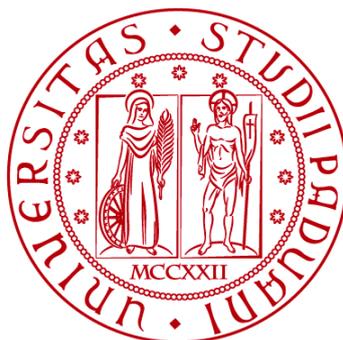


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI  
INDUSTRIALI  
CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA  
MECCANICA E MECCATRONICA



**Tesi di Laurea Triennale in  
Ingegneria Meccanica e Meccatronica  
Curriculum meccanico**

**DALL'INDUSTRIA 4.0 ALL'INDUSTRIA 5.0:  
L'EVOLVERSI DI UN'AZIENDA  
ATTRAVERSO LE NUOVE TECNOLOGIE**

**Relatore:** *Ing. Ilenia Zennaro*  
**Correlatore:** *Nicola Spagnolo (A.D. NAPOLEON ABRASIVES SPA)*

**Laureando:** Enrico Campostrini  
**Matricola:** 1029166

ANNO ACCADEMICO 2023-2024







# Indice

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPITOLO 1 L'INDUSTRIA 4.0.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Concetto di Industria 4.0.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Tecnologie abilitanti 4.0.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.1 Cyber-Physical System (CPS) .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Artificial intelligence (AI).....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.3 Internet of Things (IoT).....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.4 Big Data .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.5 Cloud .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.6 Cybersecurity .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.7 Virtual Reality (VR) e Augmented Reality (AR).....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.8 Robot .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.9 Additive Manufacturing.....</b>	<b>20</b>
<b>CAPITOLO 2 L'INDUSTRIA 5.0.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Concetto di Industria 5.0.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Tecnologie abilitanti 5.0.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1 Edge Computing (EC) .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.2 Digital Twin.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.3 Cobot .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.4 Internet of Everything (IoE).....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.5 Analisi dei Big Data .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.6 Blockchain .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.7 6G .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3 Transizione 5.0 .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4 Tabella riassuntiva caratteristiche Industria 4.0 e Industria 5.0 .....</b>	<b>33</b>

<b>CAPITOLO 3 CASO STUDIO – NAPOLEON ABRASIVES S.P.A.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Origini e processo di produzione.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Progetto transizione 4.0.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Progetto transizione 5.0.....</b>	<b>45</b>
<b>CAPITOLO 4 CONCLUSIONI.....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>51</b>





# Introduzione

La società e il mondo dell'industria, ormai da qualche anno si sta sempre più digitalizzando, in modo particolare grazie all'arrivo della quarta rivoluzione industriale ovvero l'Industria 4.0.

L'avvento dell'Industria 4.0 porta con sé la nascita di innovativi paradigmi chiamati anche tecnologie abilitanti: il Cyber-Physical System (CPS), l'Internet of Things (IoT), i Big Data, il Cloud, la Cybersecurity, la Virtual Reality e Augmented Reality, l'Artificial Intelligence e Machine Learning, i Robot, l'Additive Manufacturing e la Simulazione. Tutte queste tecnologie hanno portato il mondo dell'industria, dalle grandi alle piccole medie imprese, ad una automatizzazione e digitalizzazione del processo sempre più spinte.

Questa transizione verso un mondo digitale ha fatto sì che l'industria sentisse il bisogno di un'interazione uomo-macchina e del pensiero critico dell'essere umano, per raggiungere i propri obiettivi con un approccio sostenibile sia economicamente che in materia ambientale insieme ad un approccio resiliente in grado di rispondere ai repentini cambi di richiesta da parte del cliente e ad una mancanza di stabilità generale. Sono proprio i concetti di "Centralità umana", "Resilienza" e "Sostenibilità" che segnano il passaggio ad un'altra rivoluzione industriale, chiamata Industria 5.0.

L'industria 5.0, è da sottolineare che non chiude il capitolo dell'industria 4.0, tutt'altro corre in parallelo con essa, in quanto necessita proprio delle sue tecnologie abilitanti. Molti incentivi che stanno per mettere a disposizione i governi dei vari stati europei infatti impongono investimenti di tipo 4.0 prima di poter concedere gli aiuti previsti dall'Industria 5.0.

In questo elaborato di tesi dopo aver esaminato il contesto si procede ad analizzare il caso specifico di una piccola media impresa della provincia di Verona che ha messo in opera un progetto di digitalizzazione e automatizzazione del processo attraverso un investimento di industria 4.0 e che allo stesso tempo sta valutando progetti sostenibili che rientrano nell'industria 5.0



# Capitolo 1

## L'industria 4.0

### 1.1 Concetto di Industria 4.0

L'obiettivo di ogni rivoluzione industriale sta nell'innovazione grazie alla quale il settore dell'industria può reagire sempre più velocemente e in modo adeguato alle esigenze di mercato. Dunque il focus principale di questa ultima rivoluzione è la digitalizzazione e la fusione del mondo fisico con quello virtuale. L'Industria 4.0 raffigura una solida ambizione per l'innovazione e lo sviluppo tecnologico <sup>1</sup> e ha ricevuto una grande attenzione da parte di molti settori, come l'industria automobilistica ed elettronica. Il ruolo crescente delle tecnologie di automatizzazione e digitalizzazione del processo (come i robot industriali con un alto livello di precisione, ripetibilità e resistenza), all'interno delle aziende manifatturiere hanno aumentato la produttività dei loro sistemi di assemblaggio<sup>2</sup>. In Figura 1 sono rappresentate le quattro rivoluzioni industriali che hanno caratterizzato l'innovazione del processo industriale fino ad oggi.

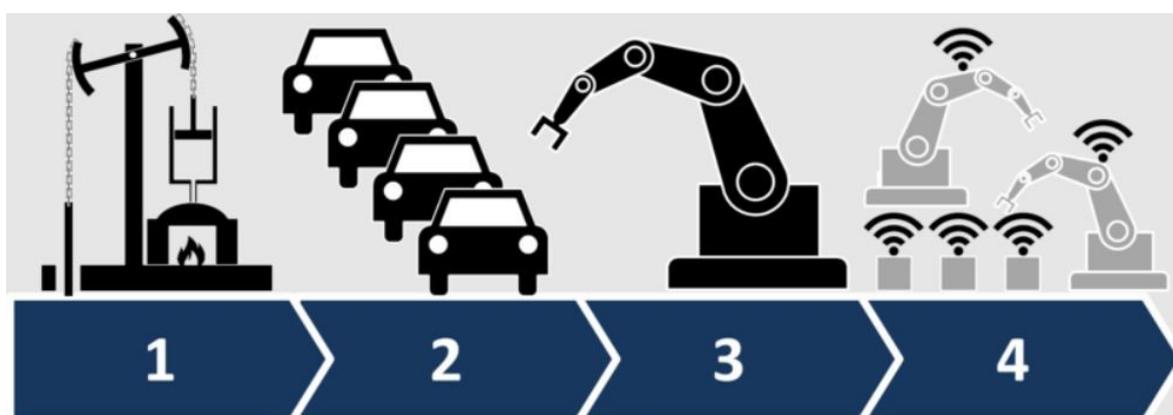


Figura 1: Le 4 rivoluzioni industriali (Christoph Roser, Wikimedia Commons 2017)

La quarta rivoluzione industriale nota anche come Industria 4.0 ha avuto origine da un progetto della strategia High-tech del governo Tedesco. Il termine industria 4.0 è stato introdotto nel 2011 alla fiera di Hannover. Nell'era dell'industria 4.0 i sistemi di produzione, sottoforma di CPPS, possono prendere decisioni intelligenti attraverso la comunicazione in tempo reale, consentendo una produzione flessibile di prodotti personalizzati di alta qualità. L'Industria 4.0 si riferisce al collegamento in rete intelligente di macchine e processi per l'industria basati su CPS, una tecnologia che consente di

<sup>1</sup> De Nul et al., 2021

<sup>2</sup> Weckenborg et al., 2020

realizzare un controllo intelligente utilizzando sistemi embedded in rete. L'Industria 4.0 è considerata una rivoluzione guidata dalla tecnologia per raggiungere efficienza e produttività più elevate. A livello mondiale, molti paesi hanno introdotto iniziative strategiche simili alla Germania, ad esempio: l'Industrial Internet Consortium negli USA, Piano di transizione 4.0 in Italia, Produktion 2030 in Svezia e il Made in China 2025 in Cina.

Questo nuovo modello industriale si basa su una produzione personalizzata e sulla digitalizzazione della catena del valore. Come oggetto fisico, il prodotto acquisisce una nuova dimensione nell'ambito tecnologico, diventando portatore di informazioni per l'intero ciclo di vita. Per la prima volta, l'impresa manifatturiera integra al prodotto fisico servizi personalizzati, creando una fonte aggiuntiva di redditività. Le aziende ora iniziano a non focalizzarsi più solo sul prodotto ma forniscono anche un servizio al cliente, transitando da un approccio orientato al prodotto a uno orientato al servizio. Questo progresso è reso possibile dall'interconnessione di spazi digitali e fisici nei campi della robotica, Internet delle cose (IoT) e intelligenza artificiale (AI).

La quarta rivoluzione industriale nasce da diversi bisogni:

- produttività più elevata attraverso la riduzione dei tempi di approvvigionamento e di fermo macchina;
- un'alta flessibilità nella personalizzazione di prodotti e servizi in piccole quantità;
- maggiore competitività grazie a nuove funzionalità derivanti dall'IoT;
- elevata velocità di sviluppo di nuovi prodotti;
- potenziamento della qualità grazie alla possibilità di raccogliere ed elaborare dati.

L'industria 4.0 ha rivoluzionato e sta rivoluzionando il settore manifatturiero grazie all'introduzione di tecnologie, quali l'intelligenza artificiale (AI), l'Internet of Things (IoT), i sistemi cyber-fisici (CPS) e altre tecnologie abilitanti. Il principio fondamentale dietro l'industria 4.0 è rendere l'industria manifatturiera "SMART" grazie all'interconnessione delle macchine e dispositivi che possono controllarsi tra di loro durante il ciclo di vita del prodotto e ha come priorità l'automatizzazione del processo riducendo l'intervento umano.

## 1.2 Tecnologie abilitanti 4.0

Il Boston Consulting Group ha identificato le tecnologie abilitanti fondamentali dell'Industria 4.0, figura n° 2, ovvero Big data, Robot Autonomi, Simulazione, Sistemi integrati, Internet of Things, Cybersecurity, Cloud Computing, Additive Manufacturing, e Realtà Aumentata.

Tali tecnologie sostengono i cinque principali temi di ricerca dell'industria 4.0:

- integrazione orizzontale attraverso reti di valore
- progettazione end-to-end lungo tutta la catena del valore
- integrazione verticale e sistemi di integrazione in rete
- sistemi cyber-fisici
- nuove infrastrutture sociali nei luoghi di lavoro

La Commissione Europea definisce le tecnologie abilitanti come “tecnologie caratterizzate da un'elevata intensità di conoscenza e associate a una marcata attività di ricerca e sviluppo, a cicli di innovazione rapidi, consistenti spese di investimento e a posti di lavoro altamente qualificati”<sup>3</sup>. L'introduzione di tali tecnologie contribuisce a migliorare la qualità dell'intera catena produttiva, rendendo innovativi sia i processi che i prodotti e i servizi nell'intero sistema industriale. Tra le tecnologie abilitanti più riconosciute nello smart manufacturing ci sono i sistemi Cyber-fisici, gestiti tramite IoT,

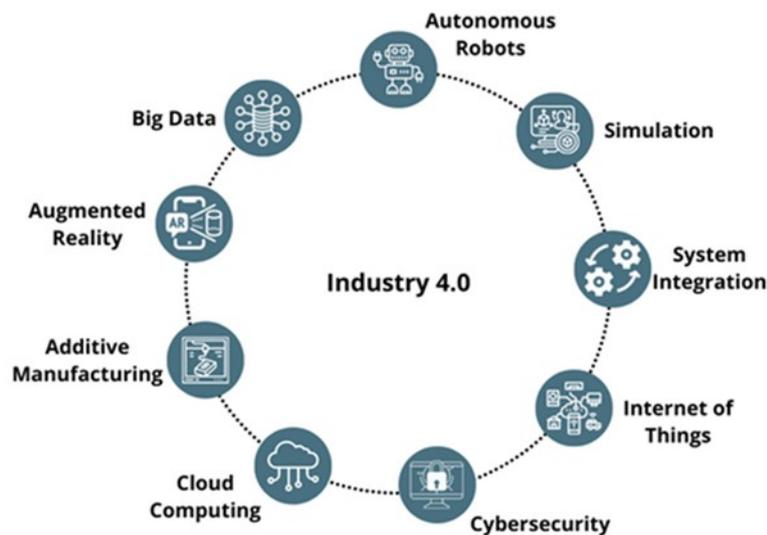


Figura 2: Quadro delle tecnologie abilitanti Industria 4.0 (Cybertec Zucchetti)

Cloud Computing, Intelligenza Artificiale e analisi dei Big Data.

In Figura 2 sono rappresentate le nove tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0.

<sup>3</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/MEMO\\_12\\_484](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/MEMO_12_484)

### 1.2.1 Cyber-Physical System (CPS)

I Cyber-Physical Systems (CPS) sono definibili come un'integrazione e comunicazione continua tra sistemi fisici e digitali, ossia sistemi collegati in rete in cui la parte computazionale (cyber) è strettamente integrata con le componenti fisiche (physical), come si può notare in Figura 3. Si parla, di elementi fisici che possiedono capacità computazionale embedded, che riescono a comunicare con il mondo virtuale attraverso il quale è possibile controllare lo stato e il comportamento del componente fisico. Il loro scopo principale è il monitoraggio di un processo fisico, e tramite feedback, il suo adeguamento in tempo reale a nuove condizioni operative. In particolare, la connessione di rete dà vita a un sistema intelligente con capacità di memorizzazione e comunicazione, creando così un sistema autonomo. Per citarne un esempio la fabbrica del futuro sarà a tutti gli effetti un CPS dove, a tecnici altamente qualificati verranno fornite informazioni operative direttamente da macchine intelligenti controllate e coordinate da un'entità centrale. Ogni aspetto funzionale della fabbrica sarà coinvolto: dalla progettazione alla produzione e dalla catena di fornitura fino ad arrivare al customer service.

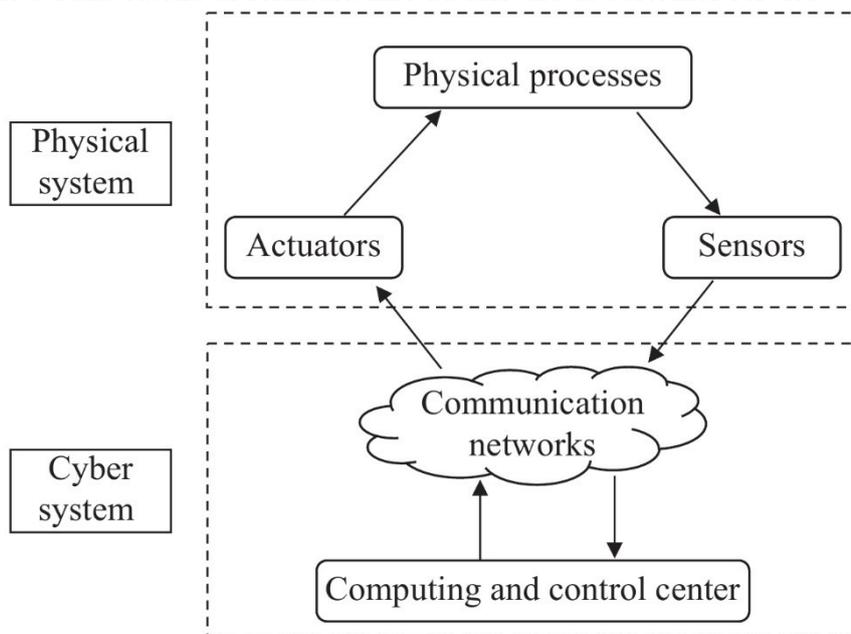


Figura 3: Schema Sistema Cyber-fisico (journal of automatica sinica, Zhou et al.,2022)

### 1.2.2 Artificial intelligence (AI)

Il termine Artificial Intelligence (AI) definisce la capacità di una macchina o di un sistema software di emulare le capacità cognitive della mente umana. Gli elementi principali per creare un'intelligenza artificiale sono: una macchina o generalmente un robot e il software, fondamentale per l'apprendimento. L'AI affinché possa funzionare ha bisogno di altre tecnologie abilitanti, quali: l'IoT, in quanto i sensori interagiscono col sistema e l'uso del cloud, indispensabile per la mole di dati/comandi da scambiare. Tra le tecnologie

principali dell'Artificial Intelligence vi è il Machine Learning (ML), quest'ultimo riproduce il funzionamento della mente umana che per apprendere prima imita, poi prova e commette errori (euristica) e infine ripete e memorizza. Il punto di forza del ML sono gli input, l'analisi basata sui dati e il processo decisionale informato. A differenza delle classiche istruzioni per l'uso del computer, il ML è specializzato in previsioni nell'ambito della statistica computazionale e della probabilità. Le applicazioni dell'AI includono la personalizzazione di prodotti, previsioni di domanda di mercato, ottimizzazione dell'approvvigionamento e collaborazione tra robot e persone nelle filiere produttive. Nell'industria, l'uso dell'AI può portare a significativi miglioramenti, come l'ottimizzazione dei processi e la riduzione dei costi di conversione dei produttori. L'AI viene adottata anche nell'ambito della manutenzione predittiva, un tipo di manutenzione preventiva che viene effettuata su macchinari o strumenti a seguito dell'individuazione di uno più parametri che vengono misurati e controllati utilizzando appropriati modelli matematici. Lo scopo è quindi di prevenire eventuali guasti prima che accadano.

### 1.2.3 Internet of Things (IoT)

Il concetto di "Internet of Things" (IoT) è stato coniato nel 1999 da Kevin Ashton del MIT (Massachusetts Institute of Technology). L'IoT è una rete di sistemi interconnessi che coinvolgono hardware, software, microprocessori, sensori e database e ha lo scopo di identificare e processare informazioni sfruttando Internet come mezzo di comunicazione. L'IoT è uno dei punti focali dell'industria 4.0, essendo il mezzo principale attraverso il quale vengono digitalizzati e automatizzati i processi. L'IoT è presente nella quotidianità, basti pensare a come oggi solo attraverso una connessione si possano regolare molti elementi di case (domotica) o di edifici.

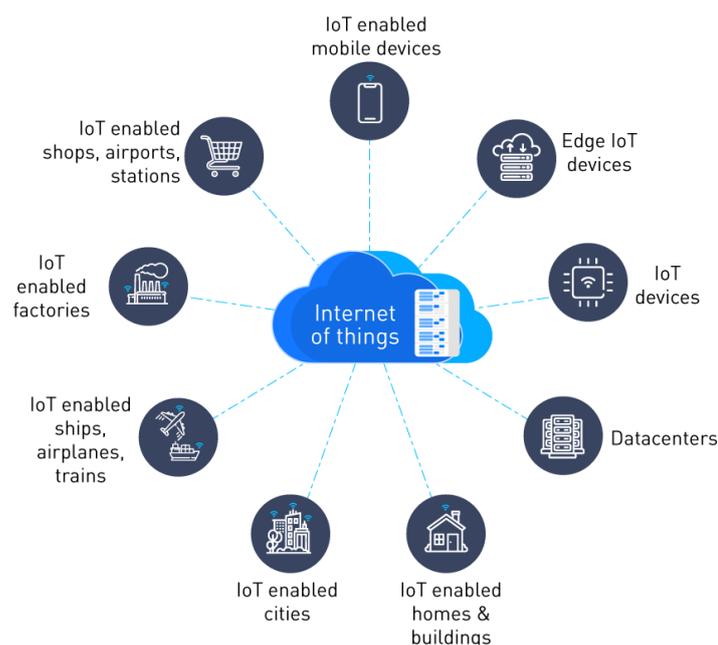


Figura 4: IoT o Internet of Things (www.monolithicpower.com)

Infatti, come si può vedere in Figura 4, l'Internet of Things (IoT) costituisce la base delle infrastrutture intelligenti, come case, trasporti, città e fabbriche.

Le smart factory, in particolare, fanno un ampio uso di questa tecnologia. L'automatizzazione dei processi tramite la tecnologia IoT permette alle aziende di prendere decisioni efficaci, riducendo le tempistiche e migliorando i consumi energetici. Nel contesto industriale, si evolve nell'Industrial Internet of Things (IIoT).

### 1.2.4 Big Data

I Big Data sono definibili come enormi volumi di dati eterogenei per fonte e formato, analizzabili in tempo reale, questi dati non sono facilmente gestibili con i tradizionali database, sia a causa della complessità dell'informazione che del peso in termini di spazio occupato. Il processo di raccolta e gestione dei dati cambia, si sviluppano nuove tecnologie a supporto del ciclo di vita del prodotto. I Big Data industriali presentano le caratteristiche delle 5 V: volume, velocità, varietà, veridicità e valore. Queste caratteristiche, rappresentate in Figura 5, mettono a dura prova l'utilizzo delle tecniche tradizionali di elaborazione del segnale per analizzare i grandi dati industriali.



Figura 5: Le 5V dei BigData ([www.sadasdb.com](http://www.sadasdb.com))

L'elaborazione di questi dati richiede la formattazione, la riduzione delle dimensioni, l'identificazione di modelli nascosti e la valutazione e previsione delle prestazioni. È essenziale considerare che i dati possono presentarsi in forma strutturata, semi-strutturata o non strutturata. Pertanto è fondamentale utilizzare strumenti appropriati che implementino algoritmi di Machine Learning e concetti di Intelligenza Artificiale per accelerare il processo di estrazione delle informazioni. In questo contesto, assume un'importanza fondamentale l'output derivante dall'analisi dei Big Data, che prende il

nome di Big Data Analytics. Questi ultimi trasformano i dati grezzi in informazioni di valore per i decision maker aziendali, rendendo così possibile prendere decisioni tempestive e più informate. I Big Data e i Business Analytics possono essere utilizzati nelle aziende in vari modi, a seconda degli obiettivi da raggiungere. Attraverso di essi è possibile ottenere molteplici benefici, ad esempio si possono generare vantaggi di tipo economico. Possono, infatti, migliorare l'engagement con il cliente, contribuire ad aumentare le vendite e a diminuire il time to market, ampliare la propria offerta di prodotti e servizi, ma possono anche identificare nuovi mercati, ottimizzare l'offerta attuale e, infine, possono ridurre i costi. Per questo un settore in cui i Big Data trovano ampia applicazione è il marketing, grazie alla possibilità di raccogliere una quantità di dati inimmaginabile, consentono alle aziende di orientarsi verso strategie di marketing innovative.

### 1.2.5 Cloud

La tecnologia Cloud è un sistema remoto che utilizza sia l'hardware che il software i quali supportano le applicazioni web connesse allo spazio di archiviazione nel Cloud. È la base fondamentale del Cloud Computing. Il Cloud Computing è la fornitura di diversi servizi di calcolo tramite Internet ("il cloud"). Queste risorse includono strumenti e applicazioni come archiviazione dati, server, database, analisi, rete e software. Il Cloud Computing è denominato come tale perché le informazioni a cui si accede si trovano nel cloud o in uno spazio virtuale. Quindi, anziché mantenere i file su un disco rigido proprietario o su un dispositivo di archiviazione locale, lo storage basato su cloud consente di salvarli in un database remoto. Il Cloud Computing viene utilizzato sia nelle grandi che nelle piccole imprese, dalle organizzazioni no-profit alle agenzie governative, fino ad arrivare ai singoli consumatori.

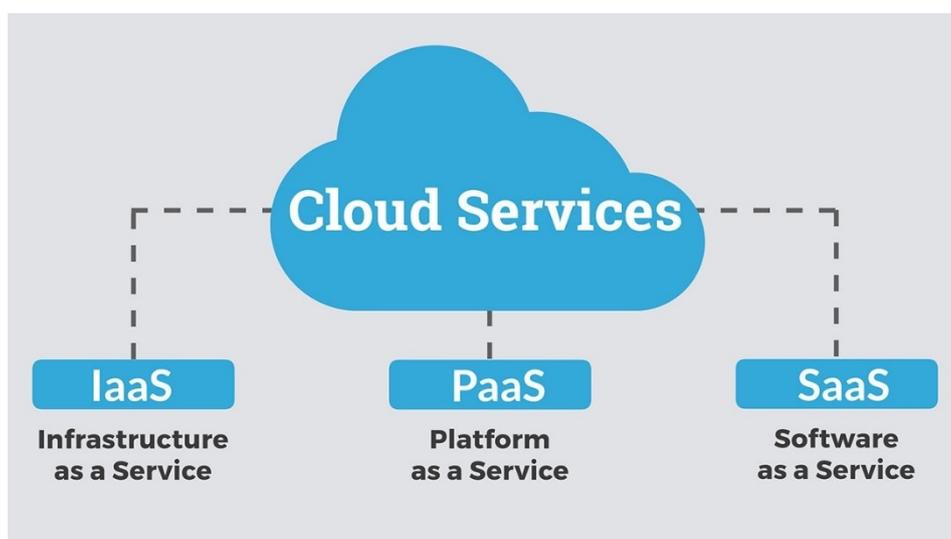


Figura 6: Servizi Cloud (Plesky, 2019)

In generale, come in Figura 6, i servizi cloud possono essere distinti in:

- **Infrastcure as a Service (IAAS):** è un modello nel quale vengono messe a disposizione risorse hardware virtualizzate affinché l'utilizzatore possa gestire secondo le proprie esigenze una propria infrastruttura sul cloud. (es: Compute Engine di Google Cloud Platform, EC2 di Amazon)
- **Platform as a Service (PaaS):** è una piattaforma che consente agli utenti di sviluppare, gestire ed eseguire applicazioni tramite internet. (es: Google App Engine)
- **Software as a Service (SaaS):** è un modello di distribuzione del software in cui un produttore sviluppa e gestisce un'applicazione web mettendola a disposizione del consumatore via internet. (es: Dropbox, Gmail, Drive)

L'evoluzione di questa tecnologia nella produzione conduce alla transizione verso l'industria manifatturiera basata sui servizi, nota come Cloud Manufacturing (CMfg), in cui le risorse produttive delle aziende possono essere collegate attraverso il cloud ai potenziali clienti. I vantaggi includono la riduzione dei costi fissi, la diminuzione degli sprechi e la maggiore competitività per le PMI rispetto alle grandi imprese. Al giorno d'oggi è quasi impossibile trovare un'organizzazione che non si affidi almeno parzialmente ai servizi cloud. Che si tratti di software applicativo, sistemi operativi, database, server Web, indirizzi IP o reti locali virtuali, il cloud sembra offrire tutto.

### **1.2.6 Cybersecurity**

Nei dispositivi Internet of Things (IoT), una compromissione potrebbe causare fermi macchina, danni agli impianti, rischi per la salute dei dipendenti, danni d'immagine e perdite finanziarie. L'aumento della digitalizzazione e dell'interconnessione tra dispositivi, insieme alla stretta connessione tra vari attori, ha reso cruciale la protezione di tali sistemi da minacce informatiche, poiché gli oggetti connessi a Internet possono diventare mezzi di accesso non autorizzati ai sistemi. La cybersecurity è l'insieme di tecnologie finalizzate alla protezione di un sistema informatico da attacchi che potrebbero compromettere o, nel peggiore dei casi, causare la perdita di dati e informazioni.

La differenza tra il settore IT e una smart factory è che, nel primo caso, gli attacchi si concentrano principalmente sulle informazioni confidenziali, mentre nella seconda si focalizzano sull'integrità del processo fisico. Pertanto, attacchi alla smart factory potrebbero causare fermi macchina, rischi per la salute dei dipendenti, danni all'immagine aziendale e perdite economiche.

Nel mondo gli attacchi informatici sono in continuo aumento, in questo contesto continua a crescere l'interesse delle aziende italiane per la cybersecurity, che si conferma la principale priorità di investimento nel digitale tra le imprese, sia grandi che PMI. Il 62% delle grandi organizzazioni ha aumentato la spesa in cybersecurity, infatti nel 2023 il

mercato italiano della cybersecurity ha raggiunto un record: 2,15 miliardi di euro, +16% rispetto al 2022.

### 1.2.7 Virtual Reality (VR) e Augmented Reality (AR)

La realtà virtuale e la realtà aumentata sono due tecnologie essenziali per la transizione verso l'Industria 4.0 poiché consentono alle aziende di intraprendere il percorso verso la digitalizzazione.

I termini VR (Virtual Reality) e AR (Augmented Reality) vengono spesso erroneamente utilizzati come sinonimi, ma per costi e applicazioni si differenziano tra loro in modo sostanziale; nonostante entrambe le tecnologie utilizzino ambienti virtuali esse differiscono nella tipologia di interazione con il mondo circostante. Le differenze tra VR e AR sono rappresentate in Figura 7.

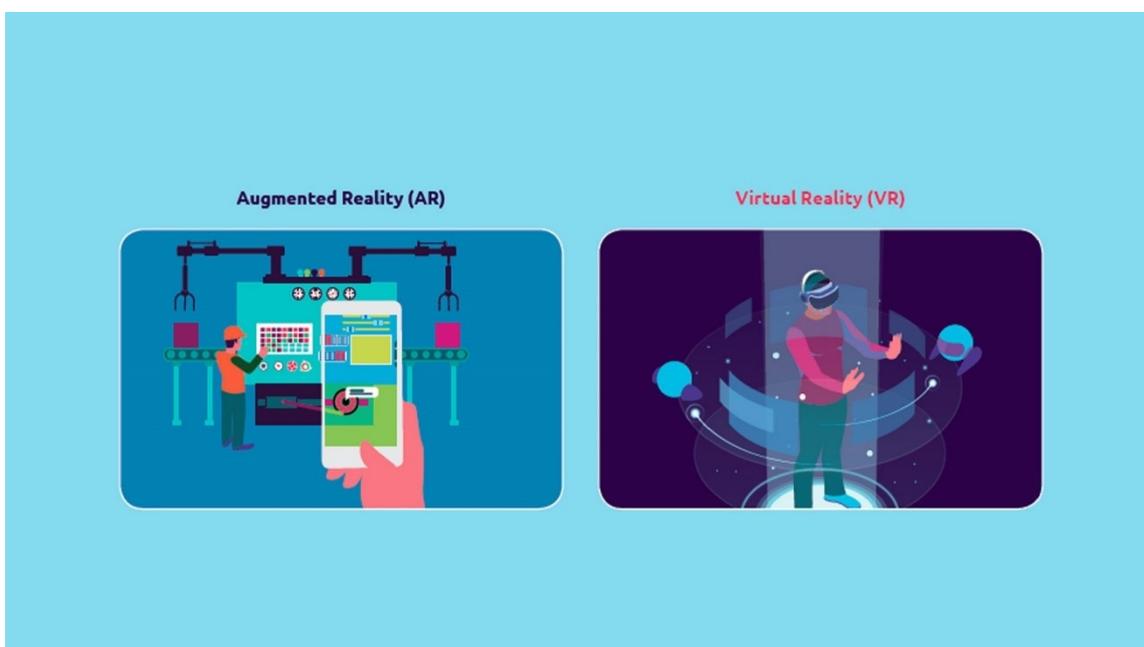


Figura 7: AR vs VR (Laura Zanotti, 2018)

La Realtà Aumentata (AR) è quell'insieme di informazioni che vengono “aggiunte” a un'immagine reale grazie all'impiego di una videocamera (o di una webcam) collegata a un computer, e di una rete di sensori. L'odierna tecnologia ha permesso di racchiudere quanto è necessario all'interno di un dispositivo portatile come uno smartphone o un tablet, o addirittura indossabile come un paio di occhiali.

La Realtà Virtuale è una tecnologia che opera in modo del tutto diverso, sostituendo la realtà con una simulazione “chiusa”, una modellazione 3D, più o meno definita che, per essere visualizzata, necessita di speciali visori collegati a un computer o di una console di gioco, dotati di potenti processori grafici e CPU di buona potenza. Si tratta di soluzioni costose, destinate a settori molto verticali, come appunto quello ludico o la formazione professionale.

Lo scopo comune per entrambe queste tecnologie, indipendentemente dai costi realizzativi, è però quello di migliorare la conoscenza, superando il numero di informazioni che vengono recepite dalla normale osservazione, riducendo la distanza cognitiva tra soggetto e oggetto

Nelle fasi iniziali dello sviluppo prodotto, queste tecnologie consentono una revisione e modifica veloce dei concept, testandoli in un ambiente virtuale. Per quanto riguarda la produzione, è possibile programmare e simulare i processi produttivi, identificando pregi e difetti in modo chiaro.

Settori come l'aerospaziale, l'automobilistico, l'energetico, la difesa e il settore medico traggono maggiori vantaggi da VR e AR. Grandi aziende promuovono l'integrazione di VR e AR nella loro supply chain, consentendo l'utilizzo di modelli digitali e l'interazione con team multifunzionali in diverse parti del mondo.

### **1.2.8 Robot**

Negli ultimi anni, gli investimenti in robot industriali nel settore manifatturiero si sono rivelati proficui ed essenziali, consentendo metodi di produzione autonoma e intelligente e migliorando l'integrazione uomo-macchina. Per robotica collaborativa, nota anche come Advanced Manufacturing Solutions, si intende un sistema di robot collaborativi interconnessi. La collaborazione tra operatori di linea e robot, nota come COBOT, ha permesso la creazione di linee ibride, condividendo spazi e compiti in modo sicuro grazie a sistemi di controllo avanzati.

Alcuni produttori, tra cui anche Bosch, sono noti nel settore dei robot industriali, anche se spesso utilizzano linguaggi di programmazione proprietari, rendendo difficile l'integrazione in linee con macchinari diversi. Lo scopo non è solo quello di aumentare l'efficienza e diminuire i costi, ma anche quello di arrivare al punto in cui sia possibile rendere completamente automatizzato l'intero processo di produzione e stoccaggio, potendo contare, tra le altre cose, su un sistema di monitoraggio avanzato ed efficiente.

I Cobot sono particolarmente utili in sistemi di assemblaggio, dove l'automazione completa potrebbe non essere economicamente conveniente. I Cobot supportano gli operatori in attività usuranti, ripetitive o pericolose, concentrandosi su flessibilità, sicurezza, versatilità e autonomia. Ciò permette applicazioni in diversi settori, aumentando l'efficienza della produzione.

### **1.2.9 Additive Manufacturing**

L'Additive Manufacturing, o stampa 3D, è una tecnica di produzione che aggiunge strati di materiale per creare manufatti tridimensionali, in contrasto con i metodi tradizionali basati sulla sottrazione di materiale. Infatti, il termine “manifattura additiva” fa riferimento a tecnologie che fanno crescere oggetti tridimensionali uno strato alla volta. Ogni strato successivo si lega allo strato precedente di materiale fuso o parzialmente fuso.

È possibile utilizzare diverse sostanze per il materiale di stratificazione, tra cui polvere di metallo, materiali termoplastici, ceramiche, compositi, vetro e persino materiali commestibili come il cioccolato.

Questo approccio riduce gli sprechi e i costi, consentendo la produzione di oggetti complessi senza modificarli per conformarsi ai processi tradizionali.

I vantaggi includono la flessibilità nella produzione di lotti minimi, la possibilità di creare prodotti completamente finiti senza assemblaggio e la libertà di complessità nella geometria del prodotto.



Figura 8: Tecniche di Additive Manufacturing (Kambale, 2021)

Le tecniche di Additive Manufacturing, schematizzate in Figura 8, includono: Vat Photopolymerization, Powder Bed Fusion, Binder Jetting, Material Jetting, Sheet Lamination, Direct Energy Deposition e Material Extrusion (come FDM).

Oggi l'Additive Manufacturing gioca un ruolo fondamentale sia sullo sviluppo di prodotto che di processo. La sua applicazione sta crescendo, estendendosi oltre la prototipazione per includere la produzione finale, con benefici come la produzione on-demand e la riduzione degli sprechi di materiale.



## Capitolo 2

### L'industria 5.0

#### 2.1 Concetto di Industria 5.0

Negli ultimi dieci anni l'industria 4.0 è stata considerata guidata dalla tecnologia mentre l'industria 5.0 viene guidata dal valore. L'introduzione dell'Industria 5.0 si basa sull'ipotesi che l'Industria 4.0 si focalizza meno sui principi originari di equità sociale e sostenibilità, ma piuttosto sulla digitalizzazione e sulle tecnologie dall'intelligenza artificiale con l'obiettivo di aumentare l'efficienza e la flessibilità della produzione. Dal 2017 sono diffusi gli studi accademici sull'introduzione della Quinta Rivoluzione Industriale. Nel 2021, la Commissione europea, dopo aver discusso con i partecipanti delle organizzazioni di ricerca insieme alle agenzie di finanziamento di tutta Europa, ha formalmente annunciato la Quinta Rivoluzione Industriale (Industry 5.0), con la pubblicazione ufficiale del documento intitolato "Industry 5.0: Verso un'industria sostenibile, centrata sull'uomo e resiliente"<sup>4</sup>, tale documento tratta come l'Industria 5.0 sposta l'attenzione da un approccio puramente tecnologico ad un approccio più legato all'essere umano, alla sostenibilità e alla resilienza. L'Industria 5.0 riconosce il potere che hanno le aziende nel raggiungere obiettivi sociali che vanno oltre l'occupazione e la crescita, con l'obiettivo di diventare dei fornitori resilienti di prosperità producendo all'interno dei confini dell'ambiente e ponendo il benessere del lavoratore al centro del processo di produzione. Il paradigma dell'Industria 5.0 si integra con il paradigma esistente dell'Industria 4.0 facendo in modo che la ricerca e l'innovazione guidino la transizione verso un'industria europea sostenibile, resiliente e centrata sull'uomo. Come si evince dal documento sopracitato è evidente che l'Industria 5.0 è il prodotto del consenso della Commissione europea sulla necessità di integrare meglio priorità europee sociali e ambientali nell'innovazione tecnologica e spostare l'attenzione dalle singole tecnologie a un approccio sistematico. Riconoscendo che i progressi tecnologici trasformano il modo in cui il valore viene creato, scambiato e distribuito, c'è una pressante necessità di progettare tali tecnologie per sostenere i valori futuri della società.

L'avvento di questi cambiamenti e le questioni strettamente connesse all'innovazione tecnologica richiede all'industria di ripensare la propria posizione e il suo ruolo nella società. Inoltre, le priorità politiche in Europa hanno influenzato in modo significativo il

---

<sup>4</sup> Breque M, De Nul L, Petridis A. Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Luxembourg, LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation; 2021.

loro pensiero. Il Green Deal richiederà una transizione verso un'economia più circolare e un maggiore utilizzo di risorse sostenibili, compresa l'energia.



Figura 9: Valori fondamentali Industria 5.0 (*Journal of Manufacturing Systems, Xu et al., 2021*)

L'Industria 5.0 si concentra pertanto su tre valori fondamentali interconnessi tra loro, vedi Figura 9: centralità dell'uomo, sostenibilità e resilienza.

L'approccio umano-centrico pone i bisogni e gli interessi fondamentali dell'uomo al centro del processo produttivo, passando da un approccio guidato dalla tecnologia a un approccio totalmente incentrato sull'uomo e sulla società. I lavoratori non saranno più considerati come un costo ma come un investimento. “La tecnologia è al servizio delle persone e delle società”, significa che la tecnologia utilizzata in produzione si adatta alle esigenze e alla diversità dei lavoratori del settore. È necessario creare un ambiente di lavoro sicuro e inclusivo per dare priorità alla salute fisica, mentale, al benessere e, in ultima analisi, salvaguardare i diritti fondamentali dei lavoratori, quali l'autonomia, la dignità umana e la privacy. I lavoratori del settore industriale devono continuare ad aggiornarsi e a riqualificarsi per ottenere migliori opportunità di carriera e di equilibrio tra lavoro e vita privata.

Affinché l'industria rispetti i confini del pianeta, deve essere sostenibile. Deve sviluppare processi circolari che riutilizzino e riciclino le risorse naturali, riducano i rifiuti e l'impatto ambientale e, in ultima analisi, tali processi devono portare ad un'economia circolare con una migliore efficienza ed efficacia delle risorse.

La resilienza si riferisce alla necessità di sviluppare un maggior grado di robustezza nella produzione industriale, attrezzandola meglio per affrontare le difficoltà garantendo la capacità di supportare le infrastrutture in tempi di crisi. L'industria del futuro deve essere sufficientemente resiliente da poter affrontare rapidamente i cambiamenti geo-politici e le emergenze naturali.

Anche il lavoratore assume un ruolo fondamentale, infatti viene introdotto il concetto di "Operatore Resiliente 5.0" come operatore intelligente e competente che utilizza la creatività umana, l'ingegno e l'innovazione potenziata dalle informazioni e dalle tecnologie come mezzo per superare gli ostacoli, per creare nuove soluzioni e garantire la continuità delle attività produttive e il benessere della forza lavoro in condizioni difficili e/o impreviste.

L'azienda da Smart Manufacturing diventa Resilient Smart Manufacturing, ovvero un sistema di produzione intelligente e resiliente. Questo può essere definito come un sistema agile e flessibile/riconfigurabile che utilizza sensori intelligenti e tecniche di analisi descrittive, predittive e prescrittive per raccogliere e analizzare in tempo reale i dati operativi e ambientali per anticipare, reagire e recuperare da un evento imprevisto o da un'interruzione.

## 2.2 Tecnologie abilitanti 5.0

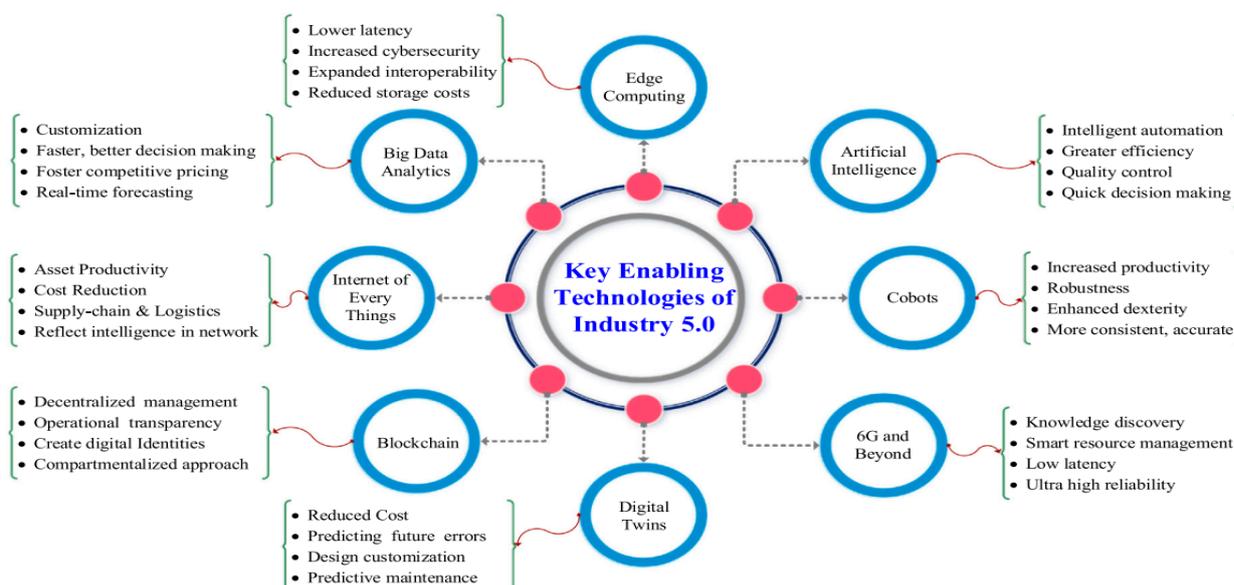


Figura 10: Tecnologie abilitanti 5.0 (Journal of Industrial Information Integration, Maddikunta et al., 2022)

Boston Consulting Group ha identificato nove tecnologie abilitanti chiave dell'Industria 4.0, mentre la Commissione europea ha individuato altre tecnologie abilitanti per l'Industria 5.0. Secondo l'attuale stato dell'arte, l'Industria 5.0 gioca un ruolo significativo in una varietà di applicazioni grazie all'adozione di tecnologie abilitanti come Edge Computing, Digital Twin, Internet of Everything, Big Data Analytics, Cobots, 6G, Blockchain e altre tecnologie. Tutte queste tecnologie abilitanti sono integrate con le

competenze cognitive e l'innovazione che possono aiutare le industrie ad aumentare la produzione, in modo sostenibile e resiliente, e a fornire più rapidamente prodotti personalizzati. Queste tecnologie abilitanti rendono l'Industria 5.0 un modello di produzione avanzato con un'attenzione particolare all'interazione tra macchine ed esseri umani. Le macchine intelligenti sono progettate per collaborare con gli esseri umani, e questo lavoro collaborativo facilita le capacità produttive, così facilmente da automatizzare le piccole imprese come mai prima d'ora.

In Figura 10 sono rappresentate le principali tecnologie abilitanti nelle applicazioni dell'Industria 5.0.

### **2.2.1 Edge Computing (EC)**

La rapida crescita dell'IoT e la fornitura di numerosi servizi Cloud hanno introdotto una nuova tecnologia, l'Edge Computing. L'EC permette l'elaborazione dei dati ai margini della rete, dove i dati vengono prodotti. L'EC può offrire un valore significativo, non solo nella futura Industria 5.0, ma anche nella transizione verso l'Industria 4.0, inoltre è in grado di soddisfare le aspettative relative ai costi di latenza, durata della batteria, ai requisiti di tempo di risposta, alla protezione dei dati e privacy. Questa nuova tecnologia riduce al minimo i problemi di overhead di comunicazione e garantisce la produttività delle applicazioni in aree remote, ma ha anche la capacità di elaborare i dati senza passarli al Cloud pubblico, contribuendo così a minimizzare i problemi di sicurezza. L'Edge Computing può eseguire alcune operazioni utili come l'elaborazione dei dati, la coerenza della cache, l'offloading dell'elaborazione, il trasferimento e la consegna delle richieste. Con tutte queste operazioni di rete, l'Edge Computing deve essere progettato in modo efficiente per garantire sicurezza, affidabilità e privacy per le applicazioni dell'Industria 5.0. L'EC fornisce comunicazioni in tempo reale per le applicazioni Industria 5.0 di prossima generazione, come gli UAV, i veicoli autonomi e il monitoraggio remoto dei pazienti. Al fine di gestire dati enormi, le industrie cercano di accedere regolarmente ai dati dai server locali. Una delle sfide dell'analisi di tutte queste macchine è che la quantità di dati grezzi è troppo grande per essere valutata in modo efficiente. L'EC permette all'Industria 5.0 di filtrare le informazioni riducendo al minimo il volume dei dati inviati a un server centralizzato, in questo modo l'EC consente di rilevare preventivamente i guasti delle macchine e di mitigare il problema dando la possibilità agli operatori prendere decisioni corrette. In sintesi, i progressi di questa tecnologia hanno permesso all'Industria 5.0 di ridurre al minimo la latenza, di ridurre la larghezza di banda della rete, di migliorare la sicurezza e la privacy dei dati, facilitando le transazioni che sono ostacolate da problemi di connessione. L'Edge Computing aiuta l'Industria 5.0 a utilizzare risorse hardware e software standard per scambiare informazioni sui loro settori industriali.

## 2.2.2 Digital Twin

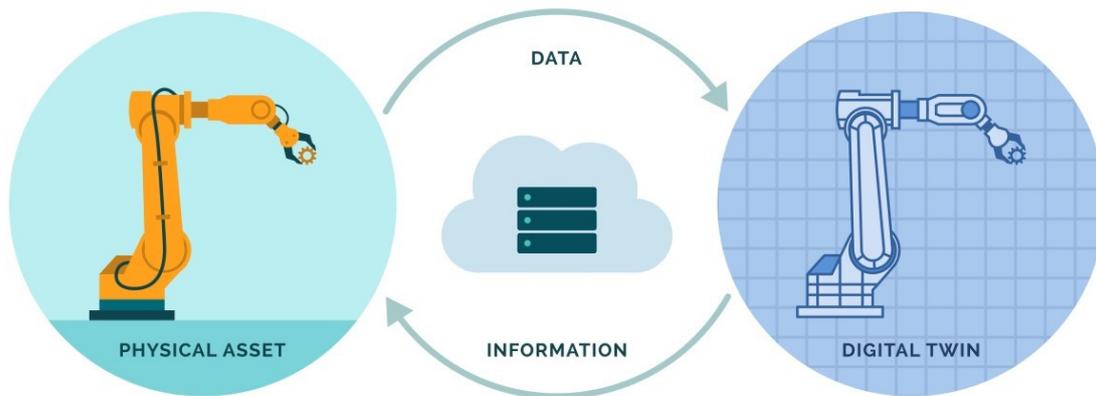


Figura 11: Scambio dati tra gemello digitale e fisico (Paauw, 2023)

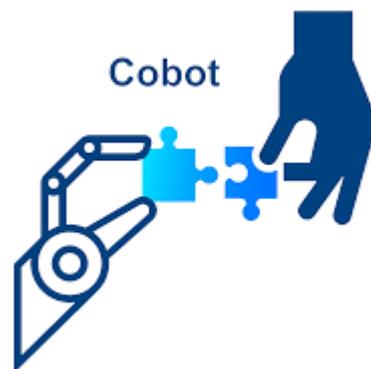
Il Digital Twin è una replica digitale di un sistema fisico o di un oggetto. I sistemi del mondo reale come parchi eolici, fabbriche, motori a reazione, edifici o anche sistemi più grandi come le città intelligenti possono essere rappresentati digitalmente attraverso il Digital Twin. Attraverso i dispositivi IoT, i dati provenienti dagli oggetti fisici vengono trasmessi alla loro controparte digitale per la simulazione. In Figura 11 si può osservare lo scambio dei dati tra il gemello fisico e quello digitale. Questa mappatura digitale di oggetti/sistemi in tempo reale attraverso il DT rende possibile analizzare, monitorare la versione digitale e prevenire i problemi prima che si verifichino nel mondo reale. Il rapido progresso di Artificial Intelligence, Machine Learning e Big Data Analytics ha permesso al Digital Twin di ridurre i costi di manutenzione e migliorare le prestazioni dei sistemi. Nell'Industria 5.0, il Digital Twin può offrire un valore significativo per lo sviluppo di prodotti personalizzati sul mercato, funzioni aziendali migliorate, riduzione dei difetti e modelli di business innovativi in rapida crescita per ottenere profitti. Questa tecnologia, inoltre può consentire all'Industria 5.0 di superare i problemi tecnici identificandoli più rapidamente, identificare gli articoli che possono essere riconfigurati o rinnovati sulla base della loro produttività, facendo previsioni con un tasso di accuratezza più elevato, prevedendo gli errori futuri, evitando così perdite finanziarie ingenti. Questo tipo di architettura intelligente consente alle aziende di realizzare vantaggi economici in modo più rapido rispetto al passato. Nell'Industria 5.0, il DT può essere utilizzato per generare modelli di simulazione, accedere a dati computazionali in tempo reale in modo che le aziende possano modificare e aggiornare da remoto gli oggetti fisici. Il DT viene utilizzato per la personalizzazione che può migliorare l'esperienza dell'utente e delle loro

esigenze di prodotto, un processo di acquisto che permette ai clienti di costruire ambienti virtuali per vedere i risultati.

### **2.2.3 Cobot**

I Cobot sono robot progettati per lavorare in modo collaborativo con gli esseri umani. Questa collaborazione contribuisce a rendere le capacità umane più efficienti, estremamente facili da automatizzare per i privati e le piccole imprese come mai prima d'ora. Le recenti tendenze dell'automazione e della robotica hanno reso sempre più importante per le persone lavorare con i robot. A causa dei rapidi e massicci cambiamenti nell'Artificial Intelligence tutti i dispositivi con capacità computazionale sono diventati più intelligenti e hanno introdotto una nuova tecnologia chiamata cobot. I cobot sono solitamente dotati di sensori e sono altamente reattivi al rilevamento di impatti imprevedibili, che li rende capaci di fermarsi spontaneamente quando i lavoratori umani rilevano la presenza di oggetti fuori posto sul loro percorso. Questo tende a renderli estremamente affidabili quando si tratta di sicurezza sul lavoro rispetto ai robot industriali standard.

I Robot sono estremamente validi nel processo di produzione di prodotti ad alto volume e sono molto più compatibili degli esseri umani ma allo stesso tempo sono inefficienti nel pensiero critico rispetto all'uomo. I Cobot possono offrire un valore aggiunto nell'Industria 5.0, lavorando con l'uomo, possono raggiungere l'obiettivo contribuendo così a fornire ai clienti prodotti personalizzati e con elevata velocità e precisione. Il ruolo dei Cobot nell'Industria 5.0 viene utilizzato per aumentare la produttività e aiuta a costruire un nuovo rapporto tra l'uomo e le macchine. Le industrie devono rendersi conto che i Cobot non offrono solo la capacità di migliorare le prestazioni aziendali, ma anche il potenziale per ridurre l'aumento del costo del lavoro in mercati altamente competitivi. In Figura 12 viene raffigurata la collaborazione tra uomo e Cobot.



*Figura 12: Collaborazione Uomo-Cobot (www.nextmsc.com)*

## 2.2.4 Internet of Everything (IoE)

L'Internet of Everything, come mostrato in Figura 13, è un collegamento interconnesso tra persone, processi, informazioni e cose e può fornire un valore significativo per le applicazioni dell'Industria 5.0.

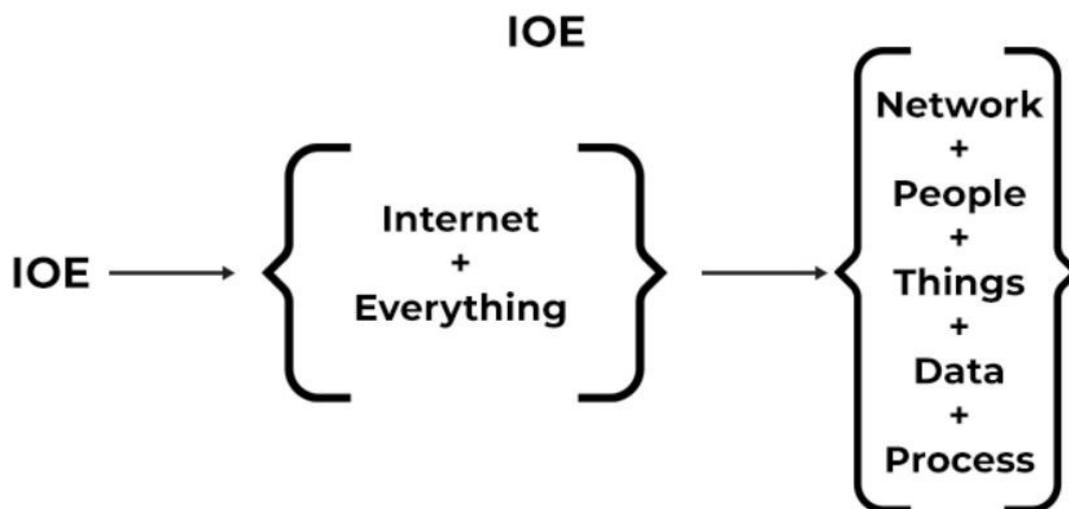


Figura 13: Schema IoE (commons.wikimedia.org)

I progressi dell'IoE nell'Industria 5.0 possono creare nuove funzionalità, fornire una migliore esperienza e benefici attesi dalle industrie. L'utilizzo di questa tecnologia offre l'opportunità di ridurre al minimo i costi operativi eliminando i colli di bottiglia sui canali di comunicazione e riducendo la latenza. Grazie all'immenso sviluppo dell'IoE, la condivisione delle informazioni tra gli esseri umani avviene in modalità wireless, essenzialmente con l'aiuto di sensori. Ad esempio, nell'Internet delle cose mediche, i sensori sono fissati al paziente, questi rilevano anomalie nei pazienti e trasmettono i dati rilevati al medico o all'infermiere che prenderanno le misure appropriate sulla base delle informazioni ottenute. Lo sviluppo principale di questo macroambiente tecnologico è indirizzato a migliorare e semplificare il processo, ovvero il modo di lavorare di un'azienda, quindi a modificare un modello di business perché permette alle aziende di operare in mercati lontani da quello primario in minor tempo.

### **2.2.5 Analisi dei Big Data**

I Big Data rappresentano un insieme ampio e diversificato di dati raccolti da tutti i tipi di fonti. L'analisi dei Big Data tende a svolgere un ruolo importante nel campo dell'Industria 5.0, alcune aziende possono usare i Big Data Analytics per comprendere meglio il comportamento dei consumatori, per ottimizzare i prezzi dei prodotti, migliorare l'efficienza della produzione e contribuire a ridurre i costi generali. I Big Data Analytics vengono utilizzati da alcune aziende, come Facebook, Twitter e LinkedIn, per promuovere i prodotti e ad aumentare le vendite sulla base della soddisfazione dei consumatori, per prendere decisioni in tempo reale e per migliorare il vantaggio competitivo delle industrie, con un'attenzione particolare a fornire informazioni sulle scoperte predittive dell'Industria 5.0. Il miglioramento continuo dei processi è un'altra sfida nell'Industria 5.0, che spesso richiede la raccolta di informazioni dettagliate sull'intero ciclo produttivo, le tecniche di Big Data Analytics vengono utilizzate per riconoscere ed eliminare le cose non essenziali, per massimizzare la prevedibilità ed esplorare nuove possibilità.

### **2.2.6 Blockchain**

Blockchain è un paradigma tecnologico basato sulla crittografia che consente la condivisione sicura di registri digitali, il suo utilizzo nel mondo industriale permette di garantire trasparenza, tracciabilità e sicurezza nelle transazioni digitali. In un contesto in cui l'industria globale si trova ad affrontare i temi dell'Industria 5.0 è importante analizzare il ruolo che può svolgere la Blockchain come tecnologia abilitante. In una prospettiva che sta ridefinendo i paradigmi produttivi e che promette di apportare cambiamenti significativi in termini di trasparenza, sicurezza e efficienza nei processi industriali si avvicinano le condizioni per creare una produzione sostenibile. La Blockchain può infatti offrire soluzioni innovative per fronteggiare le sfide dell'Industria 5.0 in particolare per quanto attiene ai temi dello sviluppo sostenibile. In questo scenario, il ruolo delle imprese è quello di comprendere a pieno le potenzialità della Blockchain nell'Industria 5.0 per creare nuove forme di innovazione. La caratteristica principale del processo è che il funzionamento non è garantito da un ente centrale, bensì ogni singola transazione viene validata ed approvata dall'interazione di tutti i nodi. Le transazioni che avvengono all'interno della rete vengono così registrate e validate eliminando in definitiva la necessità di terze parti "fidate". Le blockchain e i contratti intelligenti vengono utilizzati per automatizzare i processi di accordo tra le varie parti interessate e

aggiungere dinamicità al processo di contrattazione. I contratti intelligenti sono utilizzati per l'applicazione della sicurezza, come l'autenticazione e le azioni automatizzate orientate ai servizi per le applicazioni dell'Industria 5.0.

### **2.2.7 6G**

Con il termine 6G si intende la sesta generazione della telefonia mobile. In futuro, il 6G andrà a sostituire il 5G e offrirà importanti servizi e darà un valore aggiunto all'Industria 5.0. Con la crescita vigorosa delle infrastrutture intelligenti e delle potenziali applicazioni con le reti attuali (ad esempio, le reti 4G e 5G), non sarà possibile soddisfare i requisiti di larghezza di banda in rapido aumento. L'uso del 6G e di altre reti nella rivoluzione dell'Industria 5.0 rende possibili servizi di alta qualità, nonché di un'ampia infrastruttura IoT e di un'intelligenza artificiale integrata. Nelle applicazioni dell'Industria 5.0, le reti 6G contribuiscono a migliorare le prestazioni delle applicazioni in modo efficiente ed efficace. Per le applicazioni dell'Industria 5.0, le reti 6G sono destinate a soddisfare gli standard di una società smart in grado di fornire velocità di trasmissione dati ultra elevate, bassissima latenza, altissima affidabilità, alta efficienza energetica, capacità di traffico, ecc. La mobilità e la gestione del passaggio di consegne sono le sfide più significative per le reti 6G nell'Industria 5.0. Le reti 6G saranno reti su larga scala, altamente dinamiche e multistrato che comportano frequenti passaggi di consegna, infatti le tecniche di intelligenza artificiale possono essere utilizzate per ottenere previsioni ottimali di mobilità e soluzioni ottimali di handover per garantire una connettività efficiente. Nelle applicazioni dell'Industria 5.0, un gran numero di dispositivi smart sono connessi e viene consumata una quantità eccessiva di energia, per cui la gestione dell'energia è una sfida cruciale per l'Industria 5.0. Le reti 6G ottimizzano la gestione dell'energia attraverso strategie avanzate di consumo energetico e metodi di raccolta dell'energia.

## **2.3 Transizione 5.0**

La Commissione europea ha delineato una serie di strategie di implementazione, che riguardano gli investimenti, il marketing e la governance per promuovere l'Industria 5.0. Analogamente all'Industria 4.0, l'Industria 5.0, ha bisogno di investimenti sostanziali da parte delle agenzie governative. Indipendentemente dal futuro dell'Industria 5.0, i suoi valori fondamentali ossia centralità dell'uomo, sostenibilità e resilienza, sono diventati le principali forze trainanti per il progresso della società invece di essere un sottoprodotto dello sviluppo della prosperità guidato dal PIL. Questo è evidente dai recenti progressi compiuti dai governi per inserirli in politiche nazionali, come l'Accordo di Parigi, gli

Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) delle Nazioni Unite, il Benessere del Futuro, le generazioni future, l'Indicatore di progresso autentico 2.0, l'Economia del benessere e il National Performance Framework e l'Indice di miglioramento della vita dell'OCSE.

In Italia, il Ministero delle imprese e del made in Italy (Mimit), con la pubblicazione in G.U. del D.L. n. 19 del 2 marzo 2024, ha istituito il nuovo “Piano Transizione 5.0” mettendo a disposizione 6,3 miliardi di euro per finanziare l’innovazione digitale, la sostenibilità e l’efficienza energetica delle imprese. L’accesso al beneficio, tuttavia, non è automatico: il legislatore ha, infatti, posto una serie di vincoli e limitazioni per poter usufruire del credito d’imposta che può essere concesso fino al 45% della spesa e fino a 50 milioni di euro per investimenti ammissibili da realizzare nel 2024 e nel 2025, ad oggi però non è ancora presente un decreto attuativo. Il bonus 5.0 viene riconosciuto nel caso in cui venga asseverato un risparmio energetico, rispetto al periodo precedente l’avvio dell’investimento agevolato, del 3% della struttura produttiva o in alternativa del 5% dei processi produttivi interessati dall’agevolazione. Nel dettaglio, sono agevolabili gli investimenti in beni materiali e immateriali nuovi, strumentali all’esercizio d’impresa di cui agli Allegati A e B alla legge n. 232/2016 e che sono interconnessi al sistema aziendale di gestione della produzione o alla rete di fornitura, a condizione che, con gli stessi, i progetti di innovazione conseguano complessivamente una riduzione dei consumi energetici della struttura produttiva non inferiore al 3% o, in alternativa, una riduzione dei consumi energetici dei processi interessati dall’investimento non inferiore al 5%.

## 2.4 Tabella riassuntiva caratteristiche Industria 4.0 e Industria 5.0

Si rappresenta di seguito una tabella di confronto delle caratteristiche dell'Industria 4.0 e dell'Industria 5.0. In questa tabella vengono individuate più sezioni: il focus, l'approccio e le tecnologie di tutte e due le rivoluzioni industriali. Si può notare come alcuni aspetti sono comuni ma si differenziano sostanzialmente nell'approccio con cui si pongono nei processi industriali. Tale aspetto lo si può notare anche nelle tecnologie abilitanti, infatti le tecnologie dell'industria 5.0 necessitano delle tecnologie dell'Industria 4.0 e allo stesso modo gli incentivi statali del piano di Transizione 5.0 hanno come richiesta primaria l'interconnessione, caratteristica peculiare dell'Industria 4.0

	<b>INDUSTRIA 4.0</b>	<b>INDUSTRIA 5.0</b>
<b>FOCUS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIGITALIZZAZIONE DEL PROCESSO</li> <li>• AUTOMATIZZAZIONE DEL PROCESSO</li> <li>• ELEVATA PRODUTTIVITÀ</li> <li>• ELEVATA PERSONALIZZAZIONE</li> <li>• VELOCITÀ SVILUPPO NUOVI PRODOTTI</li> <li>• QUALITÀ DEL PRODOTTO</li> <li>• SMART MANUFACTURING</li> <li>• FLESSIBILITA'</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SOSTENIBILITÀ</li> <li>• RESILIENZA</li> <li>• CENTRALITÀ DELL'UOMO</li> <li>• COLLABORAZIONE UOMO-MACCHINA</li> <li>• PERSONALIZZAZIONE DEI PRODOTTI</li> <li>• SMART RESILIENT MANUFACTURING</li> <li>• FLESSIBILITA'</li> </ul>
<b>APPROCCIO</b>	RIVOLUZIONE GUIDATA DALLA TECNOLOGIA	RIVOLUZIONE GUIDATA DAL VALORE
<b>TECNOLOGIE ABILITANTI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (CPS)</li> <li>• ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)</li> <li>• INTERNET OF THINGS (IOT)</li> <li>• BIG DATA</li> <li>• CLOUD</li> <li>• CYBERSECURITY</li> <li>• VIRTUAL REALITY (VR) – AUGMENTED REALITY (AR)</li> <li>• ROBOT</li> <li>• ADDITIVE MANUFACTURING</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EDGE COMPUTING (EC)</li> <li>• DIGITAL TWIN (DT)</li> <li>• INTERNET OF EVERYTHING (IOE)</li> <li>• BIG DATA ANALYTICS</li> <li>• COBOT</li> <li>• 6G</li> <li>• BLOCKCHAIN</li> </ul>
<b>PIANO DI INCENTIVAZIONE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PIANO DI TRANSIZIONE 4.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PIANO DI TRANSIZIONE 5.0</li> </ul>

Figura 14: Tabella riassuntiva caratteristiche Industria 4.0 e Industria 5.0



## Capitolo 3

### Caso studio – Napoleon Abrasives S.p.A.

In questo capitolo vengono presentati due progetti di una piccola media impresa veronese che produce abrasivi flessibili. Il primo progetto si attiene ai criteri del Piano di Transizione 4.0 mentre il secondo segue i criteri del Piano di Transizione 5.0.

Prima di presentare i progetti si ritiene opportuno introdurre brevemente la ditta protagonista del progetto.



*Figura 15: Logo aziendale Napoleon Abrasives S.p.A.*

#### 3.1 Origini e processo di produzione

Fondata nel 1952, l'azienda Napoleon Abrasives Spa ha l'unità produttiva principale situata in San Giovanni Lupatoto, dove vengono realizzati carte, tessuti abrasivi, film plastici e supporti accoppiati brevettati di varia natura per il settore professionale. La gamma di abrasivi flessibili prodotti è vastissima e varia per tipologia di abrasivo, per supporto, per formato; anche le applicazioni per questi prodotti sono le più svariate: industria automotive, del legno, del tessile, dei pellami, dei metalli, delle vernici, del vetro, dei compositi, della nautica. L'unità produttiva di San Giovanni Lupatoto realizza l'abrasivo flessibile in rotoli di grande formato (Jumbo); da questo rotolo, con successive lavorazioni di taglio a misura e forma e/o di integrazione del supporto, realizzate anche in altra sede, si arriva al formato definitivo del prodotto: dischi, fogli, pads, rotoli e nastri. Il processo di produzione del rotolo deve avere la flessibilità di poter combinare diversi materiali abrasivi, nelle diverse grane, correttamente accoppiati con supporti idonei (carta, tela, film plastici, o mix di questi elementi) a seconda del prodotto e dell'applicazione perseguita.

Le fasi che si succedono sono essenzialmente tre:

1. distribuzione primo strato di colla sul supporto
2. distribuzione materiale abrasivo sul supporto più il primo strato di colla
3. distribuzione secondo strato di colla sopra i precedenti due strati

Tra la fase 2 e 3 e dopo la fase 3 vi sono passaggi di asciugatura all'interno di forni portati alla temperatura idonea, tale per cui le colle possano catalizzare, per ogni tipologia di prodotto.

Il prodotto finale dovrà rispettare determinati parametri di quantità e distribuzione dei materiali di supporto e di quelli apportati a seconda della tipologia di prodotto in lavorazione, pertanto risulta di estrema importanza poter controllare in tempo reale parametri come il peso al metro quadro del supporto, della prima colla, dell'abrasivo e della seconda colla.

In Napoleon vi sono due linee di produzione che compiono tutte le lavorazioni necessarie alla produzione del jumbo roll, queste vengono denominate:

- LINEA MAKER 1
- LINEA MAKER 3

Il processo di produzione delle due linee è molto simile, la differenza principale sta nella lunghezza della linea e nella durata dei prodotti nei vari forni, la linea Maker 3 è più corta e anche i tempi di permanenza del prodotto all'interno dei forni è più breve, infatti in questa linea si producono articoli che hanno colle con catalisi più rapida.

Ogni tipologia di supporto ha un suo peso classificato in grammi su metro quadro per quanto riguarda i supporti carta tela e rete, in micron per quanto riguarda il supporto film; questi supporti arrivano dai fornitori in grandi bobine che possono arrivare fino a 6.000 metri lineari in varie altezze fino anche a circa 2 metri. Queste grandi bobine vengono svolte nelle due linee di produzione a seconda della tipologia di prodotto che si vuole ottenere. Queste grandi linee sono composte da più macchine e da più forni, il supporto entra nello svolgitore dell'impianto, mentre viene svolto entra nella prima macchina dove attraverso dei rulli viene spalmata sul supporto una colla composta da vari componenti chimici differenti in quantità e in tipologia a seconda del prodotto che si vuole ottenere. E' fondamentale che la quantità di colla, misurata sempre in grammi su metro quadro, abbia un valore ben preciso dato dalla distinta base. Il supporto con sopra il primo strato di colla entra nel settore dove viene applicato lo strato di abrasivo, con l'utilizzo di tramogge e tappeti elettrostatici il grano abrasivo viene disteso anche qui in una quantità ben precisa data dalla ricetta e dalla distinta base. A questo punto il prodotto avanza ed entra nel primo forno per catalizzare il supporto più la prima colla più lo strato di grano abrasivo. A valle del primo forno il semilavorato entra nella seconda macchina in cui viene applicato il secondo strato di colla sopra ai tre strati precedenti; anche lo strato della

seconda colla deve rispettare una quantità specifica data sempre dalla ricetta del prodotto. Applicato anche l'ultimo strato il semilavorato entra in un secondo forno per poi essere riavvolto ad alte temperature. Le bobine una volta riavvolte escono dall'impianto e vengono posizionate all'interno di un altro forno per assicurare la catalisi di tutte le colle. In Figura 16 viene rappresentato graficamente il ciclo tecnologico di produzione.

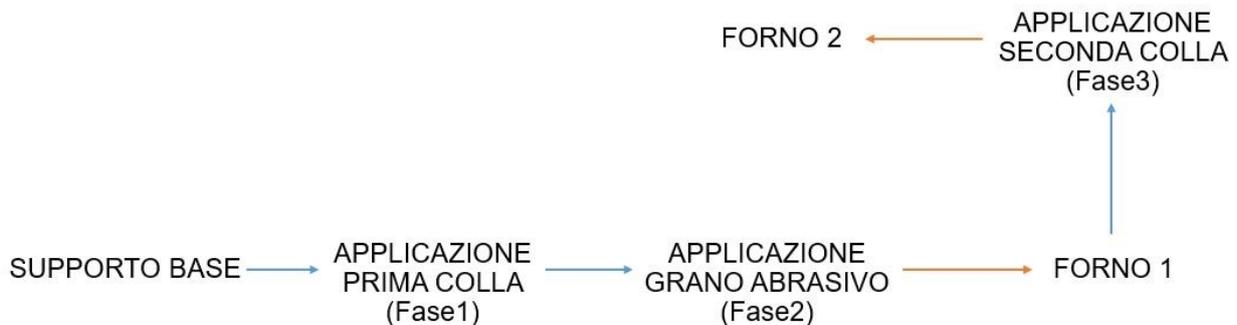


Figura 16: Ciclo tecnologico

### 3.2 Progetto transizione 4.0

Per avere sempre sotto controllo i pesi di ogni substrato applicato, l'operatore a valle di ogni fase preleva un campione e lo pesa su di una bilancia di alta precisione e lo confronta con i dati della ricetta del prodotto presenti in distinta base. Tale operazione, oltre ad essere onerosa per l'operatore che la svolge, determina un elevato scarto a fine linea; infatti ogni campione che viene prelevato è un vero e proprio "buco" sul prodotto che deve essere bonificato attraverso tagli del supporto e giunta tra due nuovi lembi. Da qui nasce la necessità dell'azienda di prevedere dei sistemi di controllo e di rilevazione del peso dei vari substrati.

Gli impianti oggetto di interesse sono installati sulle linee di produzione, in particolare gli impianti installati sul Maker1:

- Sistema di misura in continuo modello OF2000 USMX200 matr 283 (n.1 scanner)

E gli impianti sul Maker 3:

- Sistema di misura in continuo modello OF2000 USMX200 matr 629 (n.4 scanner)

L'investimento, essendo il progetto collaudato e certificato entro il 2022, l'azienda ha potuto detrarre il 40% del valore sotto forma di crediti di imposta (Piano di Transizione 4.0)

Come si nota dall'elenco precedente per la linea Maker1 è stato acquistato solo uno scanner a differenza della linea Maker 3 nella quale sono stati installati 4 scanner, questo perché all'interno della linea Maker 1 erano già presenti altri 3 scanner utilizzati solo

come sistema di rilevazione e mai collegati in rete (interconnessi) con il gestionale aziendale. Le caratteristiche di funzionamento e di collegamento con il gestionale dei sistemi installati sulle due linee di produzione sono del tutto simili, per questo motivo si andrà ad analizzare solo i sistemi della linea Maker 3.

Per quanto attiene alla linea Maker 3, Napoleon Abrasives S.p.A ha provveduto all'installazione di 4 dispositivi di misura del peso (scanner) del prodotto in linea. Questi sono stati montati in successione a ciascuna delle varie fasi di apporto materiale: il primo è installato nella parte iniziale dell'impianto ed ha la funzione di controllare il peso del supporto, il secondo controlla il peso del prodotto dopo che viene aggiunta la prima colla, il terzo misura il peso del prodotto dopo l'apporto di abrasivo ed il quarto verifica il peso finale del prodotto dopo l'aggiunta della seconda colla.

DENOMINAZIONE COSTRUTTORE/ASSEMBLATORE	MESYS GMBH (COSTRUTTORE) ERHARDT+LEIMER SRL (FORNITORE)
DENOMINAZIONE COMMERCIALE DEL BENE	SISTEMA DI MISURA IN CONTINUO MODELLO OF2000 USMX200
NUMERO DI MATRICOLA	629 (1.M1.A.0629 + 1.M2.A.0629 + 1.M3.A.0629 + 1.M4.0629)
ANNO DI COSTRUZIONE	2022
DATA DI INSTALLAZIONE/COLLAUDO/MESSA IN SERVIZIO	22/12/2022 – ACCETTAZIONE FINALE. (INSTALLAZIONE E COLLAUDO FINITI IL 05/12/2022) – INSTALLATO SU MAKER3
TIPOLOGIA DI MACCHINA	SISTEMA DI MISURAZIONE AD ULTRASUONI IN CONTINUO

*Figura 17: Tabella dati identificativi del sistema*

La macchina in esame è un sistema di misura in continuo per la rilevazione del peso del materiale che scorre attraverso di essa ed è costituita da una struttura su cui sono montate le guide su cui scorrono le teste di misura (inferiore e superiore) ove sono alloggiati i sensori di misura.

Le guide devono risultare esattamente perpendicolari al senso di marcia del materiale da misurare e quest'ultimo viene fatto passare tra le due teste di misura, parallelo rispetto alle stesse e alla medesima distanza tra le due teste. All'interno di una delle due spalle di questa struttura, protetti da un carter fisso, sono ubicati i componenti elettrici/elettronici e i motori ad uso delle due teste di misura, necessari per la loro movimentazione e gestione.

La denominazione tecnica del sistema è OF2000/USMX200; tale strumento di misura opera con una tecnologia ad ultrasuoni che consente la rilevazione corretta del peso indipendentemente dal materiale, dalla sua composizione chimica e dalla sua densità. Il range di peso misurabile va da 0 a 800 [g/m<sup>2</sup>]; la larghezza del materiale processabile è di 1900 [mm]. Tolleranza valore misurato ±0.5%.

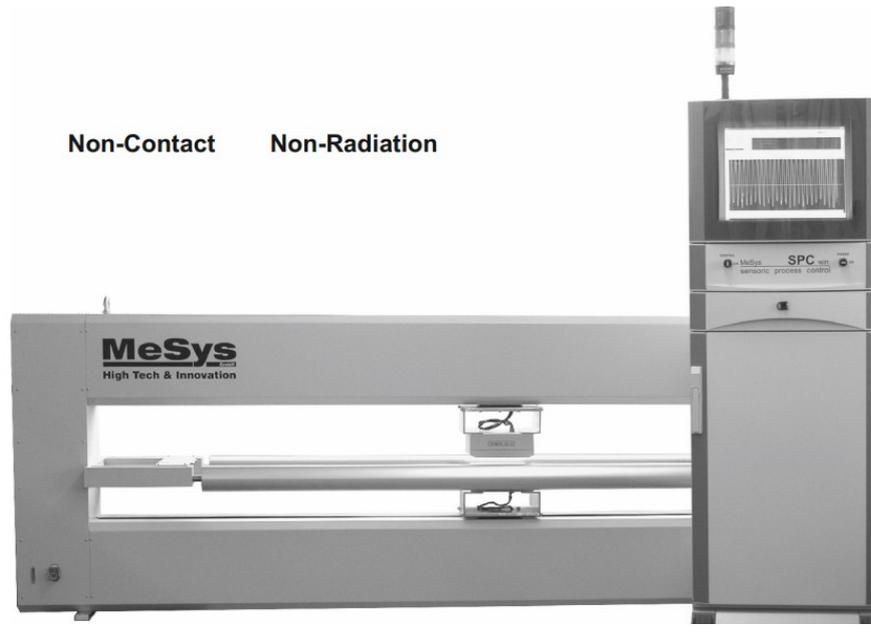


Figura 18: Sistema scanner Mesys OF2000/USMX200

I 4 scanner sono connessi tra loro in rete e controllati da un PC di supervisione B&R modello APC910. L'indirizzo IP che identifica il sistema nella rete aziendale è 192.168.0.155. Nella figura n°19 si può osservare lo schema di rete per l'interconnessione.

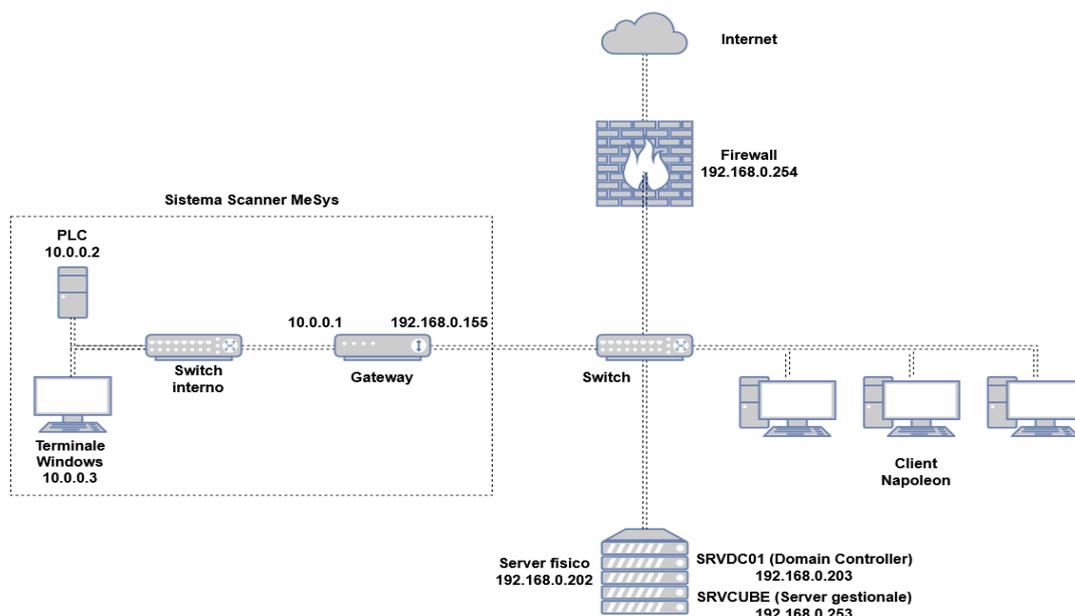


Figura 19: Schema di rete con informazioni scambiate



Nella figura n°21 si può vedere il pannello operatore del sistema di controllo dove appaiono le informazioni legate all'ordine lanciato.

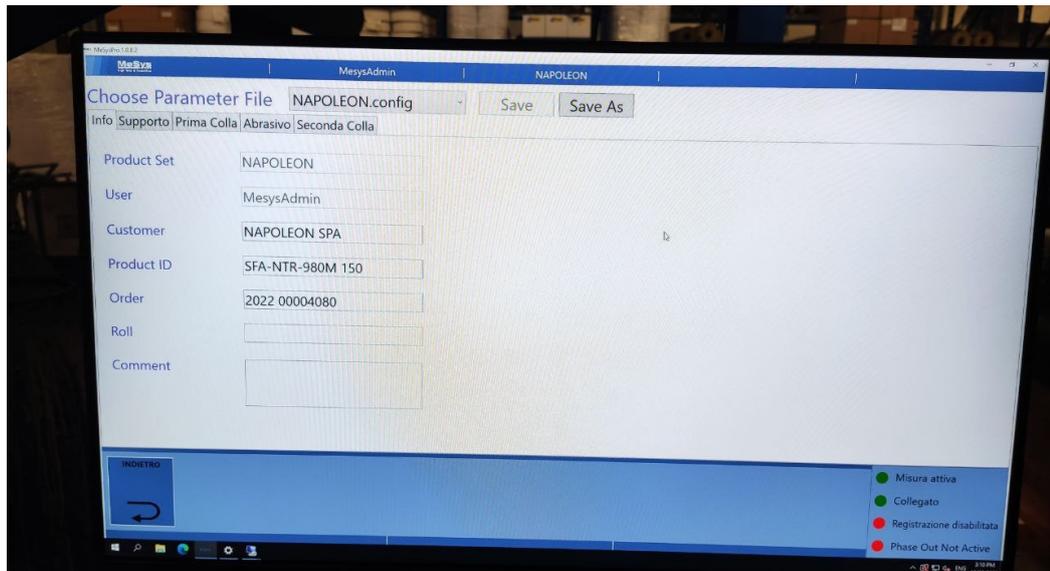


Figura 21: Pannello operatore del sistema di controllo con rif. ordine

Nella figura n°22 sono rappresentate le informazioni legate al supporto: valore obiettivo e soglie.

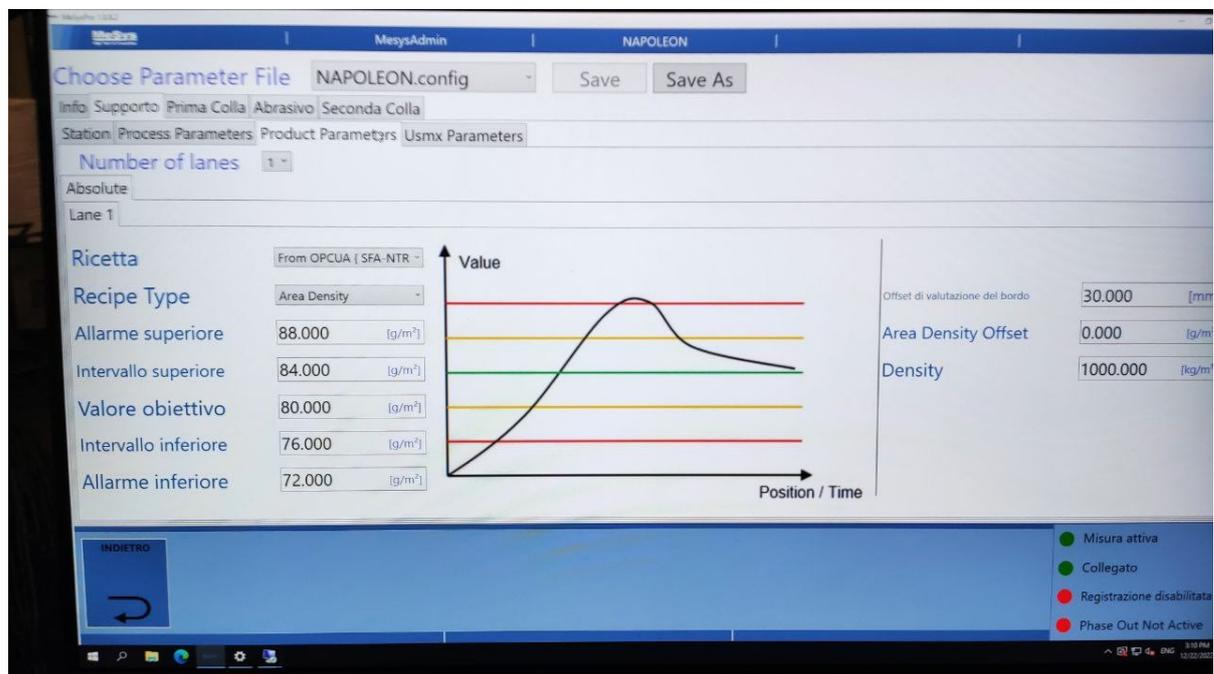


Figura 22: Parametri supporto

Nella figura n°23 si può osservare la schermata con i parametri impostati per il monitoraggio del primo strato di colla.

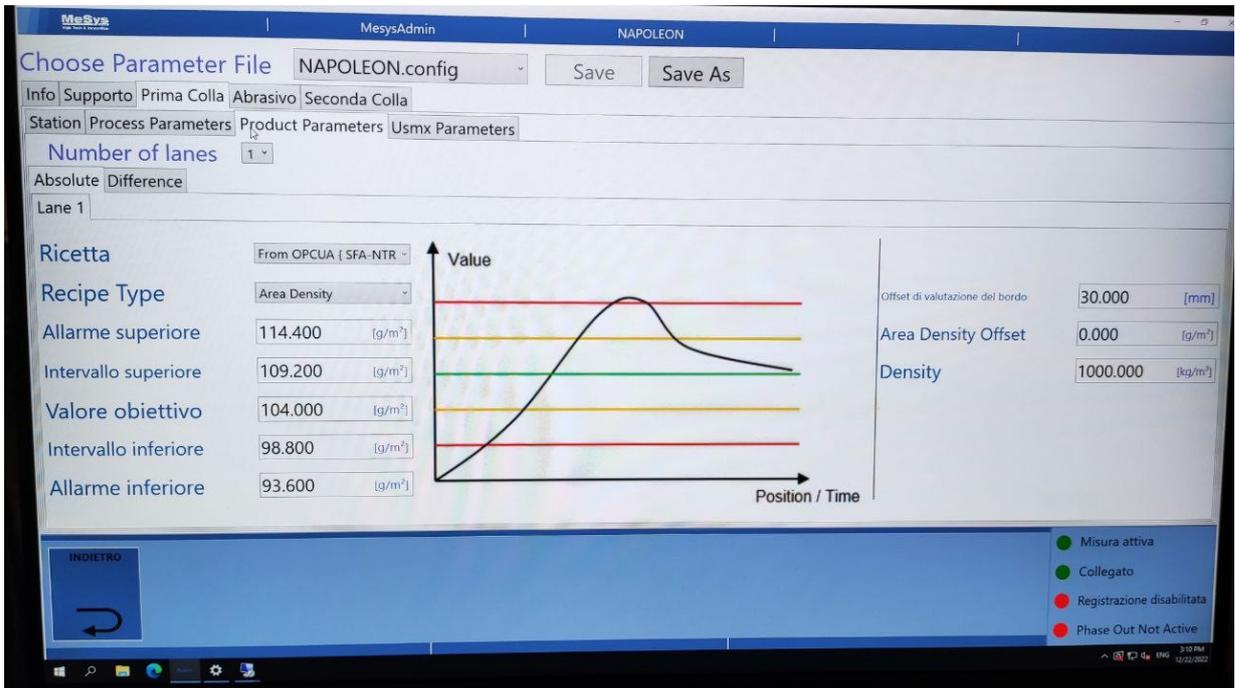


Figura 23: Parametri Prima colla

Nella figura n°24 sono rappresentati i parametri per il controllo dell'abrasivo.

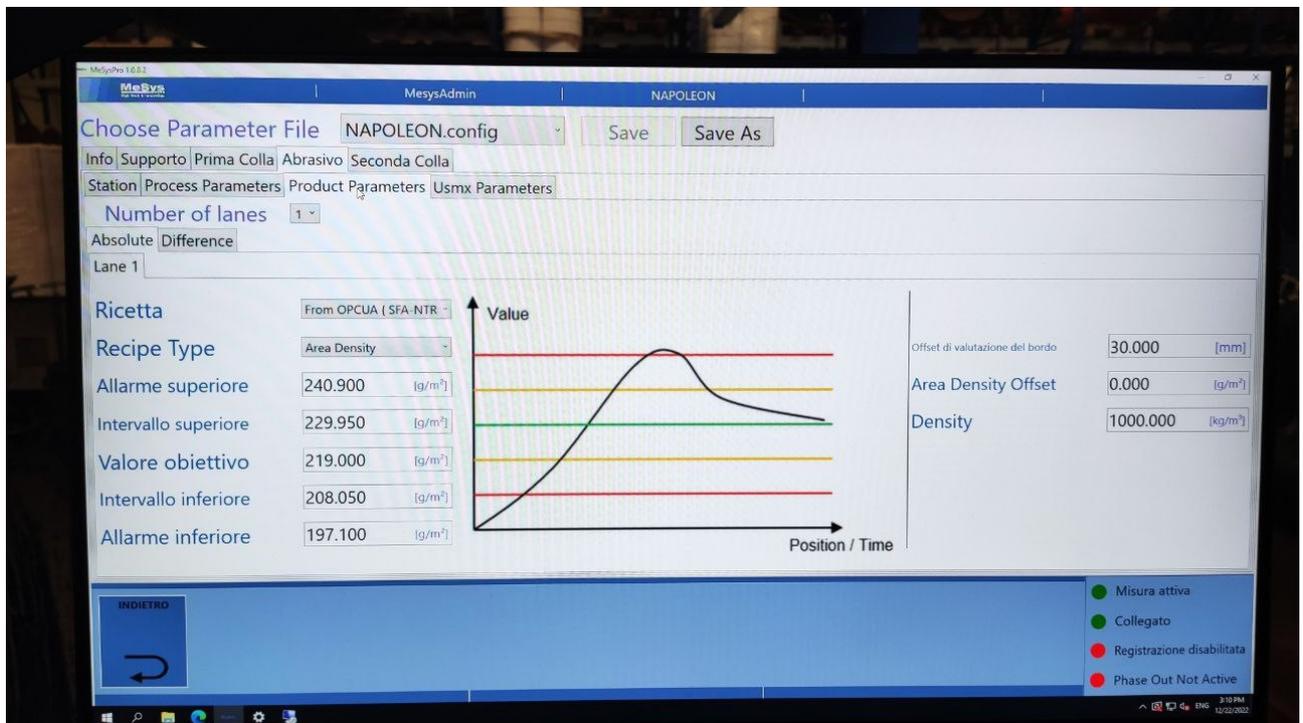


Figura 24: Parametri strato abrasivo

Nella figura n°25 sono rappresentati i parametri per il controllo del secondo strato di colla.

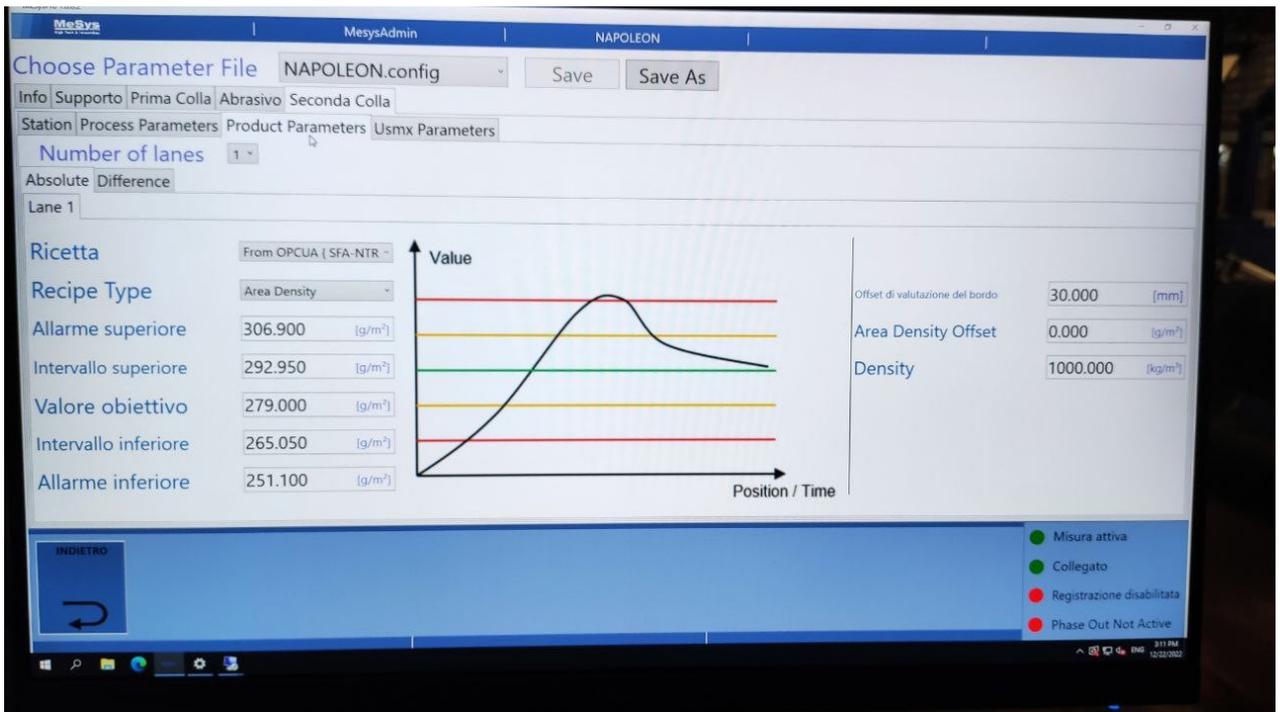


Figura 25: Parametri Seconda colla

Infine nel momento in cui la linea entra in produzione è presente una schermata dove si ha la visualizzazione dell'andamento dei sistemi di controllo, figura n°26. Sono presenti infatti quattro valori che rappresentano i pesi dei 4 substrati.



Figura 26: Schermata misura substrati

Durante la produzione, questi quattro valori grazie all'interconnessione tra il sistema e il gestionale, si continuano a confrontare con i dati della distinta base presenti all'interno del gestionale.

All'interno della linea i due gruppi di spalmatura e la tramoggia del grano abrasivo sono dotati di motoriduttori che ricevono segnali dagli scanner; questi motoriduttori azionano dei martinetti elettrici a seconda dei segnali che ricevono regolano in automatico la quantità di colla e di abrasivo, calando o aumentando, a seconda dell'articolo che si sta producendo.

Attraverso questo importante progetto che ad oggi è ancora in fase di perfezionamento, la Napoleon Abrasives sta provando a fare un salto enorme in avanti in termini di digitalizzazione e automatizzazione del processo, grazie all'interconnessione tra i sistemi di lettura e il gestionale aziendale. Tale interconnessione è realizzata grazie a tecnologie quali CPS, IoT nate proprio all'interno della quarta rivoluzione industriale.

Grazie a questo sistemi di rilevazione del peso la Napoleon Abrasives S.p.a. è riuscita a ridurre il controllo da parte dell'essere umano garantendo più tranquillità all'operatore che può dedicarsi allo svolgimento di altre operazioni importanti per la produzione come la pulizia dell'impianto e l'approvvigionamento delle materie prime. Questi sistemi hanno permesso inoltre di garantire un certo livello di qualità standard riducendo il rischio di reclami da parte dei clienti.

Questo investimento porta con sé un altro vantaggio, quello di ridurre gli scarti nella fase di produzione; infatti avendo una lettura continua dei pesi dei substrati non è più necessario prelevare campioni per rilevare il peso evitando in questo modo fermi macchina e difetti di produzione.

Gli scarti dal 2021 al 2023 sono calati del 19% producendo circa 50 tonnellate in meno di scarto. Sicuramente un dettaglio molto importante in termini di sostenibilità sia economica come costo di smaltimento che ambientale.

Riassumendo i benefici di questo progetto di interconnessione sono:

- Riduzione scarto del 19%
- Elevati standard di qualità – meno reclami dai clienti
- Meno sovraccarico di lavoro per gli operatori di linea
- Autoregolazione delle macchine

### 3.3 Progetto transizione 5.0

La ditta Napoleon Abrasives SpA, da qualche anno sta valutando il progetto di installazione di un impianto fotovoltaico sulla copertura dell'unità produttiva di San Giovanni Lupatoto, attualmente si sta procedendo con lo studio di fattibilità con l'ausilio dello studio di ingegneria Intertec di Verona. Il progetto, prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico con potenza approssimativa di 190 kW attraverso il quale, supponendo un autoconsumo medio dell'87% (dato fornitore impianto), l'azienda riuscirebbe ad autoprodursi circa 165.000 kWh in anno solare. Nell'anno 2023 l'intera unità produttiva ha consumato 1.151.002 kWh, con una spesa di € 267.810. L'azienda, attraverso l'impianto, andrebbe ad autoprodursi circa il 14% dei consumi di energia elettrica e considerando un costo medio in bolletta di 0.23 €/kWh andrebbe a risparmiare in bolletta circa €38.000 in un anno solare.

L'impianto ha un valore di circa € 240.000 e considerando le agevolazioni previste dal Piano di Transizione 5.0 si andrebbe a detrarre il 45% del valore dell'impianto sotto forma di crediti di imposta, il progetto così facendo inizierebbe a dare i suoi risultati economici dopo circa 3 anni. Ad oggi però non è ancora presente un decreto attuativo che dia la conferma delle agevolazioni e di come vanno richieste nonostante il collaudo del progetto debba essere effettuato entro il 2025.

Nella Tabella figura n°20 si riportano i consumi di energia elettrica dell'anno 2023 con i relativi costi della materia prima.

<b><i>Energia Elettrica</i></b>			
	<b>kWh</b>	<b>euro</b>	<b>euro/kWh</b>
gen	74.104	€ 20.890	€ 0,28
febb	101.520	€ 27.467	€ 0,27
mar	108.838	€ 26.246	€ 0,24
apr	85.483	€ 20.665	€ 0,24
magg	101.972	€ 22.320	€ 0,22
giug.	111.824	€ 24.493	€ 0,22
lugl.	111.139	€ 23.108	€ 0,21
ago	48.072	€ 10.570	€ 0,22
sett	110.556	€ 23.508	€ 0,21
ott	101.523	€ 23.581	€ 0,23
nov	126.533	€ 28.877	€ 0,23
dic	69.438	€ 16.085	€ 0,23
	<b>1.151.002</b>	<b>€ 267.810</b>	

Figura 27: Tabella consumi energia anno 2023

A prima vista il progetto sembra non possa dare una forte spinta verso il totale autoconsumo ma è un primo step verso una strada più green senza incidere troppo sull'economia dell'azienda.

La Napoleon Abrasives SpA crede molto in questo progetto sia per portare avanti un percorso di sostenibilità sempre più richiesto nel mondo manifatturiero sia per difendersi dai continui sbalzi di mercato dati dalle situazioni geo-politiche.

Il progetto di installazione dell'impianto fotovoltaico porterebbe quindi i seguenti benefici:

- Autoproduzione del 14% dei consumi annui di energia
- Risparmio in bolletta di circa € 40.000
- Impatti inferiori ad eventuali sbalzi di mercato.

## Capitolo 4

### Conclusioni

Nell'ultimo decennio si è visto come alla base dell'Industria 4.0 sia presente un'intensa digitalizzazione del settore industriale manifatturiero, che combinato allo sviluppo di nuove tecnologie, ha profondamente trasformato la società in cui viviamo così come i processi industriali che la caratterizzano portando alla nascita delle Smart Manufacturing. Tali cambiamenti sono nati da bisogni di elevata produttività, flessibilità, velocità di sviluppo di nuovi prodotti, elevata qualità e competitività che hanno portato all'utilizzo spinto delle nuove tecnologie abilitanti tra cui l'utilizzo di sistemi Cyber-fisici, l'IoT, l'intelligenza artificiale, i Big Data e altre tecnologie che permettono, oltre ad un'interconnessione continua, una digitalizzazione e un'automatizzazione del processo. L'Industria 4.0 è pertanto considerata una rivoluzione guidata dalla tecnologia.

L'evoluzione verso l'Industria 4.0 ha sollevato la preoccupazione legata alla sostituzione della forza lavoro umana con l'automazione completa. Questo rischio di obsolescenza occupazionale ha suscitato dibattiti sull'impatto sociale ed economico della digitalizzazione totale. Negli ultimi anni si inizia a parlare di una nuova rivoluzione guidata non più dalla tecnologia ma dal valore: l'Industria 5.0.

Ma cosa ci si aspetta con l'arrivo dell'industria 5.0?

Più che a una sostituzione del lavoro umano assisteremo allo sviluppo di una società e di un'industria che promuove progressi rilevanti nel campo dell'integrazione uomo-macchina. L'Industria 5.0 influenzerà ben presto il mondo del lavoro, creando nuove posizioni lavorative, migliori e più specializzate. L'impiego delle intelligenze artificiali nell'industria è infatti volto a favorire i lavoratori, non a sostituirli, senza sottovalutare l'importanza della centralità umana. L'interazione tra uomo e macchina non solo supporta il pensiero critico dell'essere umano, ma è anche un elemento chiave per raggiungere obiettivi sostenibili sia dal punto di vista economico che ambientale. Questo approccio sinergico, fondato sulla collaborazione tra le capacità umane e l'efficienza delle macchine, può contribuire a creare un sistema resiliente, in grado di adattarsi alle variazioni delle richieste e di gestire situazioni di instabilità, come il Covid19 e la guerra Russia-Ucraina, con successo. Tale approccio modifica le Smart Manufacturing in Resilient Smart Manufacturing, dunque incorporare la resilienza non solo nelle operazioni quotidiane ma anche nei modelli di pensiero e nell'approccio strategico è essenziale per affrontare

l'incertezza e le sfide in un mondo in continua evoluzione. Questa interazione uomo-macchina, quindi, non solo mira all'efficacia immediata ma anche a promuovere una sostenibilità a lungo termine, abbracciando una prospettiva economica e ambientale che rispecchia le esigenze del presente senza compromettere il futuro.

Ciò che si prevede è una ridefinizione delle attività umane in un contesto di integrazione stretta tra uomo e macchina, che porterà a una produzione più performante e per certi versi “più leggera” per il lavoratore. La dimensione collaborativa alla base della prossima rivoluzione, infatti, porterà a un ridimensionamento dei carichi di lavoro, liberando i lavoratori dalle mansioni più pesanti e faticose.

In questo elaborato si è analizzato come i paesi si stiano muovendo verso un cambiamento, in particolare l'Italia, con un leggero ritardo, sta implementando il “Piano di Transizione 5.0” attraverso agevolazioni che vengono assegnate a progetti con le caratteristiche principali di resilienza, sostenibilità e uomo-centriche, ma che abbiano in primis le caratteristiche del Piano di Transizione 4.0, in particolare l'interconnessione. Da qui si evince il fatto che Industria 4.0 e Industria 5.0 non sono in conflitto una con l'altra, tutt'altro sono due rivoluzioni industriali che vivono e procedono in parallelo e si alimentano attraverso le loro tecnologie abilitanti.

A dimostrazione di come le imprese siano già pronte e consapevoli alla necessità di un nuovo cambiamento, richiesto sia dall'ambiente ma sempre di più anche dalle multinazionali clienti e fornitori delle PMI italiane, nel capitolo 3 di questo elaborato si riporta l'evoluzione di una piccola media impresa italiana della provincia di Verona attraverso l'Industria 4.0 e l'Industria 5.0.

La società Napoleon Abrasives S.p.A, con sede a San Giovanni Lupatoto di Verona, è un'azienda produttrice di abrasivi flessibili per varie applicazioni che spaziano dall'automotive alla nautica, dal legno al metallo e altri campi.

Durante il processo di produzione della carta abrasiva si ha la necessità di avere sotto controllo in modo continuo i pesi dei substrati di colla e abrasivo che vengono applicati uno sopra all'altro a seconda della tipologia di prodotto che viene prodotto. Da questa necessità e grazie alle agevolazioni previste dal “Piano di Transizione 4.0”, la Napoleon Abrasives S.p.A ha implementato un sistema di rilevamento del peso attraverso una tecnologia scanner ad ultrasuoni. Il sistema di rilevamento scanner, il gestionale aziendale e la linea di produzione sono interconnessi tra loro e scambiano dati in continuo per autoregolare la macchina. Grazie a questo sistema l'azienda riesce a mantenere un alto livello di qualità eliminando l'errore umano e riducendo lo scarto.

In ambito di sostenibilità, la Napoleon Abrasives S.p.A, sta avviando uno studio di fattibilità per l'installazione di un impianto fotovoltaico sulla copertura della sede di San Giovanni Lupatoto. L'impianto prevede una potenza di 190 kwh che permetterebbe all'azienda di autoprodursi circa il 14% dei consumi di energia elettrica attraverso fonti rinnovabili e sostenibili. Questo progetto risulterebbe più vantaggioso economicamente grazie al "Piano di Transizione 5.0" emanato dal governo italiano. La Napoleon Abrasives S.p.A è dunque in attesa di un decreto esecutivo che dia le indicazioni per accedere alle agevolazioni previste.



## Bibliografia

- Abdirad, Maryam, Krishna Krishnan, and Deepak Gupta. "A two-stage metaheuristic algorithm for the dynamic vehicle routing problem in Industry 4.0 approach." *Journal of Management Analytics* 8.1 (2021): 69-83.
- Agreement P. Paris agreement. Report of the Conference of the parties to the United Nations framework convention on climate change. Vol. 4. (2015).
- Allegato A della Legge 11 dicembre 2016, n. 232.
- Art. 38 del D.L. 2 marzo 2024, n. 19, cd. decreto PNRR.
- Assembly G. Sustainable development goals. SDGs transform our world. (2015). p. 2030.
- Breque M, De Nul L, Petridis A. (2021). Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Luxembourg, LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation.
- Chowdhury, M. Z., Shahjalal, M., Ahmed, S., & Jang, Y. M. (2020). 6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 957-975.
- Decreto PNRR: il credito d'imposta "Transizione 5.0".
- Deepa, N., Pham, Q. V., Nguyen, D. C., Bhattacharya, S., Prabadevi, B., Gadekallu, T. R., ... & Pathirana, P. N. (2022). A survey on blockchain for big data: Approaches, opportunities, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 131, 209-226.
- European Commission. Directorate General for Research and Innovation. Enabling Technologies for Industry 5.0 Results of a workshop with Europe's technology leaders. (2020).
- Fukuda (2020). Science, technology and innovation ecosystem transformation toward society 5.0, *Int. J. Prod. Econ.* 220 107460.
- Higginbotham (2020), What 5G hype gets wrong - [Internet of everything], *IEEE Spectr.* 57 (3) 22.

- Huang, C., Hu, S., Alexandropoulos, G. C., Zappone, A., Yuen, C., Zhang, R., Debbah, M. (2020). Holographic MIMO surfaces for 6G wireless networks: Opportunities, challenges, and trends. *IEEE wireless communications*, 27(5), 118-125.
- Kambale, (2021). Additive Manufacturing Process.
- Lu, Y., Adrados, J. S., Chand, S. S., & Wang, L. (2021). Humans are not machines—anthropocentric human–machine symbiosis for ultra-flexible smart manufacturing. *Engineering*, 7(6), 734-737.
- Lu, Y., Liu, C., Kevin, I., Wang, K., Huang, H., & Xu, X. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 61, 101837.
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., ... & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of industrial information integration*, 26, 100257.
- Paauw. (2023). Exploring the Power of Digital Twins: Part 1 - Understanding the Basics.
- Pham, Q. V., Fang, F., Ha, V. N., Piran, M. J., Le, M., Le, L. B., ... & Ding, Z. (2020). A survey of multi-access edge computing in 5G and beyond: Fundamentals, technology integration, and state-of-the-art. *IEEE access*, 8, 116974-117017.
- Plesky. (2019). IaaS vs PaaS vs SaaS – cloud service models compared.
- Politecnico di Torino - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria gestionale: Digital Twin: overview e applicazioni in Manufacturing, Lorenzo Stella.
- Romero, D., & Stahre, J. (2021). Towards the Resilient Operator 5.0: The Future of Work in Smart Resilient Manufacturing Systems.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), 54-89.
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE internet of things journal*, 3(5), 637-646.
- Simões, Ana Correia, António Lucas Soares, and Ana Cristina Barros. "Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations." *Journal of engineering and technology management* 57 (2020): 101574.

- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3563-3576.
- Teng, S. Y., Touš, M., Leong, W. D., How, B. S., Lam, H. L., & Máša, V. (2021). Recent advances on industrial data-driven energy savings: Digital twins and infrastructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110208.
- Vogel-Heuser, B., Seitz, M., Cruz Salazar, L. A., Gehlhoff, F., Dogan, A., & Fay, A. (2020). Multi-agent systems to enable Industry 4.0. *at-Automatisierungstechnik*, 68(6), 445-458.
- Weckenborg, C., Kieckhäfer, K., Müller, C., Grunewald, M., & Spengler, T. S. (2020). Balancing of assembly lines with collaborative robots. *Business Research*, 13(1), 93-132.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of manufacturing systems*, 61, 530-535.
- Yang, H., Alphones, A., Xiong, Z., Niyato, D., Zhao, J., & Wu, K. (2020). Artificial-intelligence-enabled intelligent 6G networks. *IEEE network*, 34(6), 272-280.
- Zanotti, (2018). Realtà aumentata versus realtà virtuale: differenze ed esempi applicativi.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 3(5), 616-630.
- Zhou, M. (2022). Evolution from AI, IoT and big data analytics to metaverse. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9(12), 2041-2042.

## Sitografia

[https:// www.sadasdb.com](https://www.sadasdb.com)

[https://blog.osservatori.net/it\\_it/big-data-cosa-sono](https://blog.osservatori.net/it_it/big-data-cosa-sono)

<https://commons.wikimedia.org>

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry\\_4.0\\_ita.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0_ita.png)

<https://cyberplan.it/>

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/MEMO\\_12\\_484](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/MEMO_12_484)

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/MEMO\\_12\\_484](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/MEMO_12_484)

<https://www.digital4.biz/executive/realta-virtuale-e-aumentata-cosa-sono-differenze-ed-esempi/>

<https://www.focusindustria40.com/cloudcomputing/#~:text=Esempi%20popolari%20di%20sistemi%20IaaS,livelli%20di%20cloud%2Dbased%20computing>

<https://www.focusindustria40.com/tecnologie-abilitanti-transizione-4-0/>

<https://www.internet4things.it/iot-library/internet-of-everything-cose-sono-si-differenzia-dalliot/>

<https://www.nextmsc.com/blogs/exploring-the-boom-of-mobile-cobots-in-manufacturing>

<https://www.osservatori.net/it/ricerche/comunicati-stampa/cybersecurity-italia-mercato-crescita>

<https://www.plattform-i40.de>

<https://www.sadasdb.com>