

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI
(DTG)**

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE

TESI DI LAUREA

*Analisi delle barriere nell'adozione dell'industria 4.0 da parte delle SMEs del settore
moda e relative tecnologie emergenti*

RELATRICE:

PROF.SSA LAURA MACCHION

LAUREANDA:

GLORIA PIANESI

Matricola 1225261

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Indice

Introduzione	5
1. L'Industria 4.0 in relazione alle SMEs della moda	7
1.1 L'Industria 4.0 e le aziende del settore moda	7
1.2 Le tecnologie dell'Industria 4.0 e la loro applicazione nel settore moda	11
1.2.1 Robot collaborativi	12
1.2.2 Stampanti 3D	13
1.2.3 Realtà aumentata.....	13
1.2.4 Simulazione	14
1.2.5 Integrazione verticale e orizzontale	15
1.2.6 IoT industriale.....	15
1.2.7 Cloud computing	16
1.2.8 Cybersecurity	17
1.2.9 Big data.....	17
1.2.10 Applicazioni delle tecnologie 4.0 in letteratura	17
2. Metodologia	23
2.1 Definizione delle domande di ricerca e fonti consultate	23
3. Difficoltà delle SMEs del settore moda nella transizione all'Industria 4.0	27
3.1 Definizione di Industria 4.0	27
3.2 Barriere per le SMEs del settore moda nell'adozione dell'Industria 4.0	28
3.2.1 Insufficienti risorse finanziarie	29
3.2.2 Mancanza di lavoratori con le competenze tecniche necessarie	29
3.2.3 Mancanza di standardizzazione	29
3.2.4 Problematiche legate alla Cybersecurity	31
3.2.5 Scarsa conoscenza delle tecnologie 4.0 e del loro potenziale	31
3.2.6 Resistenza al cambiamento	31
3.2.7 Assenza di un piano strutturato	32
3.2.8 Mancanza di un leader con le competenze necessarie	32
3.2.9 Carenza o inadeguatezza di aiuti istituzionali	32
3.2.10 Assenza di un'infrastruttura IT consona	32
3.2.11 Vincoli temporali	33
3.2.12 Funzione R&D insufficiente	33
3.3 Soluzioni proposte in letteratura.....	33
3.4 Discussione dei risultati della ricerca e risposta alla RQ1	39
4. Servizi e tecnologie sul mercato adatte alle SMEs del settore moda	42

4.1 Tecnologie investigate e risposta alla RQ2	42
4.2 HARDWARE.....	43
4.2.1 <i>Uster Quantum 4.0</i> per il controllo della qualità dei filati.....	43
4.2.2 Stampante 3D <i>Flexilis Shoes XL</i>	44
4.2.3 Macchinari.....	45
4.2.3.1 Macchina tessile <i>OptiMax-i Connect</i>	45
4.2.3.2 Macchina per il taglio <i>Vector</i>	46
4.2.3.3 Pressa per la termoadesione FP ALUMINIUM	46
4.2.4 Robot	47
4.2.4.1 Veicolo a guida automatizzata PF3	47
4.2.4.2 Robot collaborativo <i>HelMo</i>	48
4.2.4.3 Robot collaborativo X-BOT.....	49
4.3 SOFTWARE	50
4.3.1 Soluzioni personalizzate di Cross-Reality	50
4.3.2 <i>Yarnbank</i> , banca dati di filati e tessuti.....	51
4.3.3 AISDetector, software per il controllo qualità.....	51
4.3.4 Software gestionali (ERP)	52
4.3.4.1 WU-BAGS, l'ERP specifico per la produzione di borse e accessori moda	52
4.3.4.2 WEARUP, software gestionale per calzaturifici.....	53
4.3.5 Applicazioni per design e prototipazione	53
4.3.5.1 <i>2DCad</i> per la progettazione di capi d'abbigliamento.....	53
4.3.5.2 <i>ICad3D+</i> per il design delle calzature	54
4.3.5.3 SDS-ONE APEX, software per il design realistico	55
4.3.5.4 <i>VisionPLM</i> per la gestione delle operazioni antecedenti la produzione.....	55
4.3.5.5 CREATE DESIGN, applicazione per il design di prodotti moda	56
4.3.6 Controllo della produzione in real-time.....	57
4.3.6.1 Software DPM per il controllo delle macchine tessili.....	57
4.3.6.2 OEE, software in cloud per monitorare lo stato dei macchinari	57
Conclusioni	59
Bibliografia	62
Sitografia	67
Indice delle Tabelle	69
Indice delle Figure	70

INTRODUZIONE

Il concetto di “Industria 4.0” è stato introdotto per la prima volta in Germania nel 2011 (Majumdar et al., 2021); da allora si è rapidamente evoluto insieme alle tecnologie che lo caratterizzano, andando gradualmente a definire la quarta rivoluzione industriale.

Diverse istituzioni ne hanno colto rapidamente l’importanza, promuovendo in vari modi l’implementazione delle tecnologie emergenti. Nel 2016 il MISE ha pubblicato il “Piano Nazionale Industria 4.0”, che illustra le tecnologie abilitanti, gli investimenti e le agevolazioni per l’adozione di tecnologie 4.0 da parte delle imprese italiane, che potranno attendersi benefici quali maggiore flessibilità, velocità e produttività, oltre che una migliore qualità dei prodotti e un aumento della competitività a livello globale.

Tuttavia diverse evidenze, come il report europeo DESI 2022, hanno evidenziato come le imprese stiano riscontrando delle difficoltà nella transizione all’Industria 4.0; in particolare il settore della moda risulta tra i meno digitalizzati. Questo è caratterizzato da una domanda di mercato di difficile previsione e da un livello di competitività globale crescente (Braglia et al., 2020 ; Yang et al., 2023).

Le piccole e medie imprese (SMEs) dell’industria della moda, a differenza delle grandi multinazionali, hanno sempre più difficoltà a soddisfare un mercato dinamico e esigente; per queste realtà l’adozione di tecnologie e modelli di business 4.0 sembrerebbe essenziale per la sopravvivenza aziendale.

In quest’ottica, la seguente trattazione vuole ampliare la documentazione letteraria rispondendo alle seguenti domande di ricerca:

- RQ1: Quali sono le difficoltà riscontrate dalle SMEs del settore moda nell’implementazione delle nuove tecnologie?
- RQ2: Quali sono le tecnologie in linea con l’I4.0 attualmente presenti sul mercato che rispondono alle esigenze del settore moda?

La prima Research Question viene affrontata tramite revisione letteraria, cercando di unificare le evidenze trovate e fornire una nuova prospettiva.

Si ritiene come lo studio delle difficoltà da parte delle SMEs possa accrescerne la consapevolezza sulle condizioni e sui limiti - sia interni che esterni - e possa costituire un punto di partenza per delineare un piano di transizione all’Industria 4.0.

Per rispondere alla RQ2 vengono interrogate diverse fonti alla ricerca di tecnologie specifiche per il settore moda. Vengono riportati 8 hardware e 12 software in linea con i principi 4.0 e con le esigenze delle aziende in esame.

La lista di tecnologie proposte non è conclusiva né tantomeno completa, ma vuole offrire una panoramica delle soluzioni e dei relativi provider in linea con l'Industria 4.0, affinché le SMEs possano avere un'idea concreta delle tecnologie attualmente presenti sul mercato.

1. L'INDUSTRIA 4.0 IN RELAZIONE ALLE SMEs DELLA MODA

Le SMEs del settore moda devono affrontare un mercato sempre più esigente e dinamico; per soddisfare la domanda è necessaria l'adozione dei principi dell'Industria 4.0. Tuttavia diversi report istituzionali rivelano come i settori del fashion e del footwear siano tra i meno digitalizzati.

Viene quindi proposta una panoramica delle tecnologie in linea con l'Industria 4.0, ovvero robot autonomi e collaborativi, stampanti 3D, realtà aumentata, simulazione, integrazione verticale e orizzontale, IoT industriale, Cloud computing, Cybersecurity, Big Data, riportando per ognuna le principali caratteristiche.

Si riportano infine le applicazioni di tecnologie 4.0 nell'industria della moda trovate in letteratura.

1.1 L'industria 4.0 e le aziende del settore moda

Ormai adottato e riconosciuto globalmente, il termine "Industria 4.0" è stato introdotto in Germania nel 2011, nell'ambito di una iniziativa volta ad accrescere la competitività dell'industria manifatturiera tedesca (Majumdar et al., 2021).

Dal 2011 il concetto di industria 4.0 (I4.0) si è rapidamente evoluto insieme alle tecnologie che lo caratterizzano, andando gradualmente a definire la quarta rivoluzione industriale.

Diverse istituzioni ne hanno colto rapidamente l'importanza, promuovendo in vari modi l'implementazione delle tecnologie emergenti.

Nel 2016 il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) ha pubblicato il "Piano Nazionale Industria 4.0", che illustra le tecnologie abilitanti, gli investimenti e le agevolazioni per l'implementazione di tecnologie 4.0 da parte delle imprese italiane, che potranno attendersi i seguenti benefici:

- ◆ Maggiore flessibilità attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala;
- ◆ Maggiore velocità dal prototipo alla produzione in serie;
- ◆ Maggiore produttività attraverso minori tempi di set-up, riduzione degli errori e riduzione del fermo macchina;
- ◆ Migliore qualità dei prodotti e riduzione sensibile degli scarti;
- ◆ Competitività del prodotto a livello nazionale e globale.

Questi potrebbero risolleverebbe notevolmente l'industria del fashion e delle calzature, basata in gran parte su piccole e medie imprese (SMEs) che operano in un mercato dinamico, sempre più competitivo, con prodotti aventi un ciclo di vita breve e la cui domanda risulta altamente imprevedibile (Braglia et al., 2020 ; Yang et al., 2023).

Il cliente finale richiede prodotti con un crescente grado di personalizzazione e per questo alcune imprese hanno adottato la personalizzazione di massa, che cerca di combinare i bassi costi della produzione di massa con la flessibilità della produzione personalizzata.

Così facendo è però necessario produrre lotti più piccoli e diversi tra loro, rendendo il livello di organizzazione, integrazione, coordinazione e comunicazione più complesso e dipendente dalla condivisione di informazioni in real-time. (Coito et al., 2020)

Questo ha portato ad un incremento delle difficoltà nella gestione della produzione e, di conseguenza, a tempistiche molto lunghe, tipicamente di sei mesi dalla prototipazione all'esposizione del prodotto al cliente finale (Braglia et al., 2020).

Secondo Braglia et al. (2020), l'implementazione dell'Industria 4.0 permetterebbe a queste aziende di diminuire il time-to-market di un nuovo prodotto, mantenendo comunque un elevato livello di personalizzazione e permettendo una buona competitività sul mercato.

Nonostante i chiari benefici, le SMEs del fashion e del settore calzaturiero stanno riscontrando diverse difficoltà nell'adozione dei principi I4.0.

Il report del *Digital Economy and Society Index* (DESI 2022) mostra come nel 2021 solo il 55% delle SMEs europee raggiungeva un livello base di tecnologie digitali, dove con "livello base" si intende l'adozione di almeno 4 tecnologie rientranti nelle categorie riportate in **Tabella 1**.

Tecnologie digitali abilitanti I4.0 – DESI 2022	
Electronic information sharing	e-Invoices
Social media	ICT for environmental sustainability
Big data	Selling online
Cloud	e-Commerce turnover
AI	Selling online cross-border

Tabella 1. Categorie di tecnologie abilitanti I4.0 (elaborazione propria dai dati DESI 2022)

Secondo il *Percorso per il decennio digitale (2021)*, istituito dal parlamento europeo per garantire la competitività delle imprese UE, almeno il 75% di queste deve fare uso di cloud computing, big data e intelligenza artificiale e almeno il 90% delle SMEs deve raggiungere un livello base di intensità digitale per il 2030.

Nel DESI 2022 viene riportato uno scenario che differisce notevolmente dalla percentuale di implementazione desiderata per il 2030, soprattutto se si guarda alle differenze tra grandi imprese e SMEs riportate in **Figura 1**.

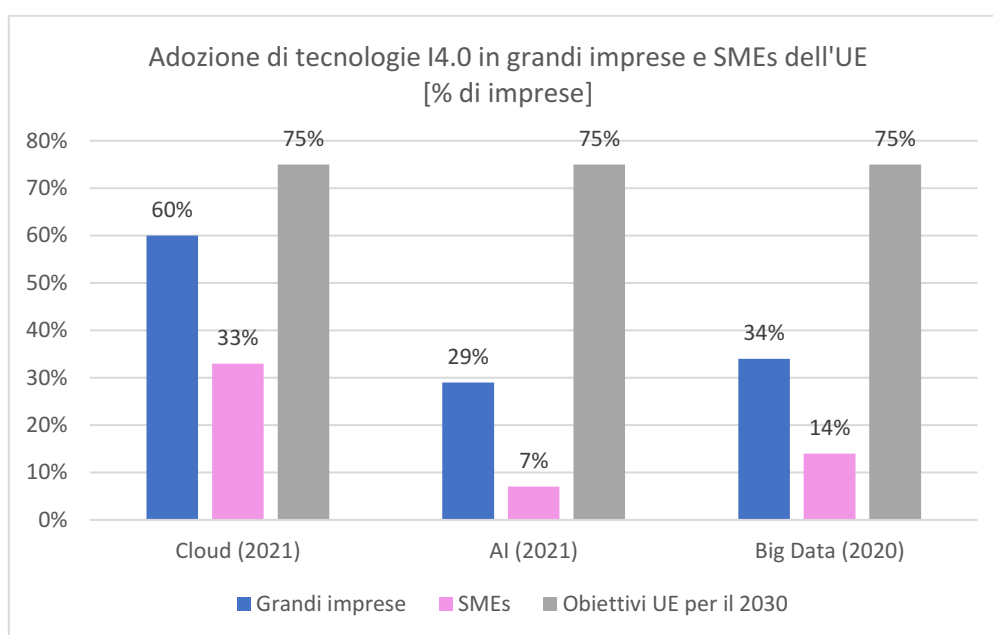


Figura 1. Implementazione di tecnologie Cloud, AI e Big Data in grandi imprese e SMEs dell'UE (elaborazione propria dai dati DESI 2022)

Solo il 33% delle SMEs ha adottato tecnologie Cloud, il 7% fa uso di intelligenza artificiale e il 14% raccoglie e analizza Big Data.

Il report DESI 2022 mostra inoltre come, tra le varie SMEs, quelle che operano nel settore manifatturiero - nel quale rientra l'industria tessile e calzaturiera - sono tra le meno digitalizzate.

Nei grafici riportati di seguito (**Figure 2,3,4**) si nota come, tra i 10 settori su cui è stata svolta l'indagine, il settore manifatturiero si trovi all'ottavo posto per l'utilizzo di servizi cloud

computing con il 32% delle aziende che ne fanno uso, all'ultimo posto per l'utilizzo di Big data, con il 10%, e al sesto posto per l'implementazione di intelligenza artificiale con il 7%.

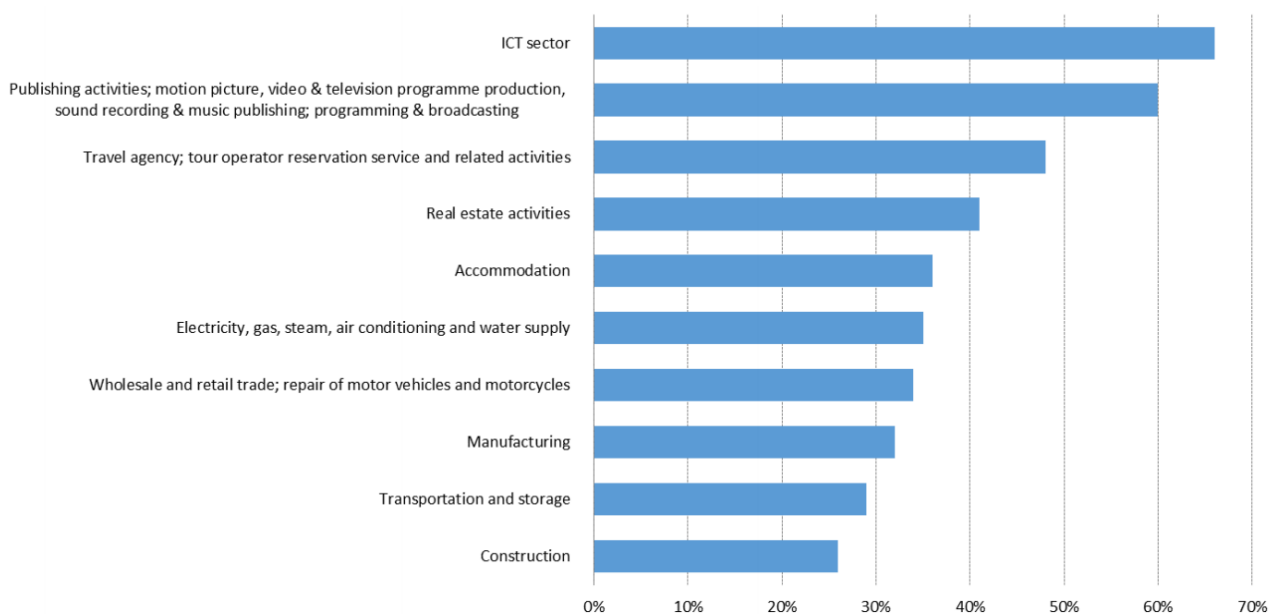


Figura 2. Imprese che utilizzano tecnologie di Cloud computing per settore, 2021 (DESI 2022, pp. 53)

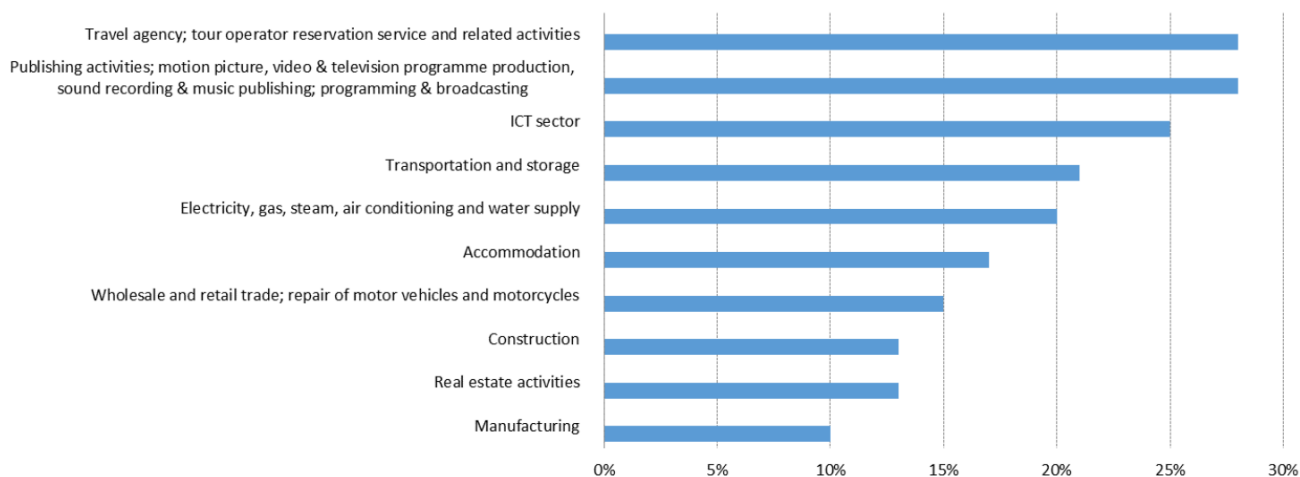


Figura 3. Imprese che analizzano big data per settore, 2020 (DESI 2022, pp. 54)

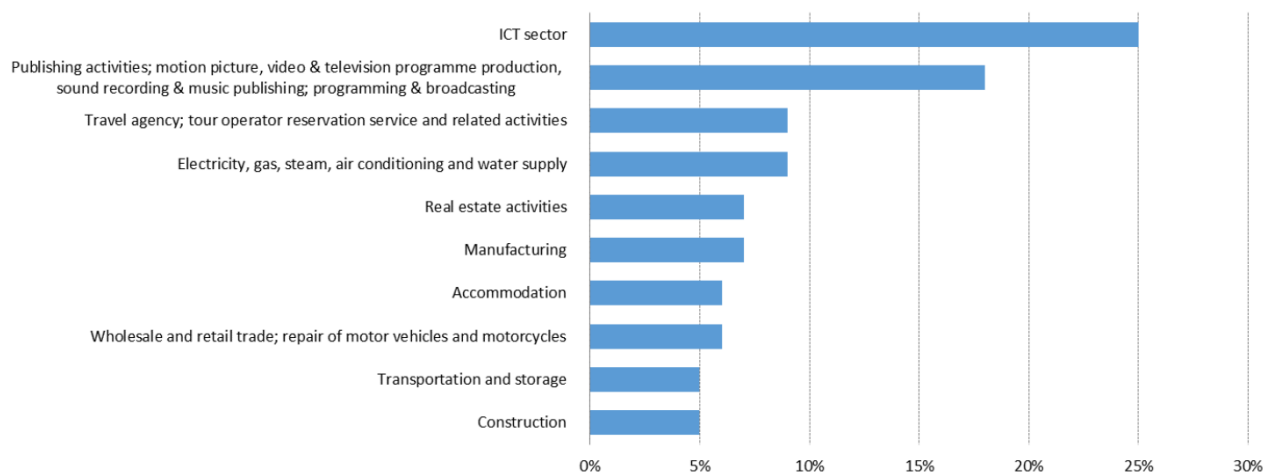


Figura 4. Utilizzo di tecnologie AI per settore industriale, 2021 (DESI 2022, pp. 56)

1.2 Le tecnologie dell'Industria 4.0 e la loro applicazione nel settore moda

Il *Piano Nazionale Industria 4.0* indica nove tecnologie chiave per l'implementazione dell'I4.0, riportate anche in diversi articoli tra cui Alcàcer & Cruz-Machado (2019), Bai et al. (2020) e Dal Forno et al. (2022). Queste, come si può vedere in **Figura 5**, sono:

- ◆ Robot autonomi e robot collaborativi;
- ◆ Stampanti 3D;
- ◆ Realtà aumentata;
- ◆ Simulazione;
- ◆ Integrazione orizzontale e integrazione verticale;
- ◆ IoT industriale;
- ◆ Cloud;
- ◆ Cyber-security;
- ◆ Analisi di Big Data.

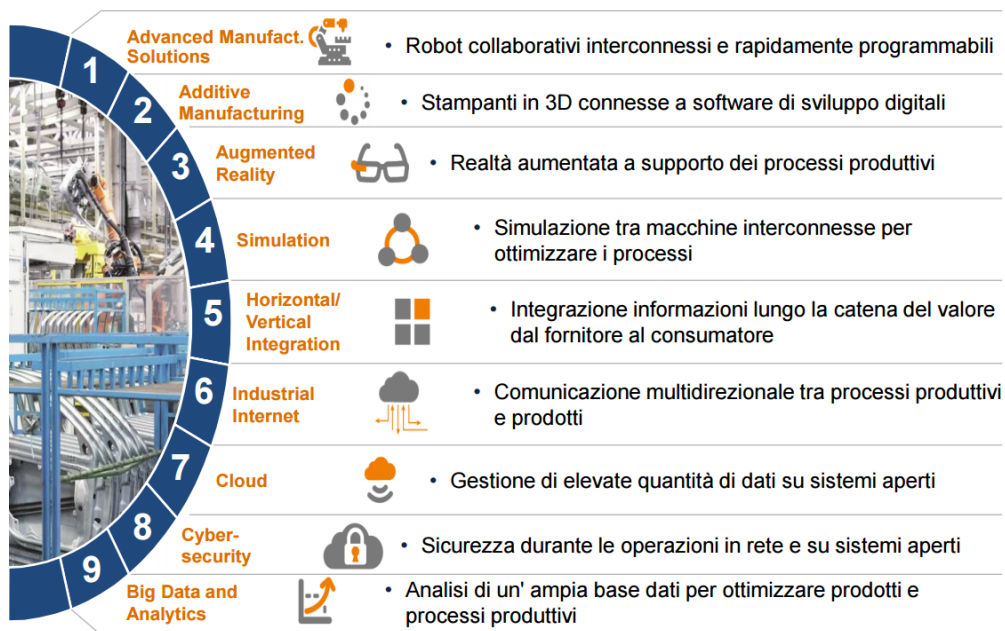


Figura 5. Tecnologie abilitanti I4.0 (Piano nazionale industria 4.0, 2016)

1.2.1 Robot collaborativi

Per raggiungere l’alta flessibilità e grado di personalizzazione richiesti dal mercato, l’industria del settore moda richiede robot riconfigurabili automaticamente (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

I robot completamente autonomi sono in grado di compiere decisioni e operazioni in un ambiente dinamico senza l’interazione con un operatore.

Nell’industria tessile - per sopperire alla crescente scarsità di forza lavorativa - si è registrato un aumento nell’utilizzo di robot. Questi vengono impiegati principalmente nelle fasi di produzione, logistica e operazioni di magazzino (Dal Forno et al., 2023).

Una particolare categoria di robot sono i *cobot* (da “collaborative robots”), progettati per lavorare a stretto contatto con l’uomo, assistendolo in maniera cooperativa nello svolgimento di attività quali piegare e confezionare gli articoli, spostare pacchi, preparare lotti, operazioni di assemblaggio (Alcácer & Cruz-Machado, 2019 ; Dal Forno et al., 2023).

1.2.2 Stampanti 3D

La stampa 3D, spesso chiamata *additive manufacturing*, si riferisce a tutta una serie di tecnologie capaci di trasformare un modello virtuale in un oggetto reale, depositando strati successivi di materiale dal basso verso l'alto (Bai et al., 2020).

Jimeno-Morenilla et al. (2021) hanno notato come si ha un uso crescente della stampa 3D nelle aziende calzaturiere - soprattutto in fase di prototipazione - in quanto riduce i tempi di design e produzione, con costi minori riguardanti l'inventario, il packaging e il trasporto.

Alcácer & Cruz-Machado (2019) sottolineano altri vantaggi quali la possibilità di stampare un componente direttamente da file CAD, produrre pezzi con elevato grado di personalizzazione senza l'acquisto di nuovi utensili, costi di produzione contenuti.

1.2.3 Realtà aumentata

La realtà aumentata (o realtà virtuale) è una tecnologia che utilizza devices elettronici per visualizzare un ambiente reale arricchito con oggetti virtuali (Bai et al., 2020).

Lo scopo della realtà aumentata è quindi quello di incrementare la performance dell'uomo, fornendo le informazioni - dinamiche e in real-time - necessarie per svolgere una determinata operazione (Alcácer, V & Cruz-Machado, 2019).

Alcuni studi, come Braglia et al. (2020) e Dal Forno et al. (2023), evidenziano come l'implementazione della realtà virtuale nelle postazioni di lavoro diminuisce i tempi di produzione, supportando gli addetti con informazioni visive su alcune mansioni, riportando le procedure step by step, e fornendo informazioni quali la posizione dei diversi utensili, con relativa descrizione e funzionalità.

Come riconosciuto da Alcácer e Cruz-Machado (2019), la realtà aumentata trova applicazioni in moltissimi campi aziendali, elencati in **Figura 6**.

La realtà virtuale può offrire assistenza ai lavoratori nelle operazioni di manutenzione, riparazione e controllo attraverso istruzioni testuali, visive e/o uditive; permette comunicazione e collaborazione durante le fasi di progettazione e produzione; offre la possibilità di assistenza da remoto, utile soprattutto per imprese con impianti dislocati. Può essere utilizzata per aiutare i lavoratori in situazioni di decision making, combinando l'esperienza fisica con informazioni estratte dai database in real-time e di accedere rapidamente a documentazioni come manuali, disegni o modelli 3D.

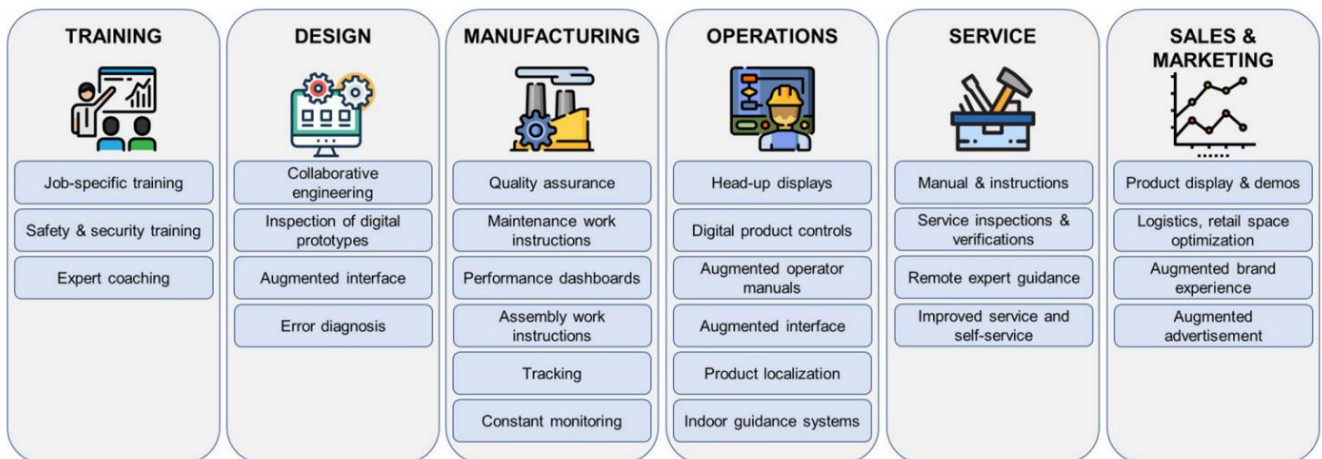


Figura 6. Applicazioni della realtà aumentata (Alcácer e Cruz-Machado, 2019)

La realtà aumentata è anche un ottimo strumento da affiancare alla formazione del personale. Fornisce, ad esempio, istruzioni step-by-step per svolgere una specifica mansione. Nell'ambito della vendita e del marketing, mostrare un prodotto utilizzando la realtà virtuale rende l'esperienza più attrattiva per il cliente, chiara e completa. Anche la produzione può beneficiarne, fornendo le opportune informazioni al momento giusto per evitare errori ed aumentare la produttività. Riguardo la logistica, può aumentare l'efficienza nei processi di raccolta merci all'interno dei magazzini, suggerendo il percorso migliore. Inoltre può essere utilizzata come strumento per monitorare i macchinari, elaborando le informazioni ottenute dai sistemi di management/controllo e dai sensori presenti sulle attrezzature.

1.2.4 Simulazione

Il termine *simulazione* indica un'operazione di imitazione di un sistema o processo reali tramite l'utilizzo di un computer (Bai et al., 2020).

Le simulazioni si rivelano particolarmente utili per le aziende del fashion, dove nuovi concetti, design, sistemi e operazioni possono essere simulati prima della loro reale implementazione, permettendo di raccogliere dati e informazioni sulla performance senza interferire con il vero running system.

Le simulazioni possono essere sia offline che online.

Le simulazioni online - se integrate nel sistema IT - hanno la potenzialità di ottimizzare il controllo delle decisioni e supportarle in real-time (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Negli ultimi anni sta crescendo un nuovo modello di simulazione altamente fedele, basato sul concetto di *digital twin* (“gemello digitale”).

Grazie a questo si possono studiare diverse alternative, trovando la soluzione ottimale per ogni fase di ciclo di vita del prodotto (Braglia et al., 2020).

Nell’industria della moda le simulazioni si sono rilevate particolarmente utili in fase di prototipazione, dove è possibile creare il prototipo virtuale di un indumento, simulando con fedeltà il suo aspetto anche in base ai movimenti del corpo (Dal Forno et al., 2023).

1.2.5 Integrazione verticale e orizzontale

Come sottolineato da Jimeno-Morenilla et al. (2021), non è possibile sfruttare al meglio le tecnologie I4.0 se non è garantita l’interoperabilità e l’integrazione dei sistemi.

Fase ingegneristica, produzione, marketing e operazioni di supply chain devono convergere in scenario collaborativo attraverso l’integrazione dei sistemi, le cui fondamenta risiedono nella condivisione di dati e informazioni in real-time (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Nell’ambito dell’industria 4.0 l’integrazione ha due principali approcci: orizzontale e verticale.

L’integrazione orizzontale riguarda le aziende della supply chain; è il fondamento per una stretta collaborazione e prevede lo scambio di dati e informazioni. (Braglia et al., 2020)

L’integrazione verticale riguarda l’integrazione all’interno dell’azienda stessa, necessaria per scambiare informazioni e collaborazione tra i differenti livelli della gerarchia dell’impresa, come pianificazione aziendale, programmazione della produzione, management.

Alcuni autori, come Braglia et al. (2020) indicano un terzo tipo di integrazione, chiamata end-to-end. Questa si concentra su tutta la durata della vita del prodotto, raccordando la fase di design, produzione e logistica, fino ad arrivare al cliente finale.

1.2.6 IoT industriale

Con IIoT (“Industrial Internet of Things”) si indicano i diversi hardware che lavorano insieme attraverso la connessione all’Internet of Things al fine di migliorare la produzione e altri processi industriali (Bai et al., 2020).

L'IoT industriale permette quindi la comunicazione in real-time tra le varie aree aziendali e i macchinari, che possono essere monitorati in qualunque momento, in qualunque luogo e con qualunque dispositivo collegabile ad internet (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

È evidente come l'IIoT sia essenziale per ottenere l'integrazione tra le aziende della supply chain e all'interno dell'impresa stessa.

1.2.7 Cloud computing

Il termine *cloud* indica l'insieme di server - e dei software che si eseguono su essi - ai quali si può accedere tramite internet.

Grazie al cloud computing le imprese possono ottenere diversi servizi e applicazioni senza possedere server fisici ma utilizzando una macchina virtuale, con conseguente riduzione dei costi.

Essendo accessibili da qualsiasi device collegabile ad internet, i servizi cloud permettono la condivisione istantanea di informazioni da parte di qualsiasi attore all'interno della supply chain (Braglia et al., 2020).

Nel loro articolo, Alcácer e Cruz-Machado (2019) descrivono i tre principali servizi di cloud computing:

- Software-as-a-Service (SaaS). Le applicazioni SaaS offrono software come server virtuali, networks o spazio di archiviazione in hosting su server cloud. Gli utenti possono accedervi attraverso Internet, senza la necessità di alcuna installazione.
- Platform-as-a-service (PaaS). È un servizio che permette di sviluppare e utilizzare applicazioni utilizzando strumenti di sviluppo, infrastruttura, sistemi operativi e linguaggi di programmazione offerti dai provider. Rispetto al possedere un server fisico, l'impresa non deve preoccuparsi della disponibilità delle risorse (come spazio di archiviazione) e degli aspetti manutentivi.
- Infrastructure-as-a-Service (IaaS). Questa tipologia di servizio permette alle aziende di "affittare" le risorse virtuali necessarie assieme a degli hardware fisici, sempre gestiti dai provider di cloud computing. Questo servizio permette di abilitare applicazioni come CAD con costi minori.

1.2.8 Cybersecurity

Con “Cybersecurity” si indicano tutte quelle tecnologie atte a proteggere, rilevare e rispondere agli attacchi di carattere informatico.

L'utilizzo di IoT e servizi Cloud portano molti benefici alle aziende, ma aumentano le possibilità di cyber-attacchi.

Questi sono pericolosi non solo per la possibile alterazione o cancellazione dei dati, ma potrebbe essere compromessa anche la sicurezza dei lavoratori stessi (Alcácer, e Cruz-Machado, 2019).

1.2.9 Big Data

Con *Big Data* si fa riferimento ad un grande quantità di dati, provenienti da dispositivi eterogenei interconnessi lungo l'intera supply chain.

Affinché questi siano di utilità per l'impresa è necessaria la loro analisi, che li trasforma in informazioni preziose per la ricerca di strategie più competitive (Dal Forno et al., 2023) e assistendo i manager nel prendere decisioni più razionali, informate e responsive.

Raccolti all'interno dell'intera supply chain, i dati possono fornire informazioni affidabili riguardo la performance di ciascun partner (Braglia et al., 2020).

1.2.10 Applicazioni delle tecnologie 4.0 in letteratura

Di seguito vengono riportati i casi applicativi trovati in letteratura di tecnologie inerenti all'industria 4.0 nell'ambito delle imprese della moda.

Tsai et al. (2020) hanno ideato una linea di produzione completamente automatizzata per la produzione di lingue in tessuto per scarpe, servendosi di un braccio robotico in cooperazione con la macchina atta alla produzione. Il braccio robotico è in grado di posizionare e allineare il prodotto per la successiva lavorazione, utilizzando il riconoscimento per immagini. Vengono inoltre implementate le tecnologie di IIoT e Cloud computing, che permettono all'operatore di visualizzare le lavorazioni in corso e il loro stato in real-time. È stato osservato come l'utilizzo della linea di produzione automatizzata riduce drasticamente le tempistiche di produzione.

Pagano et al. (2020) hanno proposto il prototipo di una macchina automatica in grado di eseguire operazioni di incollaggio tra gli elementi che compongono una calzatura. La

macchina non richiede a priori informazioni riguardanti la geometria dei pezzi da lavorare, rendendo il processo altamente flessibile.

Recentemente Borrell et al. (2023) hanno presentato un robot collaborativo per la lucidatura di calzature realizzate a mano. Il robot si occupa di svolgere la prima fase della lucidatura su una scarpa in posizione statica, replicando una traiettoria preimpostata. Il lavoro viene poi portato a termine da un operatore. Il cobot presenta un'interfaccia grafica intuitiva per la configurazione dei parametri di lavorazione, rendendo non necessaria la presenza di personale esperto.

Santos et al. (2021) hanno progettato un sistema meccanico che automatizza la produzione di colletti e polsini per capi d'abbigliamento; il sistema è in grado di cucire e tagliare la stoffa in maniera autonoma, realizzando un valore prossimo al 100% di prodotti che rispettano i requisiti qualitativi desiderati, portando ad una riduzione dei costi e un aumento della produzione.

Il caso sperimentale di una collezione di calzature "100% digitale" viene riportato da Arribas e Alfaro (2018). Lo stilista della casa di alta moda presa in esame ha disegnato 4 diversi modelli di calzature servendosi di un software per il design 3D. Questi sono stati poi tradotti in informazioni adatte ai macchinari di produzione, tra cui la stampante 3D utilizzata per produrre i prototipi. Una volta approvati questi ultimi e terminata una prima produzione, è stato inaugurato un pop-up store "futuristico". Qui i clienti, oltre a poter interagire con le calzature e i loro prototipi 3D, avevano la possibilità di personalizzare alcune caratteristiche delle scarpe tramite un tablet in loco. Rispetto ad un iter produttivo tradizionale, si sono riscontrati diversi benefici, riassunti in **Figura 7**. Nella fase di design lo stilista ha avuto modo di avere un'immagine molto più concreta delle sue idee grazie al disegno 3D, portandolo a compiere modifiche stilistiche che solitamente sono destinate ad essere prese solo dopo la creazione del prototipo. Essendo la prototipazione una delle fasi più costose, questo ha permesso di risparmiare sia costi che tempo. L'utilizzo di un software per il design permette inoltre di tenere traccia di ogni modifica apportata al progetto. La fase di sviluppo del prodotto è risultata molto più breve, passando da otto a due mesi. La produzione è stata fatta secondo processi tradizionali, ma la presenza di un design 3D e dei prototipi stampati ha ridotto i possibili errori manifatturieri e agevolato la comunicazione con i fornitori. Per quanto riguarda la vendita al dettaglio, i clienti hanno usufruito di un servizio migliore e la possibilità di

esporre l'intera collezione in maniera virtuale ha fatto sì che questa non dovesse essere presente fisicamente per intero.

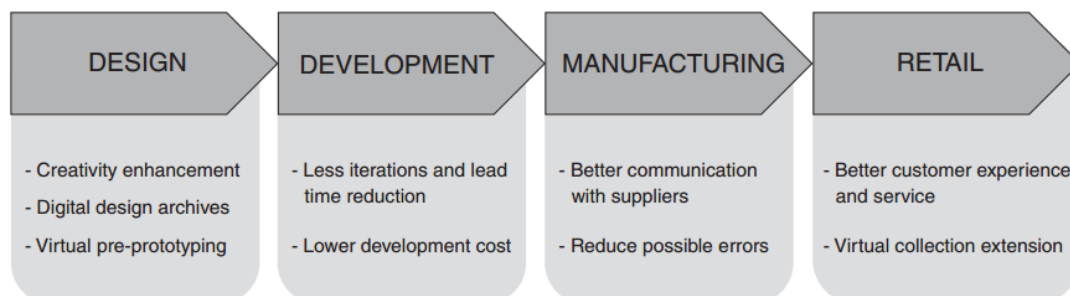


Figura 7. Benefici riscontrati nei diversi processi aziendali (Arribas e Alfaro, 2018, pp. 8)

Yang et al. (2014) hanno ideato un sistema di try-on virtuale per calzature servendosi di un device Kinect, il quale cattura colore e profondità dell'immagine da convertire in informazioni per il riconoscimento della forma e della posizione del piede. Il risultato è un sistema che mostra la calzatura virtuale sovrapposta al piede reale e ne segue i movimenti in diretta video. È un tecnologia adatta alla strategia della personalizzazione di massa, dove il cliente può esprimere la sua opinione in merito al design di un prodotto interagendo con il prototipo in real-time.

In ambito calzaturiero, Davia-Aracil et al. (2018) hanno studiato la produzione di solette anatomiche tramite stampa 3D. Questo tipo di produzione permette di raggiungere ulteriori livelli di personalizzazione, in quanto è in grado di creare geometrie non possibili con tradizionali tecniche. Si possono inoltre aggiungere funzioni aggiuntive rispetto a quella di base, quali incorporare agenti antimicrobici al materiale da stampare. Le evidenze sperimentali mostrano ottimi risultati qualitativi, oltre che un vantaggio economico.

Halbrecht et al. (2023) hanno utilizzato la stampa 3D per realizzare un tessuto distanziatore a maglia - mostrato in **Figura 8** - riproducendo fedelmente la particolare geometria che genera le proprietà di compressione proprie del tessuto, rendendolo adatto per quelle applicazioni dove si richiede l'assorbimento di energia. Il tessuto stampato è stato testato in due distinte applicazioni: come imbottitura di un paio di pantaloncini da ciclista e su una ginocchiera. Uno dei vantaggi più significativi del tessuto stampato in 3D è la possibilità di creare tessuti distanziatori curvi tridimensionali con spessore variabile, non consentita con la procedura

tradizionale. D'altra parte la sua produzione richiede più tempo e il materiale risulta più pesante.



Figura 8. Tessuto distanziatore stampato in 3D in uno stato di compressione (Halbrecht et al., 2023, pp.2)

Haleem et al. (2021) hanno progettato un sistema online per l'industria tessile che rileva la presenza di difetti all'interno dei filati. Il sistema è alimentato da un algoritmo che utilizza come input l'acquisizione di immagini. In fase sperimentale, sono stati rilevati errori con una percentuale di successo del 92%, in media più elevata rispetto al lavoro svolto da un operatore.

Huynh (2020) ha teorizzato un modello online per la rilevazione di difetti nella produzione tessile. Attualmente la maggior parte delle aziende utilizza degli operatori per l'individuazione dei difetti al termine del ciclo produttivo. Questo modello può predire le tipologie e la quantità di difetti per ogni fase produttiva in anticipo, permettendo all'impresa di prendere le giuste decisioni preventive, migliorando così la qualità dei prodotti, aumentando la produttività ed evitando sprechi di materiale e risorse economiche.

Nell'ambito dell'industria di calzature su misura, Jimeno-Morenilla et al. (2016) hanno ideato un network GNG ("Growing Neural Gas") che ricostruisce la superficie del piede per il software design a partire da informazioni ottenute tramite scannerizzazione. Questa tecnologia si è rivelata molto accurata, tollerante al rumore ed in grado di ricostruire con precisione le aree "scure" dove lo scanner non è stato in grado di ottenere informazioni, come in genere la zona del tallone.

All'interno di un'impresa tessile, Xia et al. (2022) hanno implementato un algoritmo che utilizza l'apprendimento rinforzato ("Reinforcement Learning") e i big data con lo scopo di

ricercare la miglior proporzione tra cotone ed altri materiali sintetici che minimizzi i costi senza alterare la qualità del prodotto finale.

Park et al. (2020) hanno ideato un sistema di *Cyber-Physical-Energy* che utilizza l'IIoT e i big data con l'obiettivo di risparmio energetico nel processo di tintura delle stoffe. Le informazioni derivanti da questo sistema hanno permesso una diminuzione del consumo di energia del 10,69%, che risulta una percentuale maggiore rispetto a quella stimata dall'utilizzo di nuovi – e costosi – macchinari con miglior efficienza energetica.

Calabuig-Barbero et al. (2020) hanno presentato un modello computazionale per la generazione di immagini 3D iper-realistiche applicabile all'industria delle calzature. Questa tecnologia permette la creazione di prototipi virtuali - un esempio è visibile in **Figura 9** - e, basandosi sul linguaggio JavaScript, risulta facilmente fruibile da ogni dispositivo elettronico in real-time. Nel caso sperimentale in esame, questa tecnologia ha portato ad un aumento dell'efficienza sia dal punto di vista delle tempistiche che dei costi.



Figura 9. Esempio di immagine ottenibile con il modello (Calabuig-Barbero et al., 2020, pp.12)

Le applicazioni trovate in letteratura mostrano come si possano ottenere svariati benefici dall'implementazione di tecnologie 4.0. Tuttavia nei casi studio menzionati l'approccio all'industria 4.0 da parte delle aziende è guidato da personale esperto, che ha strettamente monitorato l'azienda per tutta la durata dell'esperienza. Inoltre la maggior parte delle innovazioni introdotte ha bisogno di un'infrastruttura IT adeguata e/o ulteriori tecnologie per poter funzionare correttamente. Come discusso da Raj et al. (2020), una piccola o media impresa spesso non ha le competenze tecniche né finanziarie per poter implementare queste tecnologie e ha difficoltà ad avere chiarezza su cosa possa effettivamente beneficiare all'impresa e a quali provider rivolgersi.

2. METODOLOGIA

In questo capitolo vengono definite le domande di ricerca e si dettaglia la metodologia impiegata nella trattazione.

Sono state consultate diverse fonti: 65 articoli di interesse sono stati rilevati tramite una ricerca letteraria; vengono consultati i siti internet dei 10 migliori provider di tecnologie 4.0 secondo il ranking del 2022 pubblicato da HFS; aziende che producono software o hardware in linea con i principi 4.0 sono state ricercate nell'elenco di espositori all'ITMA 2023.

2.1 Definizione delle domande di ricerca e fonti consultate

Come discusso nel primo capitolo, nonostante i principi dell'industria 4.0 permetterebbero alle SMEs che operano nel settore moda non solo di ottenere diversi benefici, ma di sopravvivere in un mercato sempre più competitivo, queste hanno tra i più bassi livelli di implementazione di tecnologie I4.0 .

Questa trattazione mira dunque ad identificare le difficoltà nell'adozione di tecnologie 4.0 che stanno riscontrando le aziende del settore moda e ricerca soluzioni sia in letteratura che nei vari provider.

Nel corso della trattazione si cercherà di rispondere alle seguenti Research Question (RQ):

- RQ1: Quali son le difficoltà riscontrate dalle SMEs del settore moda nell'implementazione delle nuove tecnologie?
- RQ2: Quali sono le tecnologie in linea con l'I4.0 attualmente presenti sul mercato che rispondono alle esigenze del settore moda?

Per rispondere alla prima domanda si è proceduto con una ricerca tramite Scopus e Web of Science (WoS), seguendo per entrambi la stessa procedura, schematizzata in **Figura 10**:

- ◆ Ricerca tramite le parole chiave (fashion OR clothing OR textile OR footwear OR shoes) AND industry 4.0.

In Scopus la ricerca ha dato 615 risultati, mentre in WoS sono stati trovati 662 documenti.

- ◆ Applicazione dei seguenti filtri riguardanti anno di pubblicazione, tipo di documento e lingua:
 - Anno: dal 2016 al luglio del 2023
 - Tipo di documento: articolo
 - Lingua: inglese o italiano
 Scopus ha restituito 242 articoli mentre WoS 361.
- ◆ Considerando entrambe le piattaforme, sono stati rimossi gli articoli presenti in duplice copia, ottenendo un totale di 408 documenti.
- ◆ Si è deciso di considerare unicamente contributi ritenuti rilevanti secondo la classificazione delle riviste dell'Associazione italiana Ingegneria Gestionale. Sono stati considerati articoli di riviste classificate come “gold-star”, “gold” e “silver”, ottenendo 123 articoli.
- ◆ Tramite la lettura degli abstract, sono stati esclusi i documenti non inerenti alle tematiche in esame, ottenendo 71 articoli.
- ◆ La stessa procedura è stata ripetuta con la lettura dell'intero articolo, lasciando 58 contributi.
- ◆ Tramite le bibliografie degli articoli considerati, sono stati individuati ulteriori sette articoli di interesse, per cui i contributi finali considerati nella presente trattazione sono 65.

La **Figura 11** riporta il numero di contributi considerati suddivisi per anno di pubblicazione.

Per rispondere alla RQ2 sono stati ricercati provider di tecnologie in linea con i principi 4.0 servendosi delle seguenti fonti:

- ◆ Contributi letterari di cui sopra;
- ◆ Lista degli espositori all'ITMA 2023, una delle più grandi fiere internazionali dell'industria tessile e del fashion;
- ◆ Report *HFS Top 10 Rankings – Industry 4.0 Service Providers, 2022* riportato dall'istituto di ricerca HFS, che fornisce una lista dei 10 migliori provider di servizi per l'industria 4.0; le aziende vengono riportate in **Tabella 2**.

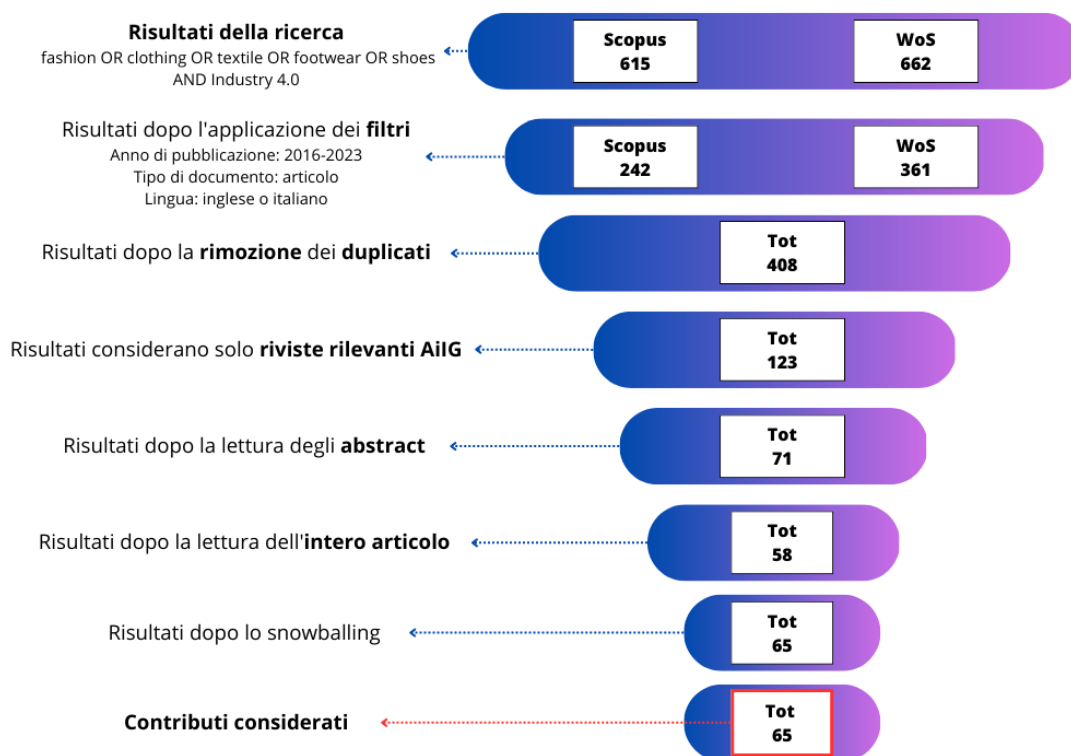


Figura 10. Funnel descrittivo dei diversi step di ricerca letteraria (elaborazione propria)

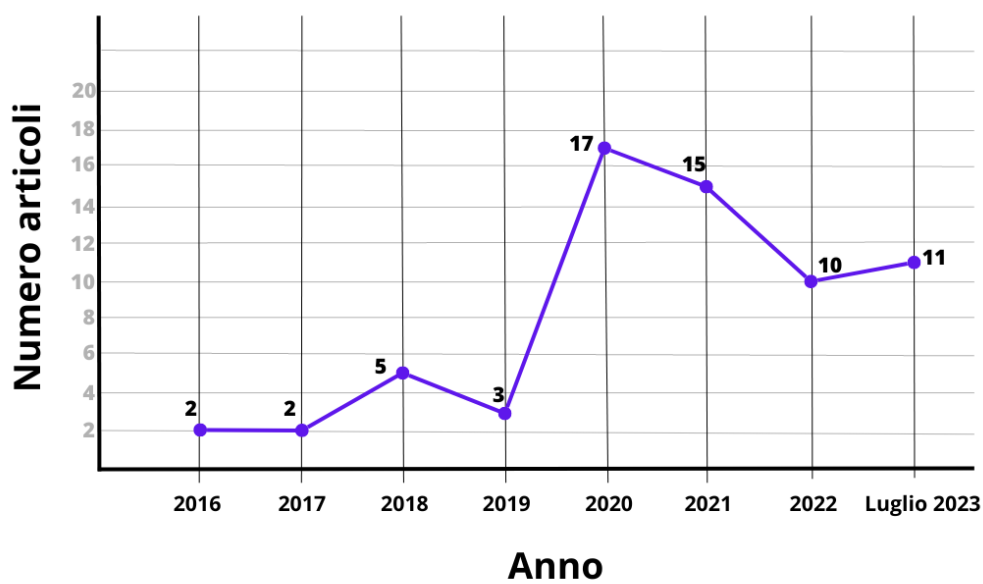


Figura 11. Numero di contributi considerati per anno di pubblicazione (elaborazione propria)

Top 10 Industry 4.0 Service Providers	
#1	accenture
#2	Capgemini
#3	KPMG
#4	IBM
#5	Tata Consultancy Services
#6	HCLTech
#7	Infosys
#8	L&T Technology Services
#9	Atos
#10	EY

Tabella 2. Top 10 provider di servizi 4.0 (elaborazione propria sulla base del report HFS, 2022)

3. DIFFICOLTA' DELLE SMEs DEL SETTORE MODA NELLA TRANSIZIONE ALL'INDUSTRIA 4.0

Il termine “Industria 4.0” individua una vera e propria rivoluzione industriale. Essendo stata teorizzata prima che diventasse effettivamente parte della realtà industriale (Majumdar et al., 2021), non vi è ancora una sua univoca definizione.

Questa peculiarità del fenomeno ne rende ancora più complicata l'adozione da parte delle SMEs del fashion e del footwear.

L'analisi della letteratura mostra come le difficoltà riscontrate dalle SMEs, che rispondono alla RQ1, risultano essere: insufficienti risorse finanziarie, mancanza di lavoratori con le competenze tecniche necessarie, mancanza di standardizzazione, problematiche legate alla cybersecurity, scarsa conoscenza delle tecnologie 4.0 e del loro potenziale, resistenza al cambiamento, assenza di un piano strutturato, mancanza di un leader con competenze necessarie, carenza o inadeguatezza di aiuti istituzionali, assenza di un'infrastruttura IT consona, vincoli temporali, funzione R&D insufficiente. Dopo aver analizzato le soluzioni proposte da altri autori, si suggerisce l'importanza dell'analisi delle barriere per una maggiore consapevolezza e del supporto di parti terze, come università, istituti di ricerca e organi governativi.

3.1 Definizione di Industria 4.0

Come introdotto nel primo capitolo, le SMEs del settore tessile e calzaturiero stanno riscontrando numerose difficoltà nell'adozione delle tecnologie abilitanti l'Industria 4.0.

Diversi autori, tra cui Castelo-Branco et al. (2019), Cimini et al. (2020) e Majumdar et al. (2021), hanno sottolineato come queste difficoltà derivino in parte dal concetto stesso di Industria 4.0, che non risulta chiaramente e univocamente definito: molte tecnologie abilitanti sono ancora in fase di sviluppo e quelle già presenti sono in continua evoluzione.

Majumdar et al. (2021) osservano come la quarta rivoluzione industriale, al contrario delle tre precedenti, è stata introdotta concettualmente prima che diventasse effettivamente parte della realtà industriale.

Sono diversi i tentativi in letteratura di definire il fenomeno, anche con lo scopo di facilitarne l'implementazione.

Castelo-Branco et al. (2019) riportano come:

“Industry 4.0 is the set of technologies, devices and processes that allow for self-sufficient production models, capable of operating in an integrated way along the several phases of the production process and along the several levels of the supply chain and able to make decentralized decisions with minimum human intervention”

Ovvero “ L’ Industria 4.0 è l'insieme delle tecnologie, dei dispositivi e dei processi che permettono la realizzazione di modelli di produzione autosufficienti, capaci di operare in maniera integrata lungo le diverse fasi del processo produttivo e attraverso i diversi livelli della supply chain e che sono in grado di prendere decisioni decentralizzate con il minimo intervento umano”.

Di grande interesse è anche la definizione di Braglia et al. (2020):

“I4.0 refers to recent technological advances where Internet and supporting technologies serve as a backbone to integrate physical objects, human actors, intelligent machines, product lines and processes across organizational boundaries to form a new kind of intelligent, networked and agile supply chain”

Quindi “I4.0 si riferisce ai recenti progressi tecnologici in cui Internet e tecnologie di supporto costituiscono la colonna portante per l’integrazione di oggetti fisici, operatori, macchinari intelligenti, linee di produzione e processi oltre i confini organizzativi per formare un nuovo tipo di supply chain intelligente, interconnessa e flessibile”.

3.2 Barriere per le SMEs del settore moda nell’adozione dell’Industria 4.0

L’individuazione delle difficoltà che ostacolano l’adozione dell’Industria 4.0 è necessaria per ricercare soluzioni consone.

Le barriere, ricercate in letteratura, sono riassunte in **Tabella 3** e dettagliate in seguito.

Prima di proseguire con la trattazione è importante precisare come solo alcune delle difficoltà riscontrate si riferiscono alle industrie del tessile, della moda o delle calzature nello specifico; parte del materiale consultato prende in esame l’intero settore manifatturiero, di cui le suddette fanno parte.

In relazione alle numerose innovazioni, tecnologie e modelli di business introdotti dall'Industria 4.0, il materiale disponibile sul settore oggetto d'indagine è ancora scarso; si è quindi deciso di esaminare anche documenti relativi alla realtà manifatturiera nel suo complesso, nonostante il settore del fashion presenta delle caratteristiche proprie, che lo distinguono da qualsiasi altro.

Per ogni contributo di questo tipo considerato è stato verificato che le nozioni trattate siano effettivamente generalizzabili o di possibile utilità alle imprese della moda.

3.2.1 Insufficienti risorse finanziarie

In generale, l'acquisizione di tecnologie 4.0 richiede significativi investimenti (Raj et al., 2020) e molte SMEs del settore moda dispongono di limitate risorse finanziarie. A questo si aggiunge la preoccupazione di non ottenere un ritorno economico in tempi brevi (Majumdar et al., 2021) e, come osservato da Horvath e Szabò (2019), molte aziende temono che gli investimenti economici per l'adozione di nuove tecnologie gravino molto di più sull'impresa rispetto al mantenimento dello status quo.

3.2.2 Mancanza di lavoratori con le competenze tecniche necessarie

L'Industria 4.0 e le relative tecnologie necessitano un alto livello di conoscenza e l'acquisizione di abilità che molti lavoratori del settore moda attualmente non hanno (Majumdar et al., 2021). Si rivelano quindi necessari corsi di formazione affinché gli operatori possano sviluppare o ampliare le loro competenze (Raj et al., 2020).

Nella loro trattazione, Cimini et al. (2020) specificano come la complessità delle nuove tecnologie e la necessità di lavoratori specializzati stia creando nuovi profili lavorativi all'interno delle aziende, a scapito delle mansioni che richiedono un basso livello di competenze, destinate progressivamente a scomparire.

3.2.3 Mancanza di standardizzazione

Autori come Gómez-Hernandez et al. (2021) e Majumdar et al. (2021) hanno sottolineato la difficoltà di realizzare un'impresa interconnessa a causa dell'incompatibilità comunicativa tra macchinari e software. È infatti comune nelle SMEs possedere macchinari di diversi produttori per eseguire differenti lavorazioni; ogni produttore utilizza un proprio codice di linguaggio e risulta quindi essenziale unificare questo aspetto.

Sezione	Barriere	Fonti
3.2.1	Insufficienti risorse finanziarie	Jimeno-Morenilla et al. (2021); Majumdar et al. (2021); Raj et al. (2020); Horváth e Szabò (2019); Mittal et al. (2018)
3.2.2	Mancanza di lavoratori con le competenze tecniche necessarie	Amaral e Pecas (2021); Fromhold-Eisebith et al. (2021); Majumdar et al. (2021); Cimini et al. (2020); Fareri et al. (2020); Raj et al. (2020); Horváth e Szabò (2019)
3.2.3	Mancanza di standardizzazione	García et al. (2022); Fromhold-Eisebith et al. (2021); Gómez-Hernandez et al. (2021) ; Majumdar et al. (2021)
3.2.4	Problematiche legate alla Cybersecurity	Majumdar et al. (2021); Raj et al. (2020); Horváth e Szabò (2019)
3.2.5	Scarsa conoscenza delle tecnologie 4.0 e del loro potenziale	Fromhold-Eisebith et al. (2021); Majumdar et al. (2021); Chen (2020); Cimini et al. (2020); Raj et al. (2020); Mittal et al. (2018)
3.2.6	Resistenza al cambiamento	Amaral e Pecas (2021); Fromhold-Eisebith et al. (2021); Cimini et al. (2020); Raj et al. (2020); Horváth e Szabò (2019)
3.2.7	Assenza di un piano strutturato	Cimini et al. (2020); Raj et al. (2020); Horváth e Szabò (2019)
3.2.8	Mancanza di un leader con le competenze necessarie	Majumdar et al. (2021); Chen (2020); Raj et al. (2020); Horváth e Szabò (2019)
3.2.9	Carenza o inadeguatezza di aiuti istituzionali	Bathia e Kumar (2023); Majumdar et al. (2021)
3.2.10	Assenza di un'infrastruttura IT consona	Amaral e Pecas (2021); Majumdar et al. (2021); Raj et al. (2020); Li et al. (2018)
3.2.11	Vincoli temporali	Fromhold-Eisebith et al. (2021); Jimeno-Morenilla et al. (2021); Majumdar et al. (2021); Horváth e Szabò (2019)
3.2.12	Funzione R&D insufficiente	Hervas-Oliver (2022); Majumdar et al. (2021)

Tabella 3. Barriere per le SMEs della moda nell'implementazione I4.0 (elaborazione propria)

3.2.4 Problematiche legate alla Cybersecurity

Il rischio di violazioni digitali è uno degli ostacoli all'implementazione più forti (Majumdar et al., 2021). Il concetto di Industria 4.0 si basa sull'acquisizione, la comunicazione e la conservazione di informazioni online; si crea un ambiente digitale altamente esposto a rischi quali attacchi hacker. Le aziende temono che, oltre a dover effettuare grandi investimenti ed assumere personale dedicato alla sicurezza informatica, vengano presi di mira i dati personali degli impiegati e informazioni riguardanti terze parti che fanno parte della supply chain (Raj et al., 2020).

3.2.5 Scarsa conoscenza delle tecnologie 4.0 e del loro potenziale

Basandosi su tecnologie in costante evoluzione, il concetto di Industria 4.0 risulta per molte SMEs di difficile comprensione (Raj et al., 2020).

Come riportato da Chen (2020), sono le stesse aziende ad ammettere di non avere le informazioni e le competenze necessarie per sfruttare i benefici potenziali delle tecnologie 4.0, spesso noti solo in parte (Majumdar et al., 2021).

Di fronte a nuovi processi di cui non si ha esperienza diretta, risultando pertanto ignoti, le aziende preferiscono affidarsi alle solide procedure tradizionali (Fromhold-Eisebith et al., 2021).

3.2.6 Resistenza al cambiamento

In un caso studio che coinvolge una SMEs portoghese, Amaral e Pecas (2021) riportano come molti dipendenti, a prescindere dal loro ruolo aziendale, assumono un comportamento cauto e a volte persino scettico nei confronti delle innovazioni caratterizzanti l'Industria 4.0.

Autori come Raj et al. (2020) hanno documentato di forti resistenze da parte degli operai, i quali temono che il loro lavoro possa essere sostituito da sistemi automatici, o che venga richiesto loro di acquisire nuove competenze per la padronanza delle tecnologie 4.0 che pensano troppo complesse.

Fromhold-Eisebith et al. (2021) sottolineano come la resistenza possa risiedere nella stessa cultura aziendale: alcune imprese che operano nel settore da molti anni si dicono molto legate alle tradizioni e alla storia aziendale e sono convinte che “fare come si è sempre fatto” sia una garanzia per superare periodi di crisi.

3.2.7 Assenza di un piano strutturato

Nello studio svolto da Cimini et al. (2020) viene riportato come alcune aziende iniziano il loro percorso 4.0 investendo in nuove tecnologie senza però sapere realmente come integrarle nel processo aziendale in modo da avere dei benefici: alcuni manager sono guidati dalla convinzione che, una volta presente una nuova tecnologia, riusciranno a trovare un modo per farla funzionare.

Ci sono evidenze che mostrano però come senza un piano strategico l'acquisizione di una tecnologia è fine a se stessa (Raj et al., 2020).

Affinché l'implementazione vada a buon fine, è necessaria una meticolosa e dettagliata pianificazione, che vada a definire gli obiettivi da raggiungere, specificando i vari step e risorse necessarie (Horvath e Szabò, 2019).

3.2.8 Mancanza di un leader con le competenze necessarie

Una barriera di grande rilevanza per le piccole imprese è l'assenza di una figura leader con le competenze necessarie per guidare l'introduzione dei principi 4.0 (Horvath e Szabò, 2019).

Chen (2020) ha notato come la presenza di una figura di riferimento all'interno dell'azienda diminuisce le preoccupazioni – già discusse – dell'implementazione di nuove tecnologie, oltre che atteggiamenti di resistenza: è più probabile che i lavoratori percepiscano il cambiamento come un qualcosa di positivo.

3.2.9 Carenza o inadeguatezza di aiuti istituzionali

Bathia e Kumar (2023) e Majumdar et al. (2021) evidenziano che l'assenza di supporto da parte del governo viene percepita come uno degli ostacoli più grandi nell'adozione dell'Industria 4.0. Gli aiuti possono essere di natura economica ma anche legislativa: le SMEs indagate da Bathia e Kumar (2023) ritengono - ad esempio - che revisionare le norme di import-export per semplificare il commercio possa essere di grande utilità. Si reputano inoltre essenziali regolamentazioni a supporto dei lavoratori le cui mansioni sono a rischio automazione/sostituzione con robot.

3.2.10 Assenza di un'infrastruttura IT consona

Raj et al. (2020) indicano come molte SMEs non hanno accesso a larghezze di banda che permettano una veloce trasmissione dei dati, necessarie per l'utilizzo di tutte le funzioni che prevedono un'interazione in real-time.

Majumdar et al. (2021) riportano inoltre che alcune aziende non hanno una copertura internet affidabile, soprattutto quelle ubicate nelle zone rurali.

3.2.11 Vincoli temporali

Quello della moda è un settore estremamente dinamico e difficilmente prevedibile, per cui le aziende devono rispondere velocemente alle richieste del mercato. Sebbene l'industria 4.0 introdurrebbe una maggiore flessibilità e incrementerebbe la produzione, per implementare queste tecnologie è necessario del tempo.

Fromhold-Eisebith et al. (2021) hanno mostrato come alcune industrie tessili decidono di non investire in innovazioni digitali per concentrare tutte le loro risorse nella soddisfazione del cliente, evadendo gli ordini secondo le scadenze e consegnando prodotti con gli standard qualitativi richiesti.

Horvath e Szabò (2019) sottolineano come formare i dipendenti affinché siano in grado utilizzare le nuove tecnologie richiede un costoso investimento di tempo, che viene sottratto dal normale svolgimento delle operazioni.

Inoltre per sostituire, modificare o aggiornare macchinari e processi, le SMEs sarebbero obbligate ad arrestare la produzione per periodi più o meno lunghi che sentono di non potersi permettere (Majumdar et al., 2021).

3.2.12 Funzione R&D insufficiente

I reparti di ricerca e sviluppo (R&D) delle piccole imprese hanno risorse e capacità limitate, se non assenti (Majumdar et al., 2021). Le SMEs devono ponderare bene l'utilizzo delle risorse e preferiscono utilizzare il reparto R&D per indagare problematiche che sentono più concrete e vicine al quotidiano svolgersi delle operazioni (Hervas-Oliver, 2022).

3.3 Soluzioni proposte in letteratura

Sebbene in quantità limitata, in letteratura sono presenti studi che indagano alcune delle barriere sopra presentate con lo scopo di facilitare le SMEs nella transizione all'Industria 4.0.

Dal Forno et al. (2023) propongono uno strumento diagnostico formulato specificamente per il settore del fashion e chiamato "modello di maturità". Questo è un questionario di

autovalutazione con cui le aziende possono analizzare il loro livello di implementazioni 4.0 e al contempo valutare i processi dove occorre apportare delle migliorie per raggiungere gli obiettivi prefissati.

Il questionario è diviso in cinque sezioni: demografia, tecnologie, strategia, competenze digitali, benefici nell'implementazione dei principi 4.0.

Nella sezione "demografia" sono presenti domande volte a definire il profilo della figura che lo compila, quali ruolo all'interno dell'azienda e livello di educazione.

La seconda sezione è la più sostanziosa e contiene 28 domande che indagano la presenza o meno di alcune tecnologie caratteristiche dell'industria 4.0, quali IoT, Cloud Computing, Big Data, Automazione, Robot Collaborativi, stampa 3D, Realtà Aumentata, Simulazione, Integrazione verticale e orizzontale, Cybersecurity.

La sezione denominata "strategia" serve a valutare il grado di implementazione delle tecnologie sopra menzionate, assieme agli investimenti svolti o in corso e ai progetti in programma.

Le cinque domande sulle competenze digitali mirano a verificare le conoscenze e abilità dei lavoratori in relazione alle tecnologie relative all'industria 4.0.

Infine sono presenti sette domande riguardanti la percezione della rivoluzione 4.0, i benefici attesi e quelli già visibili.

Per la compilazione del questionario viene utilizzata la scala Likert a cinque punti.

Dal punto di vista applicativo, Dal Forno et al. (2023) hanno testato questo strumento in un'azienda di abbigliamento brasiliana; il questionario è stato sottoposto a 32 figure aziendali, ricoprenti ruoli diversi. L'azienda indagata non rientra nella definizione di SME, ma il questionario di per se non presenta vincoli di utilizzo legati alla dimensione della realtà aziendale.

Si specifica come questo sia uno strumento qualitativo, che ha scopo di autoanalisi e utile per prendere una maggiore consapevolezza della realtà aziendale.

Un differente strumento di autovalutazione è proposto da Braglia et al. (2020) e si tratta dell'analisi dei 5 perché ("5-Whys analysis"), testata in un'azienda italiana che si occupa di produrre calzature di lusso.

A partire da una problematica, il metodo consiste nel chiedersi “perché?” in maniera iterativa per cinque volte, con l’obiettivo di identificare le cause dell’inefficienza in analisi e prendere gli opportuni provvedimenti.

La 5-Whys analysis è uno strumento semplice, che non richiede l’uso di strumenti statistici avanzati ma che può dimostrarsi efficace e rapido nell’individuazione delle cause di un problema, come nel caso sotto esame. D’altra parte è necessario possedere una conoscenza adeguata del sistema e degli effetti investigati, altrimenti il metodo giunge a conclusioni errate o prive di significato.

Schönfuß et al. (2021), tramite lo studio e l’interazione con 128 SMEs del settore manifatturiero, hanno stilato un catalogo di soluzioni appartenenti all’Industria 4.0 con lo scopo di fornire alle SMEs delle opzioni di digitalizzazione suddivise per aree aziendali. Vengono presentate 59 diverse tecnologie suddivise in 9 aree aziendali. Ogni soluzione viene riportata una sola volta, in relazione all’area in cui apporta i maggiori benefici. Tuttavia, basandosi sull’Industria 4.0 su concetti quali connessione e interoperabilità, molte delle soluzioni proposte hanno nella pratica benefici su tutta la supply chain, anche se indirettamente.

Uno dei vantaggi del catalogo è che fornisce una base da cui le SMEs possono stabilire le loro priorità in termini di digitalizzazione.

C’è però da precisare che le aziende indagate appartengono al settore manifatturiero e non unicamente all’industria della moda, che presenta processi e operazioni peculiari e non riscontrabili in altri ambiti del manifatturiero tradizionale. Pertanto, nonostante lo studio persegue un obiettivo innovativo, l’utilità e il campo di applicazione delle tecnologie del catalogo vanno indagate relativamente alle aziende del fashion.

Amaral e Pecas (2021) presentano il caso studio di una SME portoghese del settore manifatturiero; l’obiettivo era digitalizzare nel modo più semplice e intuitivo possibile la gestione delle informazioni relative agli ordini.

Le specifiche degli ordini erano in formato cartaceo e venivano trasportate di persona tra i vari reparti. L’idea proposta è stata quella di centralizzare l’informazione utilizzando un’applicazione cloud gratuita. Questo ha permesso agli operatori di avere accesso istantaneo

alle informazioni, di scambiarle, modificarle o commentarle indipendentemente dal reparto in cui si trovavano.

È stato quindi digitalizzato il processo senza alterare le abitudini dei lavoratori, i quali hanno appreso rapidamente l'utilizzo della piattaforma cloud che, oltre ad essere intuitiva, risulta simile ad altre applicazioni che erano soliti utilizzare (come Excel).

Data la semplicità dell'applicazione cloud, il dipartimento informatico interno – costituito da soli due tecnici – è in grado di eseguire lavori di manutenzione e aggiornamenti, senza la necessità di affidarsi a terzi.

Dalla digitalizzazione, l'azienda ha sperimentato dei benefici economici; in particolare molti più ordini sono stati evasi rispettando le tempistiche.

L'esperienza di Amaral e Pecas (2021) mostra come la digitalizzazione può iniziare in piccolo ed investendo molto poco (in questo caso solo tempo) per ottenere già dei miglioramenti. Va tuttavia specificato che l'azienda in questione non produce in serie, bensì su commessa (dinamica differente dalla maggior parte delle SMEs che operano nel settore moda).

L'azienda in esame presentava un livello di digitalizzazione molto basso, per cui è stato possibile iniziare il processo di digitalizzazione servendosi di applicativi gratuiti, ma la maggior parte dei freeware presenti sul mercato offrono poco spazio di archiviazione e non sono pertanto utilizzabili per applicazioni in cui è necessario digitalizzare un grande quantitativo di dati.

Per quanto concerne il problema della standardizzazione, Gomez-Hernandez et al. (2021) e Garcia et al. (2022) propongono due diverse modalità di impiego del retrofitting.

Nell'ambito della presente trattazione, il retrofitting è una pratica che, servendosi di diverse tipologie di tecnologie, adegua gli hardware presenti in azienda affinché possano beneficiare dei principi 4.0

Risulta una valida alternativa all'acquisto di nuovi e costosi macchinari.

Gomez-Hernandez et al. (2021) introducono il retrofitting in un calzaturificio, dove ogni macchinario per le differenti lavorazioni aveva il suo linguaggio, non compatibile con le altre macchine. È infatti comune che macchinari di diversi produttori abbiano formati diversi.

Il metodo utilizzato da Gomez-Hernandez et al. (2021) si basa sul formato STEP-NC, che permette l'incorporazione di informazioni di tipo geometrico, specifiche per i macchinari e commenti o indicazioni. Permette inoltre una comunicazione bidirezionale tra la fase di design e produzione.

Tutte le informazioni riguardanti la produzione vengono scritte utilizzando STEP-NC e successivamente, tramite un apposito modulo, vengono convertite nel linguaggio nativo delle diverse macchine. Viene poi introdotto un sistema di controllo intelligente che, a partire dalle informazioni contenute nel file STEP-NC, è in grado di far compiere alcune operazioni in maniera autonoma.

Garcia et al. (2022) presentano invece l'utilizzo del retrofitting nell'ambito della manutenzione. Nello specifico, l'azienda in esame voleva adottare strategie manutentive CBM ("Condition-Based Maintenance") su macchinari tradizionali. In breve, il CBM prevede di monitorare la condizione reale dei macchinari con lo scopo di operare manutenzione specifica al bisogno.

Viene costruita una piattaforma online formata di tre livelli (*tier*) dove gli operatori, i sistemi e i processi sono connessi con la possibilità di collaborare contemporaneamente. In **Figura 12** si riporta lo schema della piattaforma.

Il primo livello è l'Edge Tier, costituito da un insieme di strumenti per l'acquisizione (come sensori) e il monitoraggio della salute del macchinario (come analisi delle vibrazioni, consumo energetico, controllo della temperatura). I dati vengono raccolti, strutturati e trasferiti ai livelli successivi. L'Edge Tier, come il resto della piattaforma, si basa su protocolli e formati dati standard.

Il Cloud Tier gestisce lo spazio di archiviazione in cloud dei dati; a partire da questi viene costruita una rappresentazione digitale delle operazioni e dello stato delle risorse, con una struttura simile a quella mostrata in **Figura 13**. Risiedendo in cloud, queste informazioni sono accessibili anche da remoto.

Infine è presente il Business Tier, dove viene operata un'interpretazione dei dati sulla base della quale vengono assegnate le operazioni di manutenzione.

Il livello incorpora strumenti di realtà aumentata per l'interazione uomo-macchina tramite applicazioni da dispositivi mobili. Le applicazioni forniscono procedure step-by-step per

eseguire la manutenzione, aiutando gli operatori e allo stesso tempo rafforzandone abilità e conoscenze.

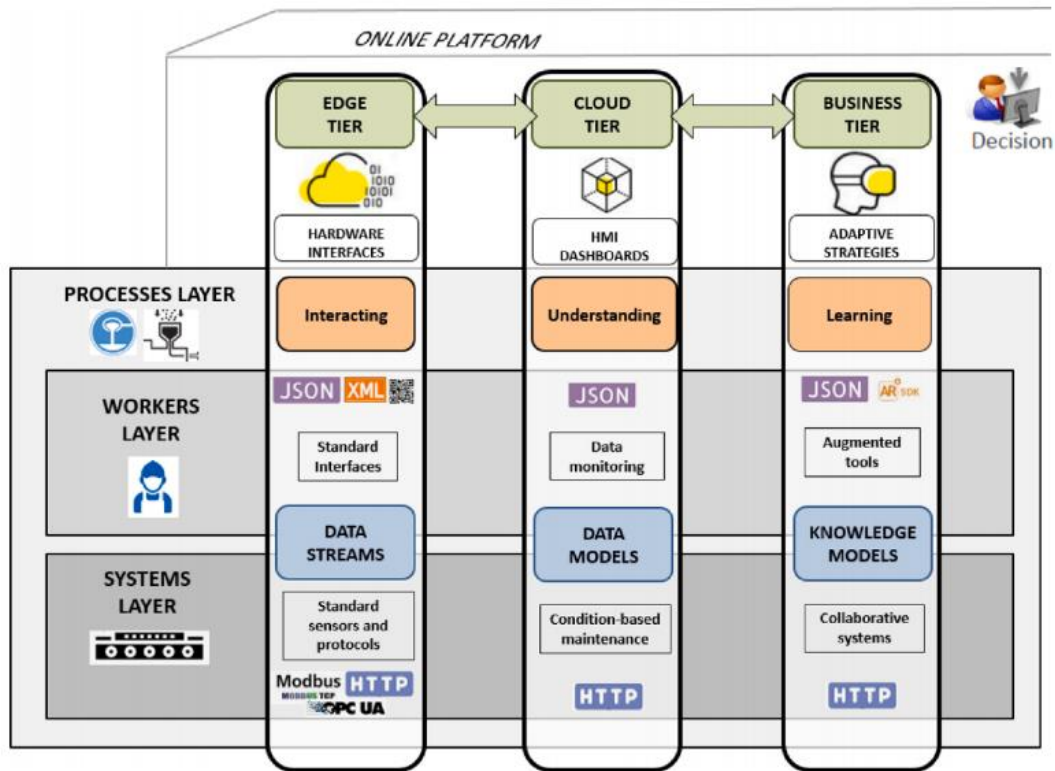


Figura 12. Piattaforma a tre livelli per il supporto di strategie manutentive CBM (Garcia et al., 2022, pp. 4)

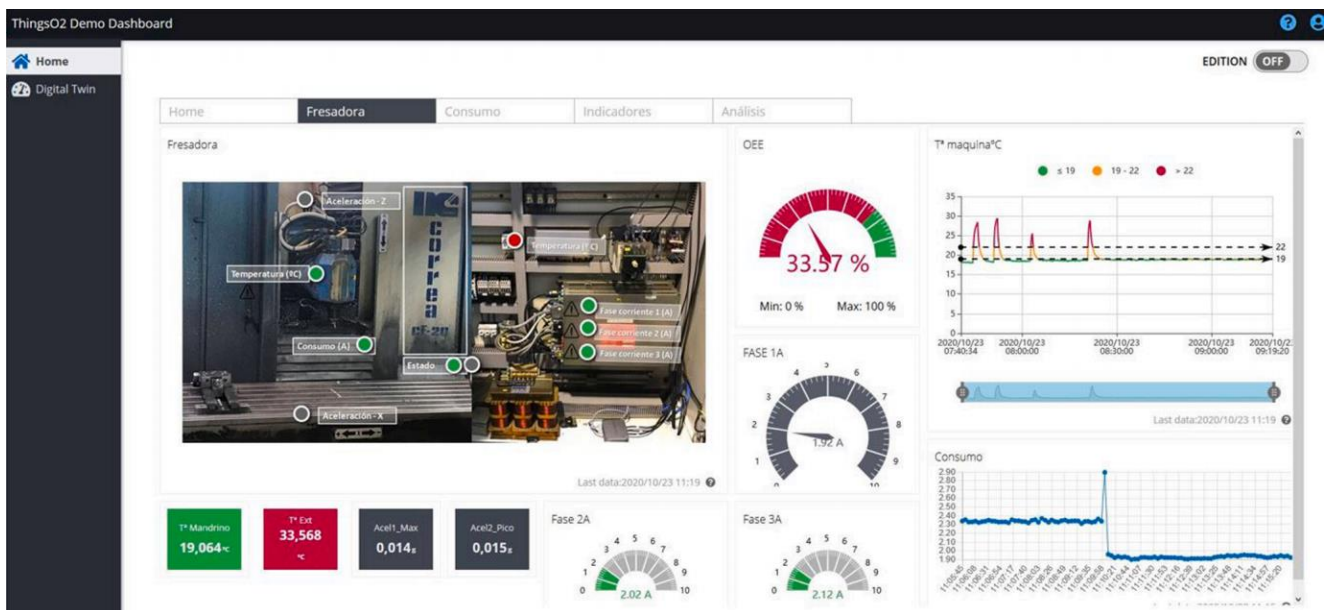


Figura 13. Esempio di dashboard su piattaforma Cloud (Garcia et al., 2022, pp. 9)

3.4 Discussione dei risultati della ricerca e risposta alla RQ1

Come già affermato più volte nel corso della trattazione, l'Industria 4.0 è una vera e propria rivoluzione industriale. Questo comporta che le aziende debbano gestire novità e cambiamenti non conclusivi e transitori, ma radicali e in continua evoluzione, che impattano sulla struttura organizzativa e culturale interna (Raj et al., 2020).

Come ogni altra rivoluzione industriale, l'Industria 4.0 modificherà anche aspetti sociali, introducendo nuove professioni e ridefinendo il ruolo dell'uomo all'interno dei sistemi di produzione (Cimini et al., 2020).

A fronte della complessità di tale cambiamento, appare quasi naturale che le SMEs stiano riscontrando delle difficoltà nel loro percorso di transizione e l'intervento di attori esterni sembra indispensabile. Tutti gli autori menzionati nel presente capitolo hanno espresso l'importanza di forme di cooperazione con le università e altri enti di ricerca, oltre che aiuti istituzionali.

La transizione all'I4.0 necessita di essere pensata e programmata nel dettaglio, per questo molte grandi imprese stanno istituendo nuove aree aziendali con personale specializzato che si occupi unicamente della gestione dei progetti 4.0 (Horvath e Szabò, 2019). Le SMEs non possiedono le risorse economiche né umane adatte allo scopo e appoggiarsi ad esterni potrebbe colmare questa lacuna.

Si ritiene che le società di consulenza possano beneficiare notevolmente alle SMEs, fornendo il personale competente e i mezzi necessari per la delineazione di un piano di transizione, tenendo conto delle disponibilità dell'azienda. Questa posizione viene condivisa anche da Fromhold-Eisebith et al. (2021). In quest'ottica risultano indispensabili sussidi e altri aiuti statali.

Come precedentemente specificato, alcuni dei documenti considerati fanno riferimento al settore manifatturiero in genere; questo a causa della scarsità di studi riguardanti l'industria del fashion o delle calzature nello specifico. Le barriere elencate in **Tabella 3** sono comunque state rilevate nelle SMEs della moda di cui si hanno dati, ma la loro rilevanza in termini di influenza sull'adozione di tecnologie 4.0 potrebbe differire rispetto a quanto riportato nei casi studio analizzati.

A supporto di ciò vi è l'analisi svolta da Bhatia & Kumar (2023) che, interagendo con diverse SMEs dell'industria manifatturiera, hanno riportato come - da una lista di 23 voci - ogni settore delineava fattori critici diversi rispetto agli altri.

Anche all'interno dello stesso settore moda sono state rilevate differenze importanti.

Fattori come cultura, ubicazione dell'azienda (ad esempio se l'impianto è in un'area rurale o prossimo alla città), norme e regolamentazioni vigenti influenzano la rilevanza di alcune barriere.

Esemplificativo è lo studio di Raj et al. (2020), che analizzano due aziende dello stesso settore situate rispettivamente in Francia e India. Dal confronto emerge come, sebbene entrambe riconoscano come tali le 15 barriere proposte dai ricercatori, il peso e la rilevanza attribuitogli risultava differente. Nello specifico, la SMEs indiana sentiva come la mancanza di supporto governativo fosse l'ostacolo maggiore per l'implementazione di nuove tecnologie, mentre l'azienda francese non ne condivideva l'importanza. Questa differenza è da attribuire all'assenza di iniziative di supporto all'adozione dell'I4.0 da parte del governo indiano, aspetto invece presente nella realtà francese.

Volendo rispondere alla prima domanda di ricerca (RQ1): “Quali sono le difficoltà riscontrate dalle SMEs del settore moda nell'implementazione delle nuove tecnologie?”, si può affermare come le barriere trovate sono quelle elencate in **Tabella 3**: insufficienti risorse finanziarie, mancanza di lavoratori con le competenze tecniche necessarie, mancanza di standardizzazione, problematiche legate alla cybersecurity, scarsa conoscenza delle tecnologie 4.0 e del loro potenziale, resistenza al cambiamento, assenza di un piano strutturato, mancanza di un leader con competenze necessarie, carenza o inadeguatezza di aiuti istituzionali, assenza di un'infrastruttura IT consona, vincoli temporali, funzione R&D insufficiente.

La loro rilevanza varia in relazione alla singola SMEs e vanno quindi analizzate con spirito critico e rapportate alla realtà aziendale sotto esame.

Si ritiene che lo studio delle difficoltà da parte delle SMEs possa accrescere la consapevolezza sulle condizioni e sui limiti - sia interni che esterni - e possa costituire un punto di partenza per delineare un piano di transizione all'Industria 4.0.

Si ribadisce inoltre come appare essenziale l'intervento di organizzazioni esterne per sopperire alle lacune conoscitive e alla mancanza di personale con le competenze opportune, aspetti che

le SMEs difficilmente riusciranno a risolvere in autonomia, non presentando le risorse necessarie.

4. SERVIZI E TECNOLOGIE SUL MERCATO ADATTE ALLE SMEs DEL SETTORE MODA

Per fornire una risposta alla RQ2: “Quali sono le tecnologie in linea con l’I4.0 attualmente presenti sul mercato che rispondono alle esigenze del settore moda?”, è stata svolta una ricerca utilizzando le fonti specificate nel Capitolo 2. Sono state prese in considerazione solo tecnologie specifiche per le imprese del footwear e del fashion. La ricerca ha determinato 8 hardware e 12 software di utilità per le SMEs in esame.

4.1 Tecnologie investigate e risposta alla RQ2

Per rispondere alla RQ2: “Quali sono le tecnologie in linea con l’I4.0 attualmente presenti sul mercato che rispondono alle esigenze del settore moda?” è stata svolta una ricerca utilizzando tre diverse tipologie di fonti, come dettagliato nel Capitolo 2. Si è compiuta la scelta di riportare unicamente soluzioni di preciso interesse per il settore moda, omettendo tecnologie di carattere più generale come cloud computing, cybersecurity, IoT, raccolta e analisi di big data. Si specifica come queste soluzioni sono proposte dai provider e dalle società di consulenza presentate nel secondo capitolo (**Tabella 2**): Accenture, Capgemini, KPMG, IBM, Tata Consultancy Services, HCLTech, Infosys, L&T Technology Services, Atos, EY.

Questa scelta è stata adottata in quanto sono presenti diversi studi sull’applicazione di tecnologie quali cloud e big data nel settore manifatturiero, e molte di queste applicazioni sono generalizzabili o semplicemente adattabili al settore moda.

È invece scarsa la trattazione di tecnologie in commercio specifiche per le imprese del fashion e del footwear; si ritiene quindi di maggiore utilità indagare questa tipologia di soluzioni.

Nei paragrafi successivi vengono riportati i risultati della ricerca, presentati in breve e suddivisi nelle macrocategorie “hardware” e “software”, con eventuali altre sottocategorie.

La lista di tecnologie proposte non è conclusiva né tantomeno completa, ma vuole offrire una panoramica delle soluzioni e dei relativi provider in linea con l’Industria 4.0, affinché le SMEs possano avere un’idea concreta delle tecnologie attualmente presenti sul mercato.

4.2 HARDWARE

4.2.1 *Uster Quantum 4.0* per il controllo della qualità dei filati

Uster è un'impresa leader nell'ambito del controllo qualità e dei test su prodotti tessili. L'azienda propone macchinari specifici per ogni fase della produzione, dalla lavorazione della materia grezza al tessuto finito. Tra i prodotti presentati di recente figura *Uster Quantum 4.0* (in **Figura 14**), un sistema per il controllo qualità del filato che permette di eliminare i difetti alla fonte evitando produzioni di scarsa qualità, oltre che di ottimizzare i costi ed aumentare la produttività.



Figura 14. Sistema *Uster Quantum 4.0* (Uster.com)

Uster Quantum 4.0 migliora la qualità della sribbiatura utilizzando la combinazione di segnali ottici e capacitivi. L'unità centrale di sribbiatura - controllata tramite un touchscreen 16:9 - presenta un'interfaccia intuitiva, dalla quale è possibile settare la macchina scegliendo tra il set up manuale e i diversi set up predefiniti.

Il sistema utilizza il software *Uster Quantum Expert*, che copre ogni parametro riguardante l'avvolgimento dei filati e diversi utenti possono accedervi in contemporanea, a beneficio della qualità della comunicazione tra i vari dipartimenti. Tramite la connessione internet è possibile controllare il sistema da remoto e monitorarlo in real-time.

La gestione automatizzata dei dati offerta dal software migliora il flusso informativo e la generazione di report predefiniti assicura un rapido ed efficiente accesso ai dati chiave, che permette di prendere decisioni più consapevoli in tempi brevi.

Tra le caratteristiche che rendono Uster Quantum 4.0 particolarmente adatto al processo di digitalizzazione dell'impresa è la sua versatilità, in quanto può essere implementato – oltre che su soluzioni Uster – su macchinari avvolgitori (“winding machines”) di altre aziende, sia attuali che fuori catalogo tramite retrofit.

4.2.2 Stampante 3D *Flexilis Shoes XL*

Flexilis Shoes XL (in **Figura 15**) è una stampante 3D progettata dall'azienda italiana Stampatreddi.

La macchina è stata progettata per la stampa di prototipi di calzature e garantisce la realizzazione di prototipi altamente fedeli sia dal punto di vista estetico che tattile.

Flexilis Shoes XL si presenta con un telaio in alluminio, un peso di 25kg e un'area di stampa in vetro ceramico di 450 x 300 x 300 mm. È dotata di due estrusori che consentono una velocità massima di stampa di 200 mm/s ; può lavorare con filamenti di spessore 2,85mm oppure 1,75mm.

La stampante è munita di monitor touch screen con collegamento internet tramite il quale è possibile cambiare i parametri e l'oggetto di stampa. In alternativa è possibile stampare direttamente da USB o SD.



Figura 15. Stampante 3D *Flexilis Shoes XL* (Stampatreddi.it)

4.2.3 Macchinari

4.2.3.1 Macchina tessile *OptiMax-i Connect*

Picanol offre una vasta gamma di macchine tessili, tra cui *OptiMax-i Connect*, in **Figura 16**.

Caratterizzata da rapidità, alta qualità e versatilità, viene descritta come una macchina “basata sui dati”: sono presenti numerosi sensori per la raccolta dati, che vengono organizzati e mostrati in pannelli sul display integrato. I dati riguardano non solo le prestazioni, ma anche lo stato di salute e i consumi energetici del macchinario. È possibile collegare il display alla rete internet, permettendo l’exportazione dei dati in cloud.

Il display da 15,6" garantisce inoltre un rapido accesso e il controllo di tutte le impostazioni e parametri di lavorazione. È disponibile una funzione di controllo accessi, che permette di gestire il livello di accesso e le modifiche che può apportare ogni singolo utente; consente inoltre di definire schermate personali.

Il macchinario è stato concepito in maniera modulare, il che consente facilmente successive modifiche e aggiornamenti.



Figura 16. Macchina tessile *OptiMax-i Connect* (picanol.be)

4.2.3.2 Macchina per il taglio *Vector*

Lectra ha introdotto sul mercato *Vector* (in **Figura 17**), una macchina per il taglio. Risulta estremamente versatile in quanto in grado di lavorare qualsiasi materiale con elevata precisione. I parametri vengono controllati grazie ad un touch screen collegato alla rete, dal quale è possibile selezionare funzioni quali calcolo automatico delle aree di taglio e impostazioni di taglio pre-programmate. La presenza di sensori permette di raccogliere dati per l'ottimizzazione delle lavorazioni e per scopi manutentivi.



Figura 17. Macchina per il taglio *Vector* (lectra.com)

Lectra garantisce supporto tecnico real-time da remoto.

Vector si adatta alle diverse tipologie di produzione: le lavorazioni hanno sempre un costo basso indipendentemente dal volume di produzione, rendendolo un macchinario adatto sia a grandi che piccoli lotti, facilitando anche una produzione di tipo just-in-time (JIT).

4.2.3.3 Pressa per la termoadesione FP ALUMINIUM

GI.EMME.PI è un'azienda italiana che si occupa della progettazione e realizzazione di presse per la termoadesione.

FP ALUMINIUM (in **Figura 18**) è un'adesivatrice di alta qualità per abbigliamento e pelletteria. È formata da un piano di lavoro lungo 140cm, un sistema di trasporto a nastri, superficie di riscaldamento composta da 8 pannelli curvi e un sistema di pressione.

Le specifiche di lavorazione vengono controllate tramite un touch screen da 10 pollici, connesso ad internet tramite wi-fi o cavo ethernet. È installato un software per la raccolta dati; è possibile visualizzare in real-time informazioni quali valori di lavorazione in uso e il conteggio dei pezzi prodotti.

La macchina presenta un sistema di risparmio energetico.

GI.EMME.PI garantisce assistenza da remoto in caso di anomalie ed aggiornamento del software.



Figura 18. Adesivatrice FP ALUMINIUM (giemmepi.com)

4.2.4 Robot

4.2.4.1 Veicolo a guida automatizzata PF3

Stäubli PF3 (**Figura 19**) è un veicolo a guida automatizzata dell'omonima azienda. È stato ideato per la movimentazione di pallet ed è in grado di trasportare e sollevare carichi con peso massimo di 3000 chili e con un'elevata precisione posizionale (± 5 mm).

È in grado di operare anche su pavimentazioni non regolari, con una velocità massima di 1,6 m/s.

Una volta comunicata la traiettoria, il dispositivo è autonomo, in grado di riconoscere distintamente ostacoli e persone grazie ad uno scanner laser. Per una maggiore sicurezza, *Stäubli PF3* presenta 5 pulsanti per fermarlo in caso di emergenza. La comunicazione avviene wireless; sono anche presenti interfacce elettrica e meccanica per garantire l'integrazione con soluzioni di terze parti.

Il veicolo si carica autonomamente grazie ad un sistema ad induzione. Per un funzionamento continuativo di 5 ore è necessario un tempo di carica di 84 minuti.



Figura 19. Veicolo a guida automatizzata PF3 (staubli.com)

4.2.4.2 Robot collaborativo *HelMo*

Stäubli è anche la casa produttrice di *HelMo* (in **Figura 20**), un sistema mobile robotico. Sviluppato per lavorare con l'uomo in condizioni collaborative, *HelMo* può essere programmato anche per compiere operazioni monotone in completa autonomia.

Grazie a tre distinti scanner laser, il dispositivo è in grado di monitorare l'ambiente, fermandosi quando in prossimità dell'uomo e aggirando gli ostacoli.

Il robot presenta un braccio meccanico sul quale è possibile montare svariati strumenti; viene garantita estrema precisione nei movimenti. È in grado di compiere azioni coordinate con l'uomo ma anche con altri robot.

Il sistema si ricarica in maniera autonoma, connettendosi da solo all'apposita stazione.



Figura 20. Robot collaborativo *HelMo* (staubli.com)

4.2.4.3 Robot collaborativo X-BOT

RSAROBOT propone X-BOT, un robot collaborativo da integrare in una linea di produzione di calzature. È in grado di manipolare qualsiasi tipo di calzatura e ogni suo componente. È stato progettato affinché l'interazione con l'uomo possa avvenire in maniera costante e in sicurezza, senza la necessità di barriere per la separazione dall'operatore.

Oltre che mansioni collaborative, come processi di assemblaggio, il sistema è in grado di svolgere operazioni in completa autonomia, come ad esempio caricare la pressa.

Grazie alla flessibilità nella programmazione, risulta facile da utilizzare e non necessita di interventi ingegneristici.

4.3 SOFTWARE

4.3.1 Soluzioni personalizzate di Cross-Reality

WE/AR Studio sviluppa per le aziende soluzioni XR (Cross-Reality) quali realtà aumentata (AR) e realtà virtuale (VR).

Per quanto riguarda la realtà aumentata, WE/AR Studio offre prodotti su misura partendo dall'analisi degli obiettivi che l'azienda vorrebbe raggiungere con l'implementazione di questa tecnologia.

WE/AR Studio descrive la realtà aumentata come un ponte tra il mondo reale e virtuale, in grado di potenziare prodotti e processi. I benefici sottolineati riguardano diversi aspetti aziendali: il marketing, dove l'AR può offrire ai clienti delle esperienze uniche in grado di stabilire una connessione emotiva con il prodotto; la formazione del personale, in quanto l'AR si è dimostrata un valido supporto per gli operatori nell'apprendere ed allenare nuove competenze in maniera veloce ed efficiente; la vendita al dettaglio online, dove la realtà aumentata offre ai clienti un modo innovativo per provare i prodotti prima di acquistarli, riducendo il numero di resi e i costi della logistica inversa.

Le applicazioni AR sono fruibili tramite le più comuni piattaforme, come smartphone e tablet, rendendo queste soluzioni ancora più flessibili.

Gli hardware attualmente compatibili sono dispositivi con sistemi operativi iOS ed Android, oltre che il visore *HoloLens* prodotto da Microsoft.

WE/AR Studio offre anche un servizio di sviluppo realtà virtuale.

Le soluzioni di realtà virtuale creano un ambiente virtuale realistico con il quale l'utilizzatore può interagire, sperimentando esperienze immersive e migliorando la visualizzazione di dati e informazioni.

In campo manifatturiero questa tecnologia si è rivelata efficace in fase di prototipazione, permettendo la visione del prodotto a partire dalle specifiche di design e consentendo di prendere decisioni su modifiche di natura estetica prima della creazione di un prototipo fisico, diminuendo le tempistiche e i relativi costi.

La realtà virtuale è particolarmente utile nella formazione del personale, dove gli operatori possono imparare diversi processi eseguendoli virtualmente con indicazioni step-by-step.

Oltre ad una riduzione dei costi, questo permette anche una maggiore sicurezza dei lavoratori per quanto riguarda l'uso di determinati utensili e macchinari.

Analogamente alle soluzioni AR, anche le applicazioni di realtà virtuale sono sviluppate per tablet, smartphone e desktop, oltre che per visori di realtà virtuale. Questi sono i dispositivi più utilizzati nella fruizione di applicazioni VR e WE/AR Studio ne assicura la compatibilità con gli hardware *HTC Vive*, *Oculus Rift*, *Oculus Go*, *Oculus Quest*, *Oculus Quest 2* e *HoloLens*.

WE/AR Studio sviluppa inoltre “Corporate Metaverse Platforms”, ovvero delle piattaforme che riproducono virtualmente l'intera impresa, consentendo ai diversi team aziendali e ad partner terzi interazioni più genuine e presenti, che favoriscono la collaborazione. È un soluzione particolarmente utile per aziende con sedi geograficamente dislocate.

4.3.2 Yarnbank, banca dati di filati e tessuti

Yarnbank è una banca dati gratuita di proprietà della SHIMA SEIKI che presenta informazioni dettagliate e immagini di filati e tessuti digitalizzati da tutto il mondo.

La ricerca si effettua tramite parole chiave come stagione, spessore del filato, caratteristiche, prezzo e colore.

Trovato un filato di interesse, il sito permette di contattare direttamente il venditore tramite l'apposito forum.

4.3.3 AISDetector, software per il controllo qualità

AISDetector è un'applicazione sviluppata da ASUS. Si basa sull'intelligenza artificiale per l'ispezione della qualità dei prodotti durante la fase di produzione.

Grazie all'interfaccia intuitiva, è possibile creare un modello AI in un minuto a partire da dati grezzi sulla qualità dei prodotti.

I dati in input possono essere di vario tipo, tra cui tensione, corrente elettrica, vibrazioni e onde sonore.

Basandosi sul modello generato, AISDetector ricerca eventuali anomalie rispetto alla curva in input, costituendo un sistema di controllo qualità privo di errori umani.

Il test di qualità è molto intuitivo: per ogni prodotto appare sullo schermo in tempo reale il termine “pass” o “fail”.

L'utilizzo del software richiede la potenza di un computer con una tipica CPU e non necessita di personale specializzato, il che lo rende adatto anche a piccole realtà aziendali.

4.3.4 Software gestionali (ERP)

4.3.4.1 WU-BAGS, l'ERP specifico per la produzione di borse e accessori moda

WU-BAGS è un ERP progettato da Winservice per le aziende di produzione borse, articoli di pelletteria e accessori moda; presenta un'interfaccia user-friendly ed è disponibile anche in modalità Cloud.

Consente una gestione completa e integrata di tutti i processi produttivi e le aree caratterizzanti: sviluppo prodotto, produzione, distribuzione, vendita, amministrazione, finanza e controllo.

WU-BAGS permette di gestire l'avanzamento dei prototipi nel dettaglio, con relativi costi.

L'ERP è integrabile con altri software, tra cui sistemi CAD e CAM, essenziali per l'importazione di progetti e informazioni per le macchine da taglio e da cucire computerizzate, permettendo un risparmio di tempo e una maggior precisione.

Consente inoltre di utilizzare distinte multilivello e di seguire autonomamente il ciclo produttivo dei singoli componenti.

Il software garantisce un pieno controllo della produttività aziendale e delle tempistiche - permettendo così una corretta pianificazione e ottimizzazione della produzione - e la possibilità di inserire materiale multimediale, come foto e video, alla descrizione della lavorazione di un componente, permettendo all'operatore di acquisire informazioni in maniera chiara e immediata. Altre caratteristiche di WU-BAGS sono l'importazione automatica degli ordini, gestione del campionario, rapida creazione di cataloghi e listini, tracciabilità del prodotto in ogni fase. È inoltre possibile accedere al gestionale da remoto e monitorare l'intero ciclo produttivo in real-time.

WU-BAGS è implementato anche per la gestione delle spedizioni e della fatturazione al cliente tramite emissione automatica dei documenti inerenti.

4.3.4.2 WEARUP, software gestionale per calzaturifici

WEARUP è un software gestionale web oriented sviluppato da Winservice e pensato per la gestione di aziende che trattano calzature, articoli di pelletteria e relativa componentistica.

Con questo ERP è possibile gestire tutte le fasi produttive che caratterizzano il settore delle calzature.

Risulta un software semplice e immediato, integrabile con macchinari e software essenziali per l'industria della moda, come CAD e CAM.

Disponibile anche in modalità Cloud, WEARUP è accessibile da remoto tramite connessione internet, permettendo di controllare lo stato della produzione in real-time.

WEARUP è un software modulabile, il che lo rende particolarmente adatto a piccole e medie imprese che si avvicinano alla digitalizzazione, permettendo sia un cambiamento che un investimento graduale. La suddivisione in moduli consente alle aziende di acquisire solo le funzionalità a cui sono interessate, con la possibilità di ampliarle in un secondo momento.

Sono disponibili undici moduli differenti: prototipia, campionario e catalogo, gestione ordini, distinta base e multilivello, budgeting e reporting, gestione delle risorse, pianificazione della produzione, avanzamento della produzione, gestione risorse umane, fatturazione, logistica.

4.3.5 Applicazioni per design e prototipazione

4.3.5.1 2DCad per la progettazione di capi d'abbigliamento

2DCad è un progetto di MorganTecnica che racchiude tre diverse applicazioni: *2Capture*, *2Design* e *2Tetrix*. Il loro utilizzo risulta immediato, grazie all'interfaccia minimale e ai video tutorial.

2Design è un software per la progettazione di capi d'abbigliamento; il progetto può essere creato da zero attraverso gli strumenti di progettazione 2D, oppure a partire da un modello della libreria gratuita, della libreria personale o modelli ottenuti tramite *2Capture*.

2Capture permette la digitalizzazione di pezzi fisici a partire da una fotografia.

Si può quindi modificare il modello a mano libera oppure servendosi delle tante funzioni di modifica assistita.

Terminato il progetto, è possibile utilizzare *2Tetrix*, che a partire dal progetto 2D consente la creazione di piazzamenti automatici o manuali.

4.3.5.2 ICad3D+ per il design delle calzature

ICad3D+ è un software sviluppato da INESCOP per la progettazione di calzature. Presenta un ambiente di lavoro virtuale in 3D ed un altro tecnico in 2D.

Il suo utilizzo è semplice e intuitivo; si inizia dall'importare una forma di base digitale in uno dei tanti formati supportati, per poi disegnarci sopra il modello.

È possibile scegliere di lavorare in uno qualsiasi dei due ambienti, potendo passare da un ambiente all'altro a piacimento. Ogni modifica apportata nel progetto 2D si riflette automaticamente e fedelmente in quello 3D e viceversa.

Il progetto 3D può essere esportato direttamente in una stampante 3D per produrre rapidamente prototipi.

Il software è progettato per velocizzare la realizzazione di qualsiasi tipo di materiale (pelle, gomma, vernice, metallo, gemme, vetro, ecc.) in qualsiasi colore.

I materiali possono essere creati direttamente nel programma attraverso la funzione di generazione dei materiali, o importando texture scansionate.

ICad3D+ consente di conferire maggiore realismo ai modelli, simulando l'estetica della scarpa associata ad ogni movimento del piede e in relazione all'illuminazione.

4.3.5.3 SDS-ONE APEX, software per il design realistico

Sviluppato dalla SHIMA SEIKI, SDS-ONE APEX è un software per il design di capi d'abbigliamento.

Incorpora un software di simulazione, che permette di realizzare un'immagine realistica del prodotto finito a partire dal suo disegno e specificando le stoffe utilizzate. È possibile anche la creazione di campioni virtuali 3D ad alta definizione, come quello mostrato in **Figura 21**.

Il realismo dei campioni permette di prendere decisioni sulle caratteristiche del modello prima della creazione di un prototipo fisico, riducendo i materiali, le tempistiche e il costo della fase di prototipazione.

L'alta resa delle immagini può essere inoltre utilizzata per scopi promozionali.

Per la realizzazione di campioni realistici, SDS-ONE APEX può utilizzare i dati scaricati da *Yarnbank* (vedere in **4.3.2**).



Figura 21. Esempio di campione virtuale realistico, realizzato tramite SDS-ONE APEX (shimaseiki.eu)

4.3.5.4 *VisionPLM* per la gestione delle operazioni antecedenti la produzione

VisionPLM è un'applicazione browser-based di Coats Digital per la gestione della prima fase del ciclo di vita del prodotto. Creata per l'industria dell'abbigliamento, l'applicazione semplifica e integra i processi chiave che rendono un prodotto pronto

per la fase di produzione: design, sviluppo del prodotto e dei materiali, prototipazione, analisi dei costi ecc.

VisionPLM consente l'integrazione dei reparti aziendali e dei partner coinvolti grazie all'accesso e alla condivisione istantanea di informazioni, aumentando visibilità, coordinazione, velocità e flessibilità dell'intero processo.

L'applicazione è integrata in maniera bidirezionale con *Adobe illustrator (Ai)*, permettendo ai designer di lavorare su quest'ultimo. A partire dal progetto in Ai, *VisionPLM* si aggiorna con informazioni chiave quali immagini, tabella delle taglie, Bill of Materials e molte altre indicazioni necessarie per le fasi di Material Management e Product Management.

L'applicazione integra inoltre funzioni per la stima e l'amministrazione dei costi, oltre che per l'acquisto e la gestione delle materie prime.

4.3.5.5 CREATE DESIGN, applicazione per il design di prodotti moda

I brand STOLL e KM.ON hanno ideato CREATE DESIGN, un software per il design di prodotti d'abbigliamento.

Presenta una libreria gratuita di modelli e filati di svariati materiali e colori; in alternativa è possibile importare progetti da software esterni o crearli da zero. Presenta strumenti manuali e automatici per semplificare la fase di design, come la funzione automatica per adattare i parametri del modello finale alle varie taglie da produrre.

Il progetto può essere esportato per programmare direttamente la produzione tramite CREATE PLUS.

Realizzato sempre dalla collaborazione tra STOLL e KM.ON, CREATE PLUS è un software per la programmazione dei macchinari di lavorazione dei tessuti.

È possibile esportare un unico progetto con all'interno diversi modelli, in modo da processarli in un unico lotto e velocizzando così il tempo di set up. In questo modo si riduce anche il time to market.

4.3.6 Controllo della produzione in real-time

4.3.6.1 Software DPM per il controllo delle macchine tessili

DPM (Digital Production Management) è un software creato da KM.ON per monitorare svariati aspetti dei macchinari tessili.

Collegato alle macchine tramite rete internet, consente la visualizzazione di report stilati in automatico riguardanti parametri di performance, stato degli ordini, qualità, stato e impostazioni di lavorazione della macchina.

I benefici promessi da DPM sono aumento dell'efficienza, identificazione dei colli di bottiglia, riduzione degli sprechi, aumento della produttività, riduzione dei costi, ottimizzazione dell'assegnazione delle risorse umane, minimizzazione della documentazione cartacea.

4.3.6.2 OEE, software in cloud per monitorare lo stato dei macchinari

ADVANTECH propone diverse soluzioni per smart factories, tra cui OEE (Overall Equipment Effectiveness), il software cloud-based che consente di monitorare lo stato real-time delle attrezzature anche da remoto.

OEE organizza le informazioni per una maggiore chiarezza e rapidità di consultazione, può velocemente e automaticamente elaborare i dati e fornire proposte di ottimizzazione del rendimento tramite machine learning.

Un esempio di dashboard è riportato in **Figura 22** e mostra le caratteristiche in tempo reale dei macchinari collegati, come disponibilità, performance, quantità e qualità degli output.

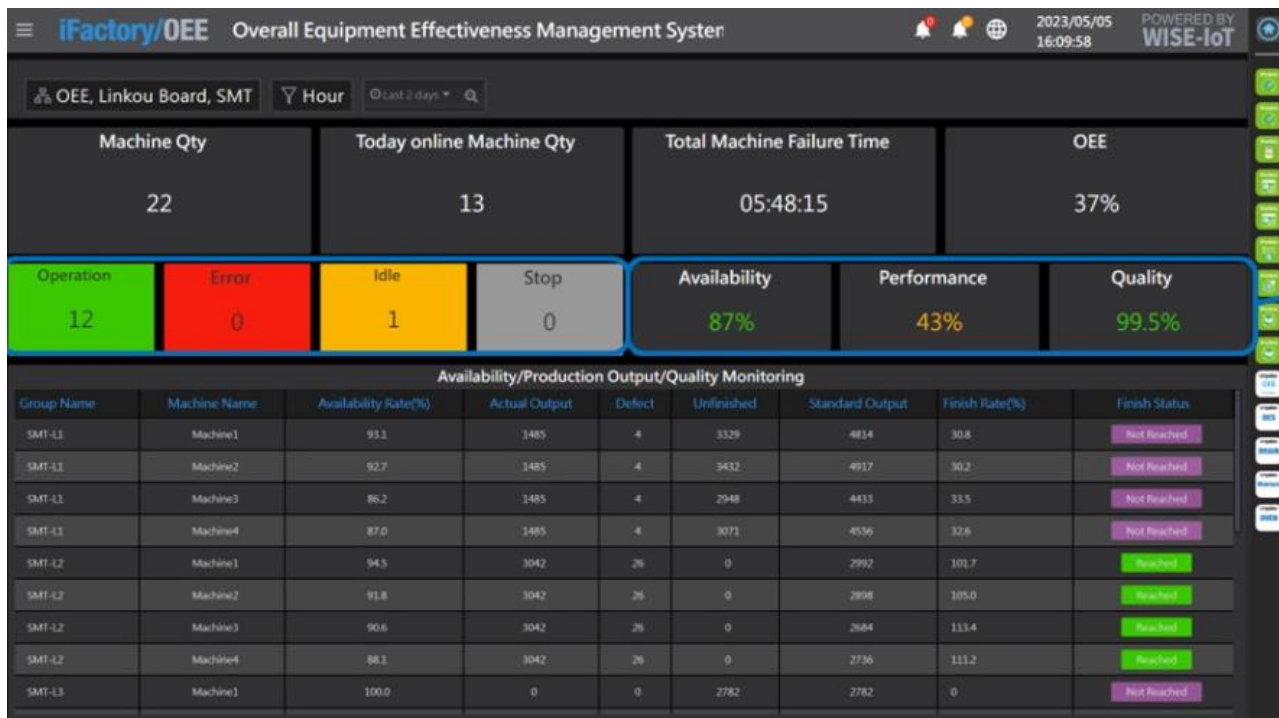


Figura 22. Esempio di dashboard del software OEE (advantech.com)

CONCLUSIONI

Il mercato del fashion e del footwear è caratterizzato da dinamismo, competitività crescente, prodotti con ciclo di vita sempre più breve e una domanda di difficile previsione (Braglia et al., 2020 ; Yang et al., 2023). In queste condizioni, le SMEs del settore iniziano a sperimentare difficoltà nel soddisfare la domanda dei clienti.

Le innovazioni introdotte dall'Industria 4.0 promettono benefici che potrebbero risollevare le piccole e medie imprese del settore moda, le quali stanno però riscontrando diverse difficoltà nella transizione ai nuovi principi e tecnologie introdotti dalla quarta rivoluzione industriale.

Appare tuttavia essenziale per la loro sopravvivenza che le SMEs adottino i concetti di Industria 4.0 e in merito la letteratura propone alcune soluzioni per facilitarne l'implementazione, discusse in **3.3**.

Le trattazioni riguardanti il settore della moda nello specifico sono però scarse: il materiale analizzato tratta di singoli casi studio - le cui evidenze non possono essere quindi generalizzate - oppure di tecnologie che richiedono personale specializzato per essere calibrate e implementate correttamente e tali competenze non sono alla portata della maggior parte delle SMEs. Inoltre, parte della documentazione disponibile considera l'intero settore manifatturiero, senza quindi indagare le specifiche peculiarità delle aziende del fashion e del footwear.

In quest'ottica, la presente trattazione si è posta l'obiettivo di ampliare la documentazione letteraria rispondendo alle seguenti domande di ricerca:

- RQ1: Quali sono le difficoltà riscontrate dalle SMEs del settore moda nell'implementazione delle nuove tecnologie?
- RQ2: Quali sono le tecnologie in linea con l'I4.0 attualmente presenti sul mercato che rispondono alle esigenze del settore moda?

Per quanto concerne la RQ1, viene svolta una revisione letteraria di quelle che sono le principali barriere per le SMEs del settore moda, cercando di unificare le evidenze trovate e fornire una nuova prospettiva. Lo studio delle barriere è essenziale per intraprendere azioni migliorative ed individuare soluzioni idonee, e la loro analisi da parte delle SMEs può accrescerne la consapevolezza sulle reali condizioni aziendali.

La ricerca ha individuato 12 barriere, ovvero: insufficienti risorse finanziarie, mancanza di lavoratori con le competenze tecniche necessarie, mancanza di standardizzazione, problematiche legate alla

cybersecurity, scarsa conoscenza delle tecnologie 4.0 e del loro potenziale, resistenza al cambiamento, assenza di un piano strutturato, mancanza di un leader con competenze necessarie, carenza o inadeguatezza di aiuti istituzionali, assenza di un'infrastruttura IT consona, vincoli temporali, funzione R&D insufficiente.

Come più volte specificato, alcune di queste difficoltà sono state individuate nell'analisi del settore manifatturiero nel suo complesso; queste sono comunque state rilevate nelle SMEs della moda di cui si hanno dati, ma la loro rilevanza in termini di influenza sull'adozione di tecnologie 4.0 potrebbe differire rispetto a quanto riportato nei casi studio analizzati. In questo senso sono state riscontrate differenze anche all'interno dello stesso settore: fattori come cultura, ubicazione dell'azienda, norme e regolamentazioni vigenti influenzano la rilevanza di alcune barriere.

La revisione svolta mostra come l'influenza delle difficoltà trovate varia in relazione alla singola SME, e vanno pertanto analizzate criticamente e rapportate alla realtà aziendale sotto esame.

Si evidenzia, inoltre, la possibile presenza di ulteriori ostacoli propri del settore moda. Nella documentazione consultata la raccolta dati avviene tramite questionari di autovalutazione, somministrati a una o più personalità aziendali. Essendo l'Industria 4.0 una rivoluzione che riguarda tutte le aree dell'impresa, il singolo manager potrebbe non avere consapevolezza di alcune barriere o non riconoscerne altre come tali.

Si ritiene quindi che l'intervento di organizzazioni esterne, come società di consulenza, possano giovare l'azienda fornendo un punto di vista concreto e privo di bias, oltre che un aiuto per definire quali sono le maggiori criticità e le azioni e risorse necessarie per la loro risoluzione.

La RQ2 viene posta con lo scopo di offrire una panoramica di tecnologie e relativi provider in linea con l'Industria 4.0 attualmente presenti sul mercato.

Sono state consultate diverse fonti, tra cui la letteratura, i provider di servizi pertinenti all'Industria 4.0 suggeriti dalla società di consulenza HFS e l'elenco degli espositori all'ITMA 2023.

Si individuano così 8 hardware e 12 software che possano rispondere alle esigenze del settore moda. Nello specifico gli hardware proposti sono: un sistema per il controllo qualità dei filati, una stampante 3D per calzature, macchinari tessile, per il taglio e per operazioni di termoadesione, veicolo a guida automatizzata per lo spostamento di pallet e simili, due tipologie di robot collaborativi.

I software riportati riguardano invece soluzioni di realtà aumentata e realtà virtuale, banca dati per tessuti e filati, software per il controllo qualità, due tipologie di ERP per pelletteria, 3 software per il

design di capi d'abbigliamento e un software per la progettazione di calzature, software per la gestione delle fasi di design e prototipazione, due software per il controllo della produzione in real-time.

Per sviluppi futuri si suggerisce di effettuare uno studio più approfondito sulle barriere del fashion e del footwear distintamente, per evidenziare ulteriori criticità proprie del settore.

Sarebbe inoltre utile ampliare la lista di tecnologie proposte e categorizzarle in base alle tipologie di lavorazioni/aree aziendali, oltre ad analizzare come queste possano facilitare la transizione all'Industria 4.0.

Bibliografia

- Amaral, A., & Peças, P. (2021). SMEs and Industry 4.0: Two case studies of digitalization for a smoother integration. *Computers in Industry*, 125, 103333.
- Arribas, V., & Alfaro, J. A. (2018). 3D technology in fashion: from concept to consumer. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*.
- Arrigo, E. (2021). Digital platforms in fashion rental: a business model analysis. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 26(1), 1-20.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776.
- Barzotto, M. (2023). Educational (mis) match in the context of new manufacturing: A qualitative comparative analysis study in five European countries. *International Journal of Finance & Economics*.
- Barzotto, M., & De Propris, L. (2021). The value of firm linkages in the age of industry 4.0: a qualitative comparative analysis. *The Annals of Regional Science*, 67(2), 245-272.
- Bhatia, M. S., & Kumar, S. (2023). An empirical analysis of critical factors of Industry 4.0: a contingency theory perspective. *International Journal of Technology Management*, 91(1-2), 82-106.
- Borrell, J., González, A., Perez-Vidal, C., Gracia, L., & Solanes, J. E. (2023). Cooperative human–robot polishing for the task of patina growing on high-quality leather shoes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 125(5-6), 2467-2484.
- Braglia, M., Marrazzini, L., Padellini, L., & Rinaldi, R. (2020). Managerial and Industry 4.0 solutions for fashion supply chains. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 25(1), 184-201.
- Brubacher, K., Tyler, D., Apeageyi, P., Venkatraman, P., & Brownridge, A. M. (2023). Evaluation of the accuracy and practicability of predicting compression garment pressure using virtual fit technology. *Clothing and Textiles Research Journal*, 41(2), 107-124.
- Calabuig-Barbero, E., Davia-Aracil, M., Mora-Mora, H., & Herrero-Pérez, F. (2020). Computational model for hyper-realistic image generation using uniform shaders in 3D environments. *Computers in Industry*, 123, 103337.
- Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., & Pinto, R. (2020). How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 695-721.
- Coito, T., Martins, M. S., Viegas, J. L., Firme, B., Figueiredo, J., Vieira, S. M., & Sousa, J. M. (2020). A middleware platform for intelligent automation: An industrial prototype implementation. *Computers in industry*, 123, 103329.

- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226, 107617.
- Dal Forno, A. J., Bataglini, W. V., Steffens, F., & Ulson de Souza, A. A. (2023). Maturity model toll to diagnose Industry 4.0 in the clothing industry. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 27(2), 201-219.
- Davia-Aracil, M., Hinojo-Pérez, J. J., Jimeno-Morenilla, A., & Mora-Mora, H. (2018). 3D printing of functional anatomical insoles. *Computers in Industry*, 95, 38-53.
- Fareri, S., Fantoni, G., Chiarello, F., Coli, E., & Binda, A. (2020). Estimating Industry 4.0 impact on job profiles and skills using text mining. *Computers in industry*, 118, 103222.
- Farooq, B., Bao, J., Raza, H., Sun, Y., & Ma, Q. (2021). Flow-shop path planning for multi-automated guided vehicles in intelligent textile spinning cyber-physical production systems dynamic environment. *Journal of manufacturing systems*, 59, 98-116.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, 210, 15-26.
- Fromhold-Eisebith, M., Marschall, P., Peters, R., & Thomes, P. (2021). Torn between digitized future and context dependent past—How implementing ‘Industry 4.0’ production technologies could transform the German textile industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120620.
- Galati, F., & Bigliardi, B. (2019). Industry 4.0: Emerging themes and future research avenues using a text mining approach. *Computers in Industry*, 109, 100-113.
- García, Á., Bregon, A., & Martínez-Prieto, M. A. (2022). A non-intrusive Industry 4.0 retrofitting approach for collaborative maintenance in traditional manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 164, 107896.
- Garzoni, A., De Turi, I., Secundo, G., & Del Vecchio, P. (2020). Fostering digital transformation of SMEs: a four levels approach. *Management Decision*, 58(8), 1543-1562.
- Gómez-Hernández, J. F., Davia-Aracil, M., Sanchez-Romero, J. L., & Jimeno-Morenilla, A. (2021). An approach to implement STEP-NC in the footwear industry. *Computers in Industry*, 125, 103384.
- Hack-Polay, D., Rahman, M., Billah, M. M., & Al-Sabbahy, H. Z. (2020). Big data analytics and sustainable textile manufacturing: decision-making about the applications of biotechnologies in developing countries. *Management Decision*.
- Halbrecht, A., Kinsbursky, M., Poranne, R., & Sterman, Y. (2023). 3D Printed Spacer Fabrics. *Additive Manufacturing*, 65, 103436.
- Haleem, N., Bustreo, M., & Del Bue, A. (2021). A computer vision based online quality control system for textile yarns. *Computers in Industry*, 133, 103550.
- Hervas-Oliver, J. L. (2022). Industry 4.0 in industrial district SMEs: understanding collective knowledge transfer by research and transfer institutes. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 32(5), 647-666.

- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?. *Technological forecasting and social change*, 146, 119-132.
- Huynh, N. T. (2020). Online defect prognostic model for textile manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104910.
- Jimeno-Morenilla, A., Azariadis, P., Molina-Carmona, R., Kyratzi, S., & Moulianitis, V. (2021). Technology enablers for the implementation of Industry 4.0 to traditional manufacturing sectors: A review. *Computers in Industry*, 125, 103390.
- Jimeno-Morenilla, A., García-Rodríguez, J., Orts, S., & Davia-Aracil, M. (2016). GNG based foot reconstruction for custom footwear manufacturing. *Computers in Industry*, 75, 116-126.
- Khan, S. A. R., Tabish, M., & Zhang, Y. (2023). Embracement of industry 4.0 and sustainable supply chain practices under the shadow of practice-based view theory: ensuring environmental sustainability in corporate sector. *Journal of Cleaner Production*, 398, 136609.
- Kiel, D., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies—A business level perspective. *Technovation*, 68, 4-19.
- Kumar, P., Sharma, D., & Pandey, P. (2023). Coordination mechanisms for digital and sustainable textile supply chain. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 72(6), 1533-1559.
- Kwak, K., Kim, D., & Heo, C. (2023). Sustainable innovation in a low-and medium-tech sector: Evidence from an SME in the footwear industry. *Journal of Cleaner Production*, 397, 136399.
- Lepore, D., Vecciolini, C., Micozzi, A., & Spigarelli, F. (2023). Developing technological capabilities for Industry 4.0 adoption: An analysis of the role of inbound open innovation in small and medium-sized enterprises. *Creativity and Innovation Management*, 32(2), 249-265.
- Li, L., Su, F., Zhang, W., & Mao, J. Y. (2018). Digital transformation by SME entrepreneurs: A capability perspective. *Information Systems Journal*, 28(6), 1129-1157.
- Liu, Z., Sampaio, P., Pishchulov, G., Mehandjiev, N., Cisneros-Cabrera, S., Schirrmann, A., ... & Bnouhanna, N. (2022). The architectural design and implementation of a digital platform for Industry 4.0 SME collaboration. *Computers in Industry*, 138, 103623.
- López, T., Riedler, T., Köhnen, H., & Fütterer, M. (2022). Digital value chain restructuring and labour process transformations in the fast-fashion sector: Evidence from the value chains of Zara & H&M. *Global Networks*, 22(4), 684-700.
- Majeed, A. A., & Rupasinghe, T. D. (2017). Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0: An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry. *International Journal of Supply Chain Management*, 6(1), 25-40.

- Majumdar, A., Garg, H., & Jain, R. (2021). Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. *Computers in Industry*, *125*, 103372.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of manufacturing systems*, *49*, 194-214.
- Mo, D., Zou, X., & Wong, W. (2022). Neural stylist: Towards online styling service. *Expert Systems with Applications*, *203*, 117333.
- Negri, E., Berardi, S., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2020). MES-integrated digital twin frameworks. *Journal of Manufacturing Systems*, *56*, 58-71.
- Nouinou, H., Asadollahi-Yazdi, E., Baret, I., Nguyen, N. Q., Terzi, M., Ouazene, Y., ... & Kelly, R. (2023). Decision-making in the context of Industry 4.0: Evidence from the textile and clothing industry. *Journal of Cleaner Production*, 136184.
- Ogunjimi, A., Rahman, M., Islam, N., & Hasan, R. (2021). Smart mirror fashion technology for the retail chain transformation. *Technological Forecasting and Social Change*, *173*, 121118.
- Ozbiltekin-Pala, M., Kazancoglu, Y., Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., & Luthra, S. (2022). Analyzing critical factors of strategic alignment between operational excellence and Industry 4.0 technologies in smart manufacturing. *The TQM Journal*.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of intelligent manufacturing*, *31*, 127-182.
- Pagano, S., Russo, R., & Savino, S. (2020). A vision guided robotic system for flexible gluing process in the footwear industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *65*, 101965.
- Park, K. T., Kang, Y. T., Yang, S. G., Zhao, W. B., Kang, Y. S., Im, S. J., ... & Do Noh, S. (2020). Cyber physical energy system for saving energy of the dyeing process with industrial internet of things and manufacturing big data. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, *7*, 219-238.
- Pivoto, D. G., de Almeida, L. F., da Rosa Righi, R., Rodrigues, J. J., Lugli, A. B., & Alberti, A. M. (2021). Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review. *Journal of manufacturing systems*, *58*, 176-192.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, *224*, 107546.
- Ramanathan, K., & Samaranayake, P. (2022). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: a self-diagnostic framework and an illustrative case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *33*(3), 468-488.
- Ren, S., Chan, H. L., & Siqin, T. (2020). Demand forecasting in retail operations for fashionable products: methods, practices, and real case study. *Annals of Operations Research*, *291*, 761-777.

- Reyes, J., Mula, J., & Díaz-Madroñero, M. (2021). Development of a conceptual model for lean supply chain planning in industry 4.0: Multidimensional analysis for operations management. *Production Planning & Control*, 1-16.
- Samadhiya, A., Agrawal, R., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Integrating industry 4.0 and total productive maintenance for global sustainability. *The TQM Journal*.
- Santos, P. M. M., Campilho, R. D. S. G., & Silva, F. J. (2021). A new concept of full-automated equipment for the manufacture of shirt collars and cuffs. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, 102023.
- Schönfuß, B., McFarlane, D., Hawkrigde, G., Salter, L., Athanassopoulou, N., & de Silva, L. (2021). A catalogue of digital solution areas for prioritising the needs of manufacturing SMEs. *Computers in Industry*, 133, 103532.
- Tsai, Y. T., Lee, C. H., Liu, T. Y., Chang, T. J., Wang, C. S., Pawar, S. J., ... & Huang, J. H. (2020). Utilization of a reinforcement learning algorithm for the accurate alignment of a robotic arm in a complete soft fabric shoe tongues automation process. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 501-513.
- Xia, H., Wang, Y., Jasimuddin, S., Zhang, J. Z., & Thomas, A. (2022). A big-data-driven matching model based on deep reinforcement learning for cotton blending. *International Journal of Production Research*, 1-19.
- Yan, Y., Gupta, S., Licsandru, T. C., & Schoefer, K. (2022). Integrating machine learning, modularity and supply chain integration for Branding 4.0. *Industrial Marketing Management*, 104, 136-149.
- Yang, Y. I., Yang, C. K., & Chu, C. H. (2014). A virtual try-on system in augmented reality using RGB-D cameras for footwear personalization. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4), 690-698.
- Yu, Y., Li, M., Li, X., Zhao, J. L., & Zhao, D. (2018). Effects of entrepreneurship and IT fashion on SMEs' transformation toward cloud service through mediation of trust. *Information & Management*, 55(2), 245-257.
- Yu, Y., Moore, M., & Chapman, L. P. (2021). Social network analysis of an emerging innovation: Direct-to-Garment printing technology. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 25(2), 274-289.

Sitografia

The Digital Economy and Society Index (DESI) 2022:

<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>

Percorso per il decennio digitale – programma strategico per il 2030:

https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:6785f365-1627-11ec-b4fe-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF

Piano Nazionale « Industria 4.0 »:

https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/2017_01_16-Industria_40_English.pdf

HFS Top 10 : Industry 4.0 Service Providers, 2022:

<https://www.hfsresearch.com/research/hfs-top-10-industry-4-0-service-providers-2022/>

Classificazione AiIG 2022:

<https://www.ingegneriagestionale.it/wp-content/uploads/2022/05/Classificazione-AiIG-2022.pdf>

Espositori all'ITMA 2023: <https://www.goto.itmaconnect.com/>

WearUp: <http://www.wearup.com/il-software-wearup/>

Wubags: <https://wubags.it/>

WE/AR Studio, realtà aumentata: <https://wear-studio.com/services-item/ar-development/>

WE/AR Studio, realtà virtuale: <https://wear-studio.com/services-item/vr-development/>

Uster Quantum 4.0: <https://www.uster.com/products/in-line-process-control/uster-quantum/>

Flezilis Shoes XL: <https://stampatreddi.it/stampante-shoes/>

AISDetector: <https://iot.asus.com/products/AI-software/AISDetector/>

Overall Equipment Effectiveness:

<https://wise-paas.advantech.com/en-us/marketplace/product/advantech.oee---overall-equipment-effectiveness-solution>

SDS-ONE APEX: <https://www.shimaseiki.com/product/design/>

Yarnbank: <https://yarnbank.shimaseiki.com/it>

PF3: <https://www.staubli.com/it/en/robotics/products/AGV-platforms/PF3.html>

HelMo: <https://www.staubli.com/it/en/robotics/products/mobile-robot-system.html>

OptiMax-i Connect:

<https://www.picanol.be/machines-features/machines/optimax-i-connect-rapier-weaving-machine>

DPM: <https://dpm.kmon.net/>

CREATE PLES: <https://kmon.net/en/solutions/k-innovation/create-plus>

CREATE DESIGN: <https://kmon.net/en/solutions/k-innovation/create-design>

ICad3D+ : <https://icad.inescopsolutions.com/es/productos.html>

Vector: <https://www.lectra.com/en/products/vector-fashion>

VisionPLM: <https://www.coatsdigital.com/en/manufacture/visionplm/>

X-BOT: https://www.rsarobot.it/en/products_en/x-bot/

FP ALUMINIUM:

<https://www.giommepi.com/cms/it/presse-adesivatrici-it/presse-per-adesivazione-di-abbigliamento-e-capospalla/presa-adesivatrice-fp-aluminium>

2DCad (2Capture, 2Design, 2Tetrix): <https://www.morgantecnica.com/cad2d/>

Indice delle tabelle

Tabella 1. Categorie di tecnologie abilitanti I4.0 (DESI 2022)	8
Tabella 2. Top 10 provider di servizi 4.0 (HFS, 2022)	26
Tabella 3. Barriere per le SMEs della moda nell'implementazione I4.0	30

Indice delle figure

Figura 1. Implementazione di tecnologie digitali in grandi imprese e SMEs dell'UE (DESI 2022) .	9
Figura 2. Imprese che utilizzano tecnologie di Cloud computing per settore, 2021 (DESI 2022) ...	10
Figura 3. Imprese che analizzano big data per settore, 2020 (DESI 2022)	10
Figura 4. Utilizzo di tecnologie AI per settore industriale, 2021 (DESI 2022)	11
Figura 5. Tecnologie abilitanti I4.0 (Piano nazionale industria 4.0, 2016)	12
Figura 6. Applicazioni della realtà aumentata (Alcácer e Cruz-Machado, 2019)	14
Figura 7. Benefici riscontrati nei diversi processi aziendali (Arribas e Alfaro, 2018)	19
Figura 8. Tessuto distanziatore stampato in 3D in uno stato di compressione (Halbrecht et al., 2023)	20
Figura 9. Risultato del modello (Calabuig-Barbero et al., 2020)	21
Figura 10. Funnel descrittivo dei diversi step di ricerca letteraria	25
Figura 11. Numero di contributi considerati per anno di pubblicazione	25
Figura 12. Piattaforma a tre livelli per il supporto di strategie manutentive CBM (Garcia et al., 2022)	38
Figura 13. Esempio di dashboard su piattaforma Cloud (Garcia et al., 2022).....	38
Figura 14. Sistema <i>Uster Quantum 4.0</i> (Uster.com)	43
Figura 15. Stampante 3D <i>Flexilis Shoes XL</i> (Stampatreddi.it)	44
Figura 16. Macchina tessile <i>OptiMax-i Connect</i> (picanol.be)	45
Figura 17. Macchina per il taglio <i>Vector</i> (lectra.com).....	46
Figura 18. Adesivatrice FP ALUMINIUM (giemmepi.com)	47
Figura 19. Veicolo a guida automatizzata PF3 (staubli.com)	48
Figura 20. Robot collaborativo <i>HelMo</i> (staubli.com).....	49
Figura 21. Esempio di campione virtuale realistico, realizzato tramite SDS-ONE APEX (shimaseiki.eu)	55

Figura 22. Esempio di dashboard del software OEE (advantech.com) **58**