione alle implicazioni fisiche, psicologiche e sociali (Wang, Törngren e Onori, 2015). Sebbene queste tecnologie siano introdotte per facilitare il lavoro fisico e cognitivo, possono infatti sorgere effetti indesiderati come stress, affaticamento e disturbi muscoloscheletrici. Pertanto, nell'adozione di sistemi 4.0 è cruciale effettuare valutazioni dell'impatto fisico e psicosociale, per poter garantire la "sostenibilità umana" negli ambienti di lavoro, promuovendo approcci centrati sull'uomo che aumentino la produttività degli operatori e contemporaneamente tutelino la loro salute e sicurezza.

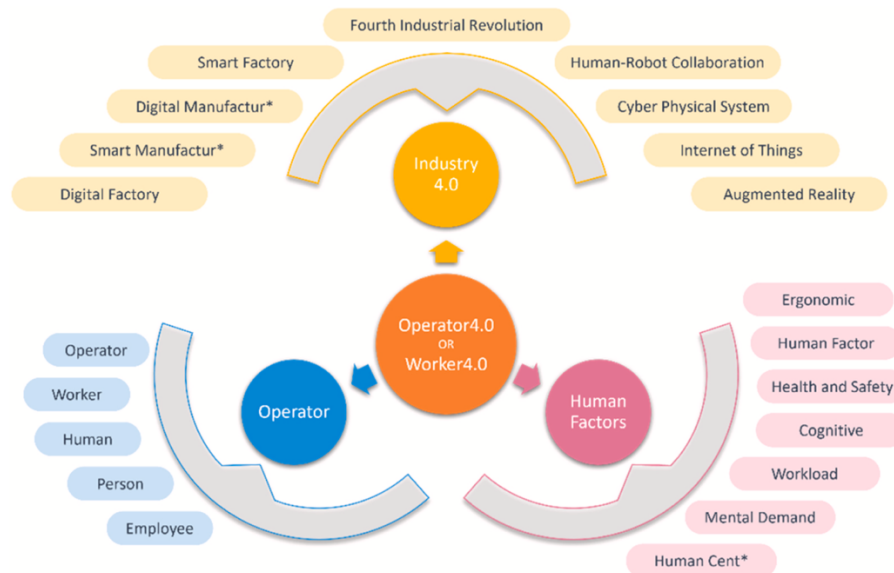


Figura 8: Operatore 4.0  
Fonte: Ciccarelli, Papetti e Germani (2023)

## 2.1 Rischi per i lavoratori derivanti dalle tecnologie 4.0

Nonostante sia noto che il successo nell'implementazione tecnologica dipenda fortemente da chi utilizza la tecnologia e dal modo in cui si interagisce con essa, l'approccio metodologico prevalente nella progettazione dei sistemi 4.0 è spesso *technology-driven*, puntando all'ottimizzazione del sistema produttivo e lasciando raramente spazio a considerazioni riguardanti il fattore umano presente nell'equazione (Cunha, Silva e Maggioli, 2022). Come anticipato anche precedentemente, è quindi necessario valutare i potenziali rischi legati agli individui derivanti dall'adozione di queste tecnologie, successivamente analizzati seguendo il modello proposto da Du Plooy *et al.* (2024), che ne prevede una divisione in funzione della sfera individuale coinvolta, sia essa quella fisica, quella psicologica o quella comportamentale. Verranno infine delineati alcuni fattori che possono contribuire ad influenzare il tipo, il grado e la criticità dei rischi, e le implicazioni dal punto di vista organizzativo e manageriale.

### 2.1.1 Rischi Fisici

I rischi fisici associati all'interazione tra lavoratori e tecnologie 4.0 comprendono una serie di potenziali pericoli derivanti dall'integrazione di sistemi automatizzati e dispositivi avanzati nel contesto lavorativo, che possono influire sulla sicurezza e sul benessere fisico dei dipendenti. Questa tipologia di rischio è principalmente associata all'interazione con tecnologie di lavorazione dei materiali, come robot, *cobot* o *automated guided vehicles* (AGV), che aiutano

i lavoratori nella trasformazione, nella lavorazione e nel trasporto di materiali (Du Plooy *et al.*, 2024). Questi rischi comprendono infatti infortuni e collisioni derivanti dal movimento inaspettato o mal programmato di queste tecnologie, possibilmente anche causato da un attacco informatico, o dalla caduta di carichi trasportati da AGV, dal momento che gli operatori hanno dimostrato spesso di trascurare gli appositi segnali di sicurezza (Thylén, Wänström e Hanson, 2023). Sono da tenere in considerazione, inoltre, anche i disturbi muscoloscheletrici e i disagi fisici dovuti a posture scorrette, a particolari sforzi o alla riduzione del campo visivo nell'utilizzo di robot, *cobot*, esoscheletri e dispositivi indossabili come orologi, biosensori o visori AR (Costantino *et al.*, 2021; Du Plooy *et al.*, 2024). Infine, sono compresi in questa categoria anche tutti i potenziali problemi derivanti dall'esposizione ad un elevato livello di rumore e a rischi elettrici e chimici, presenti soprattutto negli ambienti dove si opera con tecnologie di lavorazione dei materiali ed esoscheletri (Costantino *et al.*, 2021; Du Plooy *et al.*, 2024).

### **2.1.2 Rischi Psicologici**

Allo stesso modo di quelli fisici, i rischi psicologici includono una vasta gamma di potenziali pericoli derivanti dall'interazione con le nuove tecnologie, legati però alla sfera mentale dei lavoratori. Questa categoria di rischi non è principalmente associata ad un particolare gruppo di tecnologie, presentandosi invece in modo trasversale. A partire dalla paura di perdere il posto di lavoro e del cambiamento in generale, questi rischi sono legati a tutte quelle situazioni di stress e di sovraccarico mentale e cognitivo che possono caratterizzare il lavoratore all'interno dell'ambiente di lavoro 4.0, come l'interazione con interfacce non ergonomiche e poco *user-friendly*, la prossimità a robot e *cobot* che si muovono in modo poco prevedibile e non fluente durante le operazioni, l'assenza di barriere nella collaborazione con i *cobot* e la relativa percezione di condizioni di sicurezza inadeguate, l'uso prolungato di dispositivi, la ripetizione di compiti scandita dal ritmo dei robot/*cobot* e il monitoraggio simultaneo di più macchinari (Costantino *et al.*, 2021; Du Plooy *et al.*, 2024). Specularmente al sovraccarico mentale e cognitivo, dalla collaborazione con robot e *cobot* può derivare anche una "sotto-stimolazione", in cui l'operatore si trova a svolgere routine lavorative monotone che lo portano ad uno stato di noia e di minore impegno e dedizione, che a sua volta contribuisce, insieme alla minore autonomia e al minor senso di responsabilità derivanti dall'integrazione delle tecnologie 4.0, alla diminuzione del livello di soddisfazione lavorativa (Meissner *et al.*, 2020; Costantino *et al.*, 2021; Du Plooy *et al.*, 2024). Un altro rischio legato alla sfera psicologica dei lavoratori è rappresentato dall'ansia da separazione che può essere provata da chi si abitua ad interagire e collaborare con tecnologie come AR e VR, Intelligenza Artificiale

o dispositivi indossabili (Costantino *et al.*, 2021). Infine, ultimo aspetto da tenere in considerazione riguarda tutto ciò che concerne la paura e la sensazione di violazione della privacy derivanti dalla possibilità per tecnologie come IoT e *Cloud Computing* di condividere dati e informazioni. In generale, i rischi di natura psicologica sono spesso interconnessi e dipendenti gli uni dagli altri, creando un quadro complesso che richiede un'attenzione olistica per garantire il benessere mentale degli individui nell'ambiente di lavoro 4.0.

### **2.1.3 Rischi Sociali e Comportamentali**

Quest'ultima categoria di rischi è legata alle interazioni sociali e al comportamento dei lavoratori. Uno dei principali fenomeni che può derivare dall'interazione con le nuove tecnologie è l'isolamento sociale, causato dal minore contatto con i colleghi, per esempio in caso di lavoro in collaborazione con i *cobot* (Meissner *et al.*, 2020), o da un'eccessiva dipendenza da altre tecnologie come Intelligenza Artificiale, *Big Data* e Realtà Virtuale o Aumentata (Meissner *et al.*, 2020; Du Plooy *et al.*, 2024). Inoltre, è necessario prendere in considerazione la possibile diminuzione della produttività derivante dal comportamento tenuto dagli individui e legata alla percepibile perdita di autonomia e controllo, all'eccessiva dipendenza dalle tecnologie, alla de-specializzazione di alcuni lavori, come per esempio la manutenzione effettuata con tecnologie AR e VR (Costantino *et al.*, 2021), oltre che ai già citati rischi fisici e psicologici, tutti fattori che contribuiscono a realizzare un ambiente di lavoro che può favorire passività nelle mansioni, assenteismo e aumento del ricambio del personale (Du Plooy *et al.*, 2024). Questa categoria di rischi, infatti, può influenzare il modo in cui i team lavorano in un'organizzazione, aumentando così l'esposizione di ciascun individuo a tutti i potenziali problemi trattati in questi paragrafi. (Du Plooy *et al.*, 2024).

### **2.1.4 Fattori che influenzano il tipo, il livello e la criticità dei rischi**

Diversi sono i fattori che possono influenzare il tipo (fisico, psicologico o sociale/comportamentale), il livello, inteso come probabilità di accadimento, e la criticità di un rischio. Sempre seguendo il modello proposto da Du Plooy *et al.* (2024), i principali possono essere divisi in tre macrocategorie: aspetti individuali, aspetti organizzativi e aspetti sociali. Per quanto riguarda i fattori individuali, questi attingono alla sfera personale di ciascun individuo e si riferiscono principalmente ad età, sesso, livello di educazione, personalità, valori e motivazioni. Nell'interazione con le nuove tecnologie, infatti, ogni persona può reagire in maniera differente proprio per i tratti che lo caratterizzano: ne sono un esempio i lavoratori meno qualificati o con età più avanzata, che hanno riferito di sentire maggiormente la paura di perdere il posto di lavoro (Ghadimi *et al.*, 2022; Kadir e Broberg, 2020), o chi è più o meno interessato e motivato a relazionarsi con il cambiamento, che può rispettivamente dimostrare

una veloce adozione o una resistenza all'implementazione e all'utilizzo di determinate tecnologie. Passando agli aspetti organizzativi, questi si riferiscono agli elementi strutturali e gestionali che influenzano il funzionamento di un'azienda. Si parla dunque principalmente di cultura organizzativa, presenza o assenza di un adeguato percorso di formazione e di un'adeguata modalità di comunicazione, dell'organizzazione dei processi, dello stile di management e della gestione delle risorse umane. Tutti questi fattori, uniti a quelli attinenti alla sfera personale descritti in precedenza, possono avere una funzione catalizzatrice o inibitrice della presenza e dell'entità dei rischi. Prendendo come esempio la comunicazione o meno verso i dipendenti degli imminenti cambiamenti in arrivo a seguito della decisione di investire nella digitalizzazione, la percezione del rischio nei lavoratori può aumentare o diminuire, portando ad un processo di trasformazione semplice o ad una resistenza all'innovazione. Allo stesso modo, il coinvolgimento degli individui e la considerazione di fattori ergonomici nella progettazione e nel processo di implementazione delle nuove tecnologie possono portare agli stessi effetti, oltre che all'aumento o alla diminuzione della probabilità di esporre i lavoratori a rischi durante le rispettive mansioni (Kadir e Broberg, 2020). Infine, anche aspetti insiti nella società come la visione utopica o distopica della tecnologia o il grado di supporto del governo e delle istituzioni giocano un ruolo importante nell'accettazione delle tecnologie e nella soggezione ai possibili rischi associati (Meissner *et al.*, 2020; Du Plooy *et al.*, 2024).

Oltre a queste tre principali macrocategorie di fattori, il tipo, il livello e la criticità dei rischi possono essere influenzati dal tipo di tecnologia con cui un lavoratore interagisce, dal momento che, per esempio, i possibili problemi derivanti dalle operazioni con i *cobot* sono diversi da quelli legati all'utilizzo delle tecnologie informatiche.

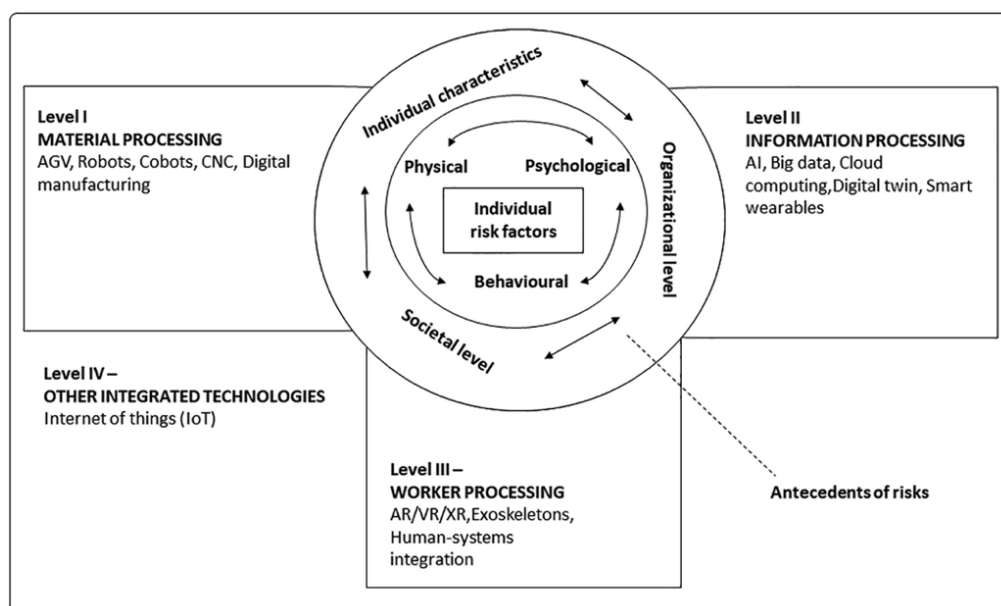


Figura 9: Il sistema legato ai rischi individuali derivanti dalla digitalizzazione  
Fonte: Du Plooy *et al.* (2024)

### ***2.1.5 Implicazioni organizzative e manageriali***

La presenza effettiva o potenziale dei rischi esposti precedentemente può causare direttamente o indirettamente problemi a livello organizzativo, oltre che a livello individuale. Le complicazioni legali e la relativa perdita di immagine che si possono verificare in seguito a incidenti e il fallimento dell'implementazione di nuove tecnologie, che può portare a significative perdite economiche sia per quanto riguarda gli investimenti effettuati sia per il mancato aumento della produttività, sono tra le principali problematiche riscontrabili. Inoltre, un ambiente di lavoro percepito come rischioso o insicuro può potenzialmente influire negativamente sull'attrazione e la *retention* dei dipendenti, rendendo difficile per l'azienda attrarre nuovi talenti e mantenere quelli esistenti. Infine, la percezione legata a questi rischi può influenzare negativamente la posizione dell'azienda nei criteri ESG, ostacolando futuri accessi al credito o ad investimenti. Tutti questi fattori possono quindi contribuire a ridurre la competitività dell'impresa, risultando in un effetto contrario a quello previsto in fase di apertura alla digitalizzazione.

Per mitigare la probabilità che questi rischi si presentino, insieme alle conseguenti problematiche ed implicazioni, diverse sono le soluzioni adottabili. A partire da un processo di progettazione ed implementazione mirato, che valuti correttamente i potenziali rischi, che coinvolga direttamente i lavoratori interessati dal cambiamento e che favorisca la comunicazione, la trasparenza, il supporto e l'*up-skilling*, le imprese devono poi adottare pratiche di gestione delle risorse umane e di *recruiting* efficienti e dedicate. Esempi possono riguardare l'allocazione dei lavoratori con determinate competenze ad un compito che abbia delle esigenze associabili o la creazione di programmi di formazione che permettano di aumentare la probabilità di adozione delle innovazioni digitali da parte degli individui. Inoltre, oltre a queste soluzioni preventive, ogni impresa dovrebbe fornire un servizio di supporto psicologico che possa aiutare a mantenere il benessere mentale dei dipendenti, aiutandoli a gestire le potenziali complicazioni associate all'introduzione di nuove tecnologie.

In conclusione, quindi, il fattore risolutivo comune può essere individuato nel concetto di centralità dell'uomo portato dal paradigma Industria 5.0, promuovendo un ambiente di lavoro dove l'innovazione digitale sia al servizio delle persone, migliorandone non solo la produttività ma anche la qualità della vita lavorativa.



## 2.2 Technology Acceptance Model (TAM)

Nonostante le innovazioni tecnologiche e i percorsi di trasformazione digitale possano essere accuratamente progettati e ottimizzati, senza la partecipazione e l'uso da parte delle persone sono destinati a fallire. Dal momento che l'accettazione da parte degli utenti è quindi fondamentale per garantire il successo e il miglioramento di qualsiasi innovazione o implementazione, negli anni sono stati sviluppati diversi modelli finalizzati a comprendere quali fattori influenzano l'accettazione e l'adozione di un determinato sistema o, più nello specifico, di una determinata tecnologia. A questo scopo, nel 1985 Fred Davis ha sviluppato il *Technology Acceptance Model (TAM)*, che, insieme alle sue estensioni e revisioni, è uno dei modelli più utilizzati per comprendere e prevedere l'adozione delle tecnologie da parte degli utenti. Il TAM si basa sull'ipotesi che l'adozione o meno di un sistema dipenda fortemente dall'atteggiamento che l'utente ha verso il sistema stesso, a sua volta influenzato da due fattori principali: l'utilità percepita, ossia quanto una persona crede che l'uso di una determinata tecnologia migliorerà le sue prestazioni lavorative, e la facilità d'uso percepita, che ha un'influenza diretta anche sull'utilità percepita (Davis, 1985). Infine, questi due fattori dipendono direttamente da variabili esterne, per esempio come le caratteristiche del sistema, la formazione degli utenti, il loro coinvolgimento in fase di progettazione e il processo di implementazione (Venkatesh e Davis, 1996). Il TAM, quindi, fornisce un'importante guida per progettare nuove tecnologie, mettendo in evidenza l'importanza di rendere le innovazioni non solo utili, ma anche facilmente accessibili e intuitive per gli utenti finali.

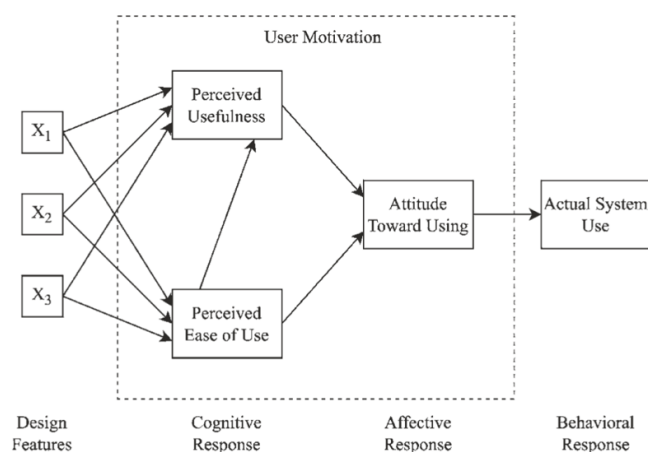


Figura 10: Technology Acceptance Model (TAM)  
Fonte: Davis (1985)

Tuttavia, negli anni sono emerse le limitazioni del modello, come l'eccessiva semplicità, la mancata considerazione di caratteristiche individuali, sociali e culturali, l'ipotizzata razionalità assoluta degli utenti e l'assenza di un'effettiva concretezza (Malatji, Van Eck e Zuva, 2022). Per sopperire a queste criticità, le varie estensioni del TAM e delle teorie affini hanno

aggiunto ulteriori variabili e considerazioni, riguardanti principalmente le determinanti dell'utilità e della facilità d'uso, i fattori predittivi dell'atteggiamento e i fattori predittivi dell'utilizzo del sistema (Davis e Granić, 2024). Dal momento che queste estensioni possono rendere il modello più complesso e meno intuitivo da applicare, Davis e Granić (2024) hanno sviluppato una guida strategica per personalizzare le varie soluzioni presenti in questi modelli a seconda del contesto specifico di applicazione. Questo *Seven Pillar Framework* è suddiviso nei seguenti sette principi azionabili:

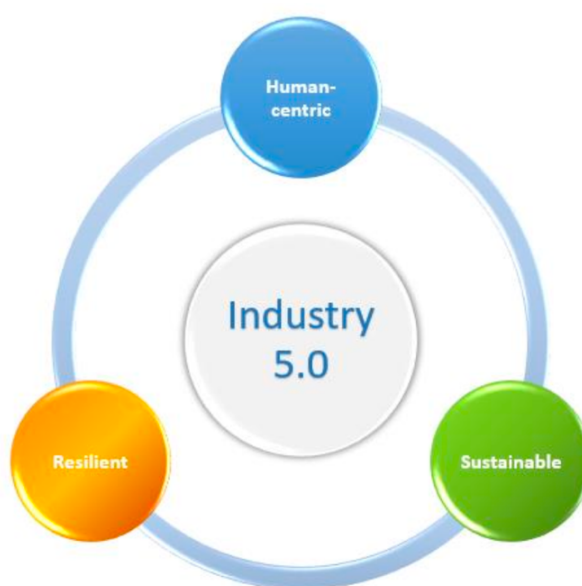
1. Utilizzare la versione base del TAM per stabilire una base e un punto di riferimento; questo aiuta a proteggere contro gravi *bias* dovuti a variabili omesse;
2. In presenza di un eccessivo numero di antecedenti della propensione all'utilizzo, scegliere quelli che sono i collegamenti più rilevanti nella catena causale;
3. Consultare analisi specifiche per il contesto di applicazione, al fine di identificare i potenziali antecedenti che sono rilevanti nella determinazione della propensione all'utilizzo per quel determinato contesto;
4. I moderatori (variabili che influenzano la forza o la direzione di una relazione tra due altre variabili) sono utili per adattare la teoria a contesti specifici, ma attenzione a non inserirne troppi poiché aumentano la complessità e riducono l'interpretabilità e la comprensibilità dei risultati;
5. Considerare l'opportunità di integrare teorie ben consolidate provenienti da discipline "sorelle";
6. Ove possibile, considerare una strategia per confrontare e sintetizzare/integrare le parti migliori dei modelli concorrenti per formare un nuovo modello;
7. Bilanciare attentamente il compromesso tra semplicità e complessità.

In conclusione, il TAM, le sue varie estensioni e le altre teorie affini dovrebbero essere utilizzati come strumenti per valutare l'accettazione di un sistema da parte degli utenti finali già a partire dalle prime fasi di progettazione. Infatti, molte scelte strutturali vengono prese presto nel processo di sviluppo e le metodologie tradizionali "a cascata" spesso falliscono proprio perché i requisiti definiti all'inizio del progetto possono portare ad un sistema finale non allineato con le vere necessità degli utenti. Il TAM, invece, è progettato appositamente per validare il favorevole contributo di queste scelte verso l'accettazione del sistema, supportando un design centrato sugli utenti, coinvolgendoli sin dall'inizio e testando empiricamente prototipi per verificare che le funzionalità soddisfino le loro esigenze e la loro sicurezza (Davis e Granić, 2024). Può essere quindi affermato che questo modello segua alcune logiche legate al concetto di Industria 5.0, che verrà introdotto nel prossimo capitolo.

### 3. Industria 5.0: Il caso Bianchi S.p.A.

*“L’Industria 5.0 riconosce il potere dell’industria di raggiungere obiettivi sociali al di là dei posti di lavoro e della crescita per diventare un fornitore di prosperità resiliente, facendo sì che la produzione rispetti i limiti del nostro pianeta e mettendo il benessere dei lavoratori al centro del processo di produzione.”*

Questa è la definizione utilizzata dalla Commissione Europea per descrivere il recente concetto di Industria 5.0, muovendosi dall’obiettivo di aumentare l’efficienza e la flessibilità della produzione verso un paradigma che va oltre la logica del profitto, prendendo in considerazione anche costi e benefici legati all’ambiente e alla società. Tre sono i principali elementi che caratterizzano questa nuova concezione: la resilienza, la sostenibilità e la centralità dell’uomo (Breque, De Nul e Petridis, 2021).



*Figura 11: Industria 5.0  
Fonte: Breque, De Nul e Petridis (2021)*

La resilienza fa riferimento al bisogno di aumentare la robustezza del sistema industriale, intesa come abilità di reagire e di far fronte in modo flessibile al cambiamento. La situazione geopolitica e la recente pandemia sono chiari esempi di ostacoli che minacciano l’attuale produzione globalizzata e che, di conseguenza, sottolineano la necessità di sviluppare sistemi resilienti, caratterizzati, per esempio, da catene di approvvigionamento e del valore strategiche e da capacità produttive e processi aziendali adattabili e flessibili.

Per quanto riguarda il secondo elemento, la concezione di sostenibilità richiede alle imprese, così come all'intera società, la riduzione degli impatti ambientali, attraverso lo sviluppo di processi e prodotti circolari che riutilizzino e riciclino le risorse naturali, la diminuzione del consumo energetico e delle emissioni nocive e l'introduzione di tecnologie e sistemi produttivi, come per esempio l'*Additive Manufacturing*, che possano da una parte ottimizzare l'efficienza delle risorse e dall'altra minimizzare gli scarti.

Infine, il concetto di centralità dell'uomo riprende alcune delle logiche ritrovate alla base del TAM, mettendo i bisogni e gli interessi degli individui al centro del processo produttivo e di conseguenza adattando il più possibile la tecnologia alle esigenze dei lavoratori. Questo si traduce in una maggiore valorizzazione delle persone e nella creazione di un ambiente più inclusivo, finalizzato alla promozione del benessere, della sicurezza, della crescita e della realizzazione di ogni individuo.

Grazie a questa visione olistica, l'Industria 5.0 offre alle imprese gli strumenti necessari per acquisire e mantenere competitività e rilevanza in un panorama in costante evoluzione. Anche se gli investimenti necessari potrebbero portare ad una temporanea perdita di posizione nel breve termine, il rischio maggiore è tuttavia rappresentato dalla mancata transizione verso resilienza, sostenibilità e centralità dell'uomo, che può portare alla perdita di competitività nel lungo termine.

### **3.1 Il caso Bianchi S.p.A.: la concezione di fabbrica in ottica 5.0**

Il seguente caso vede come protagonista l'azienda *F.I.V. E. Bianchi S.p.A.*, d'ora in poi denominata per semplicità *Bianchi*. Dalla fine del 2021, nel progetto di *reshoring* di una parte dell'attività produttiva, *Bianchi* è stata supportata da *Considi*, società di consulenza direzionale e manageriale intervistata nella figura del presidente ing. Fabio Cappelozza, coinvolto insieme al suo team di altre 5 persone nella progettazione e nell'implementazione del nuovo impianto di Treviglio, in provincia di Bergamo, inaugurato il 4 giugno 2024.

Come sottolineato dall'ing. Cappelozza: *“nulla sarebbe stato possibile senza il totale coinvolgimento del Team Operation di Bianchi, guidato dall'ing. Francesco Giuliano, COO e vero autore di questa rivoluzione innovativa”*.

Il caso in questione tratterà di un progetto di adeguamento strutturale e organizzativo, caratterizzato dalla trasformazione dell'assetto produttivo e delle logiche di gestione verso un'ottica di Industria 5.0. Ad una prima introduzione sulla realtà aziendale e sugli obiettivi

prefissati dal management seguirà la descrizione delle fasi di progettazione e di implementazione, che si focalizzerà principalmente sulle soluzioni integrate nello *shop floor*. Infine, insieme alle considerazioni finali verrà proposta una valutazione sui fattori che hanno contribuito maggiormente alla riuscita del progetto.

### ***3.1.1 Il contesto aziendale e gli obiettivi del progetto***

*Bianchi* è ad oggi il più storico marchio di biciclette ancora in attività, forte di una storia di quasi 140 anni iniziata nel 1885 con Edoardo Bianchi, che, appena ventenne, aprì a Milano un'officina meccanica. Dalla nascita della società per azioni *Società Anonima Edoardo Bianchi* nel 1907, l'azienda riuscì a superare indenne i due conflitti mondiali, attraversando poi dagli anni '60 una fase d'espansione culminata negli anni '70 con l'apertura dello stabilimento di 75.000 m<sup>2</sup> a Treviglio. Al termine di un susseguirsi di passaggi di proprietà, nel 1997 Salvatore Grimaldi rilevò il marchio con la sua *Cycleurope*, gruppo che, oltre a *Bianchi*, gestisce diverse realtà del settore del ciclismo. L'azienda ad oggi offre un ampio portafoglio prodotti, che spazia da biciclette ed e-bike per la corsa, per la strada e per la città a quelle per il fuori strada, offrendo configurazioni e livelli di performance diversi.

A partire dalle difficoltà logistiche emerse durante la pandemia, dai recenti disordini geopolitici e dalla crescente domanda di biciclette che ha caratterizzato la situazione post-Covid, il management di *Bianchi* e del gruppo *Cycleurope* ha voluto avviare un processo di *reshoring* finalizzato a riportare in Italia gran parte delle attività produttive localizzate in Asia. Questo primo obiettivo, unito alla volontà di rendere la nuova fabbrica un simbolo di bellezza e innovazione, faceva parte della più ampia visione di rilanciare il marchio ripartendo dalle fondamenta, ossia dai prodotti e dai processi. Sotto questa spinta è quindi partito un progetto ambizioso che ha visto il ridisegnamento strutturale ed organizzativo del vecchio impianto di Treviglio secondo le logiche dell'Industria 5.0, mettendo le persone al centro del sistema.

La situazione iniziale vedeva nello storico stabilimento un grosso problema da risolvere, in quanto le linee datate, l'assenza quasi completa di tecnologie digitali e la mancanza di una mappatura delle attrezzature, delle competenze e dei processi non fornivano una base di dati e informazioni sufficienti per poter strutturare il progetto di trasformazione, ulteriormente minacciato dalla logica produttiva a lotti e dalla perdita di competenze legata al ricambio generazionale, fattori che caratterizzavano l'azienda in quel periodo.

### ***3.1.2 Le fasi di progettazione ed implementazione***

Partendo dalla situazione iniziale descritta, l'azienda è stata accompagnata in una trasformazione che, seppur graduale e continua, può essere divisa in due fasi principali: la

ristrutturazione preliminare della vecchia linea produttiva e la successiva creazione dello *shop floor* finale, durante le quali la produzione non si è mai fermata.

L'obiettivo principale della prima fase era creare un'infrastruttura su cui basare il nuovo *plant*, essenziale per raccogliere tutti i dati e le informazioni mancanti e fondamentali per la progettazione finale, oltre che per testare le soluzioni ideate e preparare gradualmente i lavoratori ai cambiamenti futuri. Le azioni correttive si sono mosse contemporaneamente verso tre direzioni: l'aggiornamento della logica di produzione, la formazione e la mappatura dei processi, delle attrezzature e delle competenze.

La filosofia produttiva è passata da una logica a lotti e code ad un sistema "pull" *one-piece-flow*, completamente flessibile e adattabile a quanto richiesto dal mercato. Questo cambiamento ha visto anche l'introduzione di sistemi semplici, come una web-app per la dichiarazione delle attività e dei malfunzionamenti da parte degli operatori, finalizzati a favorire la cultura del dato, a rendere visibile l'andamento della produzione e a facilitare l'individuazione di problemi specifici da risolvere. Per quanto riguarda la formazione, è stata creata fin da subito un'academy interna per promuovere l'approccio alla crescita continua degli individui e per sopperire al ricambio generazionale in atto, favorendo il necessario trasferimento delle competenze base relative al montaggio delle biciclette. Simultaneamente a queste operazioni, è stata effettuata la mappatura completa dei processi, delle attrezzature e delle competenze, confluita nella costruzione di un database contenente tutte le fasi della produzione e le procedure operative standard (SOP), fondamentale per realizzare il bilanciamento dei carichi di lavoro.

Il triplice approccio adottato ha contribuito al proficuo coinvolgimento degli operatori nella progettazione del nuovo impianto, grazie alla condivisione di problemi riscontrati nelle attività produttive, ai suggerimenti sulle possibili soluzioni adottabili e al continuo confronto con i tecnici sulle modifiche proposte. Questo dialogo costante ha permesso di sviluppare le postazioni ergonomiche e le operazioni disegnate a priori, contribuendo a renderle più semplici ed efficienti, oltre che a ridurre il carico mentale associato: ne è un esempio il cambiamento dello snodo fisso progettato per reggere e bloccare la bicicletta in ciascuna postazione, successivamente adattato per consentire la necessaria rotazione del telaio durante le attività.

Grazie alla preparazione svolta in questa prima fase, il nuovo impianto, entrato in funzione nell'ultimo trimestre del 2023, ha raggiunto il pieno regime dopo soli due mesi. Nella sua descrizione verrà data principale attenzione allo *shop floor*. Partendo dalla nuova architettura informativa di fabbrica, questa può essere riassunta nei suoi elementi principali: il

*Warehouse Management System* (WMS), l'*Enterprise Resource Planning* (ERP), il database delle fasi produttive e delle SOP e il *Production Copilot*, ossia un sistema MOM (*Manufacturing Operations Management*) potenziato dall'Intelligenza Artificiale che svolge diverse funzioni di supporto alla produzione. Le informazioni come inventario, righe d'ordini e distinte base vengono integrate dal *Production Copilot* con quelle relative alle fasi produttive e alle SOP per ottimizzare la programmazione della produzione e il bilanciamento delle linee di assemblaggio e della forza lavoro: viene così agevolata l'efficiente realizzazione del principio di *one-piece-flow* e la personalizzazione completa delle biciclette in funzione delle richieste di mercato. Il processo produttivo inizia infatti con la preparazione da parte di un operatore di tutti i componenti necessari ad assemblare una specifica configurazione di prodotto, suggeriti dal sistema attraverso segnali luminosi (*pick-to-light*) e successivamente riposti sulla "bilancella", il sostegno sollevato dal pavimento e contenente ciò che è necessario per svolgere tutte le lavorazioni. La gestione dei materiali è in questo modo ottimizzata, evitando inoltre di far iniziare una preparazione in caso di componenti mancanti, al fine di azzerare il numero di potenziali blocchi. Inoltre, durante tutte le attività legate al processo produttivo, gli operatori possono ricevere assistenza tramite tablet presenti in ogni postazione, interagendo con l'interfaccia del *Production Copilot*. Questo sistema, infatti, grazie all'integrazione con sensori IoT che monitorano lo stato di avanzamento delle attività in ciascuna bilancella, garantisce anche un supporto continuo e immediato ai lavoratori, permettendo di ricevere istruzioni specifiche e dettagliate sulle operazioni da eseguire e migliorando la flessibilità e la capacità dei lavoratori di intervenire su diverse postazioni.

Infine, un altro elemento che caratterizza lo *shop floor* è l'adozione del *visual management*, ritrovato, per esempio, nel sistema *pick-to-light* descritto precedentemente, nei segnali presenti nello stabilimento e nelle postazioni di lavoro sollevate dal pavimento bianco, che rende visibili eventuali materiali caduti a terra, segno di anomalie. Questo approccio da una parte facilita l'individuazione istantanea delle non conformità, permettendo di risalire al problema e di trovare una soluzione in modo più semplice ed efficace, e dall'altra contribuisce a ridurre lo stress e il carico cognitivo degli operatori.

Il nuovo impianto, oltre che per aumentare la flessibilità e l'efficienza della linea produttiva, è stato progettato con il fine di creare un ambiente che mettesse le persone al centro, riducendone l'esposizione ai rischi, assicurandone il benessere e garantendone la crescita e la realizzazione. Sul piano psicologico, questi obiettivi sono stati raggiunti grazie al supporto fornito dal sistema di preparazione delle bilancelle e dagli assistenti di produzione e alla flessibilità e rotazione delle mansioni, soluzioni che aiutano complessivamente a ridurre l'ansia

operativa, lo stress e la ripetitività delle operazioni. Altri fattori che contribuiscono al benessere mentale degli individui sono inoltre l'estetica dell'ambiente, il controllo della temperatura e della qualità dell'aria, le condizioni adattive di illuminazione e la sicurezza garantita dai sensori e dai segnali visivi.

L'ergonomia delle postazioni, invece, assicura un ambiente di lavoro che minimizza i disturbi muscoloscheletrici, studiato a partire da valutazioni effettuate tramite sistema OCRA (*Occupational Repetitive Actions*), un metodo utilizzato per individuare i potenziali rischi associati alle attività lavorative. La centralità dell'uomo è infine riscontrata anche nella formazione continua, promossa internamente attraverso l'academy creata sin dall'inizio del progetto, e nella valutazione della crescita delle persone, resa possibile dal tracciamento delle competenze effettuato dal *Production Copilot* durante le attività operative.

Infine, parlando di sostenibilità, il nuovo stabilimento è stato progettato per ridurre al minimo gli impatti ambientali, essendo autosufficiente per 8-9 mesi all'anno grazie ad un impianto fotovoltaico e ad un sistema di raffreddamento e riscaldamento che mantiene una temperatura interna costante.

### ***3.1.3 Fattori critici di successo e valutazioni finali***

Con l'inaugurazione della fabbrica, avvenuta il 4 giugno 2024, si è conclusa parte della più ampia visione di riportare in Italia la quasi totalità della produzione che, in attesa della risalita del mercato e dell'individuazione di fornitori solidi in Europa, vede ancora lo svolgimento in Asia delle attività più a monte nel processo, come la manifattura dei telai. In attesa delle condizioni più convenienti per realizzare questo obiettivo e per valutare appieno la capacità e l'efficienza produttiva, la conclusione del progetto del nuovo impianto può però già considerarsi un successo. Ciò è evidenziato dalla completa adozione ed internalizzazione del nuovo sistema da parte delle maestranze e del middle e top-management, che hanno acquisito le competenze e le logiche necessarie a migliorarlo e farlo progredire ulteriormente, e dai risultati della produzione, che non si è mai fermata durante tutto il processo di trasformazione e che è ora in linea con le aspettative. Ultimo fattore da valutare nel tempo riguarderà poi la possibile dipendenza nel rapporto tra la *retention* dei dipendenti e la logica di centralità dell'uomo adottata nella progettazione di ogni dettaglio.

In conclusione, analizzando il progetto è possibile sottolineare come il fattore principale che ne abbia favorito maggiormente il successo sia sicuramente rappresentato dalla fase preliminare di ristrutturazione del vecchio impianto, che ha permesso di creare una solida infrastruttura tecnologica e organizzativa su cui basare la trasformazione dello stabilimento.



Questo step intermedio, infatti, grazie alla creazione del percorso di formazione continua, al coinvolgimento del personale nella progettazione e all'introduzione di nuove tecnologie, non solo ha reso possibile la raccolta di tutti i dati e le informazioni mancanti, ma ha soprattutto preparato le persone e l'intera fabbrica a ragionare e funzionare seguendo le nuove logiche di produzione, rendendo graduale il percorso di transizione verso il nuovo impianto.

## Conclusioni

In Italia, la risposta al bisogno di adeguarsi alle logiche della Quarta Rivoluzione Industriale è stata formalizzata nel Piano Nazionale Industria 4.0, presentato dal Governo nel 2016 con l'obiettivo di supportare le aziende italiane nella transizione attraverso incentivi fiscali, potenziamento delle infrastrutture di ricerca e investimenti in formazione e sviluppo di competenze digitali. Tuttavia, nonostante i chiari benefici attesi, le pressioni competitive e le iniziative introdotte, il rapporto "Imprese e ICT 2023" di Istat evidenzia la lentezza che caratterizza il tessuto imprenditoriale italiano nei confronti della digitalizzazione. Secondo il report, infatti, mentre il 91,1% delle imprese con almeno 250 addetti raggiunge un livello base di digitalizzazione, solo il 60,7% delle PMI riesce a fare altrettanto. Mentre una delle tecnologie più adottate è il *Cloud Computing*, con il 61,4% delle aziende che acquista almeno un servizio di questo tipo, il ritardo più significativo è mostrato nell'adozione di software gestionali e tecnologie più avanzate. Ne è un esempio l'Intelligenza Artificiale, utilizzata solo dal 5% delle imprese con più di 10 addetti, rispetto ad una media europea poco più alta (8%). In questo campo, la mancanza di competenze specifiche rappresenta un ostacolo significativo per il 55,1% delle imprese che considerano l'uso dell'IA ma non procedono alla sua implementazione. Altro divario importante presente tra le realtà italiane è infine rappresentato dalla diffusione dell'attività di analisi dati, svolta in Italia solo dal 26,6% delle imprese, contro il 33,2% nell'UE. In Italia, la situazione delle imprese, particolarmente quelle di dimensione medio-piccola, riflette quindi una realtà in cui l'adozione delle tecnologie digitali più avanzate si conferma ancora una sfida importante. La mancanza di consapevolezza e di competenze specifiche, unita ad una limitata capacità di investimento, ostacola le PMI nel tenere il passo delle grandi imprese, evidenziando un divario crescente che potrebbe influire sulla loro capacità di competere in un mercato sempre più guidato dalla tecnologia.

Tuttavia, il caso *Bianchi* dimostra come, grazie alla visione del management e all'accesso agli incentivi derivanti dai fondi del PNRR, questo problema possa essere trasformato in opportunità. Partire da una situazione di completa obsolescenza degli impianti e delle logiche produttive consente infatti alle imprese di approcciarsi alla rivoluzione digitale incorporando direttamente i nuovi principi legati all'Industria 5.0. L'obiettivo di questo elaborato, dunque, è aumentare la consapevolezza di tutte quelle aziende bisognose di aggiornare le proprie infrastrutture e modalità di gestione. Sfruttando appieno le opportunità offerte dalle politiche di supporto, che nel frattempo devono continuare ad evolversi, è essenziale per queste imprese intraprendere una transizione simile a quella che ha reso *Bianchi* un esempio da seguire.

In conclusione, resilienza, sostenibilità e centralità dell'uomo sono le linee guida che devono caratterizzare i percorsi di sviluppo tecnologico e organizzativo delle aziende, se queste vogliono avere il ruolo di protagonista nel futuro prossimo di un panorama competitivo sempre più influenzato dalla fragilità delle catene di approvvigionamento, dalla problematica situazione ambientale e dalle direttive delle istituzioni. Oltre ad aumentare la flessibilità e l'efficienza della produzione, adottare logiche di Industria 5.0 significa quindi anche questo: avere la capacità di allinearsi ai bisogni e ai cambiamenti della società.

Nota: 10.000 parole utilizzate

## Bibliografia e Sitografia

- Adattil, R., Thorvald, P. e Romero, D. (2024) *Assessing the Psychosocial Impacts of Industry 4.0 Technologies Adoption in the Operator 4.0 : Literature Review & Theoretical Framework*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1843794&dswid=5026>.
- Agrawal, M. *et al.* (2021) *COVID-19: An inflection point for Industry 4.0*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/covid-19-an-inflection-point-for-industry-40>.
- Akter, S. *et al.* (2019) 'Analytics-based decision-making for service systems: A qualitative study and agenda for future research,' *International Journal of Information Management*, 48, pp. 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.020>.
- Akter, S., Wamba, S.F. e Dewan, S. (2017) 'Why PLS-SEM is suitable for complex modelling? An empirical illustration in big data analytics quality,' *Production Planning & Control*, 28(11–12), pp. 1011–1021. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1267411>.
- Alcácer, V. e Cruz-Machado, V. (2019) 'Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing systems,' *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), pp. 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Aravinth, S.S. *et al.* (2024) 'Cloud Computing—Everything as a cloud service in industry 4.0,' in *Disruptive technologies and digital transformations for society 5.0*, pp. 103–121. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-8118-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-99-8118-2_5).
- Assolombarda - Il futuro della Fabbrica* (2020). <https://www.assolombarda.it/servizi/manifattura-e-industria-40/il-futuro-della-fabbrica>.
- Boyes, H. *et al.* (2018) 'The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework,' *Computers in Industry*, 101, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>.
- Breque, M., De Nul, L. e Petridis, A. (2021) *Industry 5.0 : towards a sustainable, human-centric and resilient European industry.*, *Publications Office of the EU*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1/>.
- Bromberger, J. e Kelly, R. (2017) *Additive manufacturing: A long-term game changer for manufacturers*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/additive-manufacturing-a-long-term-game-changer-for-manufacturers>.
- Ciccarelli, M., Papetti, A. e Germani, M. (2023) 'Exploring how new industrial paradigms affect the workforce: A literature review of Operator 4.0,' *Journal of Manufacturing Systems*, 70, pp. 464–483. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.08.016>.
- Collaborative Robot Market Size, Share, Industry Report, Revenue Trends and Growth Drivers 2030* (2024). <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/collaborative-robot-market-194541294.html>.
- Cos'è il cloud computing? | IBM*. <https://www.ibm.com/it-it/topics/cloud-computing>.

- Cos'è il cloud computing? | Microsoft Azure.* <https://azure.microsoft.com/it-it/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing>.
- Costantino, F. *et al.* (2021) 'New and Emerging Hazards for Health and Safety within Digitalized Manufacturing Systems,' *Sustainability*, 13(19), p. 10948. <https://doi.org/10.3390/su131910948>.
- Cunha, L., Silva, D. e Maggioli, S. (2022) 'Exploring the status of the human operator in Industry 4.0: A systematic review,' *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.889129>.
- Davis, F.D. (1985) *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems : theory and results.* <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/15192>.
- Davis, F.D. e Granić, A. (2024) *The technology acceptance model, Human-computer interaction series.* <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45274-2>.
- De Paula Ferreira, W., Armellini, F. e De Santa-Eulalia, L.A. (2020) 'Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review,' *Computers & Industrial Engineering*, 149, p. 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>.
- Dilda, V. *et al.* (2017) *Manufacturing: Analytics unleashes productivity and profitability.* <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/manufacturing-analytics-unleashes-productivity-and-profitability>.
- Du Plooy, H. *et al.* (2024) 'A human-centered perspective on individual risks for digital innovation management: an integrative conceptual review,' *European Journal of Innovation Management.* <https://doi.org/10.1108/ejim-09-2023-0821>.
- Ghadimi, P. *et al.* (2022) 'The successful implementation of industry 4.0 in manufacturing: An analysis and prioritization of risks in Irish industry,' *Technological Forecasting & Social Change/Technological Forecasting and Social Change*, 175, p. 121394. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121394>.
- Gregolinska, E. *et al.* (2022) *Capturing the true value of Industry 4.0.* <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/capturing-the-true-value-of-industry-four-point-zero>.
- IFR International Federation of Robotics, *International Federation of Robotics.* <https://ifr.org/industrial-robots>.
- Imprese e Ict - Anno 2023* (2023). <https://www.istat.it/it/archivio/292463>.
- Industrial Internet of Things: Trends and challenges* (2024). [https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10380305?casa\\_token=-UqPLK3X\\_wAAAAAA:8PqPcUfM11f7T30n9K9hA9ZZjLcuc78X9WHCfxxHsttyEDicdmXED2ukWyYEWignCV\\_qn62HKA](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10380305?casa_token=-UqPLK3X_wAAAAAA:8PqPcUfM11f7T30n9K9hA9ZZjLcuc78X9WHCfxxHsttyEDicdmXED2ukWyYEWignCV_qn62HKA).
- Iuculano, G. (2022) 'Realtà aumentata, che cos'è e come funziona,' *Industry 4 Business*, 11 August. <https://www.industry4business.it/connected-enterprise/connected-factory/realtà-aumentata-che-cos-e-come-funziona/>.
- Jose, B. (2023) 'Augmented Reality in Manufacturing: A Comprehensive Review,' *Gyanveshan*, 20 December.

- Kadir, B.A. e Broberg, O. (2020) 'Human well-being and system performance in the transition to industry 4.0,' *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76, p. 102936. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102936>.
- Kadir, B.A., Broberg, O. e Da Conceição, C.S. (2019) 'Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0,' *Computers & Industrial Engineering*, 137, p. 106004. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106004>.
- Kagermann, H., Wahlster, W. e Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.: Final report of the Industrie 4.0 Working Group, DIN - Deutsches Institut Fur Normung*. acatech - National Academy of Science and Engineering. <https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> (Accessed: June 10, 2024).
- Malatji, W.R., Van Eck, R. e Zuva, T. (2022) 'Understanding the usage, Modifications, Limitations and Criticisms of Technology Acceptance Model (TAM) - Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal,' *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. <https://www.astesj.com/v05/i06/p12/>.
- Malik, P.K. *et al.* (2021) 'Industrial Internet of Things and its Applications in Industry 4.0: State of The Art,' *Computer Communications*, 166, pp. 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.11.016>.
- Meissner, A. *et al.* (2020) 'Friend or foe? Understanding assembly workers' acceptance of human-robot collaboration,' *ACM Transactions on Human-robot Interaction*, 10(1), pp. 1–30. <https://doi.org/10.1145/3399433>.
- Mell, P.M. e Grance, T. (2011) *The NIST definition of cloud computing*. <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-145>.
- Pivoto, D.G.S. *et al.* (2021) 'Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review,' *Journal of Manufacturing Systems*, 58, pp. 176–192. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.11.017>.
- Prashar, G., Vasudev, H. e Bhuddhi, D. (2022) 'Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in industry 4.0,' *IJIDEM*, 17(5), pp. 2221–2235. <https://doi.org/10.1007/s12008-022-00956-4>.
- Rouf, S. *et al.* (2022) 'Additive manufacturing technologies: Industrial and medical applications,' *Sustainable Operations and Computers*, 3, pp. 258–274. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.001>.
- Sekaran, S.C. *et al.* (2021) 'The implementation of virtual reality in digital factory—a comprehensive review,' *the International Journal of Advanced Manufacturing Technology/International Journal, Advanced Manufacturing Technology*, 115(5–6), pp. 1349–1366. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07240-x>.
- Shipp, S.S. *et al.* (2012) *Emerging global trends in advanced manufacturing*. Institute for Defense Analyses. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA558616.pdf>.
- Singh, M. *et al.* (2021) 'Digital Twin: origin to future,' *Applied System Innovation*, 4(2), p. 36. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>.

- Sisca, F.G. *et al.* (2016) 'Additive manufacturing as a strategic tool for industrial competition,' *IRIS Re.Public@polimi.it* [Preprint]. <https://doi.org/10.1109/rtsi.2016.7740609>.
- Thylén, N., Wänström, C. e Hanson, R. (2023) 'Challenges in introducing automated guided vehicles in a production facility – interactions between human, technology, and organisation,' *International Journal of Production Research*, 61(22), pp. 7809–7829. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2175310>.
- Tofail, S. a. M. *et al.* (2018) 'Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities,' *Materials Today*, 21(1), pp. 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>.
- Vaidya, S., Ambad, P. e Bhosle, S. (2018) 'Industry 4.0 – a glimpse,' *Procedia Manufacturing*, 20, pp. 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>.
- Venkatesh, V. e Davis, F.D. (1996) 'A model of the antecedents of perceived ease of use: Development and test,' *Decision Sciences*, 27(3), pp. 451–481. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1996.tb00860.x>.
- Wamba, S.F. *et al.* (2020) 'Big data analytics-enabled sensing capability and organizational outcomes: assessing the mediating effects of business analytics culture,' *Annals of Operation Research/Annals of Operations Research*, 333(2–3), pp. 559–578. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03812-4>.
- Wang, J. *et al.* (2022) 'Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review,' *Journal of Manufacturing Systems*, 62, pp. 738–752. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.005>.
- Wang, L., Törngren, M. e Onori, M. (2015) 'Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing,' *Journal of Manufacturing Systems*, 37, pp. 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>.
- What industries use 3D printing.* [https://www.trumpf.com/en\\_CA/newsroom/stories/what-industries-use-3d-printing/](https://www.trumpf.com/en_CA/newsroom/stories/what-industries-use-3d-printing/).
- What is digital transformation?* (2023). <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-digital-transformation>.
- Zhong, H. e Nof, S.Y. (2015) 'The dynamic lines of collaboration model: Collaborative disruption response in cyber-physical systems,' *Computers & Industrial Engineering*, 87, pp. 370–382. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.05.019>.