



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E

GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE

**Industria 5.0: resilienza e sostenibilità a favore delle
risorse umane**

Relatore: Dr. SERENA FINCO

Laureanda: DESIRÉE CECCHETTI

Matricola 1168512

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

RINGRAZIAMENTI

Prima di procedere con la trattazione, vorrei dedicare qualche riga a tutti coloro che mi sono stati vicini in questo percorso di crescita personale e professionale.

Un sentito grazie al mio relatore Finco Serena per la sua disponibilità e tempestività e per avermi seguito, passo dopo passo, in questo percorso.

Un ringraziamento speciale va a mia madre e a mio padre i quali mi hanno aiutato a superare i momenti più difficili con infinita pazienza, sostenendomi nella realizzazione dei miei progetti. Non finirò mai di ringraziarvi per avermi permesso di arrivare fin qui.

Un grazie a mia sorella e al mio fidanzato i quali mi hanno incoraggiata fin dall'inizio.

E un grazie di cuore alla mia migliore amica Giada Busatto, per tutte le volte che ha saputo ascoltarmi, che mi è stata vicina, che ha condiviso con me gioie e dolori, ma soprattutto per avermi insegnato che con le persone giuste al tuo fianco nulla è impossibile! Sei stata il mio punto di riferimento in tutti questi anni trascorsi insieme!

Grazie a tutti, senza di voi non ce l'avrei mai fatta.

INDICE

RINGRAZIAMENTI	1
SOMMARIO	3
INTRODUZIONE	5
Capitolo 1	7
Analisi Metodologica e Bibliometrica.....	7
1.1 Analisi Metodologica	7
1.1.1 Metodologia.....	7
1.1.2 Obiettivi della ricerca	7
1.1.3 Definizione dei criteri di inclusione ed esclusione	7
1.2 Analisi Bibliometrica	11
1.2.1 Tipi di documenti e fonti	11
1.2.2 Evoluzione delle pubblicazioni	14
1.2.3 Area disciplinare.....	15
Capitolo 2	17
Stato dell'arte e Content Analysis	17
2.1 Background	17
2.2 Come cambia la visione dell'Operatore 4.0.....	19
2.3 Caratteristiche chiave dell'Operatore 5.0.....	25
2.4 Preoccupazioni e previsioni per il futuro del lavoratore.....	29
Capitolo 3	33
Analisi critica dello stato dell'arte	33
3.1 Discussione	33
3.1.1 Quali sono i principali cambiamenti e somiglianze tra Operatore 4.0 e Operatore 5.0 riscontrate nella letteratura?	33
3.1.2 Quali sono le caratteristiche fondamentali individuate nell'Operatore 5.0 all'interno della letteratura?.....	34
3.1.3 Quali sono le capacità che dovrà avere l'Operatore del futuro?	35
CONCLUSIONI	38
BIBLIOGRAFIA.....	40

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1: Sintesi metodologica dell'analisi riferita all'Operatore 4.0	10
Figura 1.2: Sintesi metodologica dell'analisi riferita all'Operatore 5.0	11
Figura 1.3: Grafico ad anello basato sul tipo di documento	12
Figura 1.4: Grafico basato sulla fonte di pubblicazione	13
Figura 1.5: Grafico basato sull'anno di pubblicazione	14
Figura 1.6: Grafico basato sull'area di indagine	16
Figura 2.7: Architettura Operatore Sano 4.0	21
Figura 2.8: Architettura Assistente Vocale	22
Figura 2.9: Definizione concettuale dell'architettura complessiva	25
Figura 2.10: Capacità necessarie all'Operatore 5.0 divise per area tematica	28

INDICE DELLE TABELLE:

Tabella 1.1: Gruppi di Parole correlate alla ricerca sull'Operatore 4.0	8
Tabella 1.2: Criteri di inclusione ed esclusione	9
Tabella 1.3: Gruppi di Parole correlate alla ricerca sull'Operatore 5.0	10
Tabella 1.4: Tipi di documenti	12
Tabella 1.5: Fonte di Pubblicazione	13
Tabella 1.6: Anno di pubblicazione	14
Tabella 1.8: Area di indagine	15

SOMMARIO

L'avanzamento tecnologico è inarrestabile. Ogni giorno si viene a conoscenza di nuove tecnologie, con prestazioni migliori, più flessibili, efficienti e sicure. L'attuale Rivoluzione Industriale è definita dallo sviluppo di strumenti digitali come Big Data, Extended Reality, Digital Twin, Internet of Things (IoT) e Intelligenza Artificiale volte a potenziare i moderni sistemi di produzione, aumentare il profitto e incrementare la produttività. Ma a quale costo? Un costo insostenibile che ha reso necessaria una nuova Rivoluzione Industriale.

L'obiettivo di questa tesi è quello di illustrare quali sono le motivazioni per cui si è sentito il bisogno di implementare una nuova tipologia di industria: l'Industria 5.0.

La base sarà di fatto l'analisi delle prime quattro rivoluzioni industriali che presenterà come le macchine, il lavoro svolto dagli operatori e il rapporto uomo-macchina si sia evoluto nel corso della storia. Successivamente si andrà ad approfondire la Quarta Rivoluzione Industriale, nello specifico l'Operatore 4.0, le tecnologie chiave da esso utilizzate e il rapporto tra operatore e macchina. In conclusione verrà effettuato un quadro concettuale dell'Industria 5.0, delle motivazioni che hanno portato alla sua ideazione e come punto focale verrà realizzato un approfondimento dell'Operatore 5.0 e delle nuove occupazioni che si prospettano per i lavoratori.

INTRODUZIONE

In Europa e nel mondo la globalizzazione ha aumentato la prosperità globale senza preoccuparsi dell'uso eccessivo delle risorse naturali o dell'inquinamento ambientale.

Ma la salute del nostro pianeta non è l'unico problema venuto a galla negli ultimi anni, infatti, i cambiamenti geopolitici e le crisi naturali, come la pandemia di Covid-19 hanno evidenziato anche le fragilità delle attuali industrie, la vulnerabilità dei nostri settori e di conseguenza la necessità di trovare un sistema di produzione intelligente, flessibile e solido per affrontare queste debolezze. Un sistema di produzione Intelligente viene descritto come l'insieme di “informazioni, tecnologia e ingegno umano”. Un sistema di produzione resiliente, d'altra parte, viene definito come “un sistema con la capacità di regolare il proprio funzionamento prima, durante o dopo cambiamenti e disturbi operativi, in modo che possa sostenere le operazioni richieste in condizioni sia previste che impreviste”.

Un sistema di produzione intelligente e resiliente è quindi un sistema agile e flessibile il quale raccoglie e organizza i dati operativi in tempo reale utilizzando sensori intelligenti e tecniche di analisi. L' Industria 5.0 prevede un sistema di produzione resiliente e intelligente che sviluppa le capacità di resilienza anche della forza lavoro che dovrà gestire il sistema stesso.

Ad oggi l'Industria 4.0 si è concentrata meno sul benessere e sull'importanza dell'operatore dando invece più rilievo alla digitalizzazione e alle tecnologie basate sull'intelligenza artificiale per aumentare l'efficienza, il profitto e la flessibilità. Ci si è resi però conto che un approccio puramente orientato al profitto è diventato sempre più insostenibile e che quindi c'è la necessità di un cambiamento.

Ed è quindi proprio l'Industria 5.0 a spostare il focus da un sistema produttivo guidato principalmente dall'efficienza e dalla riduzione dei costi a un approccio completamente incentrato sull'uomo, nel quale la tecnologia deve essere al servizio delle persone e non viceversa. I lavoratori dell'industria non vengono più considerati come un “costo” o “investimento”. La ricerca e l'innovazione indirizzano quindi verso un'industria incentrata sull'uomo, sostenibile e resiliente.

Sulla base delle sfide sopra menzionate questa tesi mira a spiegare il percorso che ha portato l'Industria a una nuova rivoluzione, in particolare ad un nuovo tipo di Operatore: più flessibile e solido, capace di rispondere prontamente a fattori che intaccano il suo lavoro. In questo contesto, esaminiamo la letteratura sui sistemi di produzione. In particolare, applichiamo una Systematic Literature Review (SLR) al fine di mappare e valutare il territorio intellettuale rilevante per quanto riguarda la visione dell'operatore all'interno dell'industria con particolare attenzione all'interazione uomo-macchina. Ulteriore obiettivo della ricerca è identificare se e come compiti e ruoli degli operatori sono stati e/o saranno soggetti a cambiamento.

In particolare, il presente lavoro si propone di rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- (i) Quali sono i principali cambiamenti e somiglianze tra Operatore 4.0 e Operatore 5.0 riscontrate nella letteratura?
- (ii) Quali sono le caratteristiche fondamentali individuate nell'Operatore 5.0 all'interno della letteratura?
- (iii) Quali sono le capacità che dovrà avere l'Operatore del futuro?

Il documento sarà suddiviso in tre sezioni principali: nella prima verranno presentate l'analisi metodologica e bibliometrica. Nella seconda verranno illustrati i risultati dell'analisi dalla letteratura accademica. Nella terza e ultima parte verranno discussi tali risultati, tratte le conclusioni e delineati probabili sviluppi legati all'operatore "del futuro".

Capitolo 1

Analisi Metodologica e Bibliometrica

1.1 Analisi Metodologica

1.1.1 Metodologia

Seguendo un protocollo definito e rigoroso, una revisione sistematica della letteratura (SLR) consente una valutazione critica e riproducibile degli studi rilevanti per rispondere alle domande di ricerca formulate. Esse sono comunemente intese come potenti strumenti per valutare il lavoro pubblicato in un campo scientifico relativamente attuale. Ciò gioca un ruolo rilevante soprattutto se i ricercatori stanno confrontando un campo parzialmente consolidato come i sistemi di produzione tradizionali con un campo nuovo ed emergente come l'Operatore 5.0.

1.1.2 Obiettivi della ricerca

Gli obiettivi della ricerca sono estrapolati dalle domande di ricerca. L'obiettivo di questo studio è quello di comprendere le attuali conoscenze sull'Operatore 5.0 e le differenze emerse con l'Operatore 4.0. In seguito verrà approfondito il ruolo che questa nuova tipologia di operatore avrà all'interno dell'ambiente industriale.

1.1.3 Definizione dei criteri di inclusione ed esclusione

Oltre ai confini concettuali, stabiliamo diversi limiti, in termini di database, di ricerca e periodo di pubblicazione. In particolare, abbiamo utilizzato un database elettronico per la ricerca delle parole chiave, di conseguenza abbiamo condotto una ricerca delle parole chiave utilizzando il database Scopus. La ricerca bibliografica si è articolata in quattro fasi consecutive: la definizione di parole chiave idonee; la ricerca nella banca dati delle parole chiave definite in precedenza; selezione dei documenti secondo criteri di screening; analisi di documenti selezionati ed estrazione dati. L'identificazione delle parole chiave è stato quindi il primo passo e ha coinvolto due gruppi di parole chiave: una legata al concetto di Operatore 4.0 e l'altra legata alla tipologia di sistema.

GRUPPO A	GRUPPO B
"Operatore 4.0*" "Worker 4.0*"	" Manufacturing system*" " Logistics system*" " Production system*"

Tabella 1.1: Gruppi di Parole correlate alla ricerca sull'Operatore 4.0

Le parole chiave relative all' Operatore 4.0 sono state combinate tramite l'operatore logico OR in quanto questi termini possono essere considerati sinonimi. Per lo stesso motivo l'operatore OR è stato utilizzato anche per le parole chiave legate alla tipologia di sistema studiato. Al contrario, l'operatore AND si è reso necessario per combinare i due gruppi di parole. È stata quindi effettuata una prima ricerca nei database Scopus in "TITOLO, ABSTRACT, PAROLE CHIAVE" per raccogliere un set di documenti, il quale conta 33 atti. In seguito, il corpus di documenti raccolti nella fase precedente è stato perfezionato in base ai seguenti criteri di inclusione/esclusione: lingua – inglese, area tematica – Engineering e Business, Management and Accounting. Non abbiamo limitato ulteriormente la nostra ricerca ai lavori pubblicati entro un determinato arco di tempo poiché volevamo includere tutti i lavori rilevanti, indipendentemente dalla data di pubblicazione.

LIMITAZIONI	CRITERIO	CONTEGGIO
Fonte	Scopus	
Termini di ricerca e collegamenti	"Operator 4.0*" OR "Worker 4.0*" AND "Manufacturing system*" OR "Logistics system*" OR "Production system*"	33
Sub – area	“Engineering” “Business, Management and Accounting”	26
Tipo di documento	Nessuna restrizione	26
Lingua	Inglese	26

Tabella 1.2: Criteri di inclusione ed esclusione

In seguito, il set di dati finale ammontava a 26 documenti.

Lo screening di selezione si è articolato in due fasi. La prima prevedeva la lettura del titolo e dell'abstract. La seconda fase prevedeva l'analisi del contenuto degli articoli ammissibili, attraverso l'esame attento dell'intero corpo del testo che ha permesso di delineare le principali caratteristiche dei paper.

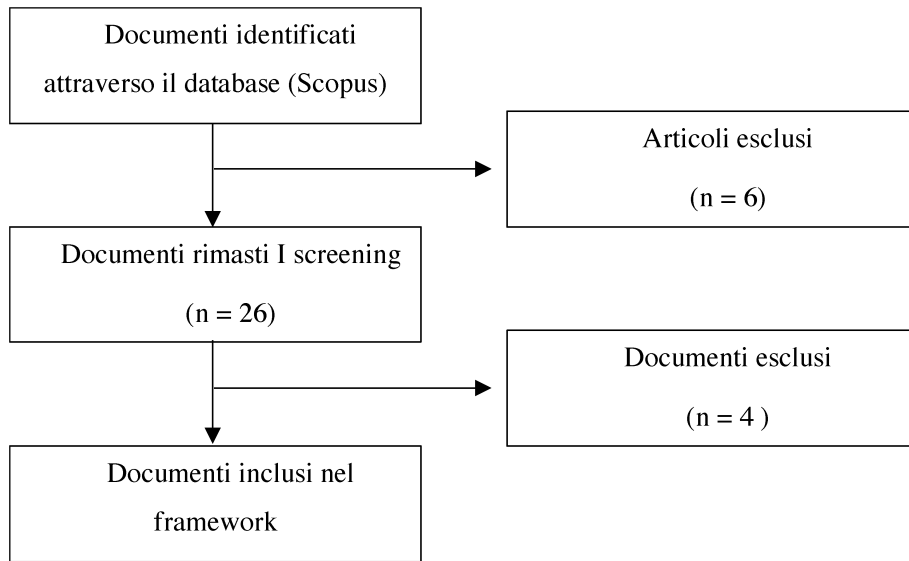


Figura 1.1: Sintesi metodologica dell'analisi riferita all'Operatore 4.0

In seguito è stata eseguita una seconda revisione sistematica della letteratura la quale si è concentrata sul concetto di Operatore 5.0 all'interno dei sistemi di produzione. È stato quindi modificato il primo gruppo di parole chiave legato originariamente al concetto di Operatore 4.0 per introdurre l'Operatore 5.0.

GRUPPO A	GRUPPO B
"Operatore 5.0*"	" Manufacturing system*"
"Worker 5.0*"	" Logistics system*"
	" Production system*"

Tabella 1.3: Gruppi di Parole correlate alla ricerca sull'Operatore 5.0

I criteri di limitazione invece sono rimasti invariati. Il set di dati iniziale ammonta a solamente 2 documenti i quali superano tutte le fasi di limitazione e screening.

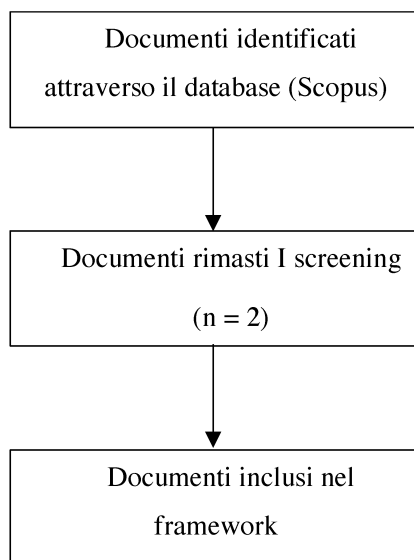


Figura 1.2: Sintesi metodologica dell'analisi riferita all'Operatore 5.0

1.2 Analisi Bibliometrica

Le informazioni principali dei paper idonei sono state estratte e archiviate in un foglio di calcolo per facilitare l'analisi dei dati secondo diversi criteri: tipo di pubblicazione (rivista o conferenza), anno di pubblicazione, titolo della fonte e area tematica.

Sulla base di questi criteri di analisi, è stata condotta un'analisi bibliometrica degli articoli per indagare l'andamento della letteratura negli anni sul tema di ricerca.

Considerando tutte le informazioni acquisite dai paper, sono state affrontate le risposte alle RQ, la sintesi dello stato dell'arte nel campo di ricerca di interesse e le lacune nella ricerca attuale. L'analisi descrittiva sviluppata fornisce una panoramica della raccolta di 22 documenti, utilizzando le informazioni di base di ciascun articolo: l'anno di pubblicazione, la tipologia di pubblicazione, l'editore e l'area di indagine.

1.2.1 Tipi di documenti e fonti

Secondo la tabella I, la maggior parte delle pubblicazioni proviene da articoli rappresentati dal ~64% seguiti da atti di conferenze (~27%). La tipologia inferiore sono gli editoriali che rappresentano ~9%.

TIPO	PT	%
Atti di conferenza	6	27,27%
Articolo	14	63,63%
Editoriale	2	9,10%

Tabella 1.4: Tipi di documenti

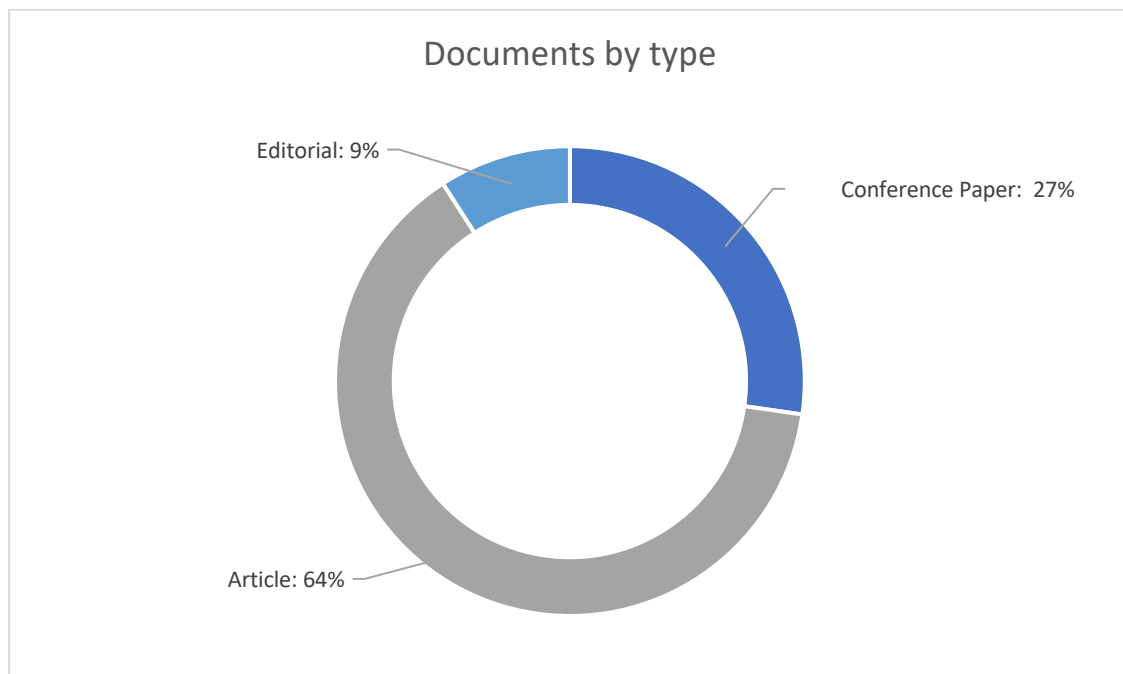


Figura 1.3: Grafico ad anello basato sul tipo di documento

La tabella mostra l'elenco delle fonti che hanno contribuito alle pubblicazioni in questo campo. Complessivamente, i 22 articoli sono stati pubblicati in 11 diverse riviste. Con 7 pubblicazioni (~32%), Computers and Industrial Engineering fornisce la maggior parte degli studi, seguita da Applied Sciences (Switzerland) con 3 pubblicazioni (~13,6%) mentre IFAC-PapersOnLine, Sensors, Advances in Transdisciplinary Engineering offrono due contributi in quest'area ciascuno. Nessun'altra sede ha pubblicato più di due articoli sull'argomento discusso. Come previsto, la maggior parte delle pubblicazioni riguarda giornali di ingegneria, logistica e produzione.

FONTE DI PUBBLICAZIONE	PT
Procedia CIRP	1
9th International Conference on Intelligent Systems 2018: Theory, Research and Innovation in Applications	1
Computers and Industrial Engineering	7
Manufacturing Letters	1
Applied Sciences (Switzerland)	3
IFAC-PapersOnLine	2
Smart and Sustainable Manufacturing Systems	1
Sensors	2
Journal of Industrial Engineering and Management	1
Advances in Transdisciplinary Engineering	2
Journal of Manufacturing Systems	1

Tabella 1.5: Fonte di Pubblicazione

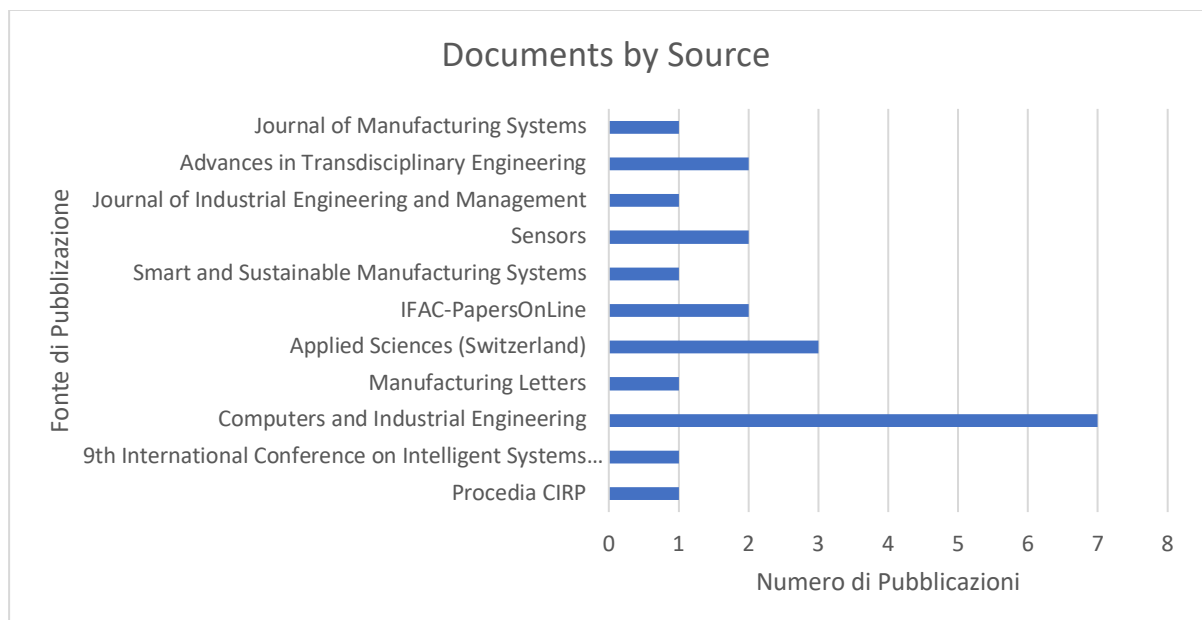


Figura 1.4: Grafico bastato sulla fonte di pubblicazione

1.2.2 Evoluzione delle pubblicazioni

Come si può vedere in tabella, il concetto di Operatore 4.0 ha iniziato ad insinuarsi all'interno dell'ambito dei sistemi di produzione a partire dal 2018. Tuttavia l'anno successivo l'argomento è scomparso per riapparire in modo travolgente nel 2020, quando il numero di pubblicazioni è aumentato fino a contare 13 documenti, poco inferiore al 60% delle pubblicazioni totali (PT). In seguito l'attenzione sul tema dell'Operatore 4.0 è diminuita per fare spazio alla sua evoluzione: l'Operatore 5.0.

ANNO DI PUBBLICAZIONE	PT
2018	1
2019	0
2020	13
2021	4
2022	4

Tabella 1.6: Anno di pubblicazione

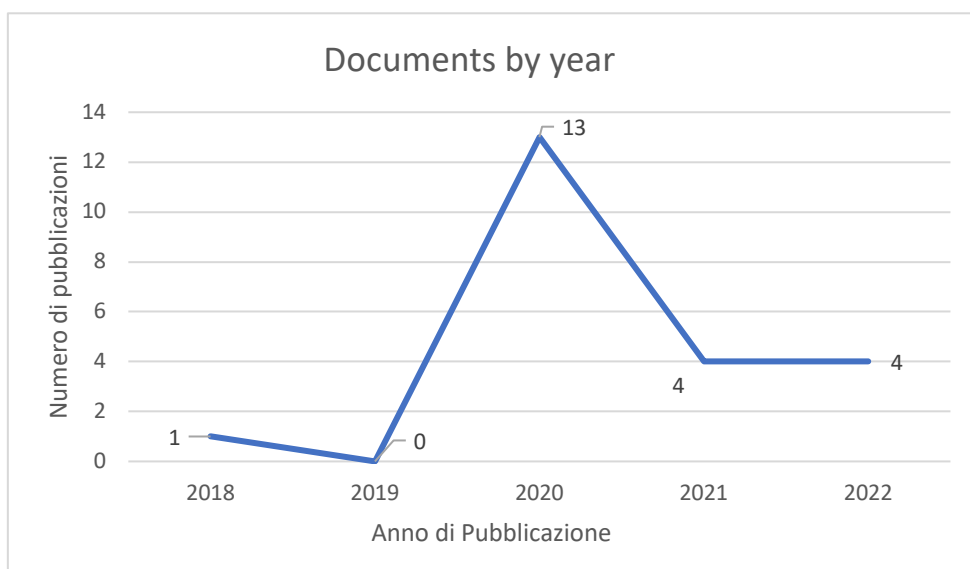


Figura 1.5: Grafico basato sull'anno di pubblicazione

1.2.3 Area disciplinare

Questo studio ha anche presentato i documenti pubblicati in base alle sue aree tematiche. La maggior parte degli studi sull'Operatore 4.0 si concentra nell'area dell'Ingegneria la quale rappresenta il ~38% del totale dei documenti, seguita da Computer Science rappresentata da ~26% e Fisica e astronomia (~9%). In seguito Business, Management and Accounting, Ingegneria chimica e Ingegneria dei materiali sono rappresentate dal ~5% ciascuno e infine le rimanenti aree di studio rappresentano insieme un totale del 12% circa.

AREA TEMATICA	PT	%
Engineering	22	38%
Computer Science	15	26%
Physics and Astronomy	5	9%
Business, Management and Accounting	3	5%
Chemical Engineering	3	5%
Materials Science	3	5%
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	2	3%
Chemistry	2	3%
Decision Sciences	1	2%
Environmental Science	1	2%
Mathematics	1	2%

Tabella 1.7: Area di indagine

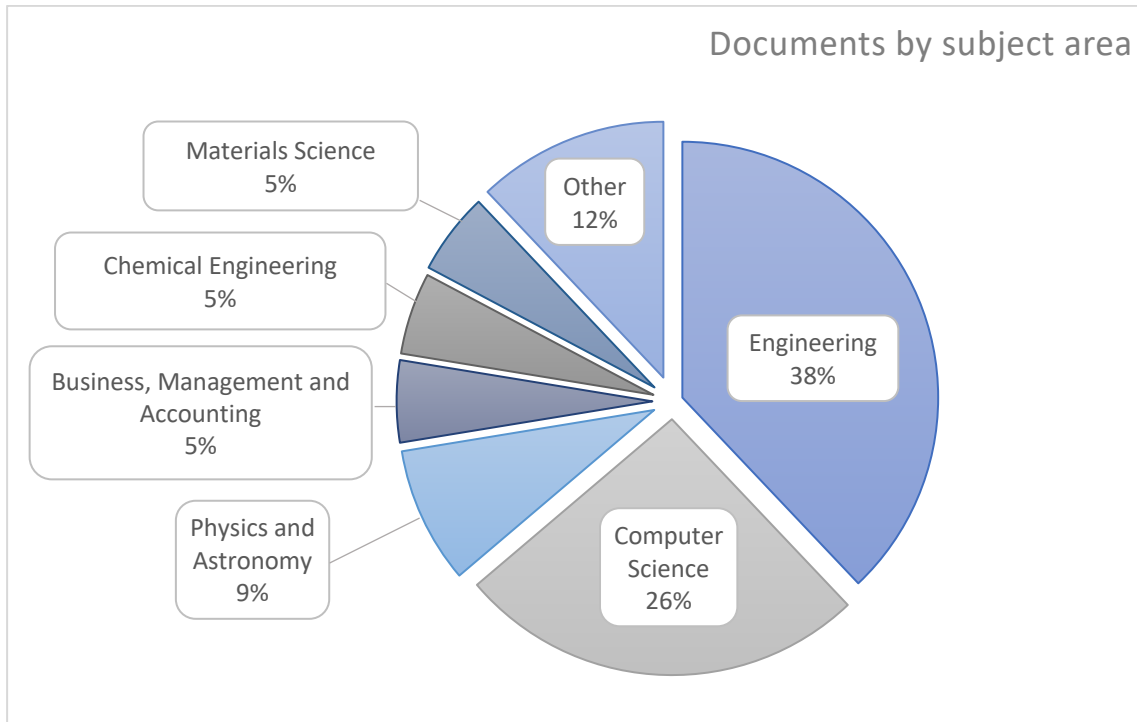


Figura 1.6: Grafico basato sull'area di indagine

Nel caso della seconda indagine, a causa del limitato range di documenti l'analisi bibliometrica non è stata svolta come nel primo caso.

Il primo documento *“Towards the Resilient Operator 5.0: The Future of Work in Smart Resilient Manufacturing Systems”* è un atto di conferenza redatto da Romero, D., Stahre, J. Nel 2021 e pubblicato da Procedia CIRP. Il secondo documento è un articolo nominato *“Operator 5.0: a survey on enabling technologies and a framework for digital manufacturing based on extended reality”* è stato redatto da Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N. e pubblicato dal Journal of Machine Engineering nel 2022. Entrambi i paper appartengono all'area di indagine di Ingegneria mentre solo il secondo articolo entra anche nel capo di competenza di Computer Science.

Capitolo 2

Stato dell'arte e Content Analysis

2.1 Background

Per comprendere meglio quello che succederà nel prossimo futuro bisogna guardare al presente. Oggi nel pieno della Quarta Rivoluzione Industriale, l'industria si basa sull'automatizzazione, sulla digitalizzazione dei processi produttivi e sull'evoluzione di tecnologie avanzate come Cloud Computing, Internet of Things (IoT), Big data, robotica, Realtà Virtuale e Intelligenza Artificiale.¹ Le tecnologie dell'Industria 4.0 stanno progredendo rapidamente, trasformando le aziende "normali" in aziende "intelligenti", efficienti e flessibili. Per rimanere competitive, le aziende devono riuscire ad abbracciare tutti questi cambiamenti ma spesso, per gli operatori, non risulta semplice l'utilizzo di strumenti digitali e tecnologici.² L'adozione dell'Industria 4.0 può presentare alcune sfide e rischi per molte aziende tra cui: la mancanza di competenze per gestire strutture complesse, la crescente preoccupazione sulla sicurezza informatica, eventuali costi di investimento, la mancanza di un'adeguata infrastruttura digitale e conoscenza della digitalizzazione. Le aziende segnalano difficoltà nel trovare, formare e riqualificare il personale, in particolare nelle aree dell'interfaccia utente, dell'analisi dei dati, dello sviluppo del software e dei controlli a livello di macchina.³ Spesso si verificano problemi anche in merito alle persone che non sono disposte a utilizzare nuovi strumenti e applicazioni digitali. Un'altra difficoltà che si può osservare è la sicurezza IT, la quale può comportare rischi sostanziali nell'impostazione di fabbrica. L'integrazione online di processi, sistemi e persone può potenzialmente dare spazio a fughe di dati e violazioni della sicurezza. Minacce importanti includono anche configurazioni errate della rete,

¹ ALMADA-LOBO, Francisco. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES).

² BARTON, Martin, et al. Identification Overview of Industry 4.0 Essential Attributes and Resource-Limited Embedded Artificial-Intelligence-of-Things Devices for Small and Medium-Sized Enterprises.

³ BENEŠOVÁ, Andrea; TUPA, Jiří. Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0.

comandi errati e guasti del software o dei dispositivi che possono interrompere la produzione.⁴ Un altro ostacolo comune affrontato dalle aziende che adottano l'Industria 4.0 è la mancanza di allineamento interno su quali strategie perseguire. Preparare gli operatori al cambiamento tecnologico e ottenere il loro consenso è fondamentale per il successo. Se i dipendenti non sono pronti per i cambiamenti, possono essere riluttanti, contrari o incapaci di adattarsi.⁵ A partire dalla seconda rivoluzione industriale il mondo ha assistito ad un massiccio aumento dell'inquinamento ambientale. Sfortunatamente, nonostante l'industria manifatturiera, ad oggi, controlla alcuni aspetti della produzione e gestione dei rifiuti, essa non pone una sufficiente attenzione sul tema della protezione e della sostenibilità ambientale.⁶

L'obiettivo principale dell'Industria 4.0, come detto in precedenza, è migliorare l'efficienza e la flessibilità del processo. Purtroppo, però, raggiunto l'obiettivo il saldo totale sarà pagato interamente dall'uomo. Il problema maggiore sarà evidente tra qualche anno, quando entrerà in gioco l'effetto completo della Quarta Rivoluzione Industriale e l'automazione porterà alla perdita dei tradizionali posti di lavoro.⁷ Di conseguenza l'avanzamento tecnologico si troverà la strada sbarrata da sindacati e politici che neutralizzeranno alcuni dei progressi dell'Industria 4.0.

Inoltre durante la pandemia SARS-CoV-2 (nota anche come COVID-19), le esigenze di ridimensionamento della forza lavoro, i requisiti di sicurezza, le interruzioni della catena di approvvigionamento e la carenza di scorte hanno influenzato la reattività e la resilienza dei sistemi di produzione e della catena di approvvigionamento. Le aziende vagavano alla cieca all'interno di uno scenario confuso perché le strategie consigliate per sopravvivere non erano ancora state implementate. Il settore manifatturiero è stato uno dei settori più gravemente colpiti dalla pandemia e dalle rigide restrizioni per far fronte alla diffusione del virus. A causa della ridotta produttività e disponibilità dei lavoratori, modelli di domanda distorti e trasporto merci incerto le aziende manifatturiere hanno sperimentato una notevole carenza di materiali e una ridotta reattività.

⁴ PEREIRA, T.; BARRETO, L.; AMARAL, A. Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm.

⁵ DOBROWOLSKA, Małgorzata; KNOP, Lilla. Fit to work in the business models of the industry 4.0 age.

⁶ JAMWAL, Anbesh, et al. Developing A sustainability framework for Industry 4.0.

⁷ RAJNAI, Zoltán; KOCSIS, István. Labor market risks of industry 4.0, digitization, robots and AI.

È proprio a causa di queste problematiche che si è sentita la necessità di implementare una nuova tipologia di industria, l'Industria 5.0 ma soprattutto una nuova tipologia di Operatore: l'Operatore Resiliente 5.0.⁸

2.2 Come cambia la visione dell'Operatore 4.0

Romero et al. (2020)⁹ Identifica e caratterizza i primi modelli antropocentrici dell'interazione uomo-macchina nei sistemi di produzione avanzati e le prime manifestazioni dell'Operatore 4.0 inteso come:

“un operatore intelligente e qualificato che svolge non solo lavoro cooperativo con i robot ma anche lavoro assistito da macchine come e se necessario per mezzo di sistemi umani cyber-fisici, tecnologie avanzate di interazione uomo-macchina e automazione adattiva per il raggiungimento di sistemi di lavoro in simbiosi uomo-automazione”.

I nuovi ambienti di lavoro intelligenti come "fabbriche cyber-fisiche" e "ambienti Digital Twin" influenzeranno direttamente l'operatore e la natura del suo lavoro, creando nuove interazioni non solo tra esseri umani e macchine, ma anche tra il mondo digitale e quello fisico. Una trasformazione socio-tecnica verso la Fabbrica Intelligente del Futuro avrà bisogno di una nuova filosofia progettuale e ingegneristica per i sistemi di produzione 'umano-centrici' e 'cyber-fisici'.

Cimini et al. (2022)¹⁰ evidenziano l'importanza dell'interconnessione e della comunicazione tra esseri umani, macchine e prodotti all'interno dei nuovi sistemi di produzione intelligenti. Ciò implica la necessità di una perfetta integrazione e cooperazione tra le capacità degli esseri umani e quelle dei sistemi cyber-fisici (CPS) che costituiscono le fabbriche intelligenti. Per l'Operatore 4.0 tradizionale, la quantità di informazioni disponibili, nei sistemi di produzione intelligenti, non sarà facilmente manipolabile a causa dell'enorme varietà e quantità di dati. Per questo motivo, saranno

⁸ AMBROGIO, Giuseppina, et al. Workforce and supply chain disruption as a digital and technological innovation opportunity for resilient manufacturing systems in the COVID-19 pandemic.

⁹ ROMERO, David; STAHRÉ, Johan; TAISCH, Marco. The Operator 4.0: Towards socially sustainable factories of the future.

¹⁰ CIMINI, Chiara, et al. Human-technology integration in smart manufacturing and logistics: current trends and future research directions.

necessari nuovi metodi per consentire all'operatore di gestire tali parametri di informazioni e di conseguenza prendere la decisione giusta, in quanto si può presumere che le tecniche di Intelligenza Artificiale non possano risolvere ogni problema relativo ai dati.

Rauch et al. (2020)¹¹ conferma che nel periodo successivo all'introduzione dell'Operatore 4.0 è stata evidente una trasformazione dei sistemi di aiuto fisico e soprattutto cognitivo. È stato individuato lo sviluppo dei cosiddetti sistemi di ausilio sensoriale. Mentre i dati in passato svolgevano un ruolo minore, ora i sensori sempre più intelligenti vengono integrati in macchine e prodotti per acquisire quanti più dati possibili (o necessari) e per poterli valutare e utilizzare a fini di ottimizzazione.

Inoltre, Weichhart et al. (2018)¹² mette in evidenza che per la collaborazione uomo-robot, in cui le attività devono essere sincronizzate, non è ancora disponibile un approccio adeguato che consenta di rappresentare processi complessi ed efficaci in una forma utile e supportare il ragionamento in modo automatizzato. Tali forme di rappresentazione e ragionamento dovrebbero essere utilizzabili da entrambi gli agenti, sia dall'umano che dal robot, questo è il requisito che consente ai robot collaborativi di condividere dinamicamente i compiti.

I lavoratori ad oggi stanno lentamente iniziando a fare affidamento sulle moderne tecnologie intelligenti e collaborative, spesso indossando assistenti virtuali, sensori, smartwatch, cuffie per realtà aumentata, esoscheletri alimentati e molto altro. Nonostante le persone rimangano ancora una parte essenziale dei processi di produzione intelligente, anche le loro capacità cambieranno. Verranno implementate tecnologie sempre più sofisticate è all'avanguardia per potenziare l'Operatore 4.0.

Sun et al. (2020)¹³, per esempio, definisce ed estende formalmente il concetto di Operatore Sano 4.0 (HO4.0) come un sistema incentrato sulla salute e sul benessere degli operatori, volto a facilitare l'empowerment dei lavoratori consentendo la creazione di conoscenze rilevanti e la modellazione dei loro comportamenti. Il concetto di Operatore

¹¹ RAUCH, Erwin; LINDER, Christian; DALLASEGA, Patrick. Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0.

¹² WEICHHART, Georg, et al. An agent-and role-based planning approach for flexible automation of advanced production systems.

¹³ SUN, Shengjing, et al. Healthy operator 4.0: A human cyber-physical system architecture for smart workplaces.

Sano 4.0 viene ampliato grazie all'uso del *Digital Twin HO4.0*, che raccoglie tutte le informazioni relative alla salute dagli operatori e potenzialmente consente l'apprendimento di regole dai diversi comportamenti. Non solo consente informazioni in tempo reale sulle possibili minacce per la salute, ad esempio avvisi di rischio, ma consente anche di simulare il modo di agire futuro degli operatori. Inoltre consente di dedurre e prevedere l'evoluzione del loro comportamento a medio-lungo termine, con l'obiettivo di ridurre il carico di lavoro cognitivo e fisico a cui sono sottoposti i dipendenti e aumentare il benessere dell'operatore in termini di sicurezza e salute sul lavoro (SSL), soddisfazione per le attività svolte, affetto correlato al lavoro e migliorare la produttività nel contesto dell'Industria 4.0.

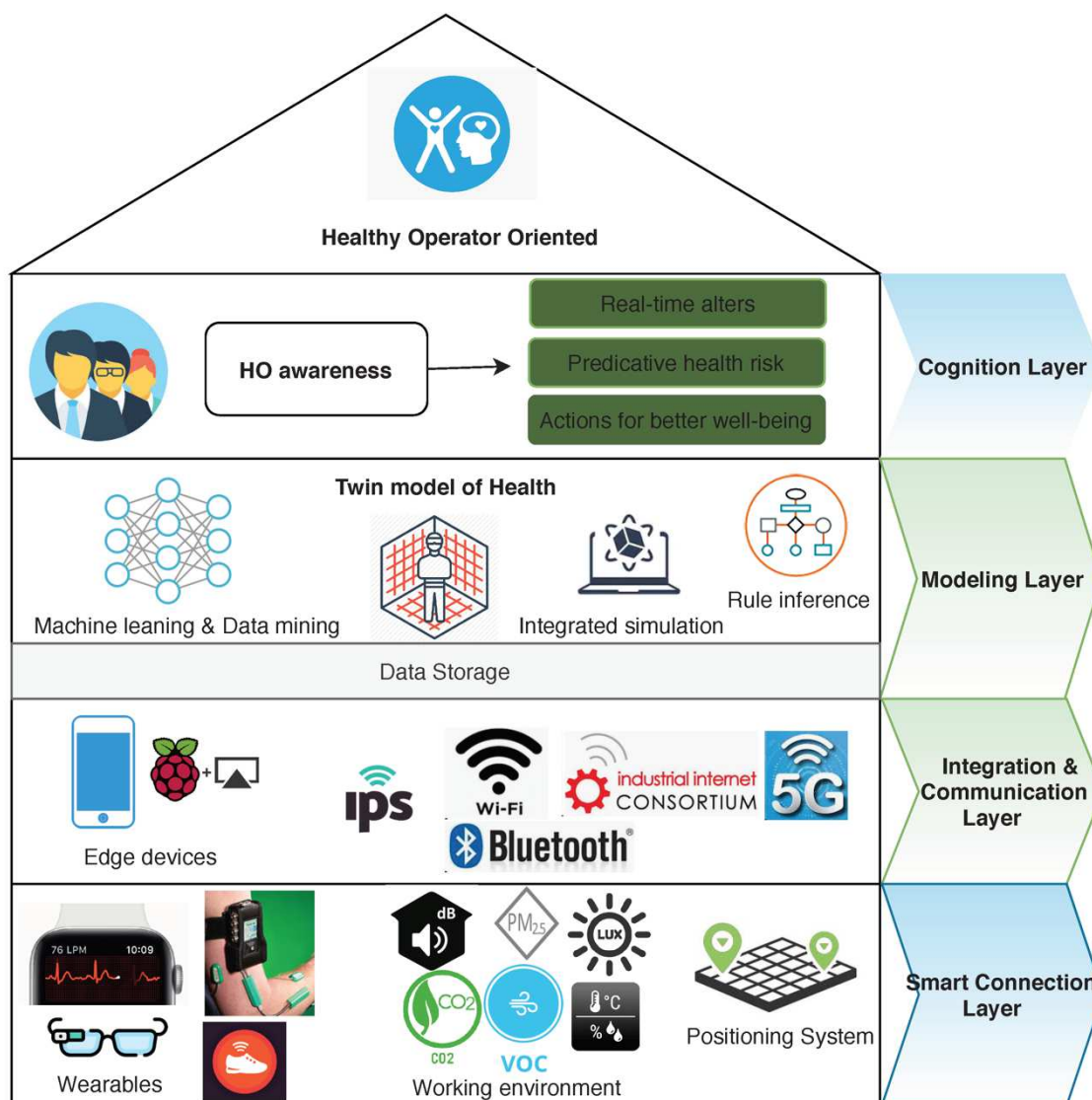


Figura 2.7: Architettura Operatore Sano 4.0

Una tecnologia emergente che la letteratura è stata raramente correlata alle attività di produzione è stata quella dell'assistente vocale. Ciò può essere spiegato dal fatto che questo campo è ancora poco esplorato per queste attività. Tuttavia, tale tecnologia emergente può offrire numerosi vantaggi ai lavoratori dei sistemi di produzione e può essere applicata in diverse attività.

Un studio di Longo et al. (2020)¹⁴ spiega come l'Operatore 4.0 potrebbe interagire tramite risposte uditive con l'Assistente Vocale di una risorsa manifatturiera in rete, di un ordine di lavoro, dell'ambiente, di un particolare prodotto o degli stessi lavoratori. Sia gli esperti del settore che gli autori concordano sulla necessità di progettare un personaggio vocale che evochi un tono e una personalità distinti al fine di creare fiducia e migliorare il tasso di accettazione da parte di diversi gruppi di utenti.

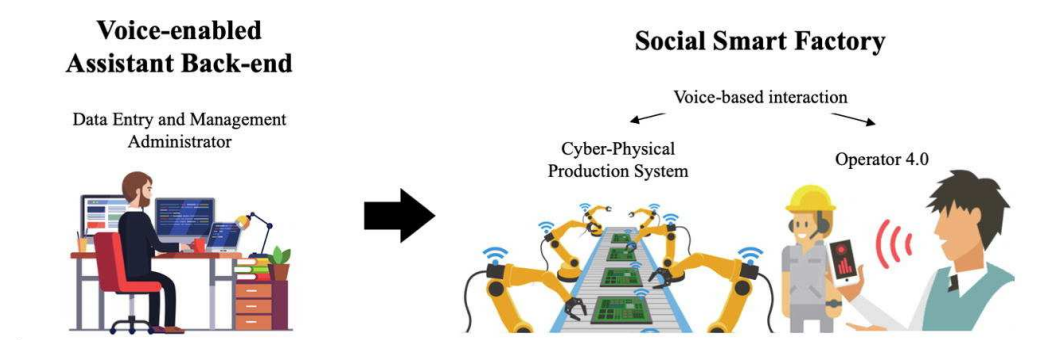


Figura 2.8: Architettura Assistente Vocale

Un altro esempio di tecnologia emergente sono la Visible Light Communication (VLC) e la Visible Light Positioning (VLP) le quali implementeranno una tipologia di lavoratore fortemente potenziato da un solido sistema di comunicazione, localizzazione precisa e le veloci trasmissioni down link/up link con bassa latenza (Danys et al., 2022).¹⁵

Le nuove innovazioni nei sistemi di produzione hanno l'opportunità di consentire un'efficace diffusione delle informazioni per supportare al meglio il lavoro dell'Operatore 4.0 includendo vantaggi competitivi, oltre che cognitivi, all'interno del paradigma Industria 4.0. Lo sviluppo di tecnologie abilitanti ha facilitato la comunicazione di dati,

¹⁴ LONGO, Francesco; PADOVANO, Antonio. Voice-enabled Assistants of the Operator 4.0 in the Social Smart Factory: Prospective role and challenges for an advanced human-machine interaction.

¹⁵ DANYS, Lukas, et al. Visible Light Communication and localization: A study on tracking solutions for Industry 4.0 and the Operator 4.0.

informazioni e conoscenza evitando la tradizionale interazione faccia a faccia la quale deve avvenire nello stesso tempo e nello stesso spazio, contribuendo alla flessibilità di comunicazione quando si tratta di tempo e spazio per gli attori che partecipano alla divulgazione.

Ciò che emerge dall'indagine di Longo et al. (2020)¹⁶ è l'importanza di estendere le capacità cognitive del lavoratore per colmare il gap con la tecnologia. La collaborazione uomo-robot aumenterebbe l'efficienza della produzione, mentre una migliore risoluzione dei problemi è consentita da un accesso più rapido e intuitivo a dati informazioni, competenze e conoscenze disponibili sul posto di lavoro.

Nell'industria, il potenziamento delle postazioni di lavoro con la tecnologia di realtà aumentata, per esempio, può rimodellare la presenza umana nella catena del valore del processo e supportare lo sviluppo della consapevolezza di sé e di nuove competenze, soprattutto laddove il lavoro manuale è inevitabile. La tecnologia eXtended Reality (XR) sta aprendo la strada a nuove forme di interazione che interrompono l'interazione desktop tradizionale, in cui il grado di libertà e mobilità degli utenti è limitato.

Viene proposta da Serras et al. (2020),¹⁷ per esempio, l'architettura Interactive Extended Reality basata sul dialogo per alleviare il carico cognitivo attraverso l'aumento delle informazioni multimodali disponibili per supportare gli operatori. Tale architettura è stata in seguito testata in due scenari di casi d'uso: la manutenzione di una pinza robotica e come assistente in officina per l'assemblaggio di quadri elettrici. In entrambi i casi è stato riscontrato un elevato tasso di accettazione da parte degli utenti i quali hanno confermato un'efficiente comunicazione e distribuzione della conoscenza dimostrando quindi l'idoneità della soluzione per assistere i lavoratori nei processi di produzione industriale.

Tuttavia sono state individuate da uno studio di Di Pasquale et al. (2022)¹⁸ delle limitazioni legate in molti casi alla inesperienza degli operatori nell'uso dei dispositivi

¹⁶ LONGO, Francesco; PADOVANO, Antonio; UMBRELLO, Steven. Value-oriented and ethical technology engineering in industry 5.0: A human-centric perspective for the design of the factory of the future.

¹⁷ SERRAS, Manex, et al. Dialogue enhanced extended reality: Interactive system for the operator 4.0.

¹⁸ DI PASQUALE, Valentina, et al. Smart operators: How augmented and virtual technologies are affecting the worker's performance in manufacturing contexts.

AR ma anche a problematiche relative ai dispositivi che sono risultati invasivi, inadatti, limitanti e scomodi. È stato quindi messo in evidenza come il ruolo dell'operatore è ancora messo in secondo piano rispetto alla tecnologia che lo caratterizza e ciò rappresenta un'importante sfida sociale. Devono essere compiuti ancora molti sforzi per migliorarne l'usabilità da parte degli operatori ed eliminare gli effetti negativi sulla salute e sulle prestazioni. Inoltre sarebbe utile stabilire una serie di linee guida per la progettazione dei fattori umani che possono aiutare a far corrispondere le capacità del dispositivo con le attività e i requisiti ambientali del luogo di lavoro.

Le continue innovazioni tecnologiche nei domini dell'informatica (IT), l'Internet of Things (IoT) e l'intelligenza artificiale (AI), tra gli altri, hanno cambiato in modo significativo i sistemi di produzione. I recenti progressi di queste tecnologie hanno consentito una implementazione sistematica di sistemi cyber-fisici (CPS) nella produzione, migliorando l'efficienza dei sistemi di produzione e rendendoli più resilienti e collaborativi.

Palasciano et al. (2021)¹⁹ presenta una proposta e una sperimentazione di successo di un'architettura di simulazione e ottimizzazione predittiva basata su un'interfaccia utente di ingegneria della conoscenza per supportare un Operatore 4.0. Il progetto FASTEN esposto dal paper ha adottato un'architettura Industrial IoT (IIoT) integrando un Digital Twin del sistema e un simulatore di eventi discreti per supportare la cooperazione uomo-macchina. La piattaforma si occupa del livello tattico, tramite il Prediction Layer e con l'Ottimizzazione- Simulazione Layer; e del livello operativo, con il livello Data Sources.

De Miranda et al. (2020)²⁰ propone, invece, un nuovo framework denominato Design for the Human Factor in Industry 4.0 (DfHFinI4.0), che consente di porre il fattore umano al centro di Industry 4.0, esso si basa sui framework concettuali del paradigma connettivista, la legge della varietà richiesta e sulla teoria dell'attività.

Zolotová et al. (2020)²¹ evidenzia la necessità di utilizzare una combinazione di più tipologie di Operatore 4.0 per ottenere migliori risultati in futuro. La loro ricerca viene

¹⁹ PALASCIANO, Claudio, et al. A Predictive Simulation and Optimization Architecture based on a Knowledge Engineering User Interface to Support Operator 4.0.

²⁰ SUAREZ-FERNANDEZ DE MIRANDA, Susana, et al. Life cycle engineering 4.0: A proposal to conceive manufacturing systems for industry 4.0 centred on the human factor (DfHFinI4. 0).

²¹ ZOLOTOVÁ, Iveta, et al. Smart and cognitive solutions for Operator 4.0: Laboratory H-CPPS case studies.

basata su quattro casi studio. Il primo caso di studio, Legacy of screens design for HMI application , presenta come le moderne tecnologie e principi per le applicazioni HMI possono migliorare i tempi di reazione degli operatori. Il secondo caso di studio, l'assistenza sanitaria cognitiva , in questo caso di studio, sono tre tipi di Operatore 4.0 discusso: Smarter Operator, Healthy Operator infine Social Operator. Il terzo caso di studio, Maintenance and Prediction , ha spiegato come il sistema di produzione basato su un sistema orientato ai servizi è supportato da due tipologie di operatore: Smarter Operator e Analytic Operator. Infine, l'interazione M2P basata sul caso di studio della posizione dell'operatore copre due tipologie di operatore Smarter Operator e Augmented Operator.

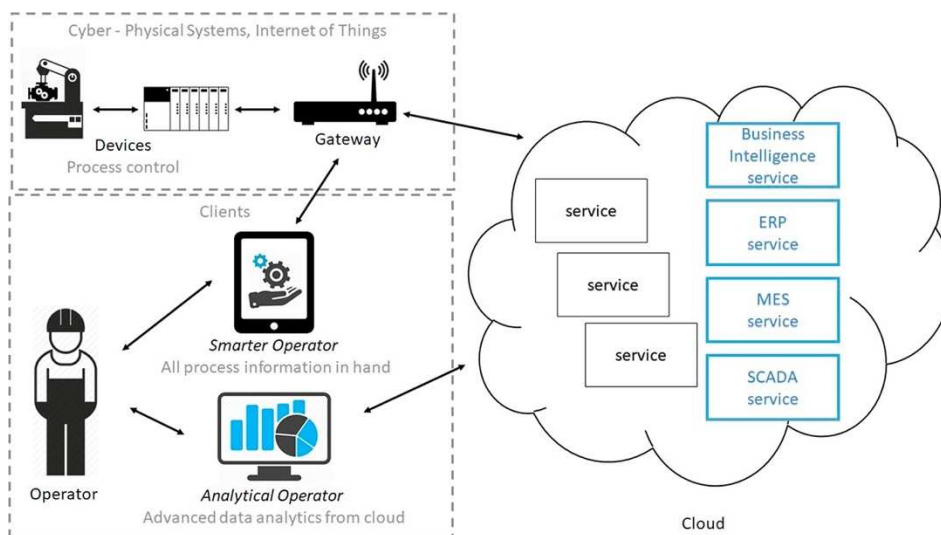


Figura 2.9: Definizione concettuale dell'architettura complessiva

2.3 Caratteristiche chiave dell'Operatore 5.0

A cavallo della Quarta Rivoluzione Industriale, l'Operatore 5.0 sembra un tema distante e progressista. In letteratura solamente due articoli discutono della figura dell'Operatore 5.0 all'interno dei sistemi manifatturieri.

Romero et al.(2021)²² sviluppa tale concetto come Operatore Resiliente 5.0, che viene descritto come un operatore intelligente e qualificato che utilizza la creatività umana, l'ingegno e l'innovazione potenziata dall'informazione e dalla tecnologia come un modo per superare gli ostacoli sul percorso per creare nuove e frugali soluzioni per garantire la continuità sostenibile delle attività produttive e il benessere della forza lavoro alla luce di condizioni difficili e/ o impreviste. La visione dell'Operatore Resiliente 5.0 è duplice, da un lato abbiamo la realizzazione di “auto-resilienza” dall'altro la realizzazione della “resilienza di sistema”.

- Resilienza di sistema: in un sistema di produzione nel quale operatori e macchine devono lavorare a stretto contatto bisogna considerare sistemi alternativi per consentire ai sistemi uomo-macchina di continuare a collaborare in modo positivo. La resilienza dei sistemi uomo macchina si riferisce alla capacità dei sistemi cyber-fisici di dimostrare autonomia regolabile e controllo, al fine di mantenere il sistema cooperativo, pratico, confortevole e continuativo.
- Auto resilienza: a causa della naturale fragilità umana, l'auto-resilienza è legata alla salute e alla sicurezza biologica, fisica, cognitiva e psicologica, nonché di produttività sul lavoro.

La resilienza biologica si riferisce alla capacità di un operatore di mantenere l'igiene industriale in termini di salute e sicurezza sul lavoro. Questo tipo di resilienza può essere supportato da dispositivi indossabili per la sanità intelligente e dispositivi di protezione individuale intelligente.

La resilienza fisica si riferisce alla capacità di un operatore di mantenere la forza di fronte alle richieste. Questo tipo di resilienza può essere supportato da esoscheletri che forniscono potenza muscolare, protezione e resistenza.

La resilienza cognitiva si riferisce alla capacità di un operatore di mantenere la concentrazione ed evitare l'errore umano anche in presenza di notevole stress. Questo tipo di resilienza può essere aiutato dalla realtà aumentata che funge da sistema di assistenza digitale.

²² ROMERO, David; STAHR, Johan. Towards the resilient operator 5.0: the future of work in smart resilient manufacturing systems.

La resilienza psicologica si riferisce alla capacità di un operatore di affrontare crisi emotive. Questo tipo di resilienza può essere supportato dalla Realtà Virtuale la quale offre un ambiente sicuro per la gestione dei rischi e delle crisi.

Progettare la resilienza del sistema con l'operatore 5.0 nei CPS implica la progettazione di celle di lavoro relative all'automazione adattiva e di agenti uomo-macchina autonomi e regolabili.

Nel caso in cui l'obiettivo fosse quello di evitare le interruzioni dei sistemi uomo-macchina, entrambi gli agenti dovrebbero mirare a evitare eventi indesiderati per proteggere il sistema. In questo scenario, l'Operatore Analitico 4.0 dovrà combinare l'analisi avanzata dei dati e l'intuizione umana a una Smart Machine Tool con capacità prognostiche e di gestione. Il sistema così formato creerà un "sistema cognitivo congiunto" focalizzato sull'aumento delle capacità predittive. I due sottosistemi saranno in grado di avvisarsi reciprocamente di potenziali interruzioni a supporto di una resilienza complessiva. Se l'obiettivo è, invece, quello di resistere alle interruzioni nei sistemi uomo-macchina, le strategie di controllo della condivisione e del trading giocano un ruolo fondamentale. L'autonomia regolabile degli agenti di sistema e l'automazione adattiva del sistema stesso consente a entrambi gli agenti di modificare l'assegnazione dei compiti spostando il controllo di funzioni specifiche ogni volta che le condizioni predefinite vengono soddisfatte. In questo contesto, i diversi tipi di Operatore 4.0 possono temporaneamente svolgere compiti originariamente assegnati alla Smart Machine Tool grazie ai loro potenziamenti cognitivi e fisici. Nel caso in cui l'obiettivo fosse quello di adattarsi a un cambiamento inaspettato, gli operatori umani forniranno il massimo contributo di resilienza del sistema grazie alla loro agilità e flessibilità. Gli operatori sono in grado di contribuire alla capacità di risposta creativa grazie all'ingegno umano e alla creatività. Ad esempio, l'Operatore Sociale 4.0 può eseguire una risoluzione creativa dei problemi e collaborativa con ogni tipo di risorsa. D'altra parte, le macchine intelligenti saranno in grado di riconfigurarsi o ottimizzarsi grazie a diversi moduli di produzione disponibili in maniera rapida.

Infine, se l'obiettivo è quello di riprendersi da situazioni mai verificatesi prima è importante guardare ai progressi di "autoguarigione" compiuti dalle macchine utensili e allo sviluppo dell' "apprendimento reciproco" tra uomo e macchina. Quest'ultimo consente agli operatori umani e alle macchine intelligenti di imparare gli uni dagli altri al

fine di risolvere al meglio problemi nella prossima generazione di macchine utensili quando la funzionalità di autoriparazione non è avviabile.

Mourtzis et al. (2022)²³ attribuisce 12 competenze chiave all'Operatore 5.0

- Creative problem solving
- Digital Literacy: capacità di un individuo di trovare, valutare e comunicare informazioni attraverso la digitazione e altri media su varie piattaforme digitali.
- Capacità di utilizzo di AI e Data Analytics
- Interpretazione critica dei risultati
- Forte mentalità imprenditoriale
- Capacità di lavorare in modo sicuro sia psicologicamente che fisicamente e in modo efficiente con le nuove tecnologie
- Mentalità interculturale e disciplinare, inclusiva e orientata alla diversità
- Cybersecurity, Privacy and Data/information Mindfulness
- Abilità di gestione dell'incremento di complessità di molti requisiti e compiti simultanei
- Capacità di comunicazione con operatori umani, sistemi di intelligenza artificiale attraverso diverse interfacce e piattaforme
- Mentalità aperta nei confronti di continui cambiamenti.
- Caratteristiche dell'Operatore 4.0

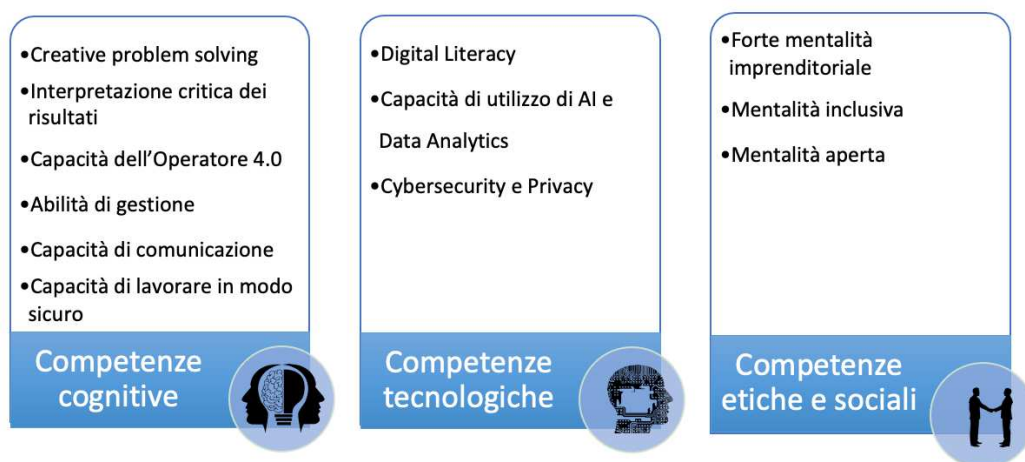


Figura 2.10: Capacità necessarie all'Operatore 5.0 divise per area tematica

²³ MOURTZIS, Dimitris; ANGELOPOULOS, John; PANOPOULOS, Nikos. Operator 5.0: A survey on enabling technologies and a framework for digital manufacturing based on extended reality.

2.4 Preoccupazioni e previsioni per il futuro del lavoratore

Secondo Àvila-Gutiérrez et al. (2021)²⁴ l'aumento del grado di digitalizzazione negli impianti industriali comporta una maggiore complessità dei compiti quotidiani degli operatori umani. I lavoratori dovranno essere altamente flessibili e dimostrare capacità di adattamento in un ambiente di lavoro dinamico. Essi dovranno usare le loro capacità uniche per innovare e prepararsi ad ambienti di lavoro completamente nuovi (Danys et al., 2022)²⁵.

Gli operatori umani, inoltre, saranno una parte centrale dei futuri sistemi di produzione, grazie alle loro capacità cognitive come il coordinamento, la supervisione e il processo decisionale. Mentre aumenteranno le attività dei dispositivi al fine di coordinare e organizzare le risorse produttive, nonché il controllo e il monitoraggio di complessi sistemi di produzione (Rauch et al., 2020)²⁶. In quanto, sebbene i recenti progressi nella tecnologia dell'informazione possano creare un'impressione fuorviante di mettere le macchine al di sopra degli esseri umani, la creatività umana è, e rimarrà sempre, la parte più importante della produzione. I recenti progressi in tecnologie come CPS, IoT, AI, i paradigmi Edge e Cloud computing possono sicuramente migliorare i sistemi di produzione, ma è l'intervento umano e la supervisione che creano il livello di flessibilità atteso (Zolotová et al., 2020)²⁷.

L'operatore umano viene infatti considerato come un supervisore in grado di controllare il sistema e rispondere alle richieste di decisione con risoluzioni perfette (Palasciano et al., 2021)²⁸.

Un altro compito molto importante è il controllo e il monitoraggio, nonché il processo decisionale, in caso di incertezze nella produzione. Tuttavia esiste il rischio che i lavoratori si limitano a 'fare attenzione alle macchine' in lavori a basso salario che

²⁴ ÁVILA-GUTIÉRREZ, María Jesús; AGUAYO-GONZÁLEZ, Francisco; LAMA-RUIZ, Juan Ramón. Framework for the development of affective and smart manufacturing systems using sensorised surrogate models.

²⁵ Ibidem

²⁶ Ibidem

²⁷ Ibidem

²⁸ Ibidem

richiedono poche competenze e godono di poca autonomia. I lavoratori in ruoli così a bassa discrezione lavorerebbero essenzialmente in "modalità standby", una situazione in cui è probabile che le loro abilità si atrofizzino. Se questo modello diventasse la forma dominante di organizzazione del lavoro, l'ideale di un futuro potenziante e altamente qualificato in una comunità manifatturiera socialmente sostenibile che sta al centro del concetto di "fabbrica dell'apprendimento" sarebbe compromesso (Taylor et al., 2020) ²⁹.

Una ricerca ha evidenziato come i lavoratori vorrebbero essere maggiormente coinvolti nel luogo di lavoro e nella progettazione della produzione pensando che la partecipazione avrebbe diminuito i problemi che devono affrontare nel loro lavoro. Il potenziale delle piattaforme di fabbrica virtuale dovrebbe essere utilizzato per sviluppare pratiche di progettazione partecipata coinvolgenti e influenti. Quando si sviluppano le soluzioni è importante coinvolgere i lavoratori e sviluppare le pratiche di lavoro in parallelo con le soluzioni tecniche per responsabilizzare i lavoratori e coinvolgere la comunità di lavoro. Tuttavia, viene reso noto che le persone sono diverse e non tutti i lavoratori sono o devono essere attivi nella condivisione delle conoscenze e nella progettazione partecipata (Kaasinen et al. 2020)³⁰.

La collaborazione uomo-robot aumenta l'efficienza della produzione e migliora la risoluzione dei problemi grazie ad un accesso più rapido e intuitivo a dati informazioni, competenze e conoscenze disponibili sul posto di lavoro. Alla fine si stabilisce un paradosso: i lavoratori, il cui lavoro può ottenere i maggiori benefici, sono anche quelli che possono osservare un deterioramento delle loro condizioni di lavoro, o addirittura perdere il lavoro se lo scenario 'attrezzaggio' si evolve in maniera incontrollata verso lo scenario 'automazione'. Inoltre è stata svolta un'indagine nella quale è sono state segnalate implicazioni significative, quali l'alienazione del lavoratore, un maggiore controllo con conseguente libertà e autonomia ridotta (Longo et al. 2020)³¹. Allo stesso modo è stato evidenziato come la raccolta di dati personali aumenta i problemi di privacy, provocando così resistenze al cambiamento soprattutto da parte di lavoratori con una mentalità vecchia o con stress lavoro correlato. Inoltre, spesso, soprattutto gli operatori

²⁹ TAYLOR, Mark P., et al. Operator 4.0 or Maker 1.0? Exploring the implications of Industrie 4.0 for innovation, safety and quality of work in small economies and enterprises.

³⁰ KAASINEN, Eija, et al. Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions.

³¹ Ibidem

esperti hanno difficoltà ad adattarsi ai nuovi strumenti digitali e a sfruttare tutto il loro potenziale. Molti possono sentirsi lasciati indietro e minacciati da questi nuovi strumenti digitali. Investire in attività di miglioramento delle competenze può mitigare questo problema assicurando agli attuali dipendenti che la loro esperienza è apprezzata e che l'azienda sta investendo in loro e nel loro futuro. Il cambiamento tecnologico comporta anche un'evoluzione a livello di ruolo e capacità degli operatori, spesso il lavoratore non ha le conoscenze adeguate per supportare la nuova riforma tecnologica (Wuest et al., 2020)³².

Una soluzione è quella di vedere nell'ambiente che fornisce ai bambini giochi e giocattoli un certo vantaggio esso infatti educa le giovani generazioni all'adattamento al concetto di Industria 4.0, consentendo loro di crescere e giocare con le nuove tecnologie, tablet, smartphone, dispositivi IoT, ecc. (Zolotová et al., 2020)³³

Nel complesso, quindi, i produttori, gli educatori e i responsabili politici devono lavorare insieme per affrontare questo divario critico di competenze digitali che minaccia la resilienza delle operazioni di produzione essenziali non solo di fronte a interruzioni significative come il COVID-19, ma anche su scala più ampia in futuro.

³² WUEST, T., et al. Empowering the workforce in post-COVID-19 smart manufacturing systems, Smart Sustain.

³³ Ibidem

Capitolo 3

Analisi critica dello stato dell'arte

3.1 Discussione

3.1.1 Quali sono i principali cambiamenti e somiglianze tra Operatore 4.0 e Operatore 5.0 riscontrate nella letteratura?

L'Operatore 4.0 è comparso in letteratura come l'operatore del futuro, il quale crea relazioni di fiducia tra uomo e macchine, un operatore ideale partecipativo e propositivo. Le nuove tecnologie dovevano ampliare le prospettive di lavoro anche alle persone con disabilità fisiche o cognitive. Nonostante i buoni propositi l'adattamento della tecnologia alle persone non è stato soddisfacente. Le nuove tecnologie hanno preso il sopravvento e "soffocato" l'operatore. Mentre parte dei lavoratori si sono sentiti liberati da compiti noiosi e ripetitivi, un'altra parte si è sentita sopraffatta e sostituita dalla tecnologia. L'Industria 4.0 basa le sue fondamenta sulla flessibilità, sul profitto e sulla personalizzazione del prodotto, la centralità umana che doveva essere una delle sue colonne portanti è stata invece trascurata. L'Industria 5.0 al contrario punta a far riemergere il concetto di antropocentrismo all'interno dei sistemi di produzione, ponendo maggiore enfasi sull'argomento e includendo tutti gli operatori e non solo coloro che hanno possibili deficit sul lavoro. L'Operatore 5.0 è un operatore collaborativo, che vive in perfetta armonia con le nuove tecnologie utilizzando le proprie capacità fisiche, sensoriali e cognitive in un ambiente di lavoro sicuro e inclusivo mentre i sistemi tecnologici gli forniscono informazioni in tempo reale. Se da un lato l'Operatore 4.0 coopera con le macchine dall'altro l'Operatore 5.0 co-evolve con loro. Il nuovo operatore mira a una relazione di simbiosi completa con la macchina consentendo ai sistemi di produzione resilienti veramente intelligenti di trarre vantaggio non solo dalle macchine ma anche da se stesso. L'Operatore 5.0 al contrario della sua versione precedente cerca di creare un equilibrio stabile, robusto e resiliente

all'interno del sistema di produzione. Concludiamo dicendo che nella realtà dei fatti l'espressione "Operatore 5.0" non introduce un nuovo paradigma industriale e le sue tecnologie abilitanti non hanno, al momento, carattere di innovazione. Ciò che distingue il nuovo paradigma da quello precedente è il punto di vista sociale il quale mette al centro dei processi produttivi l'uomo e non le macchine, garantendo il giusto equilibrio tra vita lavorativa e privata, privacy, sicurezza e benessere.

3.1.2 Quali sono le caratteristiche fondamentali individuate nell'Operatore 5.0 all'interno della letteratura?

La seconda domanda di ricerca trova ampia risposta nella seconda parte dell'elaborato.

Il concetto di Operatore 5.0 è ancora agli inizi e si trova in fase di sviluppo sia concettuale che metodologico da parte dei ricercatori e professionisti. In letteratura tale paradigma è ancora nuovo e di conseguenza non sono ancora presenti molti documenti al riguardo. Nonostante la mancanza di contributi in questo campo, dalla letteratura si possono ricavare le tre colonne portanti dell'Operatore 5.0: resilienza, rapporto uomo-macchina ed etica.

Nel caso della resilienza è stato definito un *Operatore Resiliente 5.0* da Romero et al. nel 2021. Mentre nel caso del rapporto uomo-macchina è stato definito un *Operatore Collaborativo*. Ma, per quanto riguarda l'etica, resta ancora molto lavoro da fare.

I ricercatori sono orientati verso un approccio "incentrato sull'uomo" piuttosto di un approccio "tecno-centrato", focalizzandosi su considerazioni di carattere etico e sociale. I diritti fondamentali dei lavoratori non possono essere messi a rischio in nessuna fase della nuova rivoluzione industriale. Il benessere, non solo fisico ma anche psicologico, deve essere garantito all'interno delle nuove industrie. Gli operatori devono sentirsi parte di un sistema che li supporta e li aiuta in tutte le fasi del processo produttivo.

In questo ambito potrebbe essere definito un *Operatore "Etico e Sociale" 5.0*.

La forza lavoro di nuova generazione dovrà fare affidamento su tecnologie orientate a estendere le capacità dell'operatore senza mettere a rischio la sua autonomia, la sua privacy o la sua salute fisica e mentale. Queste nuove tecnologie dovranno essere

implementate in modo tale da non ledere la dignità del lavoratore, indipendentemente dalla sua razza, sesso, possibili deficit o età. Un altro compito assegnato alle macchine di nuova generazione sarà quello di evitare rischi associati alle modalità di lavoro, come carichi di stress eccessivi, mancanza di controllo, senso di esclusione dal sistema, tensioni tra colleghi o il rischio di una cultura di lavoro sempre disponibile che porta gli operatori ad affaticarsi in modo eccessivo. Con l'aiuto delle nuove tecnologie i sistemi di produzione dovranno promuovere la salute mentale come parte indispensabile della cultura aziendale. Questa nuova tipologia di Operatore potrebbe essere implementata grazie a sensori indossabili, Social Network aziendali e soprattutto barriere di protezione sulla sicurezza tecnologica e sulla privacy.

3.1.3 Quali sono le capacità che dovrà avere l'Operatore del futuro?

La ricerca ha evidenziato come uno dei maggiori timori associati alla crescente automazione sia la mancanza di capacità umane atte a gestire le nuove tecnologie. L'apprendimento di nuove competenze si dovrà muovere di pari passo con l'automazione e la digitalizzazione. Per la Quinta Rivoluzione Industriale si prevede che le mansioni richieste cambino ulteriormente rendendo ancora più lampante il problema del "skills gap". La forza lavoro in futuro potrebbe non essere o non sentirsi all'altezza dell'automazione e ritenersi in qualche modo sopraffatta da essa. La stessa Commissione Europea³⁴ ha messo in luce come le sue industrie siano in carenza di personale qualificato e competente per i nuovi posti di lavoro e della mancanza da parte degli istituti di formazione, di colmare tali lacune. Risulta quindi di fondamentale importanza garantire a tutti un certo livello base di conoscenza e comprensione e in particolare per le tecnologie chiave dell'Industria.

Una possibile via d'uscita da questa discrepanza di competenze sarebbe un nuovo approccio allo sviluppo tecnologico. La tecnologia potrebbe essere resa più intuitiva e di facile utilizzo, in modo che ai lavoratori non vengano richieste competenze specifiche per utilizzarla. Inoltre, la formazione dovrebbe essere sviluppata contemporaneamente a

³⁴ EUROPEAN COMMISSION. Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry.

questa tecnologia, assicurandosi così che le capacità disponibili corrispondano al meglio ai requisiti di competenze nell'industria.

Le competenze digitali, tuttavia, non sono le uniche ad essere pertinenti per i “lavoratori del futuro”.

La ricerca relativa all'Operatore 4.0 ha messo in evidenza la necessità per le industrie di implementare un sistema antropocentrico per la produzione e di dare maggiore enfasi al lato umano. Nel campo della gestione delle risorse umane, quindi, le imprese dovranno assicurarsi che i dipendenti abbiano non solo le capacità tecniche ma anche le caratteristiche umane e sociali adatte per svolgere il proprio lavoro.

I ricercatori e gli esperti prevedono che l'evoluzione digitale infatti influenzerà in modo significativo la comunicazione tra i dipendenti. Pur cooperando con robot e tecnologie abilitanti essi dovranno continuare ad essere in grado di operare in modo efficace con altri operatori all'interno e/o all'esterno del sistema di produzione.

Molti studi hanno evidenziato la richiesta da parte degli operatori di essere inclusi non solo nelle funzioni di produzione ma anche a livello di progettazione e sviluppo. Sarà quindi essenziale aumentare il livello di responsabilizzazione, partecipazione e coinvolgimento degli operatori nel raggiungimento degli obiettivi aziendali affinché essi si possano adattare al meglio all'evoluzione.

È stato evidenziato più volte nel corso della ricerca come l'aumento dell'automazione crea il potenziale per i dipendenti di aggiungere più valore affrontando problemi complessi e di pensare in modo critico. Mentre i robot saranno impegnati a svolgere una serie di attività ripetitive, semplici e pericolose, gli operatori umani potranno concentrarsi in attività più creative e complesse. Ci si aspetta quindi che i dipendenti utilizzino le proprie capacità di problem solving “creativo” sia nel processo di realizzazione della produzione personalizzata dei clienti sia nel processo di cooperazione uomo-robot.

Gli esperti hanno sottolineato l'importanza di possedere competenze tecnologiche nell'era dell'Industria 5.0, analista di dati, marketing digitale, Big Data, automazione, intelligenza artificiale e apprendimento automatico hanno già iniziato a richiedere abilità tecnologiche avanzate. Gli operatori dovranno infatti saper utilizzare e sfruttare al meglio le nuove tecnologie.

Al momento viviamo in quella che viene definita la Quarta Rivoluzione Industriale basata su nuove tecnologie come Big Data, Digital Twin, Internet of Things ecc. La perdita dei posti di lavoro tradizionali è ormai data per certa dalla comunità scientifica, gli esperti sono infatti convinti che la tecnologia distruggerà i “vecchi lavori” ma d’altra parte sono fiduciosi del fatto che l’automazione e la digitalizzazione creeranno nuovi impieghi e plasmeranno nuove opportunità anche per persone con capacità mentali e fisiche ridotte nell’ambiente di lavoro. Per esempio i robot mobili e gli esoscheletri consentiranno alle donne di esplicitare compiti in precedenza riservati agli uomini a causa della forza fisica richiesta. La digitalizzazione dei processi industriali faciliterà, il lavoro telematico, consentendo a chi vive distante dal luogo di lavoro fisico di svolgere compiti da remoto ed entrare nel mercato del lavoro aumentando di conseguenza la resilienza della produzione stessa.

CONCLUSIONI

La revisione della letteratura condotta in questo lavoro ha permesso di studiare le motivazioni che hanno spinto i sistemi di produzione ad implementare una nuova figura: l'Operatore 5.0; quali sono le differenze principali tra l'Operatore 4.0 e la sua evoluzione e quali saranno i ruoli futuri per la forza lavoro industriale, fornendo una panoramica dei principali studi. Ventitré documenti totali sono stati selezionati e analizzati per identificare le tendenze di ricerca degli ultimi anni. Tali tendenze identificate hanno evidenziato quattro principali campi di ricerca in cui gli esperti hanno concentrato i loro sforzi negli ultimi anni: caratteristiche dell'Operatore 4.0; problemi di competenza e qualificazione del personale; nuovi posti di lavoro; problemi dovuti all'implementazione delle nuove tecnologie e possibili soluzioni o innovazioni.

Il ruolo dell'Operatore 5.0 non è ancora affrontato in letteratura considerando in modo approfondito le sue caratteristiche tecniche e sociali. risultati ottenuti dall'SLR ci hanno permesso di sviluppare un quadro concettuale che indaga lo stato dell'arte attuale sull'argomento e mette in evidenza le lacune nella ricerca attuale.

I contributi alla prima domanda, che mirava a mettere in evidenza le differenze tra l'Operatore 4.0 e la sua evoluzione, mettono in luce come quella che stiamo per affrontare non sarà una rivoluzione industriale bensì un'evoluzione sociale, ci si è resi conto che il cuore pulsante dell'industria è proprio l'operatore, il quale ha capacità uniche che le macchine non potranno mai eguagliare. Per la prima volta nel corso di un'evoluzione industriale non viene chiesto all'operatore umano di adeguarsi al cambiamento, bensì viene chiesto al cambiamento di adeguarsi all'uomo.

La seconda domanda elencava le caratteristiche dell'Operatore 5.0 facendo emergere la sua vera definizione, purtroppo a causa della limitata bibliografia, molti punti non sono ancora stati studiati in modo approfondito. L'implementazione completa della nuova tipologia di operatore sarà una sfida che bisognerà affrontare al meglio in futuro.

Infine, la terza e ultima domanda poneva l'attenzione sulle capacità che saranno richieste nel prossimo futuro all'interno dei sistemi di produzione. La ricerca ha

evidenziato una crescente preoccupazione per la mancanza attuale di personale qualificato. Iniziando dagli istituti di formazione, i quali non sono ancora al passo con l'innovazione e la digitalizzazione fino ad arrivare ai sistemi di formazione all'interno dei posti di lavoro i quali non sono tutt'ora soddisfacenti. La formazione, la qualificazione e la riqualificazione sono la base dei nuovi operatori. Lo scenario del lavoro si sta evolvendo in maniera rapida, i posti di lavoro tradizionali sono già a rischio mentre i posti di lavoro innovativi sono ancora vacanti. Il mercato del lavoro, al momento non è equilibrato.

L'evoluzione è diventata ormai una costante dei nostri giorni, ogni giorno nuove tecnologie vengono implementate, nuove abilità vengono richieste, nuovi problemi sorgono e nuove soluzioni vengono trovate. In un'era digitalizzata come la nostra gestire al meglio tutti questi cambiamenti è diventata una disciplina impegnativa. L'unica certezza è che il modo in cui gli operatori abbracceranno il cambiamento determinerà il futuro dei sistemi di produzione.

BIBLIOGRAFIA

- ALMADA-LOBO, Francisco. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of innovation management*, 2015, 3.4: 16-21.
- BARTON, Martin, et al. Identification Overview of Industry 4.0 Essential Attributes and Resource-Limited Embedded Artificial-Intelligence-of-Things Devices for Small and Medium-Sized Enterprises. *Applied Sciences*, 2022, 12.11: 5672.
- BENEŠOVÁ, Andrea; TUPA, Jiří. Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 2017, 11: 2195-2202.
- PEREIRA, T.; BARRETO, L.; AMARAL, A. Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm. *Procedia manufacturing*, 2017, 13: 1253-1260.
- DOBROWOLSKA, Małgorzata; KNOP, Lilla. Fit to work in the business models of the industry 4.0 age. *Sustainability*, 2020, 12.12: 4854.
- JAMWAL, Anbesh, et al. Developing A sustainability framework for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 2021, 98: 430-435.
- RAJNAI, Zoltán; KOCSIS, István. Labor market risks of industry 4.0, digitization, robots and AI. In: *2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*. IEEE, 2017. p. 000343-000346.
- AMBROGIO, Giuseppina, et al. Workforce and supply chain disruption as a digital and technological innovation opportunity for resilient manufacturing systems in the COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 2022, 169: 108158
- ROMERO, David; STAHRÉ, Johan; TAISCH, Marco. The Operator 4.0: Towards socially sustainable factories of the future. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 139: 106128.
- CIMINI, Chiara, et al. Human-technology integration in smart manufacturing and logistics: current trends and future research directions. 2022.
- RAUCH, Erwin; LINDER, Christian; DALLASEGA, Patrick. Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 139: 105644.
- WEICHHART, Georg, et al. An agent-and role-based planning approach for flexible automation of advanced production systems. In: *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*. IEEE, 2018. p. 391-399.
- SUN, Shengjing, et al. Healthy operator 4.0: A human cyber-physical system architecture for smart workplaces. *Sensors*, 2020, 20.7: 2011.
- LONGO, Francesco; PADOVANO, Antonio. Voice-enabled Assistants of the Operator 4.0 in the Social Smart Factory: Prospective role and challenges for an advanced human-machine interaction. *Manufacturing Letters*, 2020, 26: 12-16.

- DANYŠ, Lukas, et al. Visible Light Communication and localization: A study on tracking solutions for Industry 4.0 and the Operator 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 2022, 64: 535-545.
- LONGO, Francesco; PADOVANO, Antonio; UMBRELLO, Steven. 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*, 2020, 10.12: 4182.
- SERRAS, Manex, et al. Dialogue enhanced extended reality: Interactive system for the operator 4.0. *Applied Sciences*, 2020, 10.11: 3960.
- DI PASQUALE, Valentina, et al. Smart operators: How augmented and virtual technologies are affecting the worker's performance in manufacturing contexts. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2022, 15.2: 233-255.
- PALASCIANO, Claudio, et al. A Predictive Simulation and Optimization Architecture based on a Knowledge Engineering User Interface to Support Operator 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 2021, 54.1: 331-336.
- SUAREZ-FERNANDEZ DE MIRANDA, Susana, et al. Life cycle engineering 4.0: A proposal to conceive manufacturing systems for industry 4.0 centred on the human factor (DfHFinI4. 0). *Applied Sciences*, 2020, 10.13: 4442.
- ZOLOTOVÁ, Iveta, et al. Smart and cognitive solutions for Operator 4.0: Laboratory H-CPPS case studies. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 139: 105471.
- ROMERO, David; STAHRÉ, Johan. Towards the resilient operator 5.0: the future of work in smart resilient manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 2021, 104: 1089-1094.
- MOURTZIS, Dimitris; ANGELOPOULOS, John; PANOPOULOS, Nikos. Operator 5.0: A survey on enabling technologies and a framework for digital manufacturing based on extended reality. *Journal of Machine Engineering*, 2022, 22.
- ÁVILA-GUTIÉRREZ, María Jesús; AGUAYO-GONZÁLEZ, Francisco; LAMARUIZ, Juan Ramón. Framework for the development of affective and smart manufacturing systems using sensorised surrogate models. *Sensors*, 2021, 21.7: 2274.
- TAYLOR, Mark P., et al. Operator 4.0 or Maker 1.0? Exploring the implications of Industrie 4.0 for innovation, safety and quality of work in small economies and enterprises. *Computers & industrial engineering*, 2020, 139: 105486.
- KAASINEN, Eija, et al. Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 139: 105678.
- WUEST, T., et al. Empowering the workforce in post-COVID-19 smart manufacturing systems, Smart Sustain. *Manuf. Syst*, 2020, 4.5.
- EUROPEAN COMMISSION. Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. 2021; URL: https://ec.europa.eu/info/publications/industry-50_en