



ECONOMIA MARCHE Journal of Applied Economics

Vol. XLIII, No.1, Aprile 2024

Industria 5.0: verso un approccio umano-centrico. Il caso Campetella Robotic Center S.r.l.

A. Campolucci, *Università di Macerata, Dipartimento di Giurisprudenza, Italia*
L. Compagnucci, *Università di Macerata, Dipartimento di Giurisprudenza, Italia*
F. Spigarelli, *Università di Macerata, Dipartimento di Giurisprudenza, Italia*

Abstract

Il presente articolo contribuisce a identificare e comprendere le sfide, le opportunità e le buone pratiche che le imprese, i lavoratori e le istituzioni incontrano nell'implementare il passaggio dal paradigma dell'Industria 4.0 (I4.0) all'Industria 5.0 (I5.0). Dopo aver svolto una revisione della letteratura scientifica sul tema dell'I5.0, il contributo combina dati primari e secondari per presentare il caso esemplare di una media impresa a conduzione familiare con sede nella Regione Marche - Campetella Robotic Center S.r.l. - azienda fondata nel 1897 e specializzata nella progettazione e realizzazione di soluzioni innovative nel campo dell'automazione industriale. L'analisi è focalizzata sui pilastri dell'I5.0: sostenibilità, resilienza e approccio umano-centrico. I risultati dell'indagine mostrano la carenza di competenze per favorire il passaggio da I4.0 a I5.0, e la necessità di investire nella formazione del personale per implementare la digitalizzazione e gestire le implicazioni sociali ed etiche che derivano dalle interazioni tra uomo, *robot* e *cobot*. Nonostante le istituzioni europee e nazionali abbiano definito priorità e politiche industriali per la diffusione dell'I5.0, l'attuazione del paradigma è particolarmente ambiziosa perché le imprese si trovano ancora nella fase di implementazione dell'I4.0. Le tecnologie abilitanti dell'I4.0 andrebbero integrate con i pilastri dell'I5.0, in particolare l'approccio umano-centrico. Inoltre, le imprese e le istituzioni sono chiamate a definire una strategia di lungo periodo che richiede sia scelte coraggiose in termini di investimenti economici e formazione, sia un importante cambiamento culturale rispetto al modo di intendere le attività produttive, focalizzando l'attenzione sul processo e sull'aggregazione dei dati relativi al processo.

JEL Classification: O14; O30; L50

Keywords: *approccio umano-centrico; Industria 5.0; innovazione; politiche industriali; resilienza; sostenibilità.*

Affiliations and attributions

Alice Campolucci, Università degli Studi Macerata, Dipartimento di Giurisprudenza. E-mail: alicecampolucci@hotmail.it.

Lorenzo Compagnucci, Università degli Studi Macerata, Dipartimento di Giurisprudenza. E-mail: lorenzo.compagnucci@unimc.it.

Francesca Spigarelli, Università degli Studi Macerata, Dipartimento di Giurisprudenza. E-mail: francesca.spigarelli@unimc.it.

Acknowledgement

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito del progetto "Innovazione e vulnerabilità: problemi giuridici e tutele" del Dipartimento di Giurisprudenza dell'Università di Macerata (finanziamento MUR, programma: Dipartimenti di Eccellenza 2023-2027)

1. Introduzione

Il termine Industria 5.0 (I5.0) è stato inizialmente utilizzato da Michael Rada nel contributo *INDUSTRY 5.0 - From Virtual to Physical*, pubblicato nel 2015 sul social network LinkedIn. Rispetto al paradigma dell'Industria 4.0 (I4.0), il concetto di I5.0 dovrebbe condurre ad una trasformazione sistemica proiettata oltre la dimensione produttiva ed economica. Infatti, l'implementazione dell'I5.0 dovrebbe valorizzare la dimensione umana e quella ambientale, influenzando l'assetto della società e delle strutture di governo (Madsen e Slåtten, 2023).

Ipotizzando che i macchinari comunicheranno e interagiranno in modo completamente autonomo, Rada critica il fatto che l'I4.0 sembra aver relegato l'uomo ai margini delle attività produttive. L'autore propone di introdurre un sistema produttivo basato sulla collaborazione tra uomo e macchina (Rada, 2015). Più recentemente la letteratura ha evidenziato che la principale debolezza dell'I4.0 consiste nel mancato riconoscimento della centralità dell'uomo nell'ambito delle c.d. fabbriche intelligenti e del suo contributo allo sviluppo sostenibile in termini ambientali, sociali ed economici (Huang e altri, 2022).

Sfide senza precedenti come il cambiamento climatico globale, le pandemie e i recenti eventi geopolitici, hanno richiamato l'attenzione sulla dimensione umana del lavoro e sull'impatto delle attività antropiche. Dalla digitalizzazione e automazione dei processi dell'I4.0 che sono principalmente orientati verso il miglioramento dell'efficienza e la riduzione dei costi, si passa progressivamente al paradigma dell'I5.0 (Barata e Kayser, 2023; Golovianko e altri, 2023). L'I5.0 introduce elementi cruciali come la sostenibilità e la resilienza, reinterpreta il benessere dei lavoratori. Al momento non esiste una definizione pienamente condivisa del concetto di I5.0 (Ivanov, 2023; Madsen e Slåtten, 2023; Mourtzis e altri, 2022). Tuttavia, «*Industry 5.0 places the well-being of the workers at the center of the manufacturing process by making production respect the boundaries of our planet and the harmonious symbiosis between humans and machines, to achieve societal goals beyond jobs and economic growth, and further achieve sustainable development goal of super-smart society and ecological values, which will become a robust and resilient provider of prosperity in an Industrial Community of Shared Future*» (Leng e altri, 2022, 283).

Nonostante vi siano cambiamenti già in atto da parte di attori industriali e istituzionali per implementare una più stretta sinergia tra uomo e tecnologie I4.0, migliorando il benessere fisico e cognitivo degli operatori, il concetto di I5.0 e le sue implicazioni sono ancora poco conosciute (Borchardt e altri, 2022; Barata e Kayser, 2023; Leng e altri, 2022; Lu e altri, 2022).

Il presente articolo contribuisce ad identificare le sfide, le opportunità e le buone pratiche che derivano dal passaggio dall'I4.0 all'I5.0. A tal fine, viene svolta un'analisi esplorativa di tipo qualitativo che si focalizza sul caso esemplare (Yin, 1993, 1994, 2018) di una media impresa. In particolare, viene esaminato il caso dell'impresa Campetella Robotic Center S.r.l., un'azienda a conduzione familiare, fondata nel 1897, con sede nella Regione Marche. Campetella è specializzata nella progettazione e nella realizzazione di soluzioni innovative nel campo dell'automazione industriale. Inoltre, Campetella ha recentemente avviato un percorso di innovazione di processo e di prodotto ispirandosi ad alcuni aspetti chiave del paradigma dell'I5.0.

L'articolo è strutturato come segue. La Sezione 2 presenta il quadro teorico di riferimento, descrivendo i pilastri dell'I5.0, cioè sostenibilità, resilienza, approccio umano-centrico e tecnologie abilitanti. La Sezione 3 illustra la metodologia adottata e i dati utilizzati per l'analisi. Nella Sezione 4 vengono discussi i principali risultati ottenuti attraverso l'indagine. Infine, il contributo propone una selezione di implicazioni.

2. I pilastri dell'industria 5.0

Il paradigma dell'I5.0 ha ricevuto attenzione crescente in Europa, soprattutto grazie all'operato della Commissione europea che ha formalmente introdotto il concetto di Quinta Rivoluzione Industriale con la pubblicazione del documento intitolato *Industry 5.0 - Towards a sustainable, humancentric and resilient European industry*. Il documento è il risultato di un processo di consultazione avviato dalla Direzione Generale per la Ricerca e l'Innovazione nel 2020. Il processo di confronto ha coinvolto i principali enti di ricerca e tecnologia, le organizzazioni scientifiche e le agenzie di finanziamento europee (Xu e altri, 2021).

L'I5.0 non andrebbe intesa come una continuazione cronologica o un'alternativa all'I4.0. L'implementazione dell'I5.0 dovrebbe consistere in un esercizio di lungo periodo volto a definire ed attuare le modalità per favorire la coesistenza tra l'industria europea e le nuove esigenze sociali (Carayannis e Morawska-Jancelewicz, 2022). L'I5.0 dovrebbe reintrodurre la dimensione umana, raggiungendo obiettivi sociali che vanno oltre l'occupazione e la crescita economica. Il paradigma dell'I5.0 dovrebbe integrare le tecnologie abilitanti dell'I4.0, facendo sì che la ricerca e l'innovazione guidino la transizione verso una produzione sostenibile, incentrata sul benessere delle persone e sul valore del lavoro (Breque e altri, 2021).

La Tabella 1 in appendice sintetizza i pilastri dell'I5.0, ovvero sostenibilità, resilienza e approccio umano-centrico, ponendoli in relazione con i tre fattori chiave identificati dalla letteratura: persone, organizzazione e tecnologia.

2.1. Sostenibilità

Per garantire la sostenibilità ambientale, economica e sociale, l'industria deve sviluppare processi circolari che riutilizzano e riciclano le risorse naturali, riducendo i rifiuti e di conseguenza l'impatto ambientale delle attività antropiche. Sostenibilità significa anche abbattere il consumo di energia, diminuire le

emissioni climalteranti, evitare l'esaurimento e il degrado delle risorse naturali, soddisfare le esigenze delle generazioni di oggi senza compromettere il futuro delle nuove generazioni (Breque e altri, 2021). Da un lato, le industrie ad alta intensità energetica sono inserite in molte catene del valore che rappresentano più della metà del consumo energetico dell'industria europea. Dall'altro lato, l'I5.0 dovrebbe tendere al miglioramento delle prestazioni delle singole imprese e dei sistemi industriali nel loro complesso, garantendone anche la sostenibilità ambientale. A tal fine lo sviluppo di tecnologie per la neutralità climatica e la riduzione dei costi dell'energia, richiedono interventi politici che siano in grado di assicurare anche la competitività delle industrie ad alto consumo energetico (Compagnucci e Spigarelli, 2023).

Oltre allo sviluppo e all'adozione di nuove tecnologie, è necessario definire e introdurre modelli di *business* ispirati alla triplice dimensione della sostenibilità. Le sfide principali nella definizione di nuovi modelli di *business* sostenibili sono l'equilibrio tra profitti, benefici sociali e ambientali, la riconfigurazione delle risorse e dei processi, nonché l'integrazione dei modelli di *business* con le tecnologie, i metodi e gli strumenti già implementati in azienda. A tale scopo, la raccolta, l'elaborazione, l'utilizzo e l'archiviazione dei dati derivanti dai processi interni all'azienda rappresenta un fattore cruciale (Zizic e altri, 2022). Studi recenti sull'elettricità prodotta da fonti energetiche rinnovabili sfruttando le tecnologie dell'I4.0, hanno dimostrato che vi è una riduzione del consumo energetico tra il 10% e il 30% grazie all'uso della realtà aumentata. L'utilizzo della manifattura additiva consente di ridurre i consumi dal 5% e al 27%, mentre il risparmio sale al 70% nel caso del *cloud computing*. Anche l'uso di *big data* e *analytics* permette una diminuzione dei consumi tra l'11% e il 14% (Zizic e altri, 2022).

2.2 Resilienza

In psicologia il termine resilienza indica la capacità di reagire a traumi e difficoltà, recuperando l'equilibrio psicologico attraverso la mobilitazione delle risorse interiori e la riorganizzazione in chiave positiva della struttura della personalità. Diversamente, nella tecnologia dei materiali, la resilienza è la resistenza a rottura per sollecitazione dinamica, determinata con apposita prova d'urto¹.

Nell'ambito del paradigma dell'I5.0, il termine resilienza indica la capacità di anticipare e far fronte in modo flessibile ai cambiamenti che impattano sempre più pesantemente sulle catene del valore e sui mercati globalizzati. Si pensi agli *shock* causati dai recenti eventi geopolitici, quelli collegati alla pandemia da Covid-19 e le conseguenze del cambiamento climatico (Compagnucci, 2022). Alla luce di ciò, l'industria del futuro dovrebbe adattarsi rapidamente a condizioni ambientali, economiche e sociali sempre più mutevoli. Le imprese dovrebbero focalizzarsi sui processi di innovazione per migliorare l'efficienza delle linee di produzione e delle catene di approvvigionamento. Tuttavia, le imprese, in particolare quelle di piccole e medie dimensioni, presentano spesso una configurazione rigida tanto che, in caso di circostanze impreviste, la produzione viene ridotta, interrotta oppure cessa addirittura definitivamente (Compagnucci e Spigarelli, 2023).

Un buon livello di resilienza può essere raggiunto adottando una molteplicità di tecniche innovative come la produzione modulare, impianti produttivi gestiti a distanza, l'uso di nuovi materiali, il monitoraggio continuo e la gestione dei rischi in tempo reale. Le nuove tecnologie digitali giocano quindi un ruolo fondamentale. Tuttavia occorre considerare che la maggiore dipendenza dalle nuove tecnologie espone alcune industrie a più frequenti interruzioni tecniche, dovute a malfunzionamenti o attacchi informatici. Nel lungo periodo, l'implementazione del concetto di resilienza richiede allora maggiori

¹ Si veda <https://www.treccani.it/vocabolario/resilienza/>

investimenti per la ricerca e l'innovazione, che sono essenziali per rafforzare la sicurezza informatica dell'industria resiliente del futuro (Breque e altri, 2021). Va evidenziato che la resilienza è spesso associata ai soli fattori organizzativi e tecnologici mentre il fattore umano è considerato raramente. In un modello "ideale" di resilienza le persone competenti rappresentano invece una componente cruciale grazie alla loro capacità di rilevare e riconoscere le anomalie lungo i processi produttivi. A questo scopo sono strategici gli investimenti nella formazione e nello sviluppo delle competenze trasversali degli operatori (Zizic e altri, 2022).

2.3 Approccio umano-centrico

Centralità umana significa focalizzarsi sull'auto-sovranià, l'autodeterminazione e l'autonomia delle persone coinvolte in un processo: senza sistemi di coercizione e costrizione, le persone hanno il diritto di determinare ciò che accade loro (World Economic Forum, 2021). Finora, ogni rivoluzione industriale ha ridotto la presenza e l'importanza degli esseri umani che perdono il confronto con l'automazione e le tecnologie digitali in termini di produttività ed efficienza. Per la prima volta, la maggior parte delle definizioni riguardanti la Quinta Rivoluzione Industriale sono concordi nel ritenere che l'inclusione dell'uomo sia uno dei pilastri del sistema industriale del futuro (Raja Santhi e Muthuswamy, 2023).

Secondo la Commissione europea piuttosto che considerare le tecnologie emergenti come punto di partenza ed esaminarne il potenziale in termini di aumento dell'efficienza, andrebbe adottato un approccio umano-centrico che pone i bisogni e gli interessi fondamentali dell'uomo al centro del processo produttivo. Ciò significa utilizzare la tecnologia per adattare i processi produttivi alle esigenze dei lavoratori. Questo implica anche la necessità di assicurarsi che l'uso delle tecnologie non pregiudichi i diritti fondamentali dei lavoratori, come il diritto alla *privacy*, all'autonomia e alla dignità umana (Breque e altri, 2021).

L'I5.0 sposta quindi l'attenzione sul benessere delle persone che può impattare positivamente sulla loro produttività. Le tecnologie avanzate dovrebbero assistere gli operatori nei processi produttivi, ad esempio i *robot* collaborativi possono svolgere mansioni ripetitive e pericolose per gli esseri umani. In questo modo gli operatori possono concentrarsi su attività creative e sviluppare nuove soluzioni (Adel, 2022). Allo stesso tempo, i datori di lavoro dovrebbero considerare in via prioritaria le capacità e la disponibilità al cambiamento da parte dei propri dipendenti (Atif, 2023).

Va inoltre considerato che i collaboratori tendono ad essere maggiormente motivati quando, grazie alle loro competenze, contribuiscono ad aumentare la produttività aziendale (Adel, 2022). L'approccio umano-centrico richiede quindi il potenziamento delle capacità e delle competenze individuali degli operatori, cioè quei fattori che permettono di raggiungere l'equilibrio e la piena interazione uomo-*robot* in sistemi industriali dinamici e complessi (Raja Santhi e Muthuswamy, 2023).

2.4 Tecnologie abilitanti

Le potenzialità del paradigma dell'I5.0 possono essere attuate grazie ad una selezione di tecnologie abilitanti dell'I4.0 che consentono di sviluppare nuovi sistemi produttivi e prodotti, contribuendo altresì alla crescita economica e occupazionale (Müller, 2020). Da una parte, le tecnologie digitali dell'I4.0 vanno applicate all'I5.0 per creare valore aggiunto per l'operatore e l'utente finale. Dall'altra parte, l'implementazione dei principi dell'I5.0 spingerà i collaboratori verso una maggiore resilienza e digitalizzazione. A tale scopo vanno considerate le caratteristiche peculiari del capitale umano; particolare attenzione va rivolta al progressivo invecchiamento della forza lavoro (Alves e altri, 2023). La Tabella 2

illustra le tecnologie abilitanti che andrebbero integrate nel paradigma dell'I5.0 e le relative potenzialità.

Tabella 2. Industria 5.0 e tecnologie abilitanti.

Tecnologie abilitanti	Potenzialità
<i>Big data</i>	<ul style="list-style-type: none"> • personalizzazione dei processi e dei prodotti; • rapidità dei processi decisionali; • previsioni in tempo reale; • riduzione dei costi;
<i>Internet of everything</i>	<ul style="list-style-type: none"> • maggiore produttività; • riduzione dei costi; • miglioramento delle catene di fornitura; • ottimizzazione della logistica;
<i>Blockchain</i>	<ul style="list-style-type: none"> • identità digitale; • gestione decentralizzata; • maggiore trasparenza;
<i>Gemelli digitali</i>	<ul style="list-style-type: none"> • riduzione dei costi; • previsione degli errori; • design personalizzato; • manutenzione preventiva;
<i>Intelligenza artificiale</i>	<ul style="list-style-type: none"> • automazione intelligente; • maggiore efficienza; • migliore controllo della qualità; • rapidità dei processi decisionali;
<i>Cobots</i>	<ul style="list-style-type: none"> • aumento della produttività; • destrezza potenziata; • maggiore accuratezza; • maggiore sicurezza;
<i>5G e oltre</i>	<ul style="list-style-type: none"> • gestione intelligente delle risorse; • bassa latenza di rete; • altissima affidabilità.

Fonte: elaborazione degli Autori su Mourtzis e altri (2022).

La Direzione Generale Ricerca e Innovazione della Commissione europea ha sottolineato sia il ruolo strategico, sia i limiti di alcune tecnologie abilitanti (Breque e altri, 2021). In particolare, l'interazione uomo – macchina andrebbe personalizzata attraverso l'uso di una selezione di tecnologie che supportano l'operatore in mansioni fisiche e cognitive. Tra queste tecnologie si segnalano il riconoscimento multilingue del parlato e dei gesti per la previsione dell'intenzione umana, il tracciamento dello *stress* mentale e fisico del personale, e la realtà aumentata a scopi formativi ed inclusivi. Inoltre, i gemelli digitali hanno un elevato potenziale per ottimizzare la produzione attraverso simulazioni virtuali e test su prodotti e processi. I gemelli digitali consentono di rilevare eventuali difformità e gli effetti ambientali e sociali generati dai prodotti e dai processi. Riguardo alle tecnologie per la trasmissione, l'analisi e l'archiviazione dei dati, è necessario che tali tecnologie siano sicure sotto l'aspetto dell'approvvigionamento energetico e abbiano le seguenti proprietà: sensori in rete, interoperabilità dei dati e dei sistemi, sicurezza informatica scalabile e multilivello, gestione *Big Data* e tracciabilità dei dati. La Commissione europea ha poi evidenziato che l'intelligenza artificiale andrebbe sviluppata per rispondere a condizioni nuove o inaspettate e per gestire le relazioni tra dati complessi.

3. Metodologia

Questa indagine esplorativa di tipo qualitativo ha l'obiettivo di identificare le sfide, le opportunità e le buone pratiche che le imprese, gli operatori e le istituzioni possono incontrare nel passaggio dall'I4.0 al paradigma dell'I5.0. A tal fine, l'analisi considera i pilastri dell'I5.0 e rivolge un'attenzione particolare all'approccio umano-centrico, il ruolo della formazione e l'interazione uomo-macchina.

Dopo aver svolto una revisione della letteratura scientifica sul paradigma dell'I5.0 utilizzando il database bibliografico e citazionale Scopus, questo contributo presenta il caso esemplare (Yin, 1993, 1994, 2018) di una media impresa a conduzione familiare con sede nella Regione Marche: Campetella Robotic Center S.r.l. (di seguito Campetella oppure Azienda). Campetella è un'azienda fondata nel 1897 e specializzata nella progettazione e nella realizzazione di soluzioni innovative nel campo dell'automazione industriale. Inoltre, l'Azienda ha recentemente avviato un percorso di innovazione di processo e di prodotto ispirandosi ad alcuni aspetti chiave che caratterizzano il passaggio dall'I4.0 all'I5.0.

Da una parte, il metodo del caso di studio richiede particolare cautela nella generalizzazione dei risultati (Hakim, 2000). Dall'altra parte, questa metodologia consente di esplorare fenomeni emergenti ancora poco conosciuti (Eisenhardt, 1989). Infatti, il caso di studio è appropriato per analizzare questioni articolate, complesse oppure per consolidare la conoscenza sviluppata sulla base di precedenti studi empirici (Stake, 1994; Yin, 2018). Nella ricerca esplorativa il caso di studio è una strategia adatta per affrontare le domande sul "come" e sul "perché" dei fenomeni contemporanei (Eisenhardt, 1989; Yin, 1994). Inoltre, l'approccio metodologico in questione permette una comprensione approfondita della complessità che caratterizza organizzazioni come le imprese, adottando una prospettiva interna, anziché basarsi unicamente su informazioni statistiche (Ståhlbröst, 2013).

L'analisi è stata condotta attraverso una triangolazione di dati primari e secondari (Denzin e Lincoln, 2011; Gibbert e altri, 2008). Sulla base dei risultati ottenuti dalla revisione della letteratura, l'indagine è proseguita con un incontro con i responsabili di Campetella per le risorse umane e la comunicazione. Ciò allo scopo di sottoporre alla loro attenzione una versione preliminare del modello di intervista che è stata articolata in quesiti semi-strutturati. Lo strumento dell'intervista semi-strutturata garantisce ampia flessibilità all'intervistato e favorisce una visione ampia del fenomeno studiato (Seidman, 2006).

Questo passaggio preliminare ha permesso di ottenere commenti utili per migliorare la chiarezza e la pertinenza dei quesiti, rendendoli maggiormente allineati alla letteratura scientifica e agli obiettivi della presente ricerca. I dati primari sono stati raccolti a luglio 2023 intervistando l'amministratore delegato dell'Azienda, Elia Campetella, che dal 2014 ha assunto la gestione manageriale dell'impresa orientandola verso l'innovazione di prodotto e processo, e l'internazionalizzazione. A maggio 2024 è stata condotta una seconda intervista con l'amministratore delegato per approfondire le iniziative più recenti che guidano la transizione dell'Azienda verso il paradigma I5.0, soffermandosi altresì sull'efficacia di tali iniziative. La raccolta di dati secondari è avvenuta attraverso i canali digitali e i materiali informativi messi a disposizione dai responsabili dell'Azienda.

4. Risultati e discussione

4.1 Campetella Robotic Center S.r.l.

Campetella è un'azienda a conduzione familiare fondata nel 1897 con sede a Montecassiano in provincia di Macerata, nella Regione Marche. Recentemente l'Azienda è stata proiettata verso l'interazione uomo – macchina, avvicinandosi al paradigma dell'I5.0. A partire dal 1980 l'Azienda si è progressivamente specializzata nella progettazione e nella realizzazione di soluzioni innovative nel campo dell'automazione. La principale attività d'impresa è rappresentata dalla creazione di soluzioni robotizzate per il settore dello stampaggio delle materie plastiche. A questa attività sono collegate altre attività come lo sviluppo di *software*, l'installazione, la vendita e l'assistenza post-vendita di *robot* per l'industria.

Da cinque generazioni la famiglia Campetella conduce l'attività di impresa ispirandosi a una visione specifica, ovvero «*essere un partner operativo a livello mondiale, ben strutturato, in grado di stabilire una forte partnership basata sulla fiducia e sull'affidabilità, attraverso un approccio chiaro e aperto*». Campetella «*confida nelle persone, nella loro passione e creatività, mentre si crea valore per le persone stesse e per il territorio*». L'Azienda persegue quotidianamente la propria missione con «*passione, conoscenza e tecnologia al servizio dei clienti, per accompagnarli nell'automazione dei loro processi produttivi*».

Dal 1897 al 1980 Campetella si è occupata principalmente di macchinari per il settore agricolo. Tra il 1912 e il 1956, l'Azienda ha depositato diversi brevetti, specializzandosi nella produzione di innovative macchine trebbiatrici per il grano. A partire dal 1980 Campetella ha iniziato ad esplorare il settore dell'automazione robotica industriale, realizzando il primo *robot* lineare. Nel 1990 nasce la Campetella Robotic Center S.r.l. che si è specializza poi nella realizzazione di sistemi di automazione industriale e *robot* a controllo computerizzato. Dal 2010 l'Azienda ha iniziato a investire maggiormente nell'innovazione di prodotto e processo, intensificando anche l'attività di internazionalizzazione.

Nel 2020 l'Azienda ha installato circa 500 *robot*, orientando il 70% delle proprie attività verso i mercati esteri. Infatti, Campetella opera in 27 Paesi del mondo, coordinando un'ampia rete di distributori e centri di assistenza tecnica a livello globale. La **Tabella 3** mostra i ricavi in percentuale dell'Azienda per settori industriali nel 2020.

Tabella 3. Ricavi per settori industriali (anno 2020).

Settori industriali	Ricavi (in percentuale)
Imballaggi	51,49%
Posate e stoviglie monouso	10,90%
Medicale e farmaceutico	8,49%
Articoli per la casa	8,21%
Casse, pallet e cassonetti	6,43%
Industria tecnica	5,59%
<i>Automotive</i>	3,82%
Chiusure	1,62%
Preforme in PET	1,01%
Elettrodomestici	0,70%
TOTALE	100,00%

Fonte: elaborazione degli Autori.

Alla base della progettazione e produzione di *robot* vi è una ricerca continua, volta allo sviluppo di soluzioni tecniche che garantiscano anche la semplicità di adozione e utilizzo delle tecnologie da parte degli operatori e degli utenti finali. La Tabella 4 riporta una selezione delle principali tecnologie che

l'Azienda ha sviluppato nell'ambito dell'I4.0. Alcune di queste tecnologie verranno ulteriormente potenziate integrando i principi del paradigma dell'I5.0.

Tabella 4. Selezione delle principali tecnologie sviluppate.

Tecnologie	Principali caratteristiche
X-Series GS2 Gunshot	<ul style="list-style-type: none"> • robot progettato per il settore dell'imballaggio alimentare; • motori ultra performanti combinati con materiali utilizzati nell'industria aerospaziale; • tempi di ciclo operativo fino a 2,3 secondi;
X-Series GS3W	<ul style="list-style-type: none"> • robot progettato per lo stampaggio in pila ad alta velocità; • doppio asse verticale; • motori ultra performanti combinati con materiali utilizzati nell'industria aerospaziale; • tempi di ciclo operativo fino a 4,9 secondi;
Tecnologia IML (In Mold Labeling)	<ul style="list-style-type: none"> • produzione di contenitori da 1 litro con robot a entrata dall'alto;
X-Series MC2	<ul style="list-style-type: none"> • robot per gamma IMM di medio tonnellaggio; • asse verticale configurabile (tipo H, M, B); • polso configurabile fino a 5 assi servo controllati; • capacità di carico fino a 30 kg;
Cella multirobot per la produzione IML	<ul style="list-style-type: none"> • robot mobili autonomi (AMR) per la produzione di vaschette per alimenti; • sistema di ispezione visiva;
Unità di controllo EVO	<ul style="list-style-type: none"> • console portatile per ottimizzare la programmazione e la gestione dei robot; • pannello di controllo per il potenziamento dei livelli generali di sicurezza nell'interazione uomo-macchinario, e per interventi immediati in situazioni di pericolo; • condivisione dei programmi di lavoro tra i robot; • interconnessione tra i robot e le reti aziendali • interconnessione tra console e personal computer; • salvataggio immediato dei dati.

Fonte: elaborazione degli Autori.

Rispetto alla strategia aziendale, tra il 2023 e il 2026, Campetella intende esplorare nuovi mercati in Asia, Oceania e Scandinavia. Inoltre, l'Azienda prevede di creare nuove filiali in Europa e negli USA: Campetella Germania, Campetella Regno Unito e Campetella Nord America. L'Azienda ha l'obiettivo di raddoppiare l'attività produttiva entro il 2026. A tal fine, oltre ad un progressivo rinnovamento aziendale basato sull'applicazione della metodologia *Lean Thinking*, Campetella amplierà lo stabilimento produttivo di Montecassiano, aggiungendo 7.500 m² di superficie produttiva agli attuali 8.500 m². Nuove assunzioni rafforzeranno l'attuale forza lavoro che nel 2023 risultava composta da circa 130 dipendenti interni e da un centinaio di collaboratori esterni preposti all'assistenza post-vendita. La Tabella 5 illustra una sintesi della strategia aziendale per il periodo 2023-2026.

Tabella 5. Strategia di medio periodo.

Obiettivi	Azioni
<ul style="list-style-type: none"> • identificazione delle nuove esigenze dei principali segmenti di clientela; 	<ul style="list-style-type: none"> • mappatura del <i>Customer Journey</i> dei clienti e dei partner strategici a livello globale;
<ul style="list-style-type: none"> • fornire soluzioni tecniche più efficaci; 	<ul style="list-style-type: none"> • adottare un approccio proattivo, a tutti i livelli dell'Azienda, focalizzando l'attenzione sui settori industriali <i>target</i> e sulle rispettive esigenze; • revisionare la struttura commerciale, in termini di <i>mission</i>, responsabilità e competenze dei ruoli aziendali attuali e nuovi;
<ul style="list-style-type: none"> • stabilizzare le relazioni con clienti e partner chiave; • individuare nuovi potenziali clienti e partner; 	<ul style="list-style-type: none"> • promuovere il <i>brand</i>; • promuovere le soluzioni tecniche nei settori industriali <i>target</i>.

Fonte: elaborazione degli Autori.

4.2 Da Industria 4.0 a Industria 5.0

Negli ultimi anni l'Azienda ha investito risorse principalmente nell'adozione di una selezione di tecnologie abilitanti come *robot* collaborativi e manifattura additiva che rispondessero alle esigenze di progettazione e produzione. Successivamente l'attenzione è stata rivolta alla programmazione, svolgimento e aggiornamento di percorsi formativi per i collaboratori dell'Azienda. A tale scopo è stata creata un'*academy* interna a Campetella. Partendo dalle specifiche esigenze d'impresa e dei suoi clienti, l'*academy* intende formare figure specializzate che siano in grado di gestire, con maggiore efficacia, efficienza e fluidità, le operazioni con i clienti, i fornitori e gli altri partner chiave.

L'introduzione di nuove tecnologie e processi aziendali ha comportato la necessità di investire nella formazione relativa alla digitalizzazione dei processi informativi che attraversano le aree della progettazione, ricerca e sviluppo, fino ad interessare i processi di *marketing* e quelli commerciali. Il passaggio dall'I4.0 all'implementazione del paradigma dell'I5.0 è una sfida ambiziosa che passa necessariamente per lo sviluppo di competenze digitali adeguate, sia a livello individuale che a livello di *team*, affinché i collaboratori possano operare con cognizione al centro di sistemi evoluti e interconnessi, integrando tecnologie, sostenibilità, resilienza e un approccio umano-centrico.

4.3 Sostenibilità

La principale attività dell'Azienda concerne la robotica applicata al settore delle materie plastiche che interessa sempre più il tema della sostenibilità ambientale, economica e sociale. Nonostante Campetella si occupi principalmente di assemblaggio e produca pertanto quantità ridotte di scarti e rifiuti da lavorazione industriale, l'Azienda ha costantemente investito nella cultura della qualità, salute e sicurezza, potenziando i sistemi per il monitoraggio e la riduzione dei consumi e dei rifiuti prodotti dai macchinari e dai processi. Nel 2021 Campetella ha conseguito la certificazione di Qualità ISO 9001:2015, rilasciata da TÜV NORD, ottimizzando i processi di produzione, il controllo della qualità e l'analisi dei rischi e delle opportunità.

Più recentemente l'Azienda ha ricevuto un importante finanziamento dalla Commissione europea in seguito alla partecipazione ad un bando competitivo per progetti nell'ambito della sostenibilità. Il progetto finanziato concerne la realizzazione di azioni pilota per il *re-manufacturing*: l'assemblaggio di nuovi macchinari partendo da macchinari usati, ciò allo scopo di ridurre il consumo di materie prime e abbattere le emissioni climalteranti generate durante il processo produttivo.

4.4 Resilienza

Dal punto di vista teorico il paradigma dell'I5.0 prevede la creazione di un sistema industriale resiliente ai cambiamenti che sia in grado di assicurare continuità alle attività, garantendo il benessere dei collaboratori. Nel caso dell'impresa Campetella il concetto di resilienza ha assunto connotati fortemente tangibili soprattutto durante e dopo l'emergenza da pandemia Covid-19. Infatti, l'Azienda ha investito considerevoli risorse per «trasformare le sfide in opportunità», cercando di reagire in modo proattivo alle conseguenze sanitarie, economiche e sociali derivanti dall'emergenza.

Durante il *lockdown* Campetella ha migliorato alcuni strumenti e procedure interne per valorizzare il rapporto con i propri collaboratori e i clienti. In particolare, l'Azienda ha adottato un nuovo software *Customer Relationship Management* (CRM) per realizzare un *database* centralizzato tra le organizzazioni commerciali e per gestire i flussi di comunicazione e le interazioni con i clienti. Inoltre, Campetella ha introdotto due nuovi *software* per *Computer Aided Design* (CAD) e *Product Lifecycle Management* (PLM) per migliorare la condivisione di dati tra i *team* di lavoro e gestire efficacemente piattaforme digitali e varianti di prodotto. Queste innovazioni hanno consentito di convertire più del 50% delle attività in lavoro da remoto.

I recenti eventi geopolitici del 2022 e del 2023 hanno ulteriormente esacerbato la crisi in corso aumentando, tra gli altri, i costi delle materie prime, quelli della logistica e dei canali commerciali per la vendita dei prodotti finiti. In talune circostanze le catene di approvvigionamento sono state addirittura interrotte. Seppure con notevoli difficoltà, Campetella ha cercato di mitigare questi effetti sia sfruttando le catene di approvvigionamento già consolidate a livello nazionale ed europeo, sia differenziando i prodotti offerti e i mercati serviti.

4.5 Approccio umano-centrico

Uno degli aspetti cruciali su cui si fonda l'I5.0 è l'approccio incentrato sull'uomo, che non andrebbe considerato soltanto come un "costo", piuttosto una risorsa da valorizzare nel raggiungimento degli obiettivi aziendali. Il paradigma dell'I5.0 pone la tecnologia al servizio sia degli utenti, sia dei collaboratori, considerandone le caratteristiche e le esigenze emergenti. L'I5.0 dovrebbe tradursi in un ambiente di lavoro più inclusivo dove le priorità sono la salute fisica e mentale, la dignità, l'autonomia e la *privacy* degli operatori (Breque e altri, 2021).

In questo contesto è possibile parlare di Operatore 5.0 che rappresenta in qualche modo l'Operatore 4.0 del futuro, ovvero più resiliente alle avversità degli ambienti industriali digitali (Rocha e altri, 2023) e pronto a evolversi di fronte alle sfide poste dalla collaborazione uomo-macchina. A tale scopo è quindi essenziale anticipare e comprendere la complessità e l'incertezza dei futuri sistemi di produzione che richiederanno una crescente partecipazione dei lavoratori nei processi decisionali e un'attenzione maggiore alle attività di formazione e aggiornamento degli operatori.

Da un lato, il modello umano-centrico si basa su un lavoratore partecipativo e proattivo. In questo modo, la flessibilità e la creatività del collaboratore possono essere valorizzate, consentendo all'operatore di superare le avversità e i limiti delle tecnologie correnti. Dall'altro lato, l'attuazione del paradigma dell'I5.0 è particolarmente ambiziosa perché le imprese e la stessa Campetella si trovano ancora nella fase di implementazione dell'I4.0.

La letteratura ha indicato otto proiezioni di Operatore 4.0 che mirano alla valorizzazione e all'estensione delle capacità del collaboratore attraverso mezzi tecnologici innovativi (Romero e altri, 2016). La Tabella 6 riporta le tipologie di Operatore 4.0 che potrebbero informare l'approccio umano-centrico a livello aziendale, nel passaggio da I4.0 a I5.0.

Tabella 6. Operatore 4.0: proiezioni.

Tipologia	Descrizione
operatore super-forte	operatore ed esoscheletro
operatore aumentato	operatore e realtà aumentata
operatore virtuale	operatore e realtà virtuale
operatore sano	operatore e <i>tracker</i> indossabile
operatore più intelligente	operatore e <i>personal computer</i> intelligente
operatore collaborativo	operatore e <i>robot</i> collaborativo
operatore sociale	operatore e <i>social network</i>
operatore analitico	operatore e <i>big data analytics</i>

Fonte: elaborazione degli Autori sulla base di Romero e altri (2016).

4.6 Formazione e competenze

Il World Manufacturing Forum (2019) ha individuato dieci competenze che le aziende del settore manifatturiero chiederanno maggiormente in futuro. Tra queste si segnalano: creatività, flessibilità, mentalità aperta, competenze comunicative, analisi dei dati e alfabetizzazione digitale. Quest'ultima è intesa come il complesso delle abilità di interagire, comprendere e sviluppare nuovi sistemi, tecnologie, applicazioni e strumenti di produzione digitale. In particolare, l'Operatore 5.0 deve saper utilizzare strategicamente le tecnologie abilitanti a disposizione. A tale scopo occorre una formazione continua. La letteratura ha identificato dodici fattori che influenzano la formazione dell'Operatore 5.0: automazione, connettività, dati, etica dei dati, elettrificazione dei servizi, ambiente dell'istruzione superiore, intelligenza artificiale, mercato del lavoro, obiettivi di sviluppo sostenibile indicati nell'Agenda 2030, sviluppo tecnologico, fiducia nella tecnologia e apprendimento permanente (Borchardt e altri, 2022).

Nel caso dell'Italia, nel 2020 il 68,9% delle imprese - con almeno dieci addetti - erano impegnate in attività di formazione professionale. Rispetto alle grandi imprese, la percentuale sale al 90% (ISTAT, 2022). Le imprese sono quindi chiamate a cogliere le opportunità offerte dalla trasformazione digitale al fine di creare un ecosistema innovativo e flessibile che risponda alle esigenze di una società in continua evoluzione (Carayannis e Jancelewicz, 2022). Secondo Campetella è necessario programmare nel lungo periodo la creazione di quei presupposti che consentano ai collaboratori di integrare in modo efficace le tecnologie abilitanti installate in azienda. In questo senso Campetella ha fondato la propria *academy* con l'obiettivo di avanzare sia l'implementazione delle nuove tecnologie, sia la loro effettiva integrazione nei processi aziendali.

Inizialmente l'*academy* è stata costituita per rispondere ad una carenza di tipo linguistico che era stata riscontrata e studiata nella pratica professionale quotidiana. Nel dettaglio, vi erano problemi di comunicazione tra gli ingegneri dell'Azienda e la clientela, che rallentavano considerevolmente i processi aziendali. Da questa esigenza è nato un progetto di formazione linguistica che ha coinvolto circa cinquanta collaboratori. Successivamente, l'Azienda ha consolidato il progetto formativo chiamandolo *eduCamp*. In particolare, l'Azienda ha assunto un'insegnante di lingue straniere come collaboratrice a tempo pieno per assistere quotidianamente lo *staff* nel perfezionamento delle proprie competenze linguistiche e personalizzandone la formazione in base alle esigenze lavorative di ciascuno.

Sulla base dei risultati ottenuti con questa prima azione, Campetella ha deciso di avviare un'analisi specifica dei requisiti delle figure professionali necessarie in Azienda, accertando l'eventuale bisogno di nuove competenze oppure di aggiornamento professionale. Campetella ha quindi attivato corsi di

formazione e seminari che vengono proposti e ridisegnati periodicamente alla luce delle esigenze specifiche che emergono internamente all'Azienda, adottando un approccio *bottom-up*. Va segnalato che l'avvio del reparto aziendale dedicato alla manifattura additiva è nato proprio dalla realizzazione di attività formative sulle principali tecnologie della manifattura additiva.

Nei primi mesi del 2024, l'Azienda ha ulteriormente rafforzato il proprio impegno nell'ambito dell'*academy*, progettando e implementando nuovi percorsi di *upskilling* per gli operatori dei suoi clienti. L'*academy* mira ad una formazione tempestiva e calata sulle necessità manifestate dai clienti che così percepiscono meglio l'utilità del tempo e delle risorse dedicate all'apprendimento. In generale l'Azienda svolge un'azione di sensibilizzazione dimostrando che l'adozione delle tecnologie per la transizione da I4.0 a I5.0 rappresenta un'opportunità e non una minaccia per i collaboratori e i clienti.

La letteratura ha evidenziato che il potenziamento delle competenze digitali deve necessariamente considerare le caratteristiche dei collaboratori coinvolti che hanno età diverse e possono aver maturato esperienze professionali talvolta molto eterogenee. Al riguardo risulta efficace l'utilizzo dei Gemelli Digitali (*Digital Twin*) per affrontare le disuguaglianze educative e garantire l'inclusione attraverso un apprendimento basato sulla tele-operabilità. Anche i sistemi produttivi interattivi con *robot* possono essere impiegati per creare e simulare ambienti di formazione e apprendimento (Alves e altri, 2023).

Campetella evidenzia che, rispetto ai collaboratori con maggiore esperienza, i giovani sono tendenzialmente più rapidi nello svolgimento delle attività che richiedono un livello elevato di digitalizzazione. La padronanza di un linguaggio tecnico avanzato è un ulteriore tratto distintivo dei collaboratori meno esperti. Tuttavia, i più giovani non hanno ancora avuto modo di maturare un forte retaggio del passato aziendale e manifestano spesso un approccio meno pratico, trovando difficoltà nell'applicare le competenze ai processi aziendali. Dall'altra parte, i collaboratori con maggiore esperienza hanno in genere un approccio più creativo e possono insegnare ai più giovani le logiche sottese a determinati processi aziendali.

Oltre all'*academy* che è stata proposta alla Regione Marche per l'accreditamento come struttura formativa, Campetella collabora con molteplici istituzioni accademiche, contribuendo ad attività come tirocini curricolari, *stage* professionali e attività di ricerca per la redazione della tesi di laurea. Inoltre, L'Azienda ha convenzioni in essere con gli istituti di istruzione secondaria, in particolare gli istituti tecnici, per lo svolgimento del programma Alternanza scuola – lavoro e l'organizzazione di visite di istruzione in Azienda.

4.7 Persone, *robot* e *co-robot*

Campetella evidenzia che l'interazione uomo-*robot* è un fattore che può agevolare il passaggio da una produzione centrata sul sistema digitale a una focalizzata sull'operatore, favorendo anche la creazione di un ambiente industriale che valorizza le caratteristiche dei lavoratori. L'utilizzo di sistemi collaborativi uomo-*robot* consente di ridurre le operazioni ripetitive e stressanti che in genere espongono il lavoratore a maggiori rischi in termini di sicurezza e salute. Sono state svolte analisi complesse per la valutazione dell'interazione uomo-*robot*, utilizzando sistemi computazionali e sensori. Sta poi emergendo un nuovo ruolo nella produzione industriale, ossia quello del direttore della robotica, responsabile delle decisioni inerenti alle interazioni uomo-*robot*. Si tratta di una figura professionale che deve possedere una conoscenza articolata della robotica e della sua gestione.

Più recentemente si sono aperte nuove possibilità derivanti dall'uso dei *cobot*, cioè *robot* che cooperano

con l'uomo. I *cobot* possono essere impiegati sia nei processi aziendali più rischiosi, sia in operazioni ausiliarie. Inoltre, l'uso dei *cobot* rappresenta un fattore fondamentale per la personalizzazione dei prodotti. I sistemi di *cobot* differiscono dai *robot* industriali autonomi perché operano insieme all'uomo negli stessi spazi di lavoro. Infatti, i *cobot* possono identificare e comprendere la presenza e i movimenti degli operatori umani. Una parte fondamentale del processo di implementazione dei *cobot* riguarda l'apprendimento automatico per sviluppare algoritmi di controllo dei *cobot* stessi, adeguati alle condizioni dell'ambiente che li circonda.

I *robot* e i *cobot* possono portare benefici all'azienda in termini di produttività, ergonomia e sicurezza. Sul punto i dati dell'Eurostat mostrano che i settori delle costruzioni, manifatturiero e trasporti sono quelli che registrano il maggiore numero di incidenti negli Stati membri dell'Unione europea. Nel 2017 sono stati segnalati 3,3 milioni di infortuni non mortali, oltre a più di 3.500 casi di infortuni mortali. Esistono variazioni tra gli Stati membri dell'Unione Europea, dovute sia alla cultura del lavoro, sia ai sistemi di segnalazione degli infortuni. Il numero effettivo di infortuni è quindi più elevato a causa della sotto denuncia. Gli incidenti potrebbero essere ridotti intervenendo sulle mansioni più pericolose e faticose. Nel dettaglio, queste mansioni andrebbero ridotte oppure sostituite introducendo, con relativa facilità, *robot* e *cobot*. Inoltre, le tecnologie basate sull'intelligenza artificiale, così come gli strumenti di realtà virtuale e aumentata, possono essere utilizzate per guidare il lavoratore nell'esecuzione di compiti rischiosi ad alta specializzazione. Gli esoscheletri possono poi rendere alcuni compiti meno impegnativi dal punto di vista fisico, favorendo anche una maggiore inclusione delle lavoratrici di genere femminile (Breque e altri, 2021).

A partire dal 2024 Campetella ha investito ulteriori risorse nella sperimentazione di *cobot*. In particolare, l'Azienda ha introdotto al suo interno il primo sistema di controllo della qualità basato su *cobot*. Tuttavia, va segnalato che l'introduzione di *robot* e *cobot* nei luoghi di lavoro può comportare numerose criticità anche in termini sociali. All'aumentare delle unità di macchine autonome presenti negli stabilimenti produttivi, il numero di operatori umani è verosimile che diminuisca. Questo fenomeno potrebbe anche limitare le interazioni sociali tra gli operatori stessi che tendono a relazionarsi sempre di più con macchine autonome (Demir e altri, 2019).

L'accettazione dei *robot* e *cobot* da parte degli operatori può essere facilitata coinvolgendo le persone in modo proattivo sin dalle prime fasi di progettazione e installazione dei macchinari autonomi (Prassida e Asfari, 2022). Tuttavia, è inevitabile domandarsi quali elementi e operatori del processo produttivo verranno sostituiti dai *robot*. È quindi necessario adottare una visione olistica del rapporto tra uomo e macchina, creando un ambiente di lavoro 5.0: da un lato, il personale specializzato in lavoro cognitivo e creativo andrebbe preposto alla supervisione delle attività; dall'altro lato, *robot* e *cobot* dovrebbero assistere gli operatori umani nello svolgimento dei compiti più rischiosi e ripetitivi.

5. Conclusioni e implicazioni

Il presente articolo ha proposto il caso esemplare di una media impresa a conduzione familiare allo scopo di contribuire a identificare e comprendere le sfide, le opportunità e le buone pratiche che le imprese, i lavoratori e le istituzioni incontrano nell'implementare il passaggio dall'I4.0 al paradigma dell'I5.0. A tal fine, è stato analizzato il caso dell'impresa Campetella Robotic Center S.r.l. che ha recentemente avviato un percorso di innovazione di processo e di prodotto integrando alcuni elementi chiave dell'I5.0. L'analisi ha evidenziato in particolare gli aspetti relativi all'approccio umano-centrico, al ruolo della formazione e all'interazione operatore-macchina.

I risultati mostrano la carenza di competenze necessarie per attuare il passaggio da I4.0 a I5.0 e l'esigenza di riqualificare il personale per favorire la digitalizzazione, la sinergia uomo-macchina e rendere più efficaci le interazioni tra i collaboratori e i clienti. Fondamentale in questo senso è la formazione permanente sia a livello aziendale attraverso la creazione di un'*academy*, sia il contributo degli istituti superiori e delle università per stimolare l'acquisizione di competenze trasversali. Va segnalato che dall'inizio del 2024 Campetella ha ulteriormente rafforzato la collaborazione con le istituzioni accademiche del territorio, investendo in particolare nell'acquisizione di conoscenze per la sperimentazione e l'implementazione di soluzioni basate sull'intelligenza artificiale generativa.

Dal punto di vista teorico l'I5.0 rappresenta un modello ideale caratterizzato dalla sinergia tra gli operatori e le macchine, che colloca l'uomo al centro di sistemi evoluti e interconnessi, integrando tecnologie, sostenibilità e resilienza. Tuttavia, l'attuazione del paradigma dell'I5.0 è particolarmente ambiziosa perché le imprese e la stessa Campetella sono ancora nella fase di implementazione dell'I4.0. Si rileva che I4.0 e I5.0 possono coesistere: le tecnologie abilitanti della prima possono essere integrate osservando i principi chiave della seconda, in particolare l'approccio umano-centrico.

Nonostante vi sia la necessità di investire ulteriori risorse e acquisire nuove conoscenze da parte di attori industriali e istituzionali affinché il paradigma I5.0 venga implementato in modo completo e su larga scala, i risultati dell'analisi suggeriscono che le imprese potrebbero adottare un approccio pragmatico all'I5.0, basato sui benefici di medio e lungo termine. Questo approccio consentirebbe alle imprese di integrare le tecnologie abilitanti dell'I4.0 e, al contempo, valorizzare il ruolo degli operatori e degli utenti finali.

Sul piano delle politiche europee, la Commissione europea ha indicato una selezione di priorità politiche che trovano riscontro in un insieme di programmi: un *Green Deal* europeo, ossia una strategia globale che renda l'Europa un'economia efficiente, competitiva e neutrale dal punto di vista climatico entro il 2050; *Un'Europa pronta per l'era digitale* che mira a supportare l'innovazione tecnologica, introducendo al tempo stesso regole per disciplinare l'uso della tecnologia e l'economia digitale; *Un'economia al servizio delle persone* per creare un ambiente più attraente per gli investimenti e che offra posizioni professionali di qualità, in particolare per i giovani e i lavoratori più qualificati. Inoltre, per un'industria europea più competitiva, sostenibile, resiliente e digitale, sarà fondamentale l'attuazione del *NextGenerationEU* e dei Piani di Ripresa e Resilienza adottati dai singoli Stati membri dell'UE. Tra le molteplici misure attivate dalla Commissione europea va anche segnalato il progetto *SURE 5.0* che è stato finanziato nell'ambito del programma *Horizon Europe* per proiettare le Piccole e Medie Imprese verso l'I5.0, e sostenere l'innovazione digitale a supporto della transizione energetica dei settori della mobilità, dell'*automotive*, dell'aerospazio, della difesa e dell'elettronica.

Sul piano delle politiche nazionali, a febbraio 2024, il Consiglio dei Ministri ha approvato il decreto-legge PNRR che introduce il Piano Transizione 5.0. Il Consiglio ha allocato 6,3 miliardi di euro per l'attuazione del nuovo Piano che prevede il criterio per cui qualsiasi tipo di intervento o progetto di innovazione

implementato dalle imprese, deve generare un beneficio in termini di riduzione dei consumi energetici. Rispetto al Piano I4.0, il nuovo Piano introduce la valutazione quantitativa del beneficio in questione e la valutazione dell'impatto della riduzione dei consumi sull'intero processo produttivo. Va osservato che la valutazione deve basarsi sull'utilizzo dei dati acquisiti attraverso l'integrazione dei sistemi 4.0. Diversamente dal Piano 4.0, il nuovo Piano richiede alle imprese un approccio strategico focalizzato principalmente sul processo e sull'aggregazione dei dati relativi al processo (Colosimo, 2024). Questo significa che le imprese saranno chiamate a intraprendere un cambiamento culturale significativo rispetto al modo di intendere le attività produttive.

Appendice

Tabella 1: I pilastri dell'Industria 5.0.

Pilastri Industria 5.0				
Approccio umano-centrico	Resilienza	Sostenibilità	Fattori	
			Organizzazione	Tecnologia
<ul style="list-style-type: none"> ● la sostenibilità considera la dimensione economica, ambientale e sociale, valorizzando il ruolo delle persone; ● persone in grado di gestire i cambiamenti: dalla tecnologia alle soluzioni e dalle soluzioni alle operazioni; ● nuove conoscenze; ● lavori del futuro; ● "benessere sociale sostenibile" che comprende il benessere dei lavoratori, la <i>privacy</i> e la sicurezza. 	<ul style="list-style-type: none"> ● centralità delle persone nel rilevare e riconoscere le anomalie nei contesti organizzativi e produttivi; ● formazione, sensibilizzazione, talento, competenze trasversali, <i>leadership</i>; ● concetto di intelligenza collettiva: sinergia tra gli operatori specializzati e i loro cloni digitali; 	<ul style="list-style-type: none"> ● nuovi modelli di <i>business</i>; ● gestione snella delle organizzazioni; ● ruolo chiave degli ecosistemi digitali per la scalabilità di soluzioni tecnologiche sostenibili; 	<ul style="list-style-type: none"> ● Internet e le sue applicazioni per la sostenibilità ambientale dell'industria manifatturiera; ● macchine autonome e <i>robot</i> collaborativi per ridurre gli sprechi e i costi; ● utilizzo dell'intelligenza artificiale per ottimizzare le operazioni logistiche e individuare fornitori che contribuiscono alla riduzione delle emissioni climateranti; ● analisi dei dati per ridurre il consumo energetico e per utilizzare le risorse naturali in modo più efficiente; ● utilizzo dei gemelli digitali per ridurre gli sprechi nei processi; ● reti <i>peer-to-peer</i> decentralizzate; ● rafforzare i livelli di sicurezza dei dati; ● introdurre piattaforme intelligenti per reti collaborative; ● sistemi autonomi intelligenti per il trassetamento delle conoscenze e delle abilità acquisite da un sistema digitale/virtuale al suo gemello fisico; ● le tecnologie devono essere affidabili, intelligenti, semplici da utilizzare e rispettose della <i>privacy</i>; 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alexsa e altri (2022); Barata e Kayser (2023); Bregue e altri (2021); Choi e altri (2022); Demir e altri (2019); Huang e altri (2022); Jarvad e Haleem (2022); Leng e altri (2022); Maddikunta e altri (2022); Nahavandi (2019); Zizic e altri (2022).
<ul style="list-style-type: none"> ● formazione virtuale per creare una forza lavoro qualificata senza mettere in pericolo i collaboratori oppure compromettere i processi in corso; ● valorizzazione delle capacità fisiche, sensoriali e cognitive; ● sinergia uomo-macchina; 	<ul style="list-style-type: none"> ● ergonomia umana: le scienze umane, la fisiologia, l'anatomia e l'antropometria, vengono applicate alla progettazione, gestione e sicurezza delle operazioni di lavoro; ● ergonomia nelle dimensioni fisica, cognitiva e organizzativa; ● disegnare interventi di digitalizzazione per migliorare la qualità degli spazi di lavoro; ● reti sociali di impresa per promuovere soluzioni personalizzate sulle esigenze dell'operatore e dell'utente finale; 	<ul style="list-style-type: none"> ● utilizzo etico delle vecchie e nuove tecnologie; ● adattare le tecnologie alle esigenze dell'uomo (operatore e utente finale); ● attenzione all'interazione uomo-macchina (tempata bidirezionale); ● cognizione delle macchine e <i>robot</i>: il comportamento anticipatorio può prevenire infortuni e incidenti sul lavoro, e malattie professionali; ● architetture che integrano l'intelligenza artificiale, la realtà simulata, i processi decisionale e i <i>feedback</i> degli utenti; 	<ul style="list-style-type: none"> ● Addel (2022); Atif (2023); Barata e Kayser (2023); Bregue e altri (2021); Carayannis e Morawska-Jancewicz (2022); Demir e altri (2019); Golovianko e altri (2023); Huang e altri (2022); Leng e altri (2022); Lu e altri (2022); Maddikunta e altri (2022); Nahavandi (2019); Rožanec e altri (2022); Zizic e altri (2022). 	

Fonte: elaborazione degli Autori.

Bibliografia

- Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11. <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5>.
- Alexa, L., Pîslaru, M., Avasilcăi, S. (2022). *From Industry 4.0 to Industry 5.0—An Overview of European Union Enterprises*. In: Draghici, A., Ivascu, L. (eds) *Sustainability and Innovation in Manufacturing Enterprises*. *Advances in Sustainability Science and Technology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7365-8_8.
- Alves, J., Lima, T.M., Gaspar, P.D. (2023). Is Industry 5.0 a human-centred approach? A systematic review. *Processes*, 11(1):193. <https://doi.org/10.3390/pr11010193>.
- Atif, S. (2023). Analysing the alignment between circular economy and industry 4.0 nexus with industry 5.0 era: An integrative systematic literature review. *Sustainable Development*, 31(4), 2155–2175. <https://doi.org/10.1002/sd.2542>.
- Barata, J., Kayser, I. (2023). Industry 5.0 – Past, present, and near future. *Procedia Computer Science*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.351>.
- Borchardt, M., Pereira, G., Milan, G., Scavarda, A., Nogueira, E., Poltosi, L. (2022). Industry 5.0 beyond technology: An analysis through the lens of business and operations management literature. *Organizacija*, 55(4), 305-321. <https://doi.org/10.2478/orga-2022-0020>.
- Breque, M., De Nul, L., Petridis, A. (2021). *Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407>.
- Carayannis, E.G., Morawska-Jancelewicz, J. (2022). The futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as driving forces of future universities. *Journal of the Knowledge Economy*, 13, 3445–3471. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00854-2>.
- Choi, T.-M., Kumar, S., Yue, X., Chan, H.-L. (2022), Disruptive technologies and operations management in the Industry 4.0 era and beyond. *Production and Operations Management*, 31, 9-31. <https://doi.org/10.1111/poms.13622>.
- Colosimo, C. (2024). L'occasione (complessa) di Transizione 5.0. Tecnologia e Innovazione. <https://tinnovamag.com/transizione-5-0-intervista-a-fabio-massimo-marchetti/>.
- Compagnucci, L. (2022). The allocation of public resources in the post- Covid-19 era: New challenges for industrial policy. *L'industria, Rivista di economia e politica industriale*, 1, 81-100. <https://doi.org/10.1430/103957>.
- Compagnucci, L., Spigarelli, F. (2023). Alcune riflessioni sulle politiche industriali per la transizione energetica: il ruolo del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima. *L'industria, Rivista di economia e politica industriale*.

- Demir, K.A., Döven, G., Sezen, B., (2019). Industry 5.0 and human-robot co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688-695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>.
- Denzin, N.K., Lincoln, Y.S. (2011). *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks: Sage.
- Eisenhardt, K.M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14, 532-550. <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>.
- Gibbert, M., Ruigrok, W., Wicki, B. (2008). What passes as a rigorous case study? *Strategic Management Journal*, 29, 1465–1474. <https://doi.org/10.1002/smj.722>.
- Golovianko, M., Terziyan, V., Branytskyi, V., Malyk, D. (2023). Industry 4.0 vs. Industry 5.0: co-existence, transition, or a hybrid. *Procedia Computer Science*, 217, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.206>.
- Hakim, C. (2000) *Research Design: Successful Designs for Social and Economic Research*. Oxford: Oxford University Press.
- Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D., Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 424-428. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010>.
- ISTAT (2022). La Formazione nelle Imprese in Italia. <https://www.istat.it/it/archivio/279433>
- Ivanov, D. (2023) The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, 61(5), 1683-1695. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892>.
- Javaid, M., Haleem, A. (2020). Critical components of Industry 5.0 towards a successful adoption in the field of manufacturing. *Journal of Industrial Integration and Management*, 3, 327-348. <https://doi.org/10.1142/S2424862220500141>.
- Leng, J., Sha, W., Wang, B., Zheng, P., Zhuang, C., Liu, Q., Wuest, T., Mourtzis, D., Wang, L. (2022). Industry 5.0: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 279-295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>.
- Longo, F., Padovano, A., Umbrello, S. (2020). Value-oriented and ethical technology engineering in Industry 5.0: A human-centric perspective for the design of the factory of the future. *Applied Sciences*, 10(12):4182. <https://doi.org/10.3390/app10124182>.
- Lu, Y., Zheng, H., Chand, S., Xia, W., Liu, Z., Xu, X., Wang, L., Qin, Z., Bao, J. (2022). Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 612-627. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.02.001>.
- Maddikunta, P.K., Pham, V.Q., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T.R., Ruby, R., Liyanage, M. (2021). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>.
- Madsen, D.Ø., Slåtten, K. (2023). Comparing the evolutionary trajectories of Industry 4.0 and 5.0: A management fashion perspective. *Applied System Innovation*, 6(2): 48. <https://doi.org/10.3390/asi6020048>.
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N. (2022). A literature review of the challenges and

- opportunities of the transition from Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*, 15(17): 6276. <https://doi.org/10.3390/en15176276>.
- Müller, J. (2020). Enabling technologies for Industry 5.0: results of a workshop with Europe's technology leaders. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/082634>.
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 11, 4371. <https://doi.org/10.3390/su11164371>.
- Prassida, G.F., Asfari, U. (2021). A conceptual model for the acceptance of collaborative robots in industry 5.0. *Procedia Computer Science*, 197, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.118>.
- Rada, M. (2015). INDUSTRY 5.0 - from virtual to physical. <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-from-virtual-physical-michael-rada/>.
- Rocha, C.S., Antunes, P., Partidário, P. (2023). Design for circular economy in a strong sustainability paradigm. *Sustainability*, 15(24), 16866. <https://doi.org/10.3390/su152416866>.
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Berglund, Å.F., Gorecky, D. (2016). *Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies*, in “International Conference on Computers & Industrial Engineering”, Tianjin, 1-11. ISSN 2164-8670.
- Rožanec, J. M., Novalija, I., Zajec, P., Kenda, K., Tavakoli Ghinani, H., Suh, S., ...Soldatos, J. (2022). Human-centric artificial intelligence architecture for industry 5.0 applications. *International Journal of Production Research*, 61(20), 6847–6872. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2138611>.
- Raja Santhi, A., Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 17, 947–979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>.
- Seidman, I. (2006). *Interviewing as qualitative research: a guide for researchers in Education and the Social Sciences* (3rd edition). New York, NY: Teachers College Press.
- Stählbröst, A. (2013). A living lab as a service: creating value for micro-enterprises through collaboration and innovation. *Technology Innovation Management Review*, 3, 37-42. <https://doi.org/10.22215/timreview/744>.
- Stake, R. (1994). Case Studies, in *Handbook of Qualitative Research*, (a cura di) N. K. Denzin & Y. S. Lincoln, Sage, Thousand Oaks, Londra e New Delhi.
- World Economic Forum (2021). *The Future of Jobs Report 2020*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf.
- World Manufacturing Forum (2019). 2019 *World Manufacturing Forum Report. Skills for The Future of Manufacturing*. <https://worldmanufacturing.org/report/report-2019/>.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.
- Yin, R.K. (1993). *Applications of Case Study Research*. Newbury Park: Sage.

Yin, R.K. (1994). *Case Study Research: Design and Methods*. Beverly Hills: Sage.

Yin, R.K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods*. 6th ed. Sage Publications, London.

Zizic, M.C., Mladineo, M., Gjeldum, N., Celent, L. (2022). From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A review and analysis of paradigm shift for the people, organization and technology. *Energies*, 15, 5221. <https://doi.org/10.3390/en15145221>