



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

**LE TECNOLOGIE INDUSTRY 4.0 E LE LORO APPLICAZIONI  
NELLA LOTTA CONTRO LA PANDEMIA COVID-19**

**INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATIONS IN  
THE FIGHT AGAINST THE COVID-19 PANDEMIC**

Relatore:

Chiar.mo Prof. Maurizio Bevilacqua

Tesi di Laurea di:

Niccolò Naspetti

Correlatore:

Ing. Giulio Marcucci

A.A. 2020/2021



## Sommario

<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>8</b>
<b>1. INDUSTRY 4.0.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. TECNOLOGIE ABILITANTI.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. CENNI STORICI SULL'EVOLUZIONE DEL SISTEMA INDUSTRIALE.</b>	<b>14</b>
1.2.1. PRIMA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE.....	14
1.2.2. SECONDA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE.....	14
1.2.3. TERZA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE .....	15
1.2.4. QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE.....	17
<b>1.3. ANDAMENTO DELLE AZIENDE NEL MONDO DURANTE LA PANDEMIA</b>	<b>19</b>
1.3.1. ANDAMENTO DELLE AZIENDE IN ITALIA DURANTE LA PANDEMIA.....	20
<b>2. LE TECNOLOGIE ABILITANTI CONTRO IL COVID-19.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1 CLOUD COMPUTING.....</b>	<b>24</b>
2.1.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	24
2.1.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	25
2.1.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	27
2.1.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	27
<b>2.2. BIG DATA &amp; ANALYTICS.....</b>	<b>29</b>
2.2.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	29
2.2.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	30
2.2.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	32
2.2.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	32
<b>2.3. INTERNET OF THINGS.....</b>	<b>34</b>
2.3.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	34
2.3.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	34
2.3.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	36
2.3.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	37
<b>2.4. CYBERSECURITY .....</b>	<b>38</b>
2.4.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	38
2.4.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	39
2.4.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	41
2.4.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	41
<b>2.5. SISTEMI DI INTEGRAZIONE VERTICALE E ORIZZONTALE.....</b>	<b>42</b>
2.5.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	42

2.5.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE E POST-PANDEMIA .....	43
<b>2.6. ROBOTICA.....</b>	<b>45</b>
2.6.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	45
2.6.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	45
2.6.3. ROBOTICA COLLABORATIVA .....	47
2.6.3.1 DEFINIZIONE .....	47
2.6.3.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	48
2.6.4. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	49
2.6.5. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	50
<b>2.7. REALTÀ AUMENTATA.....</b>	<b>51</b>
2.7.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	51
2.7.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	52
2.7.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	54
2.7.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	54
<b>2.8. ADDITIVE MANUFACTURING .....</b>	<b>55</b>
2.8.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	55
2.8.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	56
2.8.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	59
2.8.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	59
<b>2.9. SIMULAZIONI .....</b>	<b>60</b>
2.9.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE .....	60
2.9.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA .....	62
2.9.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA .....	64
2.9.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND.....	65
<b>3. ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDUSTRY 4.0 .....</b>	<b>67</b>
<b>3.1. IMPRESE CHE HANNO ADOTTATO TECNOLOGIE ABILITANTI E IMPRESE CHE NON L'HANNO FATTO .....</b>	<b>67</b>
<b>3.2. CONFRONTO CON LA REALTÀ .....</b>	<b>68</b>
<b>3.3. NUOVE PRIORITÀ DELLE AZIENDE .....</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>72</b>
<b>VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE TECNOLOGIE ABILITANTI DURANTE LA PANDEMIA .....</b>	<b>72</b>
<b>IL NUOVO RUOLO DELL'INDUSTRY 4.0.....</b>	<b>74</b>
<b>LIMITAZIONI DEL LAVORO DI TESI E POSSIBILI STUDI FUTURI .....</b>	<b>74</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>77</b>



## **RINGRAZIAMENTI**

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

*Un sentito grazie al mio relatore Bevilacqua per la sua infinita disponibilità e tempestività ad ogni mia richiesta. Grazie per avermi fornito ogni materiale utile alla stesura dell'elaborato.*

*Grazie anche al mio correlatore Marcucci per i suoi preziosi consigli e per avermi suggerito puntualmente le giuste modifiche da apportare alla mia tesi.*

*Ringrazio i miei genitori che mi sono sempre stati accanto, con l'infinita pazienza che li contraddistingue.*



# INTRODUZIONE

Sin dai tempi di Darwin è chiaro che alla base dell'evoluzione vi è il concetto di cambiamento. L'adattamento al continuo mutare delle variabili esterne è una condizione necessaria per garantire la sopravvivenza. Questo pensiero può trovare applicazione anche al di fuori del contesto entro cui è stato formulato, ottenendo un riscontro anche in ambito aziendale. Le organizzazioni non possono infatti sottrarsi dalla quotidiana battaglia che le vede impegnate nel cercare di mantenere il proprio business attivo. Tale condizione di precarietà è stata più che mai evidente durante questo periodo di crisi causato dalla diffusione del COVID-19, che ha colpito duramente l'economia mondiale. Molte imprese sono state costrette a adottare misure drastiche come la chiusura di interi rami aziendali e il licenziamento di parte del personale, trovandosi travolte da continui problemi e difficoltà. Altre, al contrario, hanno mostrato un adeguato livello di resilienza, resistendo alle avversità e dimostrando di essere in grado di gestire anche le situazioni più complesse. Ma quali sono stati gli elementi determinanti per le imprese che sono uscite indenni da questo momento? La risposta è stata trovata nelle tecnologie abilitanti di Industry 4.0.

Obiettivo di questo elaborato è proprio quello di valutare i benefici portati dalle tecnologie Industry 4.0 in questo periodo, in particolare lo studio si concentrerà sull'analizzare le funzioni svolte da queste tecnologie per consentire il superamento delle difficoltà nate durante la crisi. Quindi, si dimostrerà che a seguito della pandemia è cambiato radicalmente il ruolo dell'Industry 4.0, che non sarà più vista come un mezzo di ottimizzazione e in definitiva di incremento dei ricavi, ma diventerà un aspetto fondamentale per la sopravvivenza di molte aziende sia nel breve che nel lungo termine. Nel primo capitolo sono stati esplicitati i concetti di Industry 4.0 e di tecnologia abilitante, assieme sono state fornite una panoramica sulle rivoluzioni industriali, che permettesse di comprendere i passaggi che hanno portato fino alla quarta rivoluzione industriale, e una panoramica sulla situazione delle aziende durante la pandemia, per mettere in evidenza le problematiche principali nate durante la crisi, in particolare si è prima offerta una visione globale della situazione poi un focus sull'Italia. Nel secondo capitolo si sono analizzati nel dettaglio i possibili utilizzi delle tecnologie abilitanti all'interno delle imprese in questo contesto di crisi dettata dal COVID-19, e le possibili applicazioni a medio e lungo termine nel post-pandemia. Nel terzo capitolo l'elaborato presenta un

confronto dei risultati aziendali tra le imprese che hanno adottato tecnologie abilitanti e imprese che non l'hanno fatto, per valutare l'effettivo impatto dell'Industry 4.0 durante la pandemia. Infine vengono presentati i risultati dello studio.



# 1. INDUSTRY 4.0

Non esiste una definizione standard per il termine Industry 4.0 (I4.0) in letteratura. Infatti sono state sviluppate oltre cento definizioni di I4.0. Solitamente si è soliti considerare il paradigma Industry 4.0 come il nuovo orizzonte di una produzione e di una distribuzione che diventano più smart vale a dire più intelligenti, più veloci, più flessibili e più efficienti, grazie a un mix tecnologico di automazione, informazione, connessione e programmazione il quale sta portando a un cambio dei paradigmi tecnologici e culturali che, coinvolgendo il sistema manifatturiero in tutte le sue forme, introduce nuovi concept di sviluppo e di servizio. Uno dei concetti linea guida dell'Industry 4.0 è quello di smart factory che si può declinare in tre punti:

- Smart production, consiste in nuove tecnologie produttive che creano collaborazione tra gli operatori, i macchinari e le attrezzature.
- Smart services, ossia tutte le “infrastrutture informatiche” e tecniche che consentono di integrare i sistemi, ma anche tutte le strutture che permettono, in modo collaborativo, di integrare le aziende tra loro e con le strutture esterne (strade, hub, gestione dei rifiuti, etc.).
- Smart energy, che consiste nella creazione di sistemi più performanti che riducono gli sprechi di energia. (Industria 4.0, s.d.)

Si deduce quindi che uno degli aspetti principali del paradigma Industry 4.0 è la collaborazione abilitata tra macchine ed esseri umani. Questa cooperazione può permettere di realizzare un sistema in cui le caratteristiche della somma superano le caratteristiche dei singoli. L'I4.0 si distacca quindi dai modelli storici di Computer Integrated Manufacturing (CIM<sup>1</sup>) che ponevano come obiettivo la completa automazione dei processi ed avevano il mito della “fabbrica senza luci” perché abitata solo da robot e computer. Il fallimento di molti progetti CIM a causa dell'estrema complessità e instabilità dei sistemi e l'aumento della varietà dei prodotti con brevi cicli di vita, ha spinto verso un approccio più flessibile. Per delineare al meglio il concetto di Industry 4.0, in questo capitolo verrà fornita la definizione di tecnologia abilitante, che è il

---

<sup>1</sup> Il CIM consiste nell'utilizzo del calcolatore in tutte le aree che abbiano attinenza con le attività produttive.

fondamento di questo nuovo paradigma industriale. Poi verranno descritti i passaggi storici che hanno portato alla quarta rivoluzione industriale in modo da evidenziare i punti fondamentali di tale processo. Infine si contestualizzeranno questi concetti al periodo in corso caratterizzato dal coronavirus, analizzando dei documenti che permetteranno di comprendere la situazione delle imprese durante la pandemia, mettendo in evidenza i punti critici.

## **1.1. TECNOLOGIE ABILITANTI**

Da uno studio di una multinazionale statunitense di consulenza strategica (Rüßmann, et al., 2015) emerge che la quarta rivoluzione industriale si centra sull'adozione di alcune tecnologie definite abilitanti. Le tecnologie abilitanti o KET<sup>2</sup> sono ritenute fondamentali per la crescita e l'occupazione, poiché sviluppano soluzioni e miglioramenti tecnologici attraverso esperienze di ricerca capaci di rivitalizzare il sistema produttivo. Secondo la definizione data dalla Commissione Europea le tecnologie abilitanti sono tecnologie “ad alta intensità di conoscenza e associate a elevata intensità di R&S, a cicli di innovazione rapidi, a consistenti spese di investimento e a posti di lavoro altamente qualificati”<sup>3</sup>. In quanto tali hanno rilevanza sistemica perché alimentano il valore della catena del sistema produttivo e hanno la capacità di innovare i processi, i prodotti e i servizi in tutti i settori economici dell'attività umana. Alcune di queste tecnologie sono concetti già presenti in passato ma che non avevano mai sfondato il muro della divisione tra ricerca applicata e sistemi di produzione veri e propri. Oggi, invece, grazie all'interconnessione e alla collaborazione tra sistemi, il panorama del mercato globale sta cambiando, portando alla personalizzazione di massa; in risposta a ciò l'intero settore manifatturiero sta iniziando ad applicare tali tecnologie nei sistemi di produzione. Big data & Analytics, robot autonomi, simulazioni, sistemi di integrazione verticale e orizzontale, Industrial IoT, cloud computing, cybersecurity, additive manufacturing e realtà aumentata; queste sono le nove tecnologie abilitanti considerate come pilastri di Industry 4.0 (Rüßmann, et al., 2015).

---

<sup>2</sup> Dall'inglese Key Enabling Technologies.

<sup>3</sup> COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, “*Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies*”, 30 Settembre 2009.



Figura 1: Le nove tecnologie abilitanti. Fonte: BCG.

È possibile individuare quattro direttrici di sviluppo in cui queste tecnologie avranno un impatto profondo: la prima riguarda l'utilizzo dei dati, la potenza di calcolo e la connettività, e si declina in big data, Internet of Things e cloud computing per la centralizzazione delle informazioni e la loro conservazione; la seconda è quella degli analytics, tramite i quali una volta raccolti i dati, è possibile ricavarne il valore. Oggi solo l'1% dei dati raccolti viene utilizzato dalle imprese, che potrebbero invece ottenere vantaggi a partire dal machine learning<sup>4</sup>; la terza direttrice di sviluppo è l'interazione tra uomo e macchina, che coinvolge le interfacce touch, sempre più diffuse, e la realtà aumentata; infine c'è tutto il settore che si occupa del passaggio dal digitale al "reale" e che comprende la manifattura additiva, la robotica, le interazioni machine-to-machine e le nuove tecnologie per immagazzinare e utilizzare l'energia in modo mirato, minimizzando i costi e ottimizzando le prestazioni (Maci, 2021).

<sup>4</sup> Il Machine Learning (o Apprendimento Automatico) è una branca dell'intelligenza artificiale (AI) che si occupa di creare sistemi che apprendono o migliorano le performance in base ai dati che utilizzano.

## **1.2. CENNI STORICI SULL'EVOLUZIONE DEL SISTEMA INDUSTRIALE**

### **1.2.1. PRIMA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE**

La prima rivoluzione industriale rappresenta il processo che, verso la metà del '700 a partire dall'Inghilterra, portò ad una forte e rapida crescita di tutti i fattori economici, accompagnato da profonde trasformazioni qualitative dell'organizzazione della produzione industriale, con l'impiego di nuove macchine e fonti di energia. Si avviò quindi un processo di crescita chiamato decollo industriale, che coinvolse principalmente la Gran Bretagna, perché lì erano presenti sia le condizioni sia dei soggetti ideali per avviare delle nuove attività industriali. Indicativamente si considera la data d'inizio della rivoluzione industriale il 1764, anno in cui viene inventato il filatoio meccanico. Questo processo ha effettivamente rivoluzionato non solo la produzione dei beni di consumo e la metodologia di produzione, ma anche la società in senso più ampio, determinando un importante passaggio all'inurbamento a discapito del lavoro nelle campagne. Infatti alla metà dell'Ottocento l'industria aveva sostituito l'agricoltura e gli operai avevano sostituito i contadini. I settori che furono principalmente coinvolti nella prima rivoluzione industriale sono il tessile, il siderurgico e l'estrattivo. I nuovi telai meccanici soppiantarono i vecchi telai a mano e le macchine a vapore si diffusero in tutte le attività industriali, dando un grande impulso alla meccanicizzazione. L'innovazione tecnologica si tradusse in un aumento della produttività, dunque in una diminuzione dei costi, che rese i prodotti accessibili ad un maggior numero di persone. A partire dal 1840, anno in cui si cominciò a costruire le ferrovie in tutta Europa, l'industrializzazione si diffuse nel territorio europeo, sulla base delle tecnologie introdotte dalla Gran Bretagna, ma non in maniera uniforme né dal punto di vista geografico né da quello demografico né da quello cronologico. Francia e Belgio furono le prime ad industrializzarsi, seguite dalla Germania ed infine Italia e Russia a fine '800 (Fossati, Luppi, & Zanette, 2016).

### **1.2.2 SECONDA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE**

Nonostante la "grande depressione" del 1873-96, legata all'afflusso del grano americano, che mise in crisi le agricolture europee, e all'eccesso di beni rispetto alla domanda, gli ultimi decenni dell'Ottocento furono un periodo di sviluppo e di trasformazioni produttive così forte da meritarsi l'appellativo di seconda rivoluzione industriale.

L'innovazione tecnologica fu molto intensa riguardo sia ambiti tradizionali, come il siderurgico il meccanico, sia in nuovi settori produttivi e nuove fonti di energia. La meccanica vide un notevole perfezionamento dei macchinari e la realizzazione di nuovi prodotti quali le turbine e il motore a scoppio. Nel settore siderurgico avvenne una vera e propria rivoluzione dell'acciaio, materiale più resistente e duttile della ghisa, l'acciaio fu prodotto in quantità crescenti e costi decrescenti grazie all'introduzione di nuovi procedimenti tecnici, iniziando a sostituire anche il ferro. Oltre ad essi ebbero grande importanza i nuovi settori della chimica, dell'elettricità e del petrolio, che si svilupparono proprio in questo periodo. La chimica permise la fabbricazione di nuovi materiali come l'alluminio. L'elettricità introdusse non solo una rivoluzione della vita quotidiana nella casa e nella città, ma anche nelle fabbriche, perché permise di separare le macchine dalla fonte di energia che ne alimentava il motore. Infine, il petrolio, combustibile di alto rendimento e facile da trasportare, consentì l'enorme sviluppo dei motori a combustione interna e, in particolare, del motore a scoppio. Tutti questi fenomeni furono accompagnati da un legame sempre più stretto tra scienza e tecnica, cioè fra la ricerca pura e le sue applicazioni pratiche. Accanto all'innovazione tecnologica, altre trasformazioni di grande rilievo riguardarono la struttura stessa del capitalismo industriale. Si passò da uno scenario caratterizzato dalla presenza di molti piccoli e medi imprenditori operanti in regime di concorrenza, il cosiddetto capitalismo concorrenziale, ad una situazione dominata dalla presenza di monopoli od oligopoli, ossia imprese o gruppi di imprese in grado di controllare il mercato di un determinato prodotto dettandone prezzi, quantità di produzione e qualità del prodotto. Questa forma di capitalismo, denominato monopolistico, si affermò soprattutto nei settori strategici, ossia il settore siderurgico, il settore chimico, il settore petrolifero, ed il settore elettrico. In questo periodo vi fu anche l'estensione delle reti ferroviarie, lo sviluppo della navigazione a vapore (anche transoceanica), l'affermarsi di strumenti come il telegrafo e il telefono, che furono alla base di una imponente mondializzazione, cioè di un'integrazione dei Paesi e dei mercati a livello mondiale (Fossati, Luppi, & Zanette, 2016).

### 1.2.3. TERZA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

Con la terza rivoluzione industriale si intendono tutti i cambiamenti tecnologici, industriali, economici e sociali avvenuti nei Paesi occidentali dall'inizio degli anni Cinquanta del Ventesimo secolo, più precisamente l'anno dopo la fine della Seconda

guerra mondiale, fino all'avvento e l'affermazione di internet in tutto il mondo. Tra le cause della terza rivoluzione industriale si possono annoverare senza dubbio la crescita, lo sviluppo e l'accumulo delle conoscenze scientifiche e tecnologiche già a partire dall'inizio del '900, spesso nate nel contesto militare delle guerre mondiali e della guerra fredda. Con il miglioramento delle condizioni politiche a livello mondiale queste forze vennero indirizzate verso il progresso e l'innovazione tecnologica. La terza rivoluzione industriale si caratterizzò per un intenso sviluppo di tutti i settori produttivi, grazie al continuo progresso nel campo della tecnologia. Come nella seconda rivoluzione industriale, anche in questi anni vi fu un forte sviluppo dell'industria determinato dal progresso di scienza e tecnica, ormai indissolubilmente legate. La tecnica ebbe un forte impatto sia sull'espansione delle industrie tradizionali sia sulla nascita di nuove: La metallurgia si rinnovò profondamente e si affermò la produzione di leghe leggere (come lo zinco) da impiegare in altri campi come quello aeronautico, spaziale o elettronico. L'industria elettrica iniziò a diventare indispensabile per tutte le attività produttive e per la quotidianità delle persone. Le industrie chimiche progredirono ulteriormente, diventando capaci di produrre centinaia di fibre sintetiche e artificiali. L'industria aeronautica produsse numerosi aeroplani e iniziò a rendere possibile il trasporto di centinaia di persone a bordo dello stesso velivolo e pertanto iniziarono ad essere costruiti grandi e numerosi aeroporti in tutto il mondo. Uno dei settori nei quali avvennero le principali innovazioni è quello dell'elettronica, alcune scoperte importanti si ebbero già all'inizio del ventesimo secolo, con la nascita della radio e della televisione (1925), alle quali poi seguirono quelle del transistor (1947) e del circuito integrato (microchip, 1958). Fino ad arrivare all'invenzione del personal computer (1975), un apparecchio rivoluzionario di piccole dimensioni alla portata economica e pratica di tutti. Negli ultimi anni la potenza e la velocità di calcolo dei PC si sono enormemente potenziate riducendo allo stesso tempo le dimensioni delle macchine elaboratrici. Tali nuove tecnologie contribuirono a ridurre in maniera significativa i costi di comunicazione e ciò, dal punto di vista della globalizzazione, ebbe un impatto sull'economia mondiale paragonabile a quello esercitato a suo tempo dalla macchina a vapore. Difatti conseguentemente alla drastica diminuzione dei costi di comunicazione, molte imprese avviarono un processo di offshoring, che consiste nel delocalizzare le attività produttive in luoghi ritenuti più adatti o più economici (Fossati, Luppi, & Zanette, 2016). Nella terza rivoluzione industriale si affermò anche un nuovo modello di produzione, a seguito delle nuove esigenze di mercato che non si sposavano più con la catena di montaggio e la produzione di massa. Questo

nuovo modello, sperimentato dalla fabbrica automobilistica giapponese Toyota, è basato sulla cosiddetta lean production, ovvero produzione snella. I principi che sono alla base della lean production sono il valore, il flusso continuo, l'ambiente produttivo di tipo pull<sup>5</sup> e la perfezione, o meglio il miglioramento continuo. Sviluppare una cultura lean porta con sé una serie di benefici: maggiore motivazione e maggiore coinvolgimento dei lavoratori, riduzione degli sprechi, creazione di maggiore valore. Pertanto in questo nuovo modello di produzione l'operaio assume un nuovo ruolo, rendendolo partecipe al processo di creazione del valore da parte delle imprese; una visione diametralmente opposta rispetto al lavoro alienante tipico del modello fordista. Il modello della lean production si diffuse in tutti i Paesi più industrializzati ma non fu in grado di eliminare completamente il fordismo, che venne esportato nei Paesi in via di sviluppo, come la Cina e l'India, dove vi erano alcune condizioni, tra cui soprattutto il basso costo della manodopera, che rendevano possibile la sua applicazione (Pareschi, Regattieri, Ferrari, & Persona, 2015).

#### 1.2.4. QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

Appare opportuno evidenziare come sia difficile definire una precisa periodizzazione della quarta rivoluzione industriale, dal momento che alcuni studiosi addirittura ritengono che essa non esista e che sia soltanto un prolungamento della terza rivoluzione industriale. Tuttavia, è possibile affermare che vi sia una cesura tra i due periodi e che vada fatta coincidere con l'affermazione su larga scala di internet e la digitalizzazione dei processi produttivi. La quarta rivoluzione industriale è caratterizzata da tre tendenze generali che stanno cambiando radicalmente la fisionomia del sistema economico. La prima riguarda le macchine che hanno la possibilità di crescere e di espandersi sempre più rapidamente. La seconda è relativa alla comparsa e affermazione di imprese che per molti aspetti sono completamente diverse dalle aziende tradizionali, esse sono dominanti nei loro settori e, nella maggior parte dei casi, sono in grado di registrare performance nettamente migliori rispetto alle aziende tradizionali appunto; queste imprese sono le piattaforme come Google, Facebook e Amazon. La terza consiste nell'emergere di una grande quantità di

---

<sup>5</sup> Si parla di logica pull quando lo svolgimento di un generico processo (inteso come sequenza di attività) avviene guardando indietro, cioè lo svolgimento dell'attività a valle trascina quella a monte. In particolare, per quanto riguarda un processo di produzione, si parla di logica pull quando la decisione di implementare la produzione di un dato bene in una determinata quantità, cioè di dare il via a tutta la sequenza di attività a partire dall'approvvigionamento, avviene a posteriori rispetto all'insorgere di un fabbisogno.

conoscenza umana, di competenza e di entusiasmo in tutto il mondo; proprio quest'ultima tendenza ha portato sempre più aziende a rivolgere la propria attenzione alla mass customization e alla customer experience, in modo da soddisfare le aspettative dei clienti divenute sempre più alte. Il termine Industry 4.0 è stato usato per la prima volta alla fiera di Hannover nel 2011 in un documento<sup>6</sup> per il futuro dell'industria manifatturiera tedesca di tre consulenti del governo tedesco operanti nel mondo economico, tecnologico e industriale, quali Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster. Nell'ottobre 2012 un gruppo di lavoro dedicato all'Industria 4.0, presieduto da Siegfried Dais e da Henning Kagermann presentò al governo federale tedesco una serie di raccomandazioni per la sua implementazione. L'8 aprile 2013, all'annuale Fiera di Hannover, fu diffuso il report finale del gruppo di lavoro (Randstad, 2017).



Figura 2: Le quattro rivoluzioni industriali. Fonte: MISE 2016.

<sup>6</sup> Il documento in questione si intitola: "Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution" cioè: "Industria 4.0: L'Internet delle cose sulla strada della quarta rivoluzione industriale".

### 1.3. ANDAMENTO DELLE AZIENDE NEL MONDO DURANTE LA PANDEMIA

Le interruzioni della produzione, avvenute inizialmente in Cina, che si sono poi estese alle aziende di tutto il mondo, hanno provocato gravi danni alla stragrande maggioranza delle imprese. Tutte le aziende, indipendentemente dalle loro dimensioni, hanno affrontato difficoltà che hanno portato un significativo calo dei ricavi, un aumento delle insolvenze e di perdita dei posti di lavoro. Infatti dall'analisi del documento *“Economic Conditions Snapshot, June 2020: McKinsey Global Survey results”* (FitzGerald, Singer, & Smit, 2020), emerge che quasi nove dirigenti su dieci affermano che le condizioni nelle loro economie nazionali sono peggiori ora rispetto all'anno precedente (al di fuori della Grande Cina, dove solo il 45% degli intervistati afferma che l'economia è peggiore ora), questa percentuale è la più alta mai verificatasi da aprile 2009 dopo la crisi finanziaria del 2008.

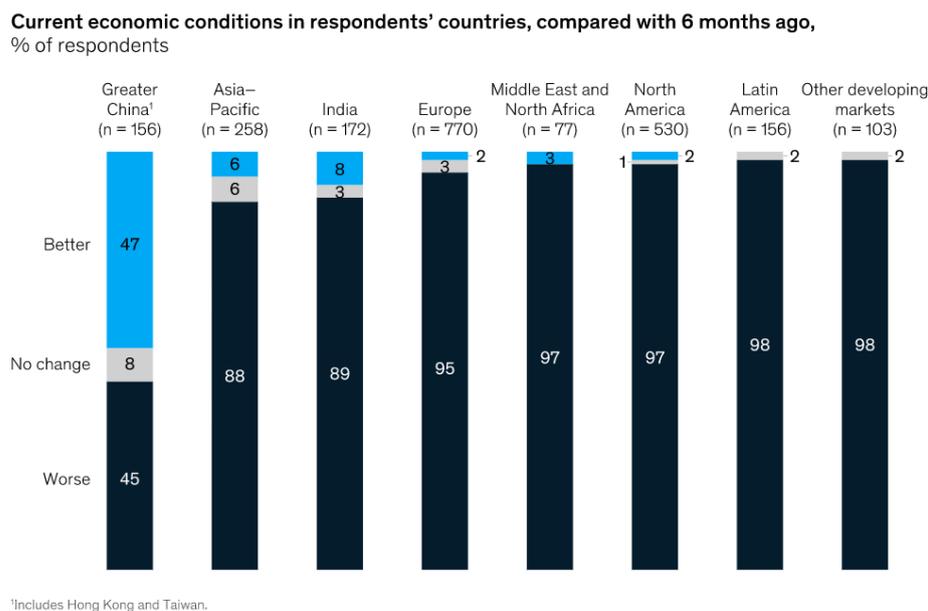


Figura 3: Condizioni economiche dei vari Paesi a seguito della pandemia. Fonte: McKinsey.

Per quanto riguarda l'economia globale, il 59% dei rispondenti ha evidenziato una situazione decisamente peggiore rispetto all'anno precedente, sulla base di questi dati, si delinea sempre più una situazione di recessione economica mondiale. Dall'analisi dei risultati emerge che per le imprese gli effetti della pandemia sono stati, ovviamente, di

vasta portata. Infatti, solo il 12% delle aziende afferma che le proprie operazioni non sono state influenzate dal COVID-19. Dal documento “*Stime e analisi aggiornate sull’impatto del COVID-19 sul mondo del lavoro*” (Organizzazione Internazionale del Lavoro, 2021) emerge poi che ci sono state diverse problematiche per quanto riguarda il personale, che a seguito dei divieti di viaggi, della chiusura delle frontiere e delle misure di quarantena, spesso non ha potuto raggiungere il posto di lavoro o svolgere la propria attività lavorativa, con effetti a catena sui redditi. Ciò appare evidente dai seguenti dati: nel 2020, l’8,8% delle ore lavorate a livello globale sono andate perdute rispetto al 2019, ciò corrisponde a 255 milioni di posti di lavoro a tempo pieno. Il calo delle ore lavorate nel 2020 si è tradotto sia in perdite di lavoro che in una riduzione dell’orario di lavoro per coloro che sono rimasti occupati, con notevoli variazioni da un Paese all’altro. Le perdite di lavoro sono state più elevate nelle Americhe e più basse in Europa e in Asia centrale, dove i programmi per la protezione del lavoro hanno sostenuto la riduzione dell’orario di lavoro. In totale, nel 2020 si sono registrate perdite occupazionali senza precedenti a livello mondiale rispetto al 2019, pari a 114 milioni di lavori. L’impatto sull’occupazione ha prodotto una significativa perdita di reddito per i lavoratori, infatti per quanto riguarda il reddito del lavoro globale nel 2020 esso è diminuito dell’8,3% cioè un calo di 3.700 miliardi di dollari statunitensi, corrispondenti al 4,4% del PIL globale. Uno dei cambiamenti più comunemente verificatisi all’interno delle aziende è una quota maggiore di lavoro virtuale o remoto, accelerando l’adozione di tecnologie digitali. Per le aziende con sede nelle economie sviluppate, gli intervistati si aspettano più spesso un lavoro virtuale o remoto (63%, rispetto al 41% delle aziende con sede nelle economie emergenti) una volta che le loro attività siano di nuovo operative. Quanto emerge è quindi uno scenario altamente incerto e instabile, motivo per cui le imprese hanno rallentato negli investimenti, nell’acquisto di beni e nell’assunzione di lavoratori.

### 1.3.1. ANDAMENTO DELLE AZIENDE IN ITALIA DURANTE LA PANDEMIA

Focalizzando l’attenzione sul contesto italiano, dall’analisi di diversi documenti (Unioncamere, 2020) (CONFINDUSTRIA, 2020) (ISTAT, 2020) emerge che le aziende hanno subito un’elevata riduzione del fatturato rispetto all’anno precedente (i valori di perdita media più elevati si sono registrati nei primi mesi di lockdown, ad esempio ad Aprile si è registrato il -48,4%), con un grado di sofferenza che resta inversamente proporzionale alla dimensione delle imprese, difatti le microimprese sotto i dieci

dipendenti risultano essere le più colpite (ad aprile avevano registrato un calo medio del fatturato pari al 55,3%) (CONFINDUSTRIA, 2020) (Unioncamere, 2020). Per quanto riguarda le riaperture, a novembre 2020 il 68,9% delle imprese ha dichiarato di essere in piena attività, il 23,9% di essere parzialmente aperta, svolgendo la propria attività in condizioni limitate in termini di spazi, orari e accesso della clientela, il 7,2% ha invece dichiarato di essere ancora chiuso. I dipendenti inattivi si attestano attorno al 17,7%, il fatto che poco meno di un quinto dei dipendenti risulti ancora inattivo, rende evidente come si resti ancora lontani da un ritorno alla normalità e resta ancora molto incerto quanto profondi e duraturi rischieranno di essere gli effetti della crisi (ISTAT, 2020) (Unioncamere, 2020). Un risultato rilevante è quello che riguarda le spese per dipendente in cui incorrono le aziende al fine di applicare i protocolli vigenti per alleviare i rischi di una nuova propagazione del COVID-19. Infatti, la necessità di adottare misure sanitarie e adeguare i processi produttivi al fine di ridurre il rischio di contagio ha riguardato la quasi totalità delle imprese italiane con almeno tre addetti. Solo l'1,4% (che rappresenta una quota inferiore al punto percentuale in termini di addetti) ha dichiarato di non averne presa alcuna. Tali misure, che possono essere raggruppate in: sanitarie (sanificazione e DPI<sup>7</sup>), organizzative (rotazione del personale e modifica delle procedure per clienti e fornitori) e di informazione, hanno rappresentato un costo talvolta rilevante per le imprese. Per la maggior parte di esse, infatti, il costo è stato superiore ai cento euro mensili per dipendente. Da notare come, facendo una distinzione per taglia, il costo medio per dipendente per le grandi imprese sia superiore a quello per le micro, piccole e medie imprese, dove è sostanzialmente stabile tra i 124 e i 126 euro per dipendente.

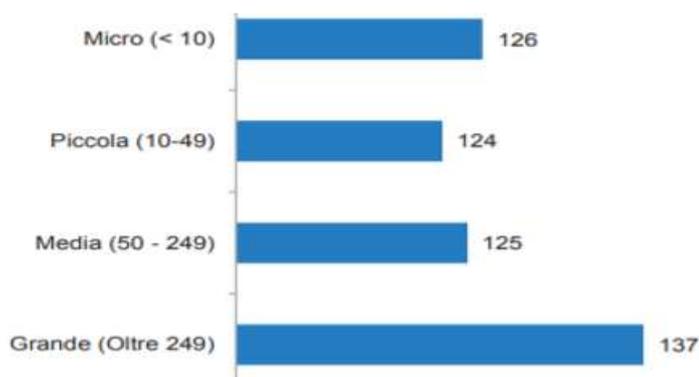


Figura 4: Spese delle imprese per dipendente. Fonte: Confindustria.

<sup>7</sup> Dispositivi di protezione individuale.

Nel 17,5% dei casi il costo complessivo di tutte le misure è stato considerato poco o per nulla rilevante, mentre per il 23,6% il costo connesso è stato percepito come rilevante o molto rilevante; la percezione di costi elevati risulta relativamente più diffusa nelle medie e grandi dimensioni aziendali rispetto alle micro e piccole imprese (ISTAT, 2020) (CONFINDUSTRIA, 2020).



## **2. LE TECNOLOGIE ABILITANTI CONTRO IL COVID-19**

A partire dal 2020, con l'avvento della pandemia di coronavirus, ci si è trovati a dover rispondere ad un'emergenza che non va ad impattare solo l'economia, come è accaduto nel 2008, ma che invece va a modificare stili di vita e obbliga un ripensamento a 360 gradi di moltissimi settori economici. Per le aziende si sono generate moltissime problematiche, ad esempio è stato necessario minimizzare il numero di personale che lavora in sede per ridurre il rischio di contagio. Un aiuto importante è stato offerto dallo smart working, che ha dato la possibilità a molti lavoratori di svolgere il proprio mestiere da casa. La situazione si complica nel momento in cui si passa dalla "remotizzazione" del normale lavoro d'ufficio alla gestione remota delle attività produttive. In questo caso le tecnologie abilitanti dell'Industry 4.0 hanno svolto un ruolo fondamentale per rendere possibile il funzionamento delle macchine e della logistica con un minimo di personale. Nel seguente capitolo si analizzeranno nel dettaglio proprio le nove tecnologie abilitanti alla base dell'Industry 4.0, contestualizzandole al periodo corrente caratterizzato dalla pandemia. Ognuna di esse sarà esplicitata nel seguente modo: inizialmente ne verrà fornita una definizione generale e sarà descritta la sua applicazione in ambito industriale; dopodiché saranno analizzate le funzioni svolte in questo periodo di pandemia e i benefici portati, lo stesso verrà fatto per il post-pandemia cercando di descrivere al meglio i possibili utilizzi a lungo termine di queste tecnologie anche in quella che sarà la "nuova normalità"; infine, qualora vi sia disponibilità di dati, verrà descritto il livello di maturità di ogni tecnologia abilitante e i trend previsti per ognuna di esse, con un focus sul contesto italiano.

### **2.1 CLOUD COMPUTING**

#### **2.1.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE**

Il cloud computing è una tecnologia abilitante che eroga servizi offerti su richiesta attraverso internet (come server, archiviazione, database, networking, etc.), a partire da un insieme di risorse preesistenti configurabili e disponibili in remoto sotto forma di

architettura distribuita (Cisco ). Il cloud computing è così chiamato perché le informazioni a cui si accede si trovano 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 (focus industria 4.0, 2020). Vi è un risparmio notevole sui costi operativi per eseguire l'infrastruttura perché i servizi cloud consentono di pagare solo ciò che viene utilizzato dall'azienda. Nel processo di erogazione dei servizi emergono tre figure: l'Hosting Service Provider, ovvero il fornitore dei servizi di cloud computing come server virtuali, spazio di archiviazione, applicativi gestionali, secondo un modello pay-per-use; il Cloud Broker, cioè l'amministratore dei servizi cloud, per quanto concerne il loro utilizzo, la configurazione e la fornitura, ed è il tramite nelle relazioni tra l'Hosting Service Provider e il Cloud Consumer; il Cloud Consumer, è l'utente finale, colui che usufruisce del servizio (smeup, 2018). I principali tipi di servizi erogati attraverso il cloud sono i seguenti: SaaS (Software as a Service) è il più diffuso tra le aziende, le quali, invece di procedere all'installazione del software acquistato direttamente nelle proprie macchine, si avvalgono di un'azienda terza (Hosting Service Provider) che predispose i programmi rendendoli accessibili via internet ovunque e su qualsiasi dispositivo, un esempio è Microsoft Office 365; IaaS (Infrastructure as a Service), in questo caso il provider offre all'utente risorse di calcolo sulle quali installare e gestire autonomamente le proprie applicazioni. Sono comprese risorse di networking, capacità di storage, capacità elaborativa e lo strato di virtualizzazione; tali risorse possono essere utilizzate in modo scalabile e flessibile in base alle reali esigenze del business, esempi popolari di sistemi IaaS sono IBM Cloud e Microsoft Azure. Infine, PaaS (Platform as a Service), in questo caso il provider offre all'utente piattaforme già preconfigurate, ottimizzate per lo sviluppo, il testing e l'erogazione di applicazioni custom. Gli strumenti tipicamente inclusi in una piattaforma PaaS sono sistemi operativi, sistemi di sicurezza, sistemi di gestione di database, application server, servizi di integrazione, strumenti di business process management (BPM) e ambienti di sviluppo software; un esempio sono le piattaforme Salesforce e Heroku (focus industria 4.0, 2020) (smeup, 2018).

### 2.1.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

Molte aziende in questo periodo hanno iniziato un percorso di adozione del cloud computing, rendendolo parte integrante della loro strategia IT. Il cloud computing, infatti,

sta diventando sempre più indispensabile dal momento che porta una serie di benefici molto importanti per garantire la resilienza delle aziende (Osservatori.net). Ad esempio, questa tecnologia offre un eccellente ecosistema per la cooperazione, in quanto supporta la maggior parte degli strumenti di collaborazione utilizzati in ambito industriale, in questo modo si garantisce un maggior allineamento tra i fornitori, che in questo periodo possono aver rallentato le spedizioni, e l'impresa, per fare in modo che il processo produttivo si svolga senza intoppi. Il cloud computing permette inoltre di migliorare le procedure di pianificazione, grazie ad una piattaforma che conserva dati storici dell'azienda, elenchi di inventario e dati sulla domanda, supportando allo stesso tempo applicazioni di pianificazione e programmazione avanzata (EXOR, 2020). In questo modo è possibile ridurre lo spreco di risorse, generando quindi dei risparmi in termini di costi per le aziende; un aspetto molto importante soprattutto per quelle imprese che si sono trovate economicamente più in difficoltà durante questa crisi. Oltre a questi benefici che hanno il loro peso per garantire la resilienza delle imprese, il cloud computing si è reso utile principalmente perché offre la possibilità di lavorare da remoto attraverso dispositivi configurati, consentendo ai lavoratori di un'azienda di accedere a determinati programmi e software aziendali in rete. Infatti un fattore preponderante che ha portato ad un utilizzo sempre più ampio di questa tecnologia è lo smart working, che si è largamente diffuso a causa delle necessità di distanziamento sociale dettate dal COVID-19. Ciò è dimostrato dal fatto che la spesa per il cloud è salita del 37% solo durante il primo trimestre del 2020 (Dempsey, Palladino, & Bhardwaj). È probabile che questa tendenza persista, poiché l'esodo verso il lavoro virtuale sottolinea l'urgenza di servizi tecnologici fuori sede scalabili, sicuri, affidabili ed efficienti. Tuttavia, il cloud porta con sé una serie di criticità percepite nella sua adozione in ambienti aziendali soprattutto in termini d'integrazione e competenze. Da un punto di vista tecnico, per alcune aziende l'integrabilità dei servizi cloud con il sistema informativo è una complicazione nel processo di cloud migration. Altra criticità diffusa è l'aumento esponenziale del traffico sulle reti che collegano gli utenti a questi servizi; solo i fornitori con un'architettura robusta e abbondante saranno in grado di gestire l'aumento del carico. Infatti, i provider cloud in questo periodo devono rispondere a domande difficili come: se il loro modello di cloud pubblico sia sufficientemente scalabile e resiliente da gestire l'aumento della domanda e se possa continuare a fornire servizi se il personale di supporto si ammala (Gartner). È infatti indispensabile che il supporto operativo per le offerte cloud sia mantenuto mentre si lavora da remoto o con meno personale e con le catene di

approvvigionamento influenzate da volumi di forniture minori dovuto al fatto che la sede degli impianti di produzione si trova in Cina e in altre aree interessate in primo luogo dalla pandemia (Alashhab, et al., 2020).

### 2.1.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA

La pandemia ha senza dubbio fatto emergere il valore del cloud computing, il quale ha permesso a molte aziende di rimanere in attività nonostante la crisi. Tutte queste organizzazioni, che hanno raggiunto una certa maturità nei confronti del cloud, riscontreranno benefici anche in quello che sarà il mondo post-pandemia. La “nuova normalità”, sarà caratterizzata da condizioni economiche incerte e dalla prospettiva di nuove interruzioni, per questo le aziende dovranno migliorare la loro efficienza operativa, al fine di promuovere la resilienza in quello che si prospetta essere un futuro pieno di incertezze. In tale contesto, investire sul cloud rappresenta una buona soluzione, che può offrire benefici anche a lungo termine, come migliorare lo sviluppo di un prodotto, in questo caso il cloud fornisce risorse di calcolo sufficienti a gestire queste problematiche. Un esempio è offerto da un produttore americano di motocicli elettrici che ha sfruttato il cloud per ridurre la massa dei componenti di una moto del 15% (EXOR, 2020). Oltre ai vantaggi garantiti nel lungo termine, il cloud sta diventando una risorsa indispensabile per via del processo di digitalizzazione che stanno percorrendo moltissime aziende, accelerato ancor più dalla pandemia. L'adozione del cloud diventa quindi un mezzo fondamentale per stare al passo in un mondo post-COVID-19 incentrato sull'agilità e sui punti di contatto digitali.

### 2.1.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

Nonostante l'inevitabile recessione economica sulla scia della pandemia, si stima che la spesa per il cloud a livello mondiale aumenterà del 19% per l'intero anno, anche se si prevede che la spesa per l'IT nel suo complesso diminuirà dell'8%, secondo l'analisi di Gartner (Costello & Rimol, 2020). Anche l'Italia conferma questo trend, infatti secondo il report 2019-2020 dell'Osservatorio Cloud Transformation<sup>8</sup> (Osservatorio Cloud Transformation, 2020), il mercato cloud in Italia ha superato i 3,34 miliardi di euro, con

---

<sup>8</sup> L'Osservatorio Cloud Transformation intende creare e diffondere conoscenza che supporti le aziende nel cogliere le opportunità del cloud, ormai vero abilitatore della trasformazione digitale.

una crescita del 21% rispetto all'anno precedente; in particolare il Public & Hybrid Cloud registra la crescita più significativa (+30%) raggiungendo un valore complessivo di 2 miliardi di euro, un'accelerazione più rapida rispetto alla media internazionale. Nel caso delle PMI<sup>9</sup>, il cloud è stato la risposta allo smart working forzato. L'emergenza sanitaria ha provocato quindi un sensibile aumento dell'utilizzo del cloud computing nelle PMI, che nel 2020 è giunto al 42% contro il 30% registrato nel 2019 e stabile negli anni precedenti. In seguito ad un'analisi svolta su un significativo numero di fonti secondarie internazionali, l'Osservatorio Cloud Transformation ha individuato quelli che sono i sette trend di mercato più importanti per il mondo del cloud computing: l'Hybrid & Multi Cloud, cioè l'evoluzione delle aziende verso un ecosistema IT non solo ibrido, ma che si avvale anche di cloud pubblici di provider diversi. L'Edge Computing, con quest'espressione si intende la distribuzione e decentralizzazione del Sistema Informativo con l'obiettivo di cogliere al meglio le opportunità legate ai dati provenienti dagli oggetti connessi (è il caso dell'Internet of Things). L'Intelligent Cloud, in questo caso il cloud si rende piattaforma end-to-end per lo sviluppo e l'erogazione di algoritmi di machine learning. Paas e Architetture Cloud Native, ovvero lo spostamento del mercato cloud verso lo stack di piattaforma. Il Cloud culture & organization, questo trend riguarda il cambiamento strutturale che stanno vivendo le direzioni IT aziendali per abbracciare la Cloud Transformation, si tratta di una vera e propria rivoluzione che tocca ruoli professionali, modelli organizzativi e competenze. Cyberintelligence, questa è una tendenza abbastanza legata a quelle precedenti, poiché negli ambienti Hybrid e Multi Cloud la sicurezza è oggi diventata un tassello chiave. Infine Agile, DevOps & IT Automation, ovvero la necessità di aumentare la velocità dello sviluppo e del rilascio delle applicazioni per rendere l'azienda più efficace nel rispondere ai cambiamenti (Dozio, 2020).

---

<sup>9</sup> Piccolo e medie imprese.

## 2.2. BIG DATA & ANALYTICS

### 2.2.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE

I big data, sono una raccolta di dati informativi così estesa da richiedere tecnologie e metodi analitici specifici per l'estrazione di valore o conoscenza. Doug Laney<sup>10</sup>, ha articolato la definizione di big data con il modello delle “tre V”: volume, le organizzazioni ad oggi raccolgono enormi quantità di dati da diverse fonti; velocità, i flussi di dati verso le imprese devono essere gestiti in modo tempestivo e a una velocità senza precedenti; varietà, ossia la coesistenza di dati di natura eterogenea (provenienti da differenti fonti, human o machine), più o meno strutturati e organizzati in maniera e in formati differenti. Oggi il paradigma di Laney è stato arricchito da altre due variabili, la veridicità, che si riferisce alle esigenze di qualità dei dati. Essa è cruciale per impedire che i risultati siano privi di significato, ad esempio se i dati non rappresentano adeguatamente la realtà, si vanifica l’investimento in quanto vengono fornite indicazioni errate; la variabilità, in quanto i flussi di dati sono imprevedibili, per cui variano di continuo (SAS). L’importanza dei big data non ruota solamente attorno alla loro quantità ma anche al loro utilizzo, per le aziende, infatti, la possibilità di accedere a dati provenienti da qualsiasi fonte, analizzarli e ricavarne una risposta, genera una serie di vantaggi di enorme valore: si possono ridurre i costi, i tempi di produzione e si può migliorare il fatturato aziendale. Questi sono solo alcuni dei vantaggi che saranno analizzati dettagliatamente, ponendoli in relazione con la crisi legata al COVID-19. Oggetto d’interesse del nostro studio è quindi il processo che include la raccolta e l’analisi dei big data per ottenerne informazioni utili al business, che indicheremo con il termine big data analytics. Il percorso che le varie aziende devono svolgere al fine di utilizzare i big data si compone di cinque step fondamentali che sono:

1. Impostare una strategia fondata sui big data, ossia creare un progetto di alto livello per controllare e migliorare le modalità di acquisizione, memorizzazione, gestione, condivisione e utilizzo dei dati, all'interno e all'esterno dell'organizzazione.
2. Conoscere le fonti dei big data aziendali, una delle fonti principali sono i dispositivi IoT, che forniscono dati in tempo reale.

---

<sup>10</sup> Doug Laney è il vicepresidente del Gartner Chief Data and Analytics Officer Research and Advisory Team.

3. Accedere, gestire e memorizzare i big data.
4. Analizzare i big data, questo passaggio viene effettuato con tecnologie ad alte prestazioni come il Grid<sup>11</sup> computing, le aziende in questo caso possono utilizzare due diversi approcci, il primo consiste nell'analizzare tutti i loro big data, il secondo approccio è quello di determinare in anticipo quali dati siano davvero rilevanti prima di analizzarli, in entrambi i casi questo è il passaggio in cui le aziende riescono a ricavare valore dai dati.
5. Prendere decisioni migliori e data-driven, in questo modo le aziende sono in grado di prendere decisioni affidabili avendo consultato dati veritieri ed effettuato analisi (SAS).

### 2.2.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

Come detto precedentemente, big data analytics porta con sé svariati vantaggi, in particolare se contestualizzato al periodo in corso, l'utilizzo di questa tecnologia basata sui dati gioca un ruolo fondamentale per molte funzioni aziendali, sia nella fase di emergenza sia nel supporto alla ripresa. Con big data analytics si possono incrementare le vendite mediante la comprensione dei clienti e del mercato (rilevando intenti e interessi altrimenti non identificabili), in questo modo i manager possono prendere decisioni in modo più accurato, avendo a disposizione informazioni di qualità elevata grazie a questa tecnologia (Azeem, et al., 2021). Ciò può aumentare considerevolmente il fatturato aziendale. Allo stesso tempo si possono diminuire i costi adottando queste tecnologie nel controllo qualità. Attraverso l'analisi dei dati raccolti durante le operazioni aziendali si possono individuare eventuali anomalie e intervenire per risolverle, in questo modo si garantisce la qualità dei prodotti e si ottimizzano i costi della produzione (Azeem, et al., 2021). Questi due utilizzi sono particolarmente importanti per garantire la resilienza delle aziende durante questa crisi. Big data analytics può essere d'aiuto anche per monitorare la supply chain<sup>12</sup>, analizzando i fattori che influiscono sul costo delle materie prime, anticipandone le variazioni e individuando eventuali mancanze da parte dei fornitori. In questo modo si è in grado di prevedere la disponibilità delle materie prime e di attivare in tempo misure straordinarie per l'approvvigionamento (Belhadi, et al., 2021). Questo

---

<sup>11</sup> In informatica i grid computing o sistemi grid sono un'infrastruttura di calcolo distribuito, utilizzati per l'elaborazione di grandi quantità di dati, mediante l'uso di una vasta quantità di risorse.

<sup>12</sup> Per supply chain o catena di approvvigionamento si intende il processo che permette di portare sul mercato un prodotto o servizio, trasferendolo dal fornitore fino al cliente.

aspetto è molto importante dal momento che le supply chain in questo periodo hanno subito molti rallentamenti a causa del COVID-19. Per comprendere a pieno questo concetto è necessario considerare il quadro economico cinese. La Cina, infatti, è un importantissimo fornitore per le aziende di tutto il mondo. Essa sta iniziando un percorso di ripresa attraverso l'eliminazione strategica di determinate restrizioni economiche, tuttavia l'attività delle aziende cinesi non sarà adatta a soddisfare le esigenze dell'economia globale ancora per molto e si rende perciò necessario trovare soluzioni alternative per salvare le catene di approvvigionamento dallo shock del coronavirus. La carenza di materiali e le strozzature altrimenti potrebbero persino prolungare la pandemia stessa, rendendo ad esempio più difficile per i produttori soddisfare gli ordini di dispositivi di protezione individuale (DPI) e altre forniture mediche. Secondo un sondaggio svolto da una delle più grandi associazioni di gestione delle forniture al mondo (Delnevo, 2020), quasi il 75% delle aziende ha riferito di aver sperimentato nei loro stabilimenti delle interruzioni nelle forniture dovute proprio all'epidemia di coronavirus. Quasi sei aziende su dieci (57%) hanno registrato una dilatazione dei tempi di consegna dei componenti di livello uno provenienti dalla Cina, con tempi medi più che raddoppiati rispetto alla fine del 2019. In particolare, il 44% ha dichiarato di non essere pronto con alcun piano alternativo per affrontare e risolvere questi disagi, il che rende questo un buon punto di partenza per apportare cambiamenti operativi con il supporto delle tecnologie digitali. Questi concetti sulla catena di approvvigionamento trovano conferma nel documento *“Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: Lessons learned from the automobile and airline industries”* (Belhadi, et al., 2021) che analizza nel dettaglio le problematiche legate alla supply chain dell'industria automobilistica e aerea e le soluzioni ottenute attraverso l'Industry 4.0, mettendo in evidenza come le imprese che hanno adottato tecnologie abilitanti per rispondere a questo tipo di situazioni, hanno minimizzato gli impatti finanziari e il time to recover<sup>13</sup>. Questo documento verrà ripreso anche in altri paragrafi successivi, in cui verrà analizzato l'utilizzo di altre tecnologie a supporto delle catene di approvvigionamento. Un gesto molto importante in questo momento di crisi è stato compiuto da parte di diverse istituzioni, che hanno messo a disposizione i dati relativi al COVID-19. Queste informazioni rientrano tra gli Open Data, ovvero dati pubblici, usufruibili da tutti, condivisibili e in continua crescita. L'utilizzo di questi set informativi rappresenta per le

---

<sup>13</sup> Il time to recover in questo documento è valutato come il tempo necessario per tornare ai livelli di forniture e velocità di rifornimento pre-pandemia.

imprese un'opportunità per arricchire le proprie analisi con dati non presenti nei sistemi aziendali; un'indagine di Deloitte ha riportato che circa il 75% delle aziende intervistate ha intenzione di utilizzare questi open data con le tecnologie big data analytics (Deloitte, 2020).

### 2.2.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA

Per molte aziende i big data sono diventati un must su cui puntare per trasformarsi in data-driven company al fine di prendere decisioni consapevoli basate su informazioni pertinenti. Nello specifico, la pandemia causata dal COVID-19 ha evidenziato ulteriormente l'importanza di valorizzare i dati per prendere decisioni rapidamente e garantire continuità di business. Molte soluzioni che sono state precedentemente citate, oltre all'utilità immediata hanno portato un valore aggiunto da preservare e potenziare durante e dopo la ripresa. Ad esempio l'utilizzo dei big data analytics per controllare la supply chain ha sicuramente la sua importanza in questo momento di crisi, per i motivi che sono stati già espressi, ma tale utilizzo porterà benefici a lungo termine, portando alla nascita di catene di approvvigionamento più flessibili (Belhadi, et al., 2021). Le prospettive per il futuro sono quelle di evolvere verso un utilizzo estensivo degli analytics in aree dove finora l'analisi del dato non influenzava i processi decisionali, in modo da avere un'elevata flessibilità a livello tattico e strategico, con dati che possono essere processati, visualizzati ed analizzati pressoché in tempo reale. Svolgere analisi in tempo reale permetterà infatti di avere visibilità interna dei processi e permetterà lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi, dai wearable devices alle auto a guida autonoma (Zanotti, 2020).

### 2.2.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

Dai paragrafi precedenti emerge chiaramente come questa tecnologia stia diventando fondamentale per le aziende soprattutto in questi momenti di difficoltà; tuttavia se si analizza il mercato italiano dei big data analytics, si nota un notevole divario tra le aziende più innovative e mature dal punto di vista tecnologico, che hanno razionalizzato gli investimenti, riuscendo ad accelerare la strategia data-driven, e quelle più tradizionali, che hanno rallentato il loro percorso verso la maturità di questa tecnologia, anche a causa della pandemia in corso e della conseguente crisi economica. Il primo gruppo è costituito prevalentemente da grandi imprese, mentre a far parte del secondo gruppo sono le PMI,

conseguentemente l'Italia, costituita principalmente da piccole e medie imprese, mostra un rallentamento della crescita del mercato analytics, che nel 2020 raggiunge 1,815 miliardi di euro, mostrando un +6% rispetto al 2019, in frenata rispetto al +23% registrato nel 2019 e al +26% nel 2018.

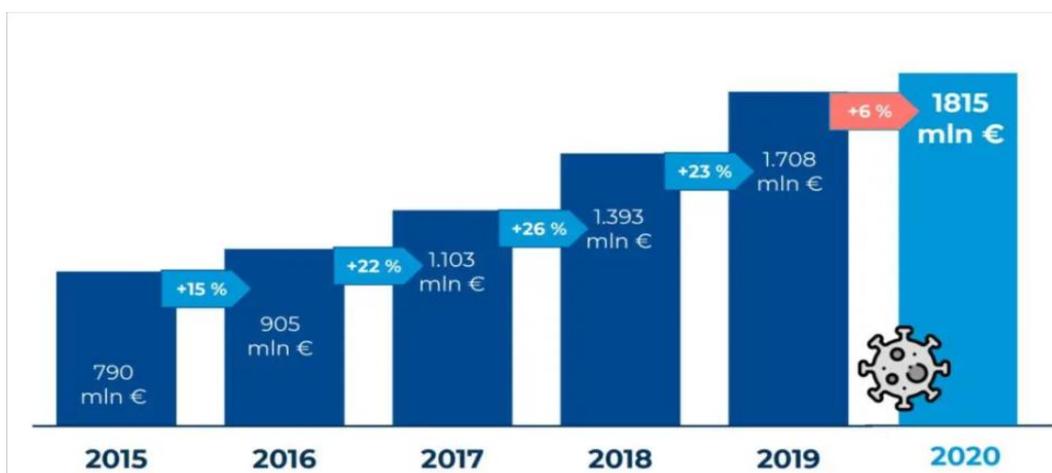


Figura 5: Il mercato Analytics. Fonte: Osservatorio Big data & business Analytics.

A conferma di ciò vi sono ulteriori dati che mostrano come il 96% delle grandi imprese, prosegua a compiere attività per migliorare la raccolta e valorizzazione dei dati e il 42% si sia mosso, in termini di sperimentazioni e competenze, per quanto riguarda gli analytics. Tra le PMI invece il 62% ha in corso qualche attività di analisi dati, di cui solo il 38% avanzate (Casini, 2020). Carlo Vercellis, responsabile scientifico dell'Osservatorio Big data & Business Analytics<sup>14</sup>, conferma che le aziende italiane hanno avvertito la fondamentale rilevanza della valorizzazione dei dati in questa emergenza sanitaria, ma evidenzia anche che il mercato ha subito un forte rallentamento rispetto al passato, perché molte organizzazioni hanno ripensato i piani di investimento. In questo senso si assiste quindi a un ampliamento del gap tra le aziende mature nella gestione e nell'analisi dei dati e quelle in ritardo.

<sup>14</sup> L'Osservatorio Big Data & Business Analytics intende evidenziare il valore strategico che i Big Data e gli Analytics svolgono nelle imprese e nella Pubblica Amministrazione, ponendo in luce i potenziali vantaggi relativi alla competitività, alla redditività, alla tempestività e all'aumento di efficacia nei processi decisionali.

## 2.3. INTERNET OF THINGS

### 2.3.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE

Con il termine IoT si intende quel percorso nello sviluppo tecnologico in base al quale, attraverso la rete internet, potenzialmente ogni oggetto acquista una sua identità nel mondo digitale. Questa tecnologia rappresenta una possibile evoluzione dell'uso della rete internet: gli oggetti si rendono riconoscibili grazie al fatto di poter comunicare dati su sé stessi e accedere ad informazioni aggregate da parte di altri. Questi oggetti connessi che sono alla base dell'Internet delle cose vengono definiti più propriamente “smart objects”, poiché possiedono capacità elaborative e si contraddistinguono per alcune proprietà o funzionalità; le più importanti sono identificazione, connessione, localizzazione e capacità di interagire con l'ambiente esterno (Osservatori.net). L'Internet of Things è un paradigma che non conosce potenzialmente confini applicativi, tuttavia il campo di interesse di questo studio si limiterà all'Industrial IoT (IIoT), ossia alla sua applicazione in ambito industriale (Salvadori, 2020). L'implementazione di tecnologie IoT all'interno di un'azienda prevede un'infrastruttura che possa essere articolata su diverse reti e sistemi. Questa infrastruttura si compone delle seguenti parti: sensori, attuatori, infrastruttura di connessione tra sensori e rete, strumenti per raccolta, archiviazione, elaborazione ed analisi dei dati e, opzionalmente, un collettore e analizzatore di dati periferici (Edge Computing) (Grassi). Gli ambiti applicativi dell'IIoT sono i seguenti: la Smart Factory, cioè il controllo dell'avanzamento della produzione, della sicurezza sul lavoro, della manutenzione, della movimentazione dei materiali, del controllo qualità e della gestione rifiuti; la Smart Logistics, che consiste nel monitorare la filiera, ad esempio tramite tag RFID<sup>15</sup> e sensoristica; lo Smart Lifecycle, ossia il miglioramento del processo di sviluppo di nuovi prodotti (es. tramite dati provenienti da versioni precedenti di prodotti connessi), l'end of life management e la gestione dei fornitori (Salvadori, 2020).

### 2.3.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

L'IIoT può essere fondamentale per le aziende durante questa crisi, in quanto garantisce la sicurezza dei dipendenti e riduce i costi a breve termine. Con l'avvento della pandemia la sicurezza dei dipendenti è diventato un fattore sempre più importante e difficile da

---

<sup>15</sup> Radio-Frequency Identification.

assicurare allo stesso tempo, difatti sono state redatte nuove norme per le aziende al fine di contenere la diffusione del virus. In questo caso l'IIoT può offrire diverse soluzioni per garantire la continuità dell'azienda nel rispetto delle normative vigenti (Fahrni, et al., 2020). Questa tecnologia, infatti, consente la collaborazione da remoto con i dipendenti, poiché più processi in un'azienda sono digitalizzati più è facile collaborare da remoto. Quindi, qualora per un certo periodo fosse vietato o limitato il lavoro in loco per problematiche legate al COVID-19, l'IIoT può consentire alle aziende di mantenere le operazioni monitorando e controllando le apparecchiature da remoto. A tal proposito Pier Paolo Parabiaghi, Sales Manager Robotics e responsabile per la divisione IIOT di Fanuc Italia, afferma: "Fra le nostre aziende clienti, quelle che hanno abilitato le produzioni adottando industrial IoT, sono riuscite a sfruttare la possibilità di amministrare da remoto senza un presidio in locale. I più evoluti si stanno avvicinando al nostro sistema industrial IoT completo, sviluppato in collaborazione con Cisco"<sup>16</sup>. Invece, per monitorare i dipendenti presenti in loco, l'IIoT permette di utilizzare dispositivi di posizionamento per mostrare dove si muovono gli addetti all'interno della struttura; il tutto ovviamente deve essere consentito dalle normative locali e dai lavoratori stessi (uno di questi dispositivi, Smart Track 4 COVID-19, è stato lanciato proprio da una PMI genovese che si occupa di strumenti IoT<sup>17</sup>). Le informazioni ricavate vengono inserite in algoritmi intelligenti, che aiutano i manager a ottimizzare i flussi di lavoro e ridurre al minimo i contatti nei cambi di turno e in altri punti critici. Recentemente, ad esempio, un'azienda ha rapidamente scaglionato pause e riorganizzato i turni in base alle informazioni IIoT, consentendole di continuare le operazioni riducendo drasticamente il contatto tra i dipendenti. Oltre a proteggere i lavoratori, le soluzioni di tracciamento possono migliorare le operazioni, alcuni esempi hanno infatti dimostrato che aumentano la produttività dal 10 al 30%, a seconda dell'impostazione della fabbrica. Si possono anche utilizzare sistemi di controllo basati sulla visione, come un'azienda di commercio elettronico statunitense che utilizza software di apprendimento automatico per analizzare i filmati delle videocamere in loco, in modo da garantire che i dipendenti mantengano le dovute distanze durante i turni (Fahrni, et al., 2020). Un aspetto importante dell'IIoT risiede nella sua capacità di raccogliere una grande quantità di dati attraverso i sensori integrati nelle macchine. Grazie a questa maggiore disponibilità di dati per l'analisi, permette di effettuare una

---

<sup>16</sup> E. Bevilacqua "La trasformazione digitale ai tempi del Covid-19: dalla prospettiva tecnologica allo sviluppo organizzativo" in "ZeroUno", 12 Ottobre 2020.

<sup>17</sup> "Smart Track 4 Covid" <https://courses.unige.it/10728/news/4723-bozza-smart-track-4-covid-unige>.

manutenzione predittiva dei macchinari, tale processo può essere svolto tramite il supporto di altre tecnologie come il machine learning, che è in grado di identificare in anticipo i segnali collegati ad esempio ad un guasto o ad un'avaria. La manutenzione predittiva porta una serie di vantaggi: in primis, un vantaggio di tipo economico dal momento che permette di risparmiare sui costi rispetto agli altri tipi di manutenzioni basate sul tempo; inoltre una logica predittiva prevede degli interventi solo quando è strettamente necessario, ciò significa che ogni componente viene utilizzato al massimo senza operare una sostituzione anzitempo (Fahrni, et al., 2020). Uno dei benefici principali in questo momento, per quanto riguarda la manutenzione predittiva, è quello di poter minimizzare il numero di interventi da parte dei manutentori delle macchine, infatti a causa del COVID-19 non è sempre garantita la presenza fisica di addetti specializzati in queste funzioni, che per esempio possono trovarsi in quarantena. Se ciò si verificasse in concomitanza con un guasto di un macchinario, causerebbe un lungo fermo della produzione e un danno ingente all'azienda. Tuttavia anche per questo tipo di situazioni sono state adottate tecnologie specifiche, come la realtà aumentata o sistemi di telemanutenzione, che hanno provveduto a risolvere questo genere di problematiche. Questo periodo ha anche sconvolto la domanda dei clienti, generando quindi diversi problemi legati alla liquidità delle aziende. L'IIoT ha proposto diverse soluzioni per rispondere a questa situazione, una di esse è la gestione dell'inventario. Dotando il magazzino di opportuni sensori che monitorano i livelli di riempimento e tracciando il flusso dei materiali con opportune applicazioni, si è in grado di ridurre il livello di inventario fino al 36% se necessario. L'IIoT può anche aiutare a ridurre la generazione di scarti e sfridi durante il processo produttivo; le aziende che effettuano una produzione di massa possono infatti ottenere risparmi significativi installando dispositivi di misurazione di base, come bilance e sensori in linea che inviano informazioni tramite IIoT (Fahrni, et al., 2020).

### 2.3.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA

La pandemia avrà un effetto duraturo sulle imprese, anche dopo il suo superamento. Il mondo post-COVID-19, come si è già visto in precedenza, sarà caratterizzato da shock imprevedibili, che vanno da nuove questioni sanitarie, a cambiamenti dell'offerta e della domanda, alle tensioni geopolitiche che interferiranno con il commercio. Le aziende dovranno continuare a lottare per una maggiore flessibilità operativa, in particolare per la capacità di modificare i volumi di produzione quando necessario. Le seguenti

applicazioni IIoT mostrano come le aziende possono aumentare la loro flessibilità: l'integrazione della catena di approvvigionamento, che può essere raggiunta attraverso l'IIoT, consentirà lo scambio di dati in tempo reale tra tutti i partecipanti alla supply chain, creando una visione integrata dei programmi di produzione, degli inventari, della qualità e dei tempi di consegna previsti. Con queste informazioni dettagliate, le aziende potranno ottimizzare i livelli di inventario, la pianificazione della produzione e l'utilizzo dei trasporti attraverso un approccio più olistico. L'aumento dell'efficienza produttiva di singole macchine o intere linee di produzione attraverso l'IIoT, che permette di effettuare analisi avanzate per ottimizzare i parametri di processo. Ciò consentirà alle aziende di adeguare rapidamente i programmi di produzione, per tenere conto delle variazioni della domanda o delle interruzioni impreviste della catena di approvvigionamento (Fahri, et al., 2020).

#### 2.3.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

In un'indagine condotta nel 2019 dall'Osservatorio Internet of Things<sup>18</sup>, che ha coinvolto 100 grandi aziende e 525 PMI italiane, con l'obiettivo di comprendere i progetti di Industrial IoT realizzati e le aspettative per il futuro, il primo risultato che emerge è il significativo divario in termini di conoscenza: a fronte di un 97% di grandi aziende che dichiara di conoscere le soluzioni IoT per l'Industria 4.0 (in crescita rispetto al 95% del 2018), solo il 39% delle piccole e medie imprese ne ha sentito parlare. Coerentemente, anche il livello di diffusione dei progetti di IIoT cambia molto a seconda della dimensione aziendale: il 54% delle grandi aziende che hanno partecipato all'indagine ha avviato almeno un progetto in ambito Industrial IoT nel triennio 2017-2019, mentre solo il 13% delle piccole e medie imprese ha fatto altrettanto (Salvadori, 2020). Tuttavia, nel 2020 il gap è diminuito del 5% in termini di conoscenza e del 6% per quanto riguarda la presenza di progetti. Nel nuovo sondaggio condotto dall'osservatorio emerge che il 94% delle grandi aziende ha acquisito una certa maturità nei confronti delle soluzioni IIoT, mentre per le PMI il 41% ne ha sentito parlare (Redazione ZeroUno, 2021). A tal proposito Giovanni Miragliotta, Responsabile Scientifico dell'Osservatorio Internet of Things,

---

<sup>18</sup> L'Osservatorio nasce nel 2011 per rispondere al crescente interesse di aziende pubbliche e private verso le potenzialità offerte dal nuovo paradigma dell'Internet of Things (IoT). L'Osservatorio si propone di indagare le reali opportunità dell'IoT combinando la prospettiva tecnologica con quella manageriale, in un contesto caratterizzato da poca chiarezza sullo stato dell'arte delle applicazioni, sui benefici abilitati e sull'evoluzione attesa del mercato.

afferma: “L’Industrial IoT italiano è una realtà in crescita, soprattutto fra le grandi imprese, anche se il ritardo delle PMI, fra cui solo una minoranza conosce le soluzioni IIoT, avvia progetti e sfrutta adeguatamente gli incentivi previsti dal Piano Nazionale Industria 4.0, dimostra che la strada da percorrere in Italia per l’innovazione 4.0 è ancora lunga. Per crescere e innovarsi, le imprese dovranno aumentare impegno e investimenti nell’acquisizione e sviluppo di competenze IoT e imparare a valorizzare al meglio i dati raccolti. Coloro che già lo fanno sono in grado di estendere la propria offerta con servizi a valore aggiunto e, in alcuni casi, di rivoluzionare il proprio modello di business, con i primi casi di macchinari acquistati secondo il modello di pagamento pay-per-use”<sup>19</sup>.

## **2.4. CYBERSECURITY**

### **2.4.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE**

La cybersecurity è la prassi di proteggere i sistemi, le reti e i programmi dagli attacchi digitali (Cisco). Un attacco digitale è un tentativo malevolo e intenzionale da parte di un individuo o di un'organizzazione di violare il sistema informativo di un altro individuo o azienda. Questi attacchi informatici sono solitamente finalizzati all'accesso, alla trasformazione o alla distruzione di informazioni sensibili, nonché all'estorsione di denaro agli utenti o all'interruzione dei normali processi aziendali. È possibile individuare quattro tipi di minacce più diffuse alla cybersecurity: il phishing è la prassi di inviare e-mail fraudolente che assomigliano a e-mail provenienti da fonti affidabili, con l’obiettivo di sottrarre dati sensibili; il malware è un tipo di software progettato per ottenere un accesso non autorizzato o per causare danni a un computer; il ransomware è un tipo di software dannoso, è progettato per estorcere denaro bloccando l'accesso ai file o al sistema informatico fino al pagamento del riscatto; il social engineering è una tattica che gli hacker utilizzano per indurre l'utente a rivelare informazioni sensibili (Cisco). In passato, i sistemi di produzione erano chiusi e la sicurezza era garantita dal loro isolamento e dal controllo fisico degli accessi (Corallo, Lazoi, & Lezzi, 2020). Oggi, con lo sviluppo dell’Industry 4.0 i sistemi industriali ed i relativi macchinari sono sempre più dotati di tecnologie che acquisiscono in tempo reale dati dettagliati sul proprio funzionamento e comunicano e distribuiscono tali dati ad altri sistemi informatici in rete. I componenti di

---

<sup>19</sup> “Il mercato italiano dell’Internet of Things vale 6,2 mld di euro nel 2019, +24%” in “Osservatori.net”.

produzione comunicano su reti industriali private utilizzando protocolli specifici, ma questi non forniscono un'adeguata protezione contro le minacce informatiche. Sono molti gli elementi da proteggere, dai sistemi embedded<sup>20</sup>, alle reti di comunicazione, ai sistemi informatici che analizzano e immagazzinano i dati (es. Cloud). Da diversi studi emerge che in un'azienda, le persone, i processi e i macchinari devono necessariamente integrare tecnologie cybersecurity per creare una difesa efficace dagli attacchi informatici (Alashhab, et al., 2020) (Corallo, Lazoi, & Lezzi, 2020), (Iaiani, Tugnoli, Bonvicini, & Cozzani, 2021). La tecnologia comunemente utilizzata, per proteggere le entità precedentemente citate, include i firewall di nuova generazione, il filtro DNS<sup>21</sup>, la protezione dal malware, il software antivirus e le soluzioni di sicurezza per le e-mail. Nel contesto dell'Industria 4.0, gli standard di sicurezza informatica e i documenti di orientamento aiutano le aziende a creare una conoscenza comune dei controlli e dei metodi di sicurezza del settore per valutare l'efficacia di tali controlli. Nell'ultimo decennio, organismi come l'Agencia dell'Unione Europea per la cybersicurezza (ENISA), hanno raccolto gli standard e le linee guida esistenti, nonché le migliori pratiche e procedure, per affrontare le questioni relative alla cybersecurity in relazione ai sistemi industriali. Questi standard possono essere adottati nell'era dell'Industria 4.0 per valutare l'atteggiamento generale di sicurezza informatica di un sistema o di un'organizzazione (Corallo, Lazoi, & Lezzi, 2020).

#### 2.4.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

Il COVID-19 ha provocato uno sconvolgimento sociale ed economico, questa situazione ha generato una trasformazione digitale forzata e soprattutto gestita in modalità emergenziale. In questo contesto sono aumentati gli attacchi cyber, che hanno sfruttato soprattutto le maggiori vulnerabilità di carattere psicologico degli operatori e anche il gap esistente tra il processo di digitalizzazione forzata e la consapevolezza degli utenti rispetto alle minacce cyber. Secondo quanto rilevato da “*X-Force Threat Intelligence Index 2021*” (IBM Security, 2021), lo studio annuale del team di ricerca IBM Security, nell'anno del COVID-19 i cyber criminali hanno indirizzato le proprie “attenzioni” alle

---

<sup>20</sup> Un sistema embedded nell'informatica e nell'elettronica digitale identifica genericamente tutti quei sistemi elettronici di elaborazione a microprocessore progettati appositamente per un determinato utilizzo, ovvero non riprogrammabili dall'utente per altri scopi.

<sup>21</sup> Il filtro DNS è una tecnica per bloccare l'accesso a determinati siti Web o indirizzi IP.

organizzazioni strategiche nella lotta contro il coronavirus; i dati confermano che gli attacchi informatici al settore sanitario, manifatturiero ed energetico sono raddoppiati rispetto all'anno precedente. Dallo studio emerge che l'Europa è il continente maggiormente attaccato nel 2020: il 31% degli attacchi a cui X-Force ha risposto era indirizzato a Paesi europei, tra cui, al primo posto, gli attacchi ransomware. Emerge poi che l'industria manifatturiera e quella energetica sono state le principali vittime dei cyber attacchi, secondo gli analisti, ciò è giustificato dall'aumento pari quasi al 50% delle vulnerabilità nei sistemi di controllo industriale (ICS) da cui entrambe dipendono fortemente. Un altro fattore di rischio è legato all'adozione sempre più diffusa del cloud all'interno delle aziende, infatti come si è visto nel capitolo riguardante questa tecnologia si prevede un incremento degli investimenti in questo paradigma, come conseguenza della trasformazione digitale causata dal COVID-19. Gli ambienti cloud possono quindi diventare un bersaglio facile per gli hacker. A tal proposito X-Force raccomanda un approccio zero-trust alla strategia di sicurezza. Inoltre, il ricorso massivo ed emergenziale a forme di telelavoro, che sono state tutte classificate, anche in modo improprio, con il termine smart working, è anch'esso un fattore di rischio. Infatti in questo particolare periodo in cui molti dipendenti lavorano da casa e utilizzano il proprio PC, è diventato importante implementare alcune pratiche per aumentare la sicurezza informatica: ai dipendenti dovrebbe essere fornita una licenza per antivirus e anti malware da utilizzare sui propri personal computer, ciò eliminerebbe molti attacchi di basso livello; il personale dovrebbe essere informato sulle migliori pratiche e procedure per regolare l'invio di e-mail o altri contenuti a indirizzi e-mail privati e/o archiviazione cloud; i dipendenti dovrebbero utilizzare una VPN<sup>22</sup> in quanto aggiunge un ulteriore livello di protezione all'uso di internet a casa (Alashhab, et al., 2020). È anche possibile adottare misure più avanzate: le aziende possono utilizzare strumenti come il controllo degli host<sup>23</sup> per rafforzare la sicurezza del lavoro da remoto. Si possono proteggere le reti IT di una struttura di processo attraverso la segmentazione della rete e limitando il flusso di dati, ciò prevede la separazione tra reti di sistemi non di controllo e reti di sistemi di controllo (ad esempio la rete aziendale e la rete di controllo e supervisione), consentendo la comunicazione solo attraverso dispositivi adeguatamente controllati e configurati (ad

---

<sup>22</sup> Una rete virtuale privata (VPN) è una rete di telecomunicazioni privata, che garantisce privacy, anonimato e sicurezza attraverso un canale di comunicazione logicamente riservato e creato sopra un'infrastruttura di rete pubblica.

<sup>23</sup> il controllo degli host è uno strumento per controllare la posizione di sicurezza di un endpoint prima di autorizzare l'accesso ai sistemi informativi aziendali.

esempio firewall, switch e router) (Iaiani, Tugnoli, Bonvicini, & Cozzani, 2021). Un altro aspetto molto importante riguarda l'utilizzo di meccanismi di sicurezza crittografica secondo pratiche e raccomandazioni di sicurezza riconosciute e comprovate a livello internazionale. Infatti crittografando i dati all'interno di un computer si può ridurre notevolmente l'impatto di un furto (Iaiani, Tugnoli, Bonvicini, & Cozzani, 2021).

#### 2.4.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA

Come già espresso precedentemente, il COVID-19 ha accelerato i processi di trasformazione digitale, i cui effetti saranno incontrovertibili. Tra questi lo smart working, che assumerà una connotazione strutturale, ma anche il commercio elettronico, che continuerà la sua crescita nelle abitudini di acquisto. Lo smart working però rappresenta una problematica dal punto di vista dei cyber attacchi, poiché esso ha diverse vulnerabilità, come quelle di carattere tecnologico, in quanto fa uso dei PC personali degli operatori che sono meno sicuri per definizione e vengono dotati di configurazioni hardware e software che non sono sotto il totale controllo dei dipartimenti IT-SEC, per questo sarà necessario continuare a adottare molte soluzioni di cybersecurity descritte nel paragrafo precedente anche nel post-pandemia (Cyber Guru). La trasformazione digitale porterà con sé quindi oltre a numerosi vantaggi anche molti rischi per la sicurezza. L'anello debole nel sistema difensivo è individuato nel fattore umano, per questo nel futuro i programmi formativi di Cyber Security Awareness, non avranno più il mero obiettivo di dimostrare la conformità alle varie normative che prevedono, nei loro standard, la formazione del personale, ma diventeranno una misura di sicurezza necessaria, in grado di trasformare concretamente gli atteggiamenti e i comportamenti degli utenti di fronte alla minaccia cyber (Cyber Guru).

#### 2.4.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

Nei paragrafi precedenti si è discusso approfonditamente dell'aumento degli attacchi cyber durante la crisi del COVID-19. Il Rapporto CLUSIT<sup>24</sup> 2021 (CLUSIT) infatti riporta che nel 2020 questi attacchi a livello globale sono aumentati del 12% rispetto all'anno precedente (un aumento del 66% rispetto al 2017). A conferma della crescente importanza della cybersecurity una ricerca dell'Osservatorio Cybersecurity & Data

---

<sup>24</sup> CLUSIT- Associazione Italiana per la Sicurezza Informatica.

Protection<sup>25</sup> (Bevilacqua, 2020), afferma che il mercato della sicurezza informatica è cresciuto dell'11% e ha raggiunto 1,3 miliardi di euro; infatti Alessandro Piva, Direttore dell'Osservatorio Information Security & Privacy, si espone a riguardo della cybersecurity nel seguente modo: “La sicurezza informatica non è più percepita come un ostacolo all'adozione di nuove tecnologie e servizi, ma come un fattore fondamentale per il successo del business”<sup>26</sup>. Nonostante l'aumento degli investimenti vi è un diffuso ritardo nei modelli organizzativi e di gestione della sicurezza informatica: nel 40% delle imprese è assente una specifica funzione e una figura direzionale dedicata all'Information Security, la cui gestione è affidata ancora al CIO e all'IT. Sono poche le imprese in cui la funzione Security riporta a una funzione aziendale diversa dall'IT (17%) o direttamente al Board (16%) (Bevilacqua, 2020). Questi dati giustificano il proliferare degli attacchi durante la pandemia, nonostante la crescente consapevolezza, da parte delle imprese, sulla centralità della cybersecurity.

## **2.5. SISTEMI DI INTEGRAZIONE VERTICALE E ORIZZONTALE**

### **2.5.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE**

È possibile considerare l'integrazione verticale e orizzontale come una conseguenza naturale di altre tecnologie abilitanti, come ad esempio l'Internet of Things, il cloud computing e i big data (Carbone, 2018). Nell'ambito della strategia di crescita aziendale, l'integrazione verticale ha come obiettivo l'integrazione della produzione con le altre aree aziendali, come ricerca e sviluppo, marketing, vendite, etc. L'integrazione orizzontale invece consiste nell'espansione dell'attività di impresa a prodotti, servizi, tecnologie produttive, politiche di mercato, fasi di lavorazione e know-how che sono diversi ma complementari alla filiera tecnologica-produttiva in cui l'impresa opera; in questo modo l'azienda amplia la propria base clienti e riduce la concorrenza (Focus Industria 4.0, 2020). L'adozione dell'integrazione verticale e orizzontale all'interno delle aziende è

---

<sup>25</sup> L'Osservatorio Cybersecurity & Data Protection, intende rispondere al bisogno delle aziende di conoscere, comprendere e affrontare le nuove minacce alla sicurezza informatica supportando le aziende stesse nella scelta delle tutele più opportune, rendendole consapevoli dell'importanza del monitoraggio e del controllo delle attività e mostrando loro le tecniche e le tecnologie a supporto della cybersecurity adottabili.

<sup>26</sup>Bevilacqua E. “Non c'è trasformazione digitale senza sicurezza informatica” in “ZeroUno”, 2020.

volta all'abbattimento dei silos (sistemi isolati ed indipendenti) in particolare nell'area di produzione, dove vengono utilizzate macchine e sistemi di diversi fornitori che consentono diversi livelli di automazione e che utilizzano protocolli di comunicazione diversi; quindi è necessario stabilire una meta-rete che risolva queste disparità nelle comunicazioni (ad esempio RAMI 4.0 è un modello di riferimento, che serve a definire strutture di comunicazione e un linguaggio comune all'interno della fabbrica con vocabolario, semantica e sintassi propri (Pivoto, et al., 2021)). Da un punto di vista operativo, un'impresa integrata orizzontalmente basa la propria attività attorno alla propria core-competence e stabilisce partnership con altre aziende per costruire una catena del valore end-to-end. Un'azienda integrata verticalmente invece integra tutte le attività partendo dallo sviluppo e progettazione del prodotto sino alla vendita e distribuzione (Focus Industria 4.0, 2020).

#### 2.5.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE E POST-PANDEMIA

In questo paragrafo si è deciso di unire gli utilizzi durante e post-pandemia, in quanto l'adozione di tecnologie per l'integrazione verticale e orizzontale, portano un cambiamento strutturale all'interno di un'azienda che mostrerà sicuramente i suoi benefici nell'immediato anche in questa situazione di difficoltà, ma perdureranno nel lungo termine, ossia nel periodo post-pandemia. Affinché possa essere soddisfatto il paradigma Industry 4.0 da parte dell'integrazione verticale e orizzontale, è necessario rendere la produzione veloce e flessibile, caratteristiche che, come è già stato detto, si sono rivelate fondamentali in questo periodo di crisi (Focus Industria 4.0, 2020). Per soddisfare questi requisiti, l'integrazione orizzontale prevede reti connesse di Cyber Physical Systems<sup>27</sup> (CPS), che portano elevati livelli di automazione, flessibilità, agilità e capacità lavorativa nei processi di produzione lungo tutta la supply chain. Analizzando dettagliatamente l'integrazione orizzontale, si può dire che essa è articolata su più livelli: all'interno dell'impianto di produzione, attraverso i CPS le macchine e le unità di produzione sono sempre connesse, possono quindi comunicare costantemente il proprio stato e la loro performance, garantendo una risposta dinamica alle esigenze di mercato, un aspetto molto importante se si considera i vari cambiamenti relativi ai volumi di

---

<sup>27</sup> Il cyber physical system (CPS) è un insieme di differenti tecnologie abilitanti, le quali generano un sistema autonomo intercomunicante e intelligente e, pertanto, capace di facilitare l'integrazione tra soggetti diversi e fisicamente distanti.

produzione, che hanno dovuto affrontare in questo periodo molte aziende per rispondere alle richieste dettate dal COVID-19. Tra più impianti di produzione, nell'eventualità in cui un'azienda disponga di più stabilimenti, per un'efficace condivisione dei dati delle strutture di produzione anche in questo caso al fine di rispondere rapidamente ai cambiamenti di produzione, questa casistica prevede l'integrazione orizzontale tra i MES<sup>28</sup> degli impianti. Infine lungo tutta la supply chain, che consiste nella condivisione dei dati e alti livelli di collaborazione automatizzata tra la catena di approvvigionamento a monte (che alimenta il processo di produzione) e la catena di logistica a valle (che immette sul mercato i prodotti finiti) (Focus Industria 4.0, 2020) (Key4). Invece per quanto riguarda l'integrazione verticale, il paradigma Industry 4.0 viene soddisfatto attraverso l'integrazione delle tecnologie che permettono la comunicazione tra macchine e apparecchiature della fabbrica. Ad esempio, se le macchine che compongono una linea di produzione fossero completamente integrate, queste sarebbero in grado di rispondere attivamente ai segnali reali comunicati dalle altre macchine che si trovano a monte e a valle della linea di produzione. Vi sono una serie di vantaggi relativi all'adozione di sistemi di integrazione verticale in un ambiente produttivo: disponibilità di tutti i dati riguardanti la produzione; gestione efficace dei dati in tempo reale; automazione di tutte le fasi produttive; misurazione continua di tutti i parametri del processo produttivo (Focus Industria 4.0, 2020). Tutti questi benefici garantiscono notevoli aumenti delle prestazioni a livello di impianto e una risposta più efficace ai cambiamenti continui nel mercato. Inoltre, l'integrazione verticale è importante per rispondere alle difficoltà legate alle supply chain. Come già precedentemente espresso nel paragrafo riguardante i big data, il COVID-19 ha colpito il commercio globale e le catene di approvvigionamento a una velocità e una portata senza precedenti. Le imprese hanno prima affrontato uno shock dell'offerta, poi uno shock della domanda a causa delle misure di contenimento. La pandemia ha messo in evidenza le vulnerabilità delle catene di approvvigionamento globali costruite su principi di produzione snella e sulla dipendenza dalla Cina. L'interruzione del trasporto aereo e il ritardo nella produzione hanno avuto un forte impatto su gran parte sulle aziende che non dispongono di flessibilità nella loro base di fornitori, ma richiedono una consegna rapida dalla Cina (Belhadi, et al., 2021). Durante il lockdown, queste aziende hanno dovuto competere per ottenere fornitori alternativi, e alcune sono state persino costrette a ridurre o interrompere la produzione. È quindi emersa

---

<sup>28</sup> Il Manufacturing Execution System (MES) è un sistema che acquisisce e distribuisce informazioni che consentono l'ottimizzazione delle attività produttive dal lancio dell'ordine al prodotto finito.

la necessità di una strategia "de-risking", basata sulla diversificazione geografica e sull'integrazione verticale, questa strategia è diventata una delle principali lezioni della crisi pandemica. Infatti, la scelta di integrarsi ulteriormente lungo tutta la catena del valore, garantisce un maggiore controllo sui prezzi, sulla qualità e sulle forniture delle materie prime (Verisk).

## **2.6. ROBOTICA**

### **2.6.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE**

La robotica è la disciplina dell'ingegneria che studia e sviluppa metodi che permettano a un robot di eseguire dei compiti specifici riproducendo in modo automatico il lavoro umano (Costacurta, 2020). Murphy Robin, nel libro *"Introduction to AI Robotics"*, definisce i robot come delle "creature meccaniche che possono funzionare autonomamente"<sup>29</sup>. In particolare, un robot industriale è un dispositivo meccanico programmabile, utilizzato al posto di una persona per eseguire compiti pericolosi o ripetitivi, con un alto grado di precisione. I robot industriali sono progettati specificamente per diverse applicazioni come saldatura, verniciatura, assemblaggio, imballaggio ed etichettatura, pallettizzazione, ispezione dei prodotti e test nelle industrie manifatturiere. Questi robot stanno diventando sempre più flessibili, collaborativi ma soprattutto autonomi, potendo imparare nuove mansioni semplicemente imitando le azioni umane (Tommasi, 2019).

### **2.6.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA**

In un articolo di Science Robotics, Guang-Zhong Yang a capo dell'Institute of Medical Robotics della Shanghai Jiao Tong University (Yang, 2020), riporta che durante l'epidemia di Ebola del 2015, i workshop organizzati dall'Office of Science and Technology Policy della Casa Bianca e dalla National Science Foundation hanno identificato tre grandi aree in cui la robotica può fare la differenza in questi contesti di crisi: assistenza clinica (ad esempio telemedicina e decontaminazione), logistica (ad esempio consegna e gestione dei rifiuti contaminati) e ricognizione (ad esempio

---

<sup>29</sup> R. Murphy *"Introduction to AI Robotics"*. "the MIT press", 2000.

monitoraggio del rispetto delle quarantene). L'epidemia di COVID-19 ha introdotto una quarta area: continuità del lavoro e mantenimento delle funzioni socioeconomiche. I robot possono essere utilizzati in diversi modi per raggiungere gli obiettivi determinati appunto in questa quarta area; ad esempio possono disinfettare ambienti, in particolare quelli di lavoro, attraverso raggi ultravioletti (UV), così da garantire la sicurezza del luogo di lavoro per gli addetti, che non corrono il rischio di infettarsi. In questo modo il robot si sostituisce alla disinfezione manuale, che richiede la mobilitazione della forza lavoro e aumenta il rischio di esposizione per il personale addetto alle pulizie. È il caso di un produttore tedesco a livello mondiale di robot industriali, che durante la pandemia ha adattato i propri AGV<sup>30</sup> alla funzione di sanificazione degli ambienti (Bruno, 2020). Un ulteriore mezzo per garantire la sicurezza dei lavoratori è quello di ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori a superfici potenzialmente contaminate dal virus, ciò significa diminuire il più possibile la manipolazione manuale delle parti e degli organi della macchina, limitando così la diffusione del COVID-19 al tatto (Wang & Wang, 2021). Pronti a dare una mano in questo sforzo sono i sistemi di movimentazione robotizzati. Queste tecnologie avanzate utilizzano navette robotizzate per consegnare autonomamente merci ai bracci robotici per la raccolta. Un esempio è offerto da un'azienda che integra i bracci robotici con varie tecnologie automatizzate di archiviazione e recupero, tra cui i sistemi AutoStore e Perfect Pick (Anandan, 2020). Una tipologia di robot che è sempre più adottata in azienda è il robot mobile autonomo (AMR), il quale aiuta a garantire il distanziamento sociale consegnando parti alle linee di assemblaggio, trasportando work-in-process (WIP) e gestendo la movimentazione dei materiali nei magazzini, il tutto in maniera autonoma (Anandan, 2020). Rispetto agli AGV, questa nuova tecnologia consente un'implementazione più rapida ed efficiente della funzione da svolgere, è "più intelligente" e, pertanto, collabora meglio con l'ambiente di sistema e offre all'utente la possibilità di assegnare compiti in modo tempestivo (Key4). A tal proposito è stato analizzato un documento che descrive lo sviluppo di Phollower, un robot mobile autonomo destinato a svolgere varie attività logistiche sia in ambienti industriali che civili (Bacik, 2020). Phollower è dotato dei più recenti tipi di componenti e sensori industriali. Utilizza anche software avanzati di navigazione e localizzazione per creare le proprie mappe virtuali e quindi navigare autonomamente all'interno dell'area mappata. L'intero processo di sviluppo è concentrato sulla costruzione di un dispositivo che soddisfi gli

---

<sup>30</sup>Automated Guided Vehicle (AGV), veicoli a guida autonoma utilizzati negli impianti industriali per la movimentazione di materiale.

standard di sicurezza europei. Uno degli aspetti principali di questo robot risiede nel fatto che è una piattaforma mobile universale che può essere rapidamente ampliata con componenti aggiuntivi specializzati. Ad esempio un componente aggiuntivo germicida per la disinfezione delle aree interne utilizzando raggi ultravioletti, che aiuta a rendere l'ambiente di lavoro più sicuro. Alla luce di quanto detto, la versatilità e la flessibilità di Phollower potrebbero essere un grande vantaggio per molte aziende. Una funzione in cui la robotica si sta sviluppando sempre di più riguarda la pallettizzazione: infatti in questo periodo dove molti negozi sono chiusi e le persone sono costrette a rimanere a casa, si è assistiti a un'accelerazione nel passaggio dalla vendita al dettaglio Brick and Mortar (ossia in sede fisica) all'e-commerce. Produttori e centri di distribuzione si stanno adattando per soddisfare la domanda e allo stesso tempo attenuare la congestione di lavoratori all'interno dei magazzini e nelle aree di carico-scarico. Proprio per questo motivo si sta sviluppando un sempre più forte interesse per la pallettizzazione robotica, in questo modo si può rendere più efficiente il processo di pallettizzazione e allo stesso tempo si possono ridurre i contatti tra il personale. In molti casi le aziende hanno preferito noleggiare questi sistemi di pallettizzazione da altre imprese che offrirono questo servizio; il direttore operativo di una di queste imprese afferma che le aziende stanno affittando i loro sistemi di pallettizzazione come sostituti della manodopera, perché hanno perso addetti durante la pandemia o stanno cercando di diminuire la densità di operai nei loro impianti (Anandan, 2020).

### 2.6.3. ROBOTICA COLLABORATIVA

#### 2.6.3.1 DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE

La tecnologia che si può definire rappresentativa della robotica nel contesto di Industry 4.0 è la robotica collaborativa. I cobot (collaborative robot) sono robot pensati per collaborare insieme all'uomo in sicurezza senza barriere o gabbie protettive a dividerli. I robot collaborativi, infatti, sono piccoli e agili, non sono ingombranti e non hanno bisogno di grandi spazi. Inoltre, sono usati per svolgere tutti i compiti più pericolosi, noiosi e pesanti senza fatica e con accuratezza, migliorando quindi le condizioni di lavoro degli addetti; questo è infatti uno dei principali vantaggi, assieme alla semplificazione del layout produttivo dovuta all'assenza di barriere, che la tecnologia cobot può offrire (Tenega, 2019).

### 2.6.3.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

In diversi settori si stima che entro il 2025 i processi produttivi saranno integrati quasi completamente con la robotica collaborativa. Infatti, per Ajoudani, capo del laboratorio Human-Robot Interfaces and physical Interaction (HRI2) dell'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) di Genova, questo è un buon momento per spingere sulla robotica collaborativa, di cui si occupa nel suo laboratorio: “Nel settore dell'industria, l'implemento nella produzione di robot collaborativi avrebbe permesso nell'emergenza coronavirus di mantenere aperte buona parte delle industrie, garantendo la sicurezza dei lavoratori e limitando l'impatto negativo sull'economia”<sup>31</sup>. In questo periodo, infatti, la robotica collaborativa rappresenta elemento chiave per rispettare il distanziamento sociale. Un robot che lavora in sinergia con un operaio potrebbe facilitare il mantenimento di almeno un metro o due di distanza tra i soggetti umani, limitando al minimo il rischio di contagio tra i lavoratori e riducendo l'impatto negativo sulla produzione e quindi sull'economia. Un esempio virtuoso è dato da una compagnia che si occupa di fabbricare metalli a Dallas, la quale aveva già un piccolo team di cobot in officina che svolgevano una serie di compiti, tra cui la levigatura, la sbavatura e l'EDM a filo. Durante la pandemia, questa compagnia ha aggiunto altri due cobot per mantenere i loro strumenti alla massima capacità e garantire il distanziamento sociale tra gli operatori che svolgono lavori manuali all'interno dell'impianto. Ora hanno otto cobot che lavorano 24 ore su 24, 7 giorni su 7 su tre turni (Anandan, 2020). Questo è quanto afferma il proprietario e CEO della compagnia: "I cobot ci permettono di tenere i dipendenti socialmente distanti in un modo in cui si sentono a proprio agio, ora abbiamo più robot che lavorano e un equipaggio minimo che si occupa di azioni non robotizzate. Questo cambiamento nelle operazioni è stato tutto guidato dal COVID-19 e con l'aiuto dei cobot, sta funzionando molto bene per noi”<sup>32</sup>. Un altro esempio riguarda il progetto di un ambiente di produzione per soddisfare l'elevata domanda di ventilatori polmonari; esso è costituito da un team collaborativo uomo-cobot per integrare la forza di entrambe le parti (Wang & Wang, 2021). Come mostrato nella figura seguente, il distanziamento sociale è considerato nell'approccio proposto, in cui l'uomo interagisce solo con il robot e viene mantenuta la distanza di almeno due metri tra gli operatori.

---

<sup>31</sup> V. Nicosia “Covid-19, il ruolo della robotica durante una pandemia” in “Oggi Scienza”, 05 Maggio 2020.

<sup>32</sup> T. M. Anandan “Reducing COVID Risks with Robots” in “Association for Advancing Automation”, 18 Agosto 2020.

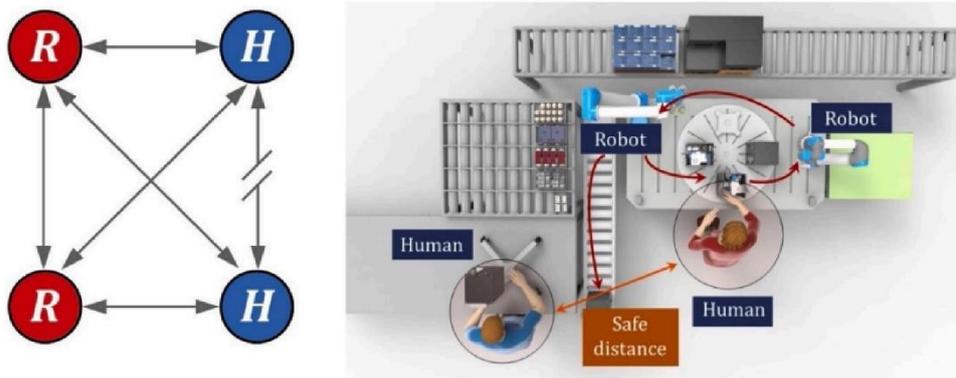


Figura 6: Schema del sistema di assemblaggio uomo-cobot che produce ventilatori medici. Fonte: *Journal of Manufacturing System*.

L'utilizzo dei cobot in questo ambiente di produzione consente di ottenere i seguenti vantaggi: riduzione delle ore di lavoro dirette necessarie per produrre i ventilatori, riduzione del tempo totale per realizzare il volume di produzione richiesto, maggiore sicurezza attraverso il distanziamento sociale, salvaguardia dell'investimento in quanto i cobot possono essere facilmente riutilizzati per un'altra applicazione una volta terminata la pandemia. Tuttavia in questo progetto ci sono delle limitazioni per quanto riguarda la flessibilità dei cobot nello svolgere i compiti più difficili della fase di assemblaggio, ad essi infatti vengono assegnati le operazioni più facili come il pick and place, mentre all'operatore umano rimangono i compiti più complessi che il robot collaborativo non è in grado di svolgere, ciò implica un maggiore contatto con le parti lavorate e quindi vi è un possibile rischio di diffusione del COVID-19 e inoltre vi è una limitazione per quanto riguarda il possibile aumento della capacità produttiva. Per superare questi limiti si prevede l'utilizzo di tecnologie come il digital twin di cui discuteremo in seguito. I risultati di questo progetto dimostrano quindi che i cobot con la combinazione di altre tecnologie moderne, possono essere utili per la riconfigurazione della produzione e l'aumento di essa in situazioni di emergenza (Wang & Wang, 2021) (Malik, Masood, Kousar, & R., 2020).

#### 2.6.4. UTILIZZI POST-PANDEMIA

Il principale limite dei cobot in questo momento è che offrono una soluzione sicuramente più sicura, ma non più intelligente, rispetto a quella che potrebbe offrire un qualsiasi robot industriale. La tecnologia non è abbastanza "intelligente" da rispondere all'esigenze dell'uomo e in caso di problemi sulla linea di produzione, il robot non sarebbe in grado

di fare valutazioni e capire come risolvere il problema (Nicosia, 2020). Tuttavia il COVID-19 ha alimentato l'interesse per diversi progetti di studio in questo campo, ciò è evidente dall'immagine che illustra la crescita esponenziale di progetti di robotica durante la pandemia (Wang & Wang, 2021).

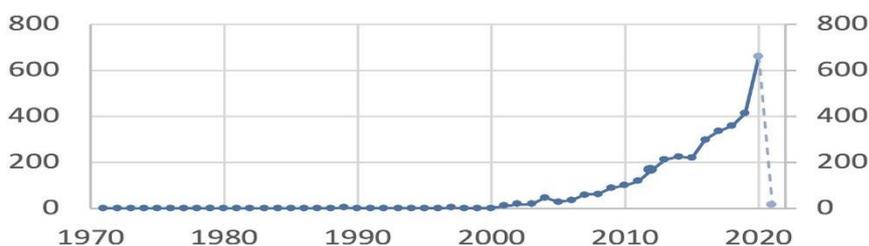


Figura 7: Pubblicazioni sui robot negli anni. Fonte: *Journal of Manufacturing System*.

Un esempio ne è il progetto SOPHIA, che è realizzato dall'IIT insieme ad altri 12 partner tra cui università, industrie private e anche l'Inail (Nicosia, 2020). L'obiettivo è creare un robot collaborativo intelligente nel campo dell'industria logistica che limiti il rischio di danni biomeccanici ai lavoratori, come quelli provocati ad esempio dal sollevamento di pesi. Un tipo di applicazione robotica che potrebbe essere utile non solo durante l'emergenza COVID-19, ma sempre quando si svolgono mansioni pesanti. In generale, ci si aspetta che i cobot siano progressivamente più autonomi, flessibili e cooperativi nel mondo post-pandemia.

#### 2.6.5. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

Per quanto riguarda le future tendenze della ricerca, altre tecnologie abilitanti sono suggerite per migliorare la ricerca robotica nell'era intra e post-pandemia: l'intelligenza artificiale (IA), essa combinata con le applicazioni robotiche fungerà da supporto essenziale per diverse aree come l'analisi dei dati, l'elaborazione delle immagini e il processo decisionale (Wang & Wang, 2021). L'IoT, è essenziale attraverso i suoi sensori connessi ad internet per rilevare le condizioni del compito e innescare di conseguenza il processo del robot. Big data e cloud, in quanto dopo aver raccolto i dati di robot e sensori, è importante elaborarli istantaneamente (Focus Industria 4.0 , 2019) (Wang & Wang, 2021). Il rapporto *"Covid-19 Impact on Industrial Robotics - Global Market Outlook (2019-2027)"* (Research and Markets, 2020), afferma che Il mercato globale della robotica industriale ha raggiunto i 39,64 miliardi di dollari nel 2019 e dovrebbe

raggiungere i 101,72 miliardi di dollari entro il 2027 crescendo a un CAGR<sup>33</sup> del 12,5% durante il periodo di previsione. L'Italia in ambito robotico risulta ben preparata, infatti si conferma al secondo posto in Europa come utilizzatore, dietro alla Germania, con 74.400 unità. Ed è al sesto posto a livello globale, dietro a giganti inarrivabili come Giappone e Stati Uniti (Industria Italiana, 2021). Una menzione speciale deve essere fatta per la robotica collaborativa, in quanto un'analisi di una società di consulenza rileva che le vendite di bracci robotici collaborativi raggiungeranno i 24 miliardi di dollari entro il 2030, con un significativo aumento rispetto ad 1 miliardo di dollari del 2019, generando quindi una crescita media annua del 28,6% (Industria Italiana, 2021).

## **2.7. REALTÀ AUMENTATA**

### **2.7.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE**

La realtà aumentata (AR) è una tecnologia che permette di sovrapporre informazioni digitali al mondo reale come supporto alla comprensione e al processo decisionale (ptc). Essa comprende tutti i dispositivi in grado di aggiungere informazioni multimediali alla realtà percepita naturalmente dall'uomo agendo sulle percezioni visive, uditive e tattili. È opportuno fare una distinzione con la realtà virtuale (VR). Entrambe sono tecnologie digitali, ma mentre la realtà virtuale isola completamente l'utente che si ritrova in una realtà parallela, la realtà aumentata consente all'utilizzatore di vedere contemporaneamente parti digitali e parti fisiche. Le principali differenze tra queste due tecnologie si concretizzano nei dispositivi utilizzati e, di conseguenza, nel tipo di funzionalità messe a disposizione (Industry4Business, 2020) (Focus Industria 4.0, 2019). All'interno dell'ambiente industriale la realtà aumentata offre metodologie migliori per creare e distribuire istruzioni di lavoro, sovrapponendo contenuti digitali agli ambienti di lavorazione reali; le aziende che hanno adottato la tecnologia AR, infatti, hanno riscontrato un miglioramento delle prestazioni operative e una riduzione dei costi nello stabilimento.

---

<sup>33</sup> Tasso composto di crescita annuale.

## 2.7.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

La tecnologia AR sta riscontrando un sempre più ampio utilizzo in ambiti applicativi come l'assistenza alla manutenzione, il supporto operativo al personale presente in sede, il supporto nelle operazioni di picking<sup>34</sup>, etc. Per quanto riguarda l'assistenza alla manutenzione, attraverso la realtà aumentata è possibile visualizzare un macchinario industriale dettagliandolo di spiegazioni e di manuali di istruzioni grazie al supporto di contenuti che in tempo reale, compaiono sullo schermo mostrando sia l'esterno sia l'interno di ogni componente, il tutto coadiuvato da video che spiegano il funzionamento di ingranaggi e sistemi e la dinamica dei processi. In questo modo si possono ridurre i tempi di fermo non pianificati dei macchinari che possono essere causati da diversi fattori, come i guasti all'hardware o anche l'assenza di una corretta diagnostica dei guasti (Digital4Executive, 2020). Inoltre, sfruttando l'integrazione con l'intelligenza artificiale (IA), l'utente ha a disposizione tutti gli strumenti necessari per "catturare" automaticamente l'esperienza che sta vivendo, la quale viene poi elaborata da potenti algoritmi e distribuita all'interno dell'organizzazione. L'integrazione tra IA e AR contribuisce a creare una base di conoscenza condivisibile e riutilizzabile, il tutto in maniera completamente automatica. Ciò fa in modo che, a ogni intervento tecnico, la tecnologia "suggerisca" all'utilizzatore, in maniera autonoma e proattiva, le possibili soluzioni derivanti dall'apprendimento di precedenti attività (Battistutti, 2021). La possibilità di diminuire i tempi di fermo di un macchinario è un aspetto molto importante, se si pensa che molti impianti hanno dovuto aumentare notevolmente i loro volumi di produzione per rispondere ad esigenze speciali legate a questo periodo di pandemia, risulta quindi intollerabile un lungo fermo non programmato di un macchinario. In molti casi l'assistenza alla manutenzione attraverso l'AR si può tradurre in vera e propria assistenza da remoto, la quale ha un impatto maggiore rispetto alla semplice teleconferenza, perché gli operatori che lavorano a distanza possono facilmente sovrapporre annotazioni digitali alla vista condivisa dell'ambiente (Kaminsky, 2020). Un esempio riguarda l'applicazione che è stata sviluppata impiegando l'ambiente Unity 3D 4.3.4, integrato con lo strumento Qualcomm Vuforia 2.8.9, il quale è stato utilizzato per tracciare la scena e consentire di sovrapporre le informazioni digitali all'ambiente reale (Scurati, et al., 2018). L'applicazione funziona su diversi dispositivi e sistemi operativi e la sua architettura è di tipo client-server. Essa consente all'utente di decidere se essere

---

<sup>34</sup> Il picking è il prelievo selettivo di unità di carico di livello inferiore da unità di carico di livello superiore per allestire ordini.

server o client, il che significa scegliere di avviare la sessione come operatore qualificato o non qualificato. L'operatore qualificato può dare istruzioni attraverso un personal computer, dotato dei tradizionali dispositivi di ingresso e uscita (tastiera, mouse e monitor), oppure può utilizzare un tablet o un dispositivo mobile dotato del sistema operativo Android o iOS. L'operatore non qualificato può utilizzare un tablet (che è dotato anch'esso del sistema operativo Android o iOS) attraverso il quale può vedere una serie di informazioni e comandi proiettati direttamente sugli oggetti di cui sta facendo manutenzione. L'operatore qualificato utilizza schizzi e simboli per insegnare rispettivamente dove agire e cosa fare, inoltre, può aggiungere un sms per inviare ulteriori informazioni al cliente. Lo schizzo, i simboli e il testo verranno visualizzati in modalità realtà aumentata dall'operatore non qualificato. Quest'applicazione, quindi, consente di utilizzare in tempo reale le competenze di esperti che possono trovarsi ovunque, anche in quarantena, per supportare il personale presente in sede. Un altro strumento che opera in modo simile è il sistema di realtà aumentata Vuforia Chalk (Kaminsky, 2020), in questo caso la società produttrice ha deciso di dare un concreto supporto alla comunità produttiva di tutto il mondo, offrendo gratuitamente il suo prodotto a tutte le imprese che necessitano di un valido aiuto per superare le sfide che la chiusura degli uffici e delle fabbriche impone loro di affrontare. Un altro ambito applicativo della realtà aumentata è quello relativo all'assemblaggio e la produzione, tecnologie come gli smart glasses, possono garantire un efficace supporto nello svolgimento delle attività, in particolare di quelle più complesse, suggerendo passo dopo passo le azioni giuste da intraprendere, migliorando in questo modo i processi (Industry4Business, 2020). Ciò genererà un aumento della produttività e una riduzione delle inefficienze; aspetti importanti per garantire la resilienza delle aziende, anche quelle più in difficoltà a causa della crisi. Nel caso in cui i processi di produzione debbano essere trasferiti da un impianto ad un altro in risposta a un imprevisto come la carenza di personale a causa della pandemia; la realtà aumentata è una valida soluzione che può essere utilizzata per la formazione dei lavoratori che necessitano di aggiornare le loro competenze. Soluzioni di questo tipo consentono al personale esperto di realizzare video avvalendosi del supporto di dispositivi AR, grazie ai quali possono interagire e spiegare nel dettaglio le procedure operative. Una volta registrati, i video possono essere modificati, arricchiti di ulteriori informazioni e quindi condivisi con tutti i lavoratori che necessitano di formazione (Delnevo, 2020). L'AR è anche utilizzata nel picking, attraverso questa tecnologia è possibile ottimizzare tale attività, riducendo gli errori e aumentando la velocità degli operatori nell'eseguire le

operazioni, tutto ciò grazie ad un'interazione guidata dai dati con l'ambiente reale. Un aspetto molto importante dal momento che il picking rappresenta uno dei costi maggiori dell'attività di magazzinaggio (Industry4Business, 2020).

### 2.7.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA

Le soluzioni precedentemente discusse troveranno ampio spazio anche in quella che sarà la “nuova normalità” dopo il COVID-19. Difatti il processo di digitalizzazione aziendale che si è accelerato con il virus, non si arresterà sicuramente al termine della pandemia, ma continuerà sugli stessi binari. Ad esempio, il processo di formazione dei dipendenti è stato fortemente impattato dall'AR. Le moderne catene di montaggio hanno a che fare con produzioni sempre più complesse e diversificate, che richiedono un accurato assemblaggio di centinaia o addirittura migliaia di componenti nell'ordine corretto e il più rapidamente possibile. Le applicazioni di realtà aumentata sono in grado di proiettare visivamente le informazioni corrette per assemblare al meglio il prodotto, riducendo al minimo gli errori, dunque sono destinate a trovare sempre più spazio anche nel post-pandemia (Industry4Business, 2020). Un altro aspetto riguarda l'ambito retail, ad esempio JoinPad ha lanciato l'applicazione Augmented Layout in esclusiva per i tablet Samsung Tab Active Pro mostrando la versione virtuale di macchinari industriali, con l'intento di trasformare e sostenere i processi di vendita. Quest'applicazione, pensata come strumento di presentazione interattiva dei prodotti, conseguentemente alle limitazioni sugli spostamenti, si rivela oggi la soluzione più efficace per affrontare il mercato nel periodo post COVID-19 (Joinpad, 2020).

### 2.7.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

Ad oggi, il mondo intero sta rivalutando il proprio atteggiamento nei confronti della realtà aumentata, che ha consentito a buona parte delle aziende di continuare le proprie operazioni, mentre ad altre addirittura di crescere e lanciare nuovi servizi online. Infatti secondo le previsioni di una società mondiale specializzata in ricerche di mercato, la spesa mondiale in AR e VR entro il 2023 dovrebbe raggiungere circa 161 miliardi di dollari (121 per l'industria, 40 per i consumatori) con un tasso di crescita annuo del 78,3% (Generali, 2021). Anche se la realtà aumentata rappresenta il futuro della tecnologia, oggi ha ancora dei limiti importanti che ne ostacolano la veloce e immediata

diffusione. L'ostacolo principale al momento è quello relativo alla User Experience. In un'indagine, infatti, circa il 27% degli intervistati ha evidenziato che proprio questa componente è il problema principale (Carrà, 2020).

## 2.8. ADDITIVE MANUFACTURING

### 2.8.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE

L'additive manufacturing (AM) è una tecnica di produzione utilizzata per fabbricare oggetti partendo da modelli 3D computerizzati, generando e aggiungendo uno strato sopra l'altro del prodotto da realizzare, essa si oppone alle metodologie tradizionali di produzione sottrattiva, che partono da un blocco di materiale dal quale vengono rimossi meccanicamente trucioli (Bacchetti & Zanardi, 2018). A offrire una definizione "universale" di cos'è la produzione additiva è la norma di recente pubblicazione "*Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologies*" (ISO/ASTM52921-1), che la descrive come "quei processi che aggregano materiali al fine di creare oggetti partendo dai loro modelli matematici tridimensionali, solitamente per sovrapposizione di layer e procedendo in maniera opposta a quanto avviene nei processi sottrattivi (o ad asportazione di truciolo)"<sup>35</sup> (ESA, 2020). Il processo di manifattura additiva ha come input il modello 3D dell'oggetto, realizzato tramite progettazione CAD; viene poi realizzato un file in cui le matematiche delle superfici del modello sono approssimate da geometrie semplici, il file è successivamente convertito in un formato STL<sup>36</sup>, che prevede la scomposizione dell'oggetto in strati (layer) stampabili dalle stampanti 3D. Prima di procedere con la realizzazione dell'oggetto vengono generati i supporti ove necessario (Bacchetti & Zanardi, 2018). Una volta completato questo passaggio si può iniziare il processo di realizzazione fisica della parte, mediante fornitura della part-program alla macchina. Questa fase è fortemente dipendente dalla tipologia di materiale, dallo stato in cui si trova inizialmente e dalla modalità di solidificazione e/o unione delle particelle, pertanto si possono avere: resine allo stato liquido che polimerizzano per effetto dei raggi UV, resine

---

<sup>35</sup> "*Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologies*" (ISO/ASTM52921-1).

<sup>36</sup> STL (STereo Lithography interface format o acronimo di "Standard Triangulation Language") è un formato di file, binario o ASCII, nato per i software di stereolitografia CAD.

termoplastiche allo stato solido che, se riscaldate, possono essere liquefatte e sufficientemente depositate; polveri metalliche, anche rivestite di materiale termoplastico, che possono essere unite mediante laser o collante, etc. Per questo il processo può essere svolto attraverso diversi metodi di fabbricazione, i più comuni sono: stereolitografia (SL), essa tramite la fotopolimerizzazione di una resina liquida costituita da monomeri, forma polimeri. Il polimero, per effetto della polimerizzazione, è caratterizzato da legami tali da comportarne lo stato solido. Modellazione con deposizione di filamento fuso (FDM), consiste nella deposizione di materiale allo stato pastoso; nel processo il materiale è distribuito inizialmente sotto forma di filo e può essere un polimero termoplastico o cera. Il materiale viene fatto passare attraverso una testa di estrusione preriscaldata, e successivamente viene depositato su una superficie seguendo una traiettoria determinata dalla geometria dello strato che si intende realizzare. Sinterizzazione selettiva (SLS), essa rappresenta una tecnica con la quale realizzare un oggetto, strato per strato, partendo da una vasca di polvere, che può anche essere metallica, purché sia composta di particelle solide finissime. Ogni strato dell'oggetto è ottenuto dalla solidificazione della parete superficiale di particelle solide, portata temporaneamente allo stato liquido per effetto dell'azione di un laser, in modo da generare la successiva coesione. Laminated object manufacturing (LOM), per questa tecnica è necessario sovrapporre una serie di fogli di carta, plastica o metalli, successivamente un laser descrivendo delle traiettorie determina strato per strato la geometria della sezione. Le sezioni sovrapposte determinano l'oggetto da realizzare. Stampa a getto d'inchiostro, la tecnica è molto semplice e prevede che sul letto della stampante venga posto un getto di gesso o resina su cui viene gettato inchiostro e legante che solidificando strato dopo strato realizza il prodotto (Bacchetti & Zanardi, 2018). Una volta terminato il processo di realizzazione fisica dell'oggetto, è necessario un post-trattamento per completare la fase di solidificazione o unione delle particelle, effettuare operazioni di finitura superficiale, etc.

### 2.8.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

L'adozione delle tecnologie di additive manufacturing all'interno delle aziende porta con sé una serie di vantaggi, che si sono rivelati determinanti in questo momento di crisi legato al COVID-19. L'additive manufacturing garantisce un aumento della flessibilità dei processi manifatturieri; il coronavirus infatti ha spostato l'attenzione su alcuni prodotti

che hanno visto aumentare esponenzialmente la loro richiesta, in molti casi per sopperire alla carenza di questi prodotti alcune imprese hanno dovuto convertire la loro produzione, ciò è stato possibile per coloro che avevano adottato tecnologie come la stampa 3D, che permettono alle aziende di riadattare la produzione per rispondere alla domanda di nuovi prodotti e alle esigenze del mercato (Parry & Banks, 2020). Questa tecnologia può anche aiutare a superare le sfide attuali riguardanti le catene di approvvigionamento, in quanto l'additive manufacturing, attraverso la produzione localizzata, riduce la dipendenza unilaterale dalle supply chain globali, che, come già detto nei paragrafi precedenti, in questo periodo hanno subito molti rallentamenti (Belhadi, et al., 2021). Infatti, operando localmente, i produttori possono migliorare la loro reattività e soddisfare più agevolmente la domanda (Parry & Banks, 2020) (Tareq, Rahman, Hossain, & Dorrington, 2021) (Arora, Arora, Haleem, & Kumar, 2021). Qui di seguito è riportato lo schema della procedura di utilizzo della produzione additiva per la realizzazione di attrezzature mediche molto richieste durante la pandemia, come i dispositivi di protezione individuale. Per questi articoli si è visto un aumento esponenziale della domanda e l'additive manufacturing ha giocato un ruolo importante per garantirne la disponibilità.

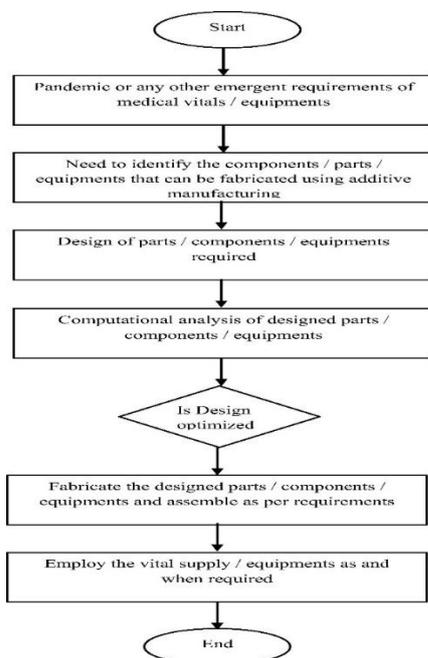


Figura 8: Schema della procedura di utilizzo della produzione additiva in risposta al COVID-19. Fonte: *Materials Today Proceedings*.

Tuttavia sono state sollevate preoccupazioni in merito alla reputazione e alla regolamentazione di questi prodotti, unico grande limite della produzione additiva. Infatti, quando si parla di attrezzature mediche è necessario prestare particolare attenzione

nella selezione dei materiali: biocompatibilità, non tossicità e procedure di disinfezione sono alcuni criteri importanti che vengono presi in considerazione durante la selezione (Tareq, Rahman, Hossain, & Dorrington, 2021). L'additive manufacturing è in grado di garantire anche la riduzione del time-to-market, ossia il periodo di tempo che intercorre tra la fase di ideazione di un prodotto, e quella di commercializzazione (Parry & Banks, 2020) (Arora, Arora, Haleem, & Kumar, 2021). Basti pensare che i nuovi software ed i nuovi sistemi di stampa 3D consentono di progettare e realizzare modelli fisici nel giro di poche ore. Ciò si è rivelato molto importante in questo periodo in cui le imprese hanno lavorato per rilasciare rapidamente dispositivi medici certificati. Un esempio è dato da un'azienda che ha sviluppato tamponi approvati dalla FDA<sup>37</sup> degli Stati Uniti utilizzando la tecnologia Carbon AM, il vantaggio principale risiede nel fatto che questi tamponi possono essere prodotti da chiunque sia in possesso di una stampante 3D, superando così alla mancanza di questo prodotto (Parry & Banks, 2020).

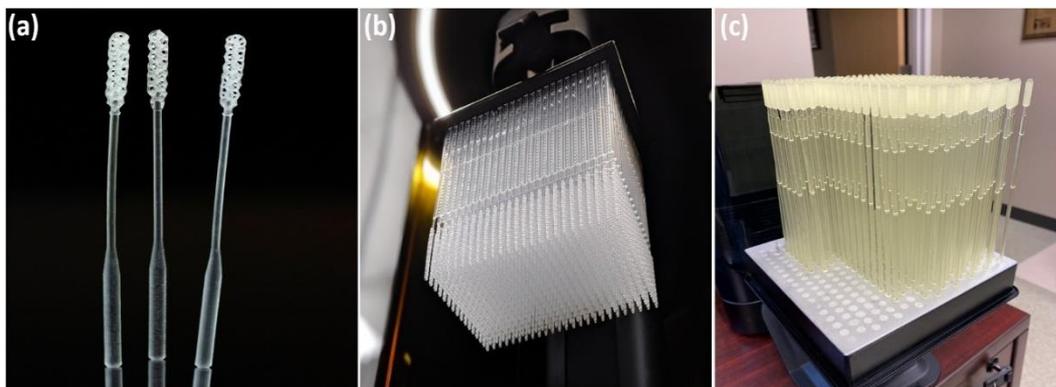


Figura 9: Tampone nasofaringeo prodotto in modo additivo. Fonte: *Journal of Manufacturing System*.

L'additive manufacturing garantisce anche una riduzione dei costi di produzione. Uno studio realizzato da Deloitte conferma che tale tecnologia potrebbe offrire un risparmio dei costi tra il 40% e il 60%, un beneficio che ha la sua importanza sempre, ma che in questo momento diventa un aspetto fondamentale per la resilienza delle aziende (Deloitte). Grazie ai sistemi di stampa 3D è infatti possibile realizzare produzioni personalizzate o piccole produzioni in serie in maniera diretta, senza passare attraverso la realizzazione di stampi. Ciò comporta una filiera di produzione molto corta e l'opportunità di produrre solamente il necessario. In questo modo si evita anche lo stoccaggio di materiale destinato ad obsolescenza prodotto al solo fine di abbassare i costi

---

<sup>37</sup> La Food and Drug Administration (FDA) è l'ente governativo statunitense che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici.

degli impianti, si riducono gli scarti e gli sfridi fino a quasi azzerarli, si hanno anche minori costi per l'acquisto di materie prime e per lo smaltimento o la trasformazione degli scarti di processo. Tutto ciò permette di realizzare una produzione a basso costo che supporta le aziende in questi momenti di difficoltà (Arora, Arora, Haleem, & Kumar, 2021) (Deloitte).

### 2.8.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA

A conferma di quanto detto sull'additive manufacturing, Markus Glasse, il Senior Vice President EMEA di EOS<sup>38</sup>, afferma: “La stampa 3D industriale e la produzione decentrata possono trasformare il modo in cui progettiamo, creiamo, distribuiamo e ripariamo i prodotti su larga scala. Si tratta di una soluzione sia a breve che a lungo termine che non solo fornisce un accesso immediato alle forniture critiche, on demand, ma offre anche un'enorme flessibilità e una consegna più rapida delle merci, perché rese più vicine all'utente finale. Quasi tutti i settori industriali possono beneficiare dell'innovazione che ne deriva, contribuendo a creare una catena di fornitura più efficiente e sostenibile”<sup>39</sup>, è evidente quindi l'utilità dell'additive manufacturing anche in quella che sarà la “nuova normalità”. Infatti il percorso iniziato verso una produzione decentrata, a causa delle esigenze dettate dal coronavirus, non si arresterà certamente al termine della pandemia ma è destinato a sconvolgere radicalmente le tradizionali supply chain, che hanno dimostrato di non essere adatte per rispondere a questo tipo situazioni. Oltre a ciò, anche l'aumento della flessibilità e la riduzione dei costi di produzione garantiti dall'additive manufacturing saranno aspetti che porteranno ad utilizzare questa tecnologia anche nel post-pandemia.

### 2.8.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

Un aspetto curioso del mercato dell'additive manufacturing è che non ci sono molte società di analisi che producono stime precise delle dimensioni di questo mercato. E non ci si riferisce solo all'Italia, dove effettivamente la diffusione di questa tecnologia è recente e sta avvenendo a macchia di leopardo, oltretutto con la partecipazione di molte

---

<sup>38</sup> È un fornitore di tecnologie per la stampa industriale di metalli e plastiche.

<sup>39</sup> M. Crisantemi, “Una produzione più sostenibile, flessibile e personalizzata: ecco come l'additive manufacturing può rendere più resilienti le supply chain” in “Innovation Post”, 21 Gennaio 2021.

PMI, rendendo complicato individuare e contabilizzare tutti i player; si sa poco anche delle dimensioni del mercato europeo e mondiale. Secondo uno studio di SmarTech Publishing<sup>40</sup>, una delle poche società a fare ricerche di mercato su questo settore, la stampa 3D ha generato una spesa di quasi 14 miliardi di dollari nel 2020 a livello mondiale, si prevede un trend di crescita anno su anno del 18% che porterà a superare i 40 miliardi di dollari nel 2027 (Zonin, 2020). Un recente studio a campione condotto da SPS Italia<sup>41</sup> per approfondire il grado di diffusione delle tecnologie di Additive Manufacturing nel sistema manifatturiero italiano, ha rilevato che il 32% circa del campione adotti l'AM internamente e il 16% attraverso partnership esterne; per un totale quindi del 48% di imprese che utilizzano l'additive manufacturing, percentuale che può diventare presto un 62% perché il 14% circa del campione sta effettuando esperienze preliminari di AM. Tuttavia, vi è un 38% di aziende che non ha ancora adottato la produzione additiva in alcun modo, una percentuale rilevante nel 2021 soprattutto se si pensa ai numerosi benefici che può offrire l'AM in questo contesto di crisi e anche nel post-pandemia (ImpresaCity, 2021).

## **2.9. SIMULAZIONI**

### **2.9.1. DEFINIZIONE E APPLICAZIONE INDUSTRIALE**

La simulazione è definita come il processo di progettazione di un modello di un sistema reale o ipotetico per descrivere e analizzare i comportamenti del sistema. I punti chiave di questa definizione sono: progettazione (anche detta modellazione), ossia il processo di creazione di un modello; modello, cioè una rappresentazione astratta e semplificata di un sistema; sistema, ovvero il processo analizzato (De Paula Ferreira, Armellini, & De Santa-Eulalia, 2020). La simulazione, quindi, è uno strumento di analisi molto potente, che può consentire di riprodurre in scala digitale un modello della realtà, per prevedere lo svolgimento dinamico di una serie di eventi o processi, susseguenti all'imposizione di certe condizioni da parte dell'analista o dell'utente. La simulazione in ambito industriale si riferisce principalmente ai processi di progettazione, ma si denota sempre più

---

<sup>40</sup> SmarTech Publishing è il fornitore leader di dati di mercato per l'industria della produzione additiva.

<sup>41</sup> SPS Italia è la fiera per l'industria intelligente, digitale e flessibile. Nata nel 2011, la fiera è l'appuntamento annuale per confrontarsi sui temi più importanti dell'industria di domani, essa è riconosciuta come punto di riferimento per il comparto manifatturiero italiano.

un'estensione a tutti i processi produttivi (Scanlan). Infatti con lo sviluppo dell'Industry 4.0 e delle sue tecnologie è aumentata la disponibilità di dati legati a problemi sempre più complessi, ed è proprio la complessità di questi problemi, insieme ad altri fattori come costi e impraticabilità, che la simulazione sta sostituendo sempre più gli esperimenti reali nei processi industriali (Gruosso, 2018). Nella figura seguente sono rappresentati i diversi approcci basati sulla simulazione utilizzati nel contesto Industry 4.0 (De Paula Ferreira, Armellini, & De Santa-Eulalia, 2020).

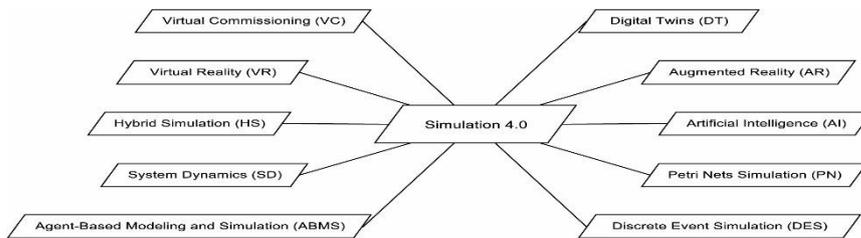


Figura 10: Approcci basati sulla simulazione applicati nel contesto dell'industria 4.0. Fonte: Computers & Industrial Engineering.

I principali sono: Discrete Event Simulation (DES), esso è definito come un sistema in cui le variabili di stato cambiano solo in quei punti discreti nel tempo in cui si verificano eventi. L'evento è costituito da un'occorrenza che altera lo stato del sistema, mentre una variabile di stato rappresenta tutte le informazioni necessarie per descrivere il comportamento del sistema in un determinato momento. Ad esempio, il numero di prodotti in una coda in attesa di un controllo di qualità può essere considerato una variabile di stato e un prodotto che sta entrando o uscendo dalla coda, un evento. Altri elementi chiave dei modelli DES sono le entità passive (o oggetti), le posizioni, le code (o elenchi di elaborazione), i blocchi di origine e le reti di percorsi. Il livello di astrazione dei modelli DES è solitamente medio-basso. System Dynamics (SD), è un sistema di simulazione continua per analizzare i sistemi dinamici nel tempo. SD ha due approcci di modellazione: un approccio quantitativo (hard modeling) che implica l'uso di diagrammi di stock e flusso, mentre l'approccio qualitativo, che viene anche definito ricerca operativa morbida, comporta solo l'uso di diagrammi di influenza (ciclo di feedback). SD è considerato un approccio di modellazione più strategico, in cui i modelli di solito presentano un alto livello di astrazione. Modellazione e simulazione basate su agenti (ABMS), è considerato un approccio relativamente nuovo alla modellazione di sistemi complessi composti da agenti autonomi interagenti. ABMS o Multi-Agent Systems (MAS) è costituito da un insieme di elementi (agenti) caratterizzati da alcuni attributi, che interagiscono tra loro, attraverso la definizione di regole appropriate, in un dato ambiente.

Un agente è definito come una complessa unità software in grado di operare autonomamente, perseguendo una serie di obiettivi specifici, esso può rappresentare cose diverse, come sensori, macchine, prodotti e persone. Digital Twin (DT), consiste nella rappresentazione digitale in tempo reale di un sistema fisico a un grande livello di dettaglio grazie all'applicazione di sensori (De Paula Ferreira, Armellini, & De Santa-Eulalia, 2020).

### 2.9.2. UTILIZZI E VANTAGGI DURANTE LA PANDEMIA

Come precedentemente detto con l'avvento dell'Industry 4.0 vi è un grande aumento della disponibilità di dati all'interno dell'azienda e lo sviluppo di problematiche sempre più complesse. In questo contesto, la simulazione svolge un ruolo importante perché offre la possibilità di valutare più scenari attraverso lo sviluppo di modelli di sistemi complessi, che possono aiutare ad affrontare in parte questi problemi (De Paula Ferreira, Armellini, & De Santa-Eulalia, 2020). Per questo motivo negli ultimi anni la simulazione è stata estesa a quasi tutti i processi produttivi; inoltre, si stanno abilitando nuovi metodi di simulazione in grado di lavorare in tempo reale per permettere analisi predittive del comportamento di sistemi, macchine e impianti (Gruosso, 2018). L'utilizzo della simulazione nella fase di progettazione è già consolidata e con essa si possono avere diversi benefici: individuare e risolvere in modo più rapido eventuali difetti di progettazione; valutare un maggior numero di alternative in maniera efficace e veloce; ridurre i costi di sviluppo, in quanto si evita la costruzione di prototipi fisici; ottimizzare i progetti e garantire la conformità con le specifiche; esplorare nuove possibilità per i progetti senza i rischi di una prototipazione. La nuova frontiera della simulazione che consiste nell'utilizzo di questa tecnologia nei processi produttivi ci permette invece di identificare dei colli di bottiglia nella produzione, di individuare delle possibilità per aumentare la produttività, di identificare opportunità di riduzione costi come l'ottimizzazione della manodopera diretta e indiretta e di garantire maggiore flessibilità (Scanlan); questi sono solo alcuni dei benefici conferiti da questa tecnologia alle aziende. Ovviamente se si contestualizzano questi vantaggi al periodo in corso caratterizzato dal COVID-19, essi diventano ancora più importanti. Ad esempio poter aumentare la produttività è diventato un aspetto determinante per quelle aziende produttrici di DPI che hanno visto in breve tempo alzare alle stelle la domanda dei loro prodotti, o ancora, un'ottimizzazione dei costi può aiutare le aziende che si trovano in maggiore difficoltà ad

affrontare la crisi in atto. Un approccio importante della simulazione è il digital twin, che permette di rappresentare virtualmente i componenti fisici, i loro stati attuali e le loro interazioni reciproche. Pertanto, grazie alle informazioni di cui si dispone nella sfera virtuale, consente a varie tecnologie di prendere decisioni in maniera autonoma e di comunicarle all'intero sistema. In questo modo il digital twin è in grado di garantire il corretto svolgimento delle attività aziendali con il minimo personale presente in sede. Ad esempio, riprendendo il progetto discusso nel paragrafo riguardante la robotica, in cui si proponeva una linea di produzione con cobot per la realizzazione di ventilatori medici (Malik, Masood, Kousar, & R., 2020); si erano verificate delle complicazioni riguardo la capacità dei cobot di poter effettuare operazioni complesse nella fase di assemblaggio che richiedeva ancora lavoro umano. A questo proposito un modello digital twin è in grado di svolgere funzioni di monitoraggio, previsione e ottimizzazione che sono compatibili per l'assemblaggio attraverso cobot (Zhang, Sun, Lu, & Bao, 2021). Lo spazio di assemblaggio della linea di produzione progettata è complesso e composto da molti elementi: addetto, robot collaborativo, parti da assemblare, strumenti di assemblaggio, etc. Le informazioni di questi elementi fluiscono nel sistema di gestione dei dati attraverso sensori, in modo che lo spazio virtuale possa utilizzare questi dati per aggiornarne lo stato. Nella figura seguente viene rappresentata un'interfaccia grafica che è stata progettata per visualizzare il processo di assemblaggio virtuale. Quattro moduli funzione sono impostati su questa interfaccia per realizzare l'assemblaggio automatico:

1. Modulo di creazione dell'ambiente, gli elementi dell'ambiente possono essere aggiunti o modificati nell'interfaccia per formare un nuovo ambiente.
2. Modulo di assemblaggio virtuale, il processo di assemblaggio con cobot verrà eseguito nello spazio virtuale con modelli 3D. Il processo di simulazione viene utilizzato per testare le operazioni dei cobot, mentre il processo di sincronizzazione viene adottato per l'interazione in tempo reale.
3. Modulo di controllo, l'operatore può controllare il processo di assemblaggio dopo aver confermato la sicurezza dell'ambiente di assemblaggio.
4. Statistiche e modulo di analisi, i risultati dell'assemblaggio, come il tasso di successo, la qualità dell'assemblaggio e i dati anomali, verranno visualizzati e analizzati per l'ottimizzazione.

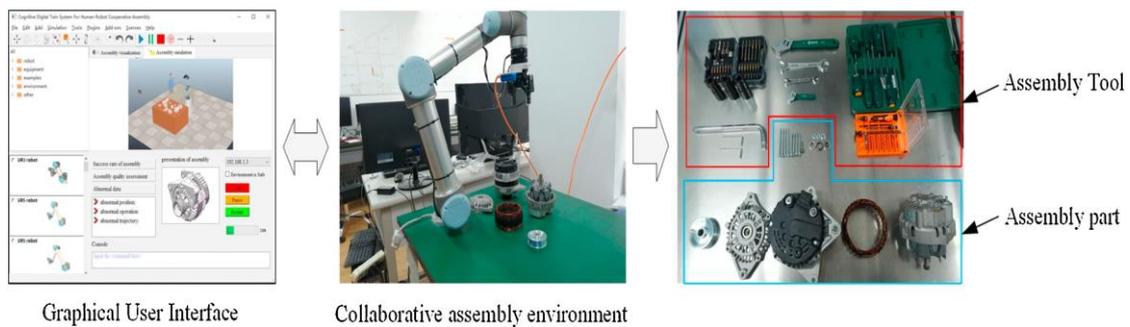


Figura 11: Interfaccia grafica e ambiente di assemblaggio. Fonte: Journal of Manufacturing System.

Il sistema di assemblaggio basato su DT proposto consente quindi di far svolgere ai cobot in modo efficiente ed efficace il compito di assemblaggio, garantendo al contempo la sicurezza dell'operatore e del robot. Questo modello consentirà di dare maggiore dinamicità alla linea di produzione rendendo possibile il cambio dei piani di produzione in base alla variazione degli ordini e ciò è molto importante a causa dell'elevata instabilità della domanda di diversi prodotti in questo periodo (Zhang, Sun, Lu, & Bao, 2021). Per quanto riguarda la catena di approvvigionamento è stato sviluppato un software di simulazione chiamato AnyLogistix, che ha dimostrato di essere uno strumento di grande successo per effettuare analisi what-if<sup>42</sup> sulla supply chain (Ivanov, 2020). AnyLogistix fornisce una combinazione di simulazione, ottimizzazione e visualizzazione delle prestazioni della supply chain, esso è quindi in grado costruire un digital SC twin. In questo modo attraverso la simulazione si possono valutare gli impatti sia a breve che a lungo termine dei focolai epidemici sulla supply chain, identificando gli elementi positivi e negativi delle politiche di mitigazione, preparazione e riduzione del rischio in caso di epidemie. I risultati possono quindi essere utilizzati dai responsabili aziendali per sviluppare preventivamente piani appositi per tutelarli.

### 2.9.3. UTILIZZI POST-PANDEMIA

Così come per altre tecnologie abilitanti anche per i sistemi di simulazione può essere espresso lo stesso concetto: le soluzioni che offrono, portano benefici nell'immediato in questo contesto di crisi, ma la loro adozione in azienda è pensata in gran parte per portare vantaggi a lungo termine. Difatti i sistemi di simulazione stanno sostituendo in larga misura gli esperimenti reali riguardanti i processi produttivi. I motivi sono molti e tra i

<sup>42</sup> Con analisi what-if s'intende quello strumento in grado di elaborare scenari differenti per offrire i diversi esiti possibili.

più importanti ci sono questioni che riguardano i costi, i tempi, la sicurezza; fattori che continueranno ad avere importanza anche nel post-pandemia. Ad esempio si consideri un modello di simulazione ibrida (combina DES con ABMS), che è stato progettato recentemente per valutare lo sviluppo di sistemi di produzione agili, basati su postazioni di lavoro ridondanti e un percorso dei prodotti flessibile, in modo da rispondere all'esigenza di una produzione agile (De Paula Ferreira, Armellini, & De Santa-Eulalia, 2020). Questo modello sarà quindi in grado di garantire maggiore agilità alle linee di produzione, un aspetto fondamentale anche per quella che sarà la “nuova normalità”.

#### 2.9.4. LIVELLO DI MATURITÀ E TREND

Ptc prevede che nei prossimi anni la simulazione in ambito industriale accrescerà di importanza fino a diventare una necessità inderogabile. I produttori si renderanno conto che la simulazione apporterà loro benefici non solo in termini di costi ed efficienza, ma anche di innovazione (Thompson, 2021). A conferma di ciò nel settore automotive il mercato dovrebbe passare da 1,4 miliardi di dollari del 2018 a circa 2,9 miliardi nel 2025, con una crescita stabile poco sopra l'11% annuo (Zonin, 2021). Inoltre, uno studio svolto nel documento “*Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review*” (De Paula Ferreira, Armellini, & De Santa-Eulalia, 2020), dimostra che negli ultimi anni sta crescendo l'interesse e la consapevolezza verso questa tecnologia. Infatti, in questo studio sono state analizzate ottanta pubblicazioni riguardanti questa tecnologia, dallo studio emerge che più del 70% degli articoli sono stati pubblicati negli ultimi due anni, questo risultato conferma la crescente consapevolezza sull'importanza e sulle potenzialità dei sistemi di simulazione per supportare l'implementazione di I4.0. In particolare, una delle tendenze che stanno emergendo riguarda le simulazioni basate sui dati in tempo reale: incorporare dati in tempo reale o big data nei modelli di simulazione e sviluppare simulazioni ottimizzate, è una tendenza di ricerca in grado di far avanzare I4.0 verso la sua visione di sistemi di produzione auto-ottimizzati in tempo reale. A questi modelli simulazione è necessario integrare anche tecniche di intelligenza artificiale (ad esempio reti neurali artificiali, apprendimento di rinforzo) per consentire test, calibrazione, previsione, ottimizzazione e per aumentare la velocità dei modelli su larga scala (Thompson, 2021) (Gruosso, 2018).



### **3. ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDUSTRY 4.0**

Nel capitolo precedente sono stati analizzati dettagliatamente i possibili utilizzi delle tecnologie abilitanti durante la pandemia, valutando anche i vantaggi che ne derivano. Come prova del reale contributo offerto dall'Industry 4.0 alle aziende durante la crisi del COVID-19, in questo capitolo si effettuerà un confronto tra le imprese che hanno adottato tecnologie abilitanti e quelle che non l'hanno fatto. Si analizzeranno poi i nuovi obiettivi delle aziende che sono cambiati a seguito del coronavirus.

#### **3.1. IMPRESE CHE HANNO ADOTTATO TECNOLOGIE ABILITANTI E IMPRESE CHE NON L'HANNO FATTO**

Al fine di valutare l'effettivo valore dei benefici portati dalle tecnologie abilitanti durante la pandemia, sono stati esaminati i risultati delle aziende che hanno adottato le KET, ponendoli a confronto con i risultati delle aziende che non l'hanno fatto. A tal proposito è stato analizzato il nuovo studio di McKinsey dal titolo "*Covid-19: An inflection point for Industry 4.0*" (Agrawal, Dutta, Kelly, & Millán, 2021), che ha effettuato un sondaggio su oltre quattrocento aziende in tutto il mondo per fornire un'immagine delle prospettive delle aziende a seguito della pandemia di coronavirus. Il risultato principale del report è che il 94% degli intervistati che hanno adottato tecnologie abilitanti all'interno dei propri impianti, ha affermato che l'Industry 4.0 e le tecnologie a essa collegate sono state fondamentali per garantire il funzionamento di tutte le attività durante la crisi. Dallo studio emergono poi tre situazioni: le aziende che avevano già portato su scala le tecnologie abilitanti prima della pandemia, si sono trovate in una posizione migliore per rispondere alla crisi. Come si vede nell'immagine seguente, infatti, il 65% degli intervistati ha dichiarato di essere più ottimista sulle prospettive delle tecnologie digitali rispetto a un anno fa. Le aziende che stavano ancora implementando tali soluzioni hanno avuto modo di metterle alla prova nella realtà, come conseguenza di ciò hanno dovuto rivedere anche il modo con cui valutare le tecnologie impiegate, viste non più per la loro capacità di aggiungere valore quanto piuttosto per la loro utilità in situazioni difficili e straordinarie come quelle generate dalla pandemia. Le aziende che non avevano iniziato a adottare le tecnologie per l'Industry 4.0, hanno pagato il prezzo più alto della crisi,

infatti il 56% di esse si è trovato limitato nella sua capacità di rispondere alla crisi: il ritardo tecnologico, accompagnato dalla diminuzione dei ricavi, sta rendendo difficile la ripresa per queste imprese.

**Companies whose Industry 4.0 implementation is more mature report stronger ability to respond to crisis.**

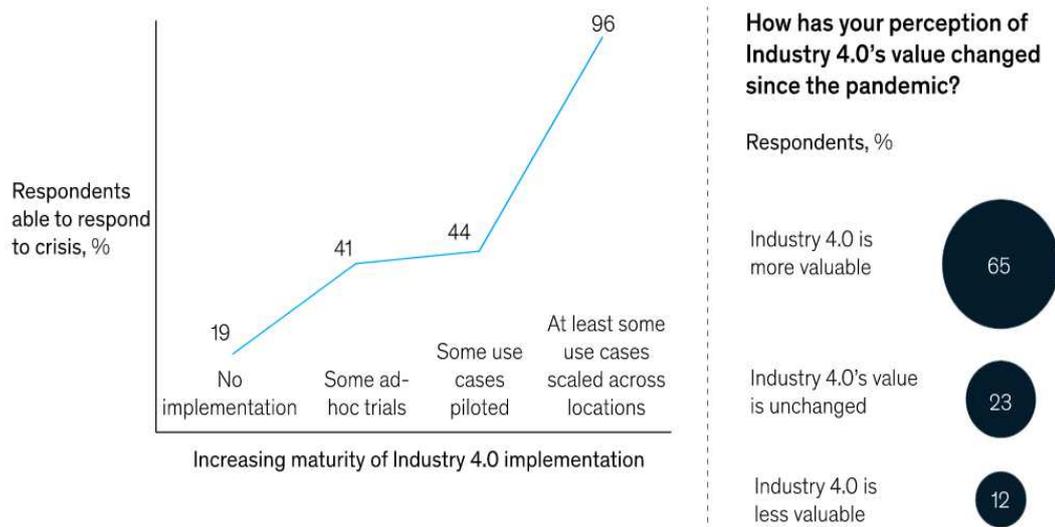


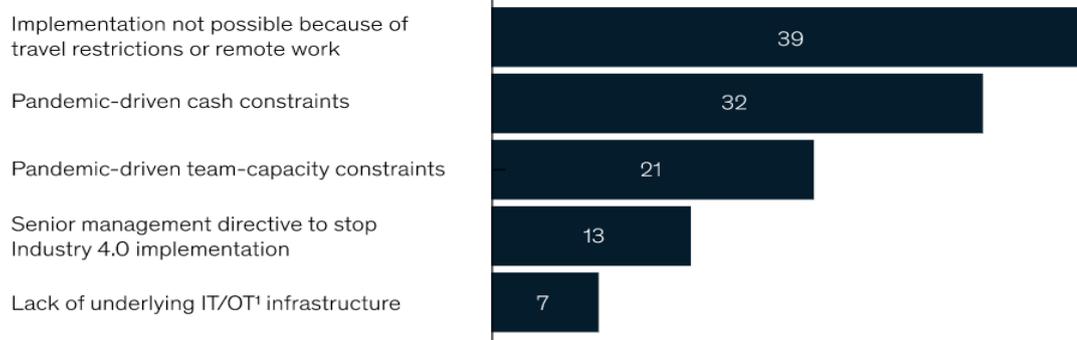
Figura 12: Imprese che sono state in grado di rispondere alla pandemia in base alla maturità dell'I4.0. Fonte: McKinsey.

### 3.2. CONFRONTO CON LA REALTÀ

Nonostante le tecnologie Industry 4.0 si siano rivelate fondamentali per le imprese nelle loro risposte alla crisi, le aziende più arretrate sono state costrette a rivalutare i loro piani di trasformazione digitale a causa della pandemia. Infatti ci sono diverse problematiche, quali ad esempio i vincoli di cassa e personale, che stanno obbligando alcune imprese a sospendere i loro progetti Industry 4.0 per preservare il contante. Le imprese che nonostante questi vincoli hanno accelerato l'adozione di tecnologie abilitanti lo hanno fatto per sviluppare dei casi d'uso che supportino la continuità aziendale, come la pianificazione automatizzata, il lavoro da remoto e l'automazione per ridurre l'interazione uomo-uomo.

### Top two reasons our company is no longer implementing Industry 4.0

Respondents, %



<sup>1</sup>Information technology/operation technology

Figura 13: Ragioni per cui le aziende hanno sospeso i loro piani Industry 4.0. Fonte: McKinsey.

A dimostrazione delle difficoltà affrontate dalle aziende durante la pandemia, la figura seguente mostra che solo il 26% dei manager dichiara di aver portato su scala con successo alcuni casi d'uso dell'Industry 4.0, con un crollo del 18% rispetto all'anno precedente e al di sotto del livello registrato nel 2017 (30%).

### Respondents saying they successfully scaled Industry 4.0, %

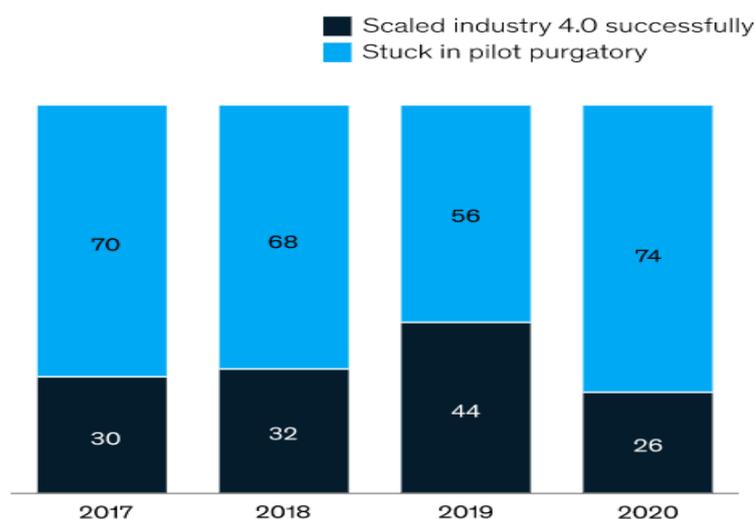


Figura 14: Imprese che hanno portato su scala con successo alcuni casi d'uso dell'Industry 4.0. Fonte: McKinsey.

Oltre ai vincoli di cassa e personale, un altro fattore che può aver causato questo calo deriva dalla debolezza delle infrastrutture IT/OT (Information Technology/Operational

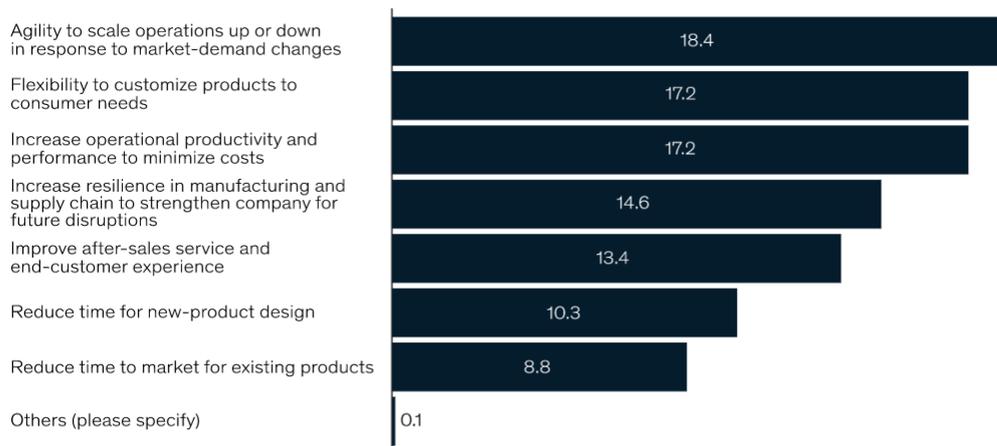
Technology) di molte aziende. La ricerca della velocità nell'implementazione ha portato molte organizzazioni ad aggirare i loro sistemi IT e OT durante l'implementazione iniziale delle tecnologie Industry 4.0, ma questo approccio sta ora raggiungendo i suoi limiti (Agrawal, Dutta, Kelly, & Millán, 2021).

### 3.3. NUOVE PRIORITÀ DELLE AZIENDE

Dallo studio di McKinsey (Agrawal, Dutta, Kelly, & Millán, 2021) emerge che la crisi ha cambiato le priorità delle aziende, costringendole a ripensare la direzione delle loro strategie operative, e quindi i problemi aziendali che vogliono affrontare attraverso l'introduzione delle tecnologie abilitanti all'interno dei loro impianti. I risultati infatti mettono al primo posto delle priorità strategiche fondamentali la flessibilità e l'agilità nelle operazioni, al di sopra dell'aumento della produttività e della riduzione al minimo dei costi, che un tempo erano gli obiettivi principali per la maggior parte delle imprese (in molti settori con catene di approvvigionamento estese, la continua volatilità sta costringendo le aziende a pensare tanto alla resilienza e alla flessibilità quanto a costi ed efficienza). Non è un caso, infatti, che la maggior parte degli utilizzi delle tecnologie abilitanti, analizzati nel capitolo due, fossero volti proprio a garantire maggiore flessibilità ed agilità alle aziende.

**What are your company's most important strategic objectives for Industry 4.0 implementation?<sup>1</sup>**

Respondents, %



<sup>1</sup> Respondents could choose multiple answers

Figura 15: Le nuove priorità strategiche delle aziende. Fonte: McKinsey.



# CONCLUSIONI

## VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE TECNOLOGIE ABILITANTI DURANTE LA PANDEMIA

Completato lo studio, è possibile affermare che l'obiettivo di questo elaborato, ossia valutare i benefici apportati dalle tecnologie Industry 4.0 alle aziende durante la pandemia è stato raggiunto e si può asseverare che esse sono state fondamentali per garantire la continuità aziendale in questo periodo. Quanto emerge dal capitolo tre, infatti, è che le imprese che hanno adottato le tecnologie abilitanti all'interno dei loro impianti sono riuscite a rispondere prontamente agli effetti della crisi. Ciò è dovuto ai numerosi possibili utilizzi delle KET durante la pandemia che sono stati analizzati dettagliatamente nel capitolo due; a tal proposito si è costruita una tabella che faccia emergere i benefici principali offerti dalle tecnologie abilitanti.

PROBLEMATICHE LEGATE AL COVID-19	TECNOLOGIE ABILITANTI INTERVENUTE IN MERITO	SOLUZIONI PROPOSTE
Supply chain rallentata o arrestata	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Big data</li><li>2. Integrazione verticale</li><li>3. Additive manufacturing</li><li>4. simulazione</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Individuazioni di mancanze da parte dei fornitori</li><li>2) Integrazione di tutte le fasi di un processo produttivo per avere maggiore controllo sulle forniture</li><li>3) Produzione localizzata</li><li>4) Analisi what-if</li></ol>
Necessità di nuovi prodotti	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Additive manufacturing</li><li>2. simulazione</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Riduzione time to market</li><li>2) Individuare e risolvere rapidamente difetti di progettazione</li></ol>
Limitazione negli spostamenti e problematiche ad essa legate	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Cloud</li><li>2. Realtà aumentata</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Smart working</li><li>2) Assistenza da remoto alla manutenzione</li></ol>

Problemi di liquidità	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cloud</li> <li>2. Big data</li> <li>3. IIoT</li> <li>4. AR</li> <li>5. Additive manufacturing</li> <li>6. Simulazione</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Riduzione momenti di inattività e sprechi di risorse</li> <li>2) Migliore conoscenza del mercato e controllo qualità</li> <li>3) Gestione inventario, riduzione scarti e sfridi</li> <li>4) Riduzione tempo di fermo dei macchinari, miglioramento dei processi</li> <li>5) Riduzione costi di produzione</li> <li>6) Riduzione costi di sviluppo</li> </ol>
Ambiente instabile: la domanda di alcuni prodotti è aumentata esponenzialmente e di altri è diminuita vertiginosamente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Integrazione orizzontale</li> <li>2. Integrazione verticale</li> <li>3. Additive manufacturing</li> <li>4. Simulazione</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Maggiore flessibilità, condivisione dati tra più impianti e collaborazione lungo tutta la supply chain</li> <li>2) Migliori prestazioni attraverso l'integrazione di tutti i macchinari all'interno dell'impianto</li> <li>3) Riadattamento della produzione</li> <li>4) Identificazione colli di bottiglia nella produzione</li> </ol>
Sicurezza degli operatori	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. IIoT</li> <li>2. Robot e Cobot</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Collaborazione da remoto e dispositivi di posizionamento</li> <li>2) Disinfezione autonoma degli ambienti di lavoro, riduzione del contatto con superfici potenzialmente contaminate dal virus, movimentazione materiali in modo autonomo e pallettizzazione robotica</li> </ol>
Maggiore vulnerabilità dei sistemi di controllo industriale	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cybersecurity</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Fornitura di diversi strumenti per aumentare la sicurezza e Cyber Security Awareness</li> </ol>

Tabella 1: Le tecnologie abilitanti nella lotta al COVID-19.

Il COVID-19 è stato sostanzialmente un catalizzatore: ha accelerato quelle adozioni che prima erano considerate una questione di convenienza e che ora diventano una questione di necessità. Dunque, mai come in questo periodo le tecnologie abilitanti non sono solo una mera opzione per favorire la crescita, ma anche una necessità vitale per consentire la resilienza delle aziende.

## **IL NUOVO RUOLO DELL'INDUSTRY 4.0**

Si è dimostrato che il paradigma Industry 4.0 ha assunto in questo contesto un ruolo differente rispetto a quello svolto prima della pandemia, quando era visto essenzialmente come un mezzo di ottimizzazione e in definitiva di incremento dei ricavi. Ora deve garantire la sopravvivenza delle aziende e il ritorno veloce delle attività economiche ai livelli pre-pandemia. Inoltre, come si evince dalle analisi effettuate nel capitolo due riguardo le opportunità offerte dalle tecnologie abilitanti nel post-pandemia, si può affermare che l'Industry 4.0 continuerà a svolgere un ruolo fondamentale anche in quella che sarà la “nuova normalità”, fornendo quegli strumenti necessari alla costruzione di un business maggiormente resiliente nel medio e nel lungo termine. Tuttavia la chiave per ottenere una maggiore resilienza del business non è tanto la trasformazione I4.0 fine a sé stessa, ma è la collaborazione abilitata da tale trasformazione. L'evento pandemico infatti ha forzato la collaborazione globale, consentita dalle tecnologie abilitanti, su una scala mai vista prima. Sicuramente c'è ancora molto da definire, anche a livello legislativo, ma un passo importante è stato fatto e porterà l'Industry 4.0 ad assumere un ruolo sempre più centrale all'interno delle aziende.

## **LIMITAZIONI DEL LAVORO DI TESI E POSSIBILI STUDI FUTURI**

Il percorso intrapreso da molte aziende durante la pandemia può essere così declinato:

- fase uno, sopravvivenza
- fase due, recupero
- fase tre, ritorno del business ai livelli pre-pandemia

Una volta tornati ai livelli di business pre-pandemia non bisogna però dimenticare le lezioni apprese dalla crisi, al contrario, qualsiasi azienda dovrebbe iniziare concretamente a pensare a quali misure potrebbero essere adottate non solo per gestire al meglio i problemi contingenti, ma anche per essere preparata a prevenirli in futuro. Uno dei fattori chiave che consentiranno alle aziende di competere con successo nella “nuova normalità”

è individuato nell'adozione delle tecnologie abilitanti, ciò è dimostrato dai trend positivi, riguardanti la maggior parte delle KET, che sono stati analizzati nel capitolo due. Tuttavia, come è stato già ampiamente descritto nei capitoli precedenti, il post-pandemia sarà caratterizzato dall'incertezza, quindi le previsioni sui possibili utilizzi e sviluppi delle tecnologie abilitanti possono essere soggette ad errori. Perciò si ritiene necessario, una volta superata definitivamente la pandemia, valutare con più precisione gli effettivi sviluppi dell'Industry 4.0 nella "nuova normalità". Quindi in futuro si potrà effettuare un nuovo studio sulla base di questo elaborato, che analizzi gli utilizzi delle tecnologie abilitanti all'interno delle aziende e il livello di maturità digitale raggiunta da esse, valutando se le previsioni sulla centralità dell'Industry 4.0 nel mondo post-pandemia sono state mantenute.



## Bibliografia

- 3D PRINTING. (2020, Marzo 23). *Coronavirus: Wasp stampa in 3D mascherine e caschi da lavoro*. Tratto da <https://www.3dprintingcreative.it/coronavirus-wasp-stampa-in-3d-mascherine-e-caschi-da-lavoro/>
- Agrawal, M., Dutta, S., Kelly, R., & Millán, I. (2021, Gennaio 15). *COVID-19: An inflection point for Industry 4.0*. Retrieved from McKinsey: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/covid-19-an-inflection-point-for-industry-40>
- Alashhab, Z., Anbar, M., Singh, M., Leau, Y., Al-Sai, A., & Abu Alhayja'a, S. (2020, Novembre). Impact of coronavirus pandemic crisis on technologies and cloud computing applications. *J. Electron. Sci. Technol.*, 100059. doi:10.1016/j.jnlest.2020.100059
- Anandan, T. (2020, Agosto 18). *Reducing COVID Risks with Robots*. Retrieved from ASSOCIATION FOR ADVANCING AUTOMATION: <https://www.automate.org/industry-insights/reducing-covid-risks-with-robots>
- Arora, P., Arora, R., Haleem, A., & Kumar, H. (2021). Application of additive manufacturing in challenges posed by COVID-19. *Mater. Today Proc.*, 38, 466-468. doi:10.1016/j.matpr.2020.08.323
- Azeem, M., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Suman, R., & Nandan, D. (2021, Febbraio). Big data applications to take up major challenges across manufacturing industries: A brief review. *Mater. Today Proc.*, S2214785321012098. doi:10.1016/j.matpr.2021.02.147.
- Bacchetti, A., & Zanardi, M. (2018, Ottobre 17). *Additive manufacturing: cos'è e come funziona la manifattura additiva*. Tratto da Internet4things: <https://www.internet4things.it/iot-library/che-cose-il-3d-printing-e-come-si-colloca-nellambito-industry-4-0-e-iot/>
- Bacik, J. (2020, Ottobre). Phollower-The Universal Autonomous Mobile Robot for Industry and Civil Enviroments with COVID-19 Germicide Addon Meeting Safety Requirements. *Appl. Sci.*, 10(21), 7682. doi:10.3390/app10217682
- Battistutti, A. (2021, Aprile 13). *Come realtà aumentata e intelligenza artificiale sono usate nell'Industrial Manufacturing*. Tratto da industry 4 business: <https://www.industry4business.it/realta-aumentata/come-realta-aumentata-e-intelligenza-artificiale-sono-usate-nellindustrial-manufacturing/>
- Belhadi, A., Kamble, S., Jabbour, C., Gunasekaran, A., Ndubisi, N., & Venkatesh, M. (2021, Febbraio). Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: Lessons learned from the automobile and airline industries. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 163, 120447. doi:10.1016/j.techfore.2020.120447.
- Bevilacqua, E. (2020, Marzo 02). *Non c'è trasformazione digitale senza sicurezza informatica*. Tratto da ZeroUno: <https://www.zerounoweb.it/techtarget/searchsecurity/non-ce-trasformazione-digitale-senza-sicurezza-informatica/>
- Bruno, F. (2020, Giugno 12). *Dall'automazione alla robotica al digitale: opportunità e sfide delle tecnologie abilitanti di fronte alla crisi*. Tratto da Innovation Post: <https://www.innovationpost.it/2020/06/12/dallautomazione-alla-robotica-al-digitale-opportunita-e-sfide-delle-tecnologie-abilitanti-di-fronte-alla-crisi/>

- Carbone, D. (2018, Settembre 11). *Integrazione verticale e orizzontale dei sistemi: cosa significa*. Tratto da next: <https://mynext.it/2018/09/integrazione-verticale-e-orizzontale-dei-sistemi-cosa-significa/>
- Carrà, M. (2020, Gennaio 15). *La realtà aumentata salta lo steccato: in arrivo investimenti record dalle aziende*. Tratto da Forbes: <https://forbes.it/2020/01/15/realta-virtuale-e-aumentata-il-futuro-delle-aziende-previsti-investimenti-record/>
- Casini, S. (2020, Novembre 24). *Big data & Analytics in crescita, ma si allarga il divario tra chi innova e chi non sta al passo*. Tratto da Innovation post: <https://www.innovationpost.it/2020/11/24/big-data-analytics-in-crescita-si-allarga-il-divario-tra-chi-innova-e-chi-non-sta-al-passo/>
- Cisco . (s.d.). *Che cos'è il Cloud Computing?*
- Cisco. (s.d.). *Cos'è la cybersecurity?* Tratto da [https://www.cisco.com/c/it\\_it/products/security/what-is-cybersecurity.html](https://www.cisco.com/c/it_it/products/security/what-is-cybersecurity.html)
- CLUSIT. (s.d.). *Rapporto Clusit 2021*. Tratto da <https://clusit.it/rapporto-clusit/>
- CONFINDUSTRIA. (2020, Luglio 23). *Quarta edizione dell'indagine sugli effetti della pandemia da Covid-19 per le imprese italiane*.
- Corallo, A., Lazoi, M., & Lezzi, M. (2020, Gennaio). Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. *Comput. Ind.*, 114, 103165. doi:10.1016/j.compind.2019.103165
- Costacurta, M. (2020, Dicembre 19). *Cos'è la Robotica? definizione e origine del termine*. Tratto da Macchina Sociale: <https://www.macchinasociale.com/cose-la-robotica/>
- Costello, K., & Rimol, M. (2020, Maggio 13). *Gartner Says Global IT Spending to Decline 8% in 2020 Due to Impact of COVID-19*. Tratto da Gartner.
- Cyber Guru. (s.d.). *Cyber Security Awareness: il fattore umano e la sfida "post-pandemica"*.
- De Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. (2020, Novembre). Simulation in industry 4.0: A state of the art review. *Comput. Ind. Eng.*, 106868. doi:10.1016/j.cie.2020.106868
- Delnevo, P. (2020, Maggio 18). *Emergenza Covid-19? Realtà aumentata e Cloud in aiuto*. Tratto da INDUSTRIE QUATTROPUNTOZERO: <https://www.industriequattropuntozero.it/2020/05/18/emergenza-covid-19-realta-aumentata-e-cloud-in-aiuto/>
- Deloitte. (2020, Luglio). *Analytics Survey*.
- Deloitte. (n.d.). *Challenges of additive manufacturing*. Retrieved from [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte\\_e\\_Challenges\\_of\\_Additive\\_Manufacturing](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte_e_Challenges_of_Additive_Manufacturing)
- Dempsey, C., Palladino, J., & Bhardwaj, S. (s.d.). *Can you meet customer demand for cloud-based computing?* Tratto da pwc: <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/cloud/covid19-cloud-infrastructure.html>

- Digital4Executive. (2020, Luglio 20). *Realtà aumentata: cos'è, come funziona e ambiti applicativi in Italia*. Tratto da <https://www.digital4.biz/executive/realta-aumentata-cose-come-funziona-e-ambiti-applicativi-in-italia/>
- Dozio, L. (2020, Febbraio 20). *Cloud Computing: 7 trend da tenere d'occhio per il 2020*. Tratto da Osservatori.net: [https://blog.osservatori.net/it\\_it/trend-cloud-computing](https://blog.osservatori.net/it_it/trend-cloud-computing)
- ESA. (2020, Luglio 02). *Additive Manufacturing nell'Industria 4.0*. Tratto da <https://www.esa-automation.com/it/additive-manufacturing-nellindustria-4-0/>
- EXOR. (2020, Giugno 10). *QUALI SONO I VANTAGGI DEL CLOUD COMPUTING NEGLI AMBIENTI INDUSTRIALI?* Tratto da <https://www.exorint.com/it/blog/quali-sono-i-vantaggi-del-cloud-computing-negli-ambienti-industriali>
- Fahrni, S., Jansen, C., John, M., Kasah, T., Korber, B., & Mohr, N. (2020, Aprile 22). *Coronavirus: Industrial IoT in challenging times*. Retrieved from McKinsey: <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/coronavirus-industrial-iot-in-challenging-times#>
- FitzGerald, A., Singer, V., & Smit, S. (2020, Giugno 30). *Economic Conditions Snapshot, June 2020: McKinsey Global Survey results*. Retrieved from McKinsey: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/economic-conditions-snapshot-june-2020-mckinsey-global-survey-results>
- Focus Industria 4.0 . (2019, Settembre 20). *ROBOTICA COLLABORATIVA: LA PRIMA TECNOLOGIA ABILITANTE DELL'INDUSTRIA 4.0*. Tratto da Focus Industria 4.0 : <https://www.focusindustria40.com/robotica-collaborativa/>
- Focus Industria 4.0. (2019, Novembre 26). *REALTÀ AUMENTATA: LA TERZA TECNOLOGIA ABILITANTE DELL'INDUSTRIA 4.0*. Tratto da Focus Industria 4.0: <https://www.focusindustria40.com/realta-aumentata-industria-4-0/>
- focus industria 4.0. (2020, Giugno 30). *CLOUD COMPUTING: LA SETTIMA TECNOLOGIA ABILITANTE DELL'INDUSTRIA 4.0*. Tratto da <https://www.focusindustria40.com/cloud-computing/>
- Focus Industria 4.0. (2020, Dicembre 15). *INTEGRAZIONE VERTICALE E ORIZZONTALE: LA QUINTA TECNOLOGIA ABILITANTE DELL'INDUSTRIA 4.0*. Tratto da <https://www.focusindustria40.com/integrazione-verticale-e-orizzontale/>
- Fossati, M., Luppi, G., & Zanette, E. (2016). *Storia concetti e connessioni*. Pearson.
- Gartner. (s.d.). *When Cloud Meets COVID-19: Threats and Opportunities*. Tratto da <https://www.gartner.com/en/conferences/hub/cloud-conferences/insights/when-cloud-meets-covid-19-threats-opportunities>
- Generali, M. (2021, Maggio 06). *REALTÀ AUMENTATA E REALTÀ VIRTUALE: APPLICAZIONI INDUSTRIALI*. Tratto da Mister Smart Innovation: <https://www.laboratoriomister.it/realta-aumentata-e-realta-virtuale-applicazioni-industriali/>
- Grassi, A. (s.d.). *Internet of Things: cosa serve alle aziende per sfruttare la IoT nel business*. Tratto da <https://www.cwi.it/tecnologie-emergenti/internet-of-things>

- Gruosso, G. (2018, Gennaio 22). *LE POTENZIALITÀ DELLA SIMULAZIONE AVANZATA NELL'INDUSTRIA 4.0*. Tratto da <https://ricomincioda4.fondirigenti.it/le-potenzialita-della-simulazione-avanzata-nellindustria-4-0/>
- Iaiani, M., Tugnoli, A., Bonvicini, S., & Cozzani, V. (2021, Maggio). Analysis of Cybersecurity-related Incidents in the Process Industry. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 209, 107485. doi:10.1016/j.res.2021.107485
- IBM Security. (2021). *X-Force Threat Intelligence Index*.
- ImpresaCity. (2021, Febbraio 01). *Additive Manufacturing e imprese italiane: si può fare meglio*. Tratto da <https://www.impresacity.it/news/24789/additive-manufacturing-e-imprese-italiane-si-puo-fare-meglio.html>
- Industria 4.0*. (s.d.). Tratto da Wikipedia: [https://it.wikipedia.org/wiki/Industria\\_4.0](https://it.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0)
- Industria Italiana. (2021, Febbraio 12). Il 2021 sarà l'anno di svolta della robotica in fabbrica come dice l'Economist? Sì e no.... *Industria Italiana*.
- Industry4Business. (2020, Giugno 26). *Realtà aumentata, che cos'è e come funziona*. Tratto da Network Digital 360: <https://www.industry4business.it/connected-enterprise/connected-factory/realta-aumentata-che-cose-e-come-funziona/>
- ISTAT. (2020, Dicembre 14). *Situazione e prospettive delle imprese nell'emergenza sanitaria Covid-19*.
- Ivanov, D. (2020, Aprile). Predicting the impacts of e pandemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, 136, 101922. doi:10.1016/j.tre.2020.101922
- Joinpad. (2020, Giugno 10). *Covid19: il supporto remoto in AR di CommScope*. Tratto da <https://www.joinpad.net/it/2020/06/10/coronavirus-e-business-le-aziende-scelgono-la-realta-aumentata/>
- Kaminsky, G. (2020, Settembre 03). *La realtà aumentata aiuta il personale in prima linea a lavorare da remoto*. Tratto da ptc: <https://www.ptc.com/it/blogs/ar/augmented-reality-helps-frontline-employees-work-remotely>
- Key4. (s.d.). *L'INTEGRAZIONE VERTICALE E ORIZZONTALE NELL'INDUSTRIA 4.0*.
- Key4. (s.d.). *SISTEMI AGV E ROBOT AMR: QUALI SONO LE DIFFERENZE E COME INTERVENGONO ALL'INTERNO DELLE FABBRICHE*. Tratto da <http://www.key-4.com/sistemi-agv-e-robot-amr-quali-sono-le-differenze-e-come-intervengono-allinterno-delle-fabbriche/>
- Maci, L. (2021, Febbraio 19). *che cos'è l'industria 4.0 e perchè è importante saperla affrontare*. Tratto da economyup: <https://www.economyup.it/innovazione/cos-e-l-industria-4-0-e-perche-e-importante-saperla-affrontare/>
- Malik, A., Masood, T., Kousar, & R. (2020, Ottobre). Reconfiguring and ramping-up ventilator production in the face of COVID-19: Can robots help? *J. Manuf. Syst.*, S0278612520301680. doi:10.1016/j.jmsy.2020.09.008
- Nicosia, V. (2020, Maggio 05). *Covid-19, il ruolo della robotica durante una pandemia*. Tratto da Oggi Scienza: <https://oggiscienza.it/2020/05/05/covid-19-robotica/>

- Organizzazione Internazionale del Lavoro. (2021, Gennaio 25). *Stime e analisi aggiornate sull'impatto del COVID-19 sul mondo del lavoro*.
- Osservatori.net. (s.d.). *CLOUD COMPUTING Cos'è e quali vantaggi porta in azienda*. Tratto da [https://blog.osservatori.net/it\\_it/cloud-computing-significato-vantaggi](https://blog.osservatori.net/it_it/cloud-computing-significato-vantaggi)
- Osservatori.net. (s.d.). *INTERNET of THINGS (IoT): Significato, esempi, ambiti applicativi e prospettive di mercato in Italia*.
- Osservatorio Cloud Transformation. (2020). report 2019-2020.
- Pareschi, A., Regattieri, A., Ferrari, E., & Persona, A. (2015). *Logistica Integrata e Flessibile*. Società Editrice Esculapio.
- Parry, E., & Banks, C. (2020, Settembre). COVID-19: additive manufacturing response in the UK. *J. 3D Print. Med.*, 4(3), 167-174. doi:10.2217/3dp-2020-0013
- Pivoto, D., De Almeida, L., Da Rosa Righi, R., Rodriguez, J., Lugli, A., & Alberti, A. (2021, Gennaio). Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review. *J. Manuf. Syst.*, 58, 176-192. doi:10.1016/j.jmsy.2020.11.017
- ptc. (s.d.). *Realtà Aumentata*. Tratto da <https://www.ptc.com/it/technologies/augmented-reality>
- Randstad. (2017, Luglio 11). *guida all'industria 4.0: definizione, origine del nome e soluzioni tecnologiche*. Tratto da <https://www.randstad.it/knowledge360/news-aziende/guida-allindustria-40-definizione-origine-del-nome-e-soluzioni-tecnologiche/>
- Redazione ZeroUno. (2021, Aprile 13). *Osservatorio Internet of Things 2021, il mercato regge l'urto*. Tratto da <https://www.zerounoweb.it/trends/dinamiche-di-mercato/osservatorio-internet-of-things-2021-il-mercato-regge-lurto/>
- Research and Markets. (2020, Dicembre 18). *Global Industrial Robotics Market Outlook Report 2020-2027 with COVID-19 Impact Insights on the \$100+ Billion Industry*. Retrieved from <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/12/18/2147973/0/en/Global-Industrial-Robotics-Market-Outlook-Report-2020-2027-with-COVID-19-Impact-Insights-on-the-100-Billion-Industry.html>
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M., & Justus, J. (2015, Aprile 09). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Retrieved from Boston Consulting Group: [https://www.bcg.com/it-it/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/it-it/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries)
- Salvadori, G. (2020, Marzo 26). *Industrial Internet of Things: definizione, applicazioni e diffusione*. Tratto da osservatori.net: [https://blog.osservatori.net/it\\_it/industrial-iot-definizione-applicazioni](https://blog.osservatori.net/it_it/industrial-iot-definizione-applicazioni)
- SAS. (s.d.). *Big Data cosa sono e perchè sono importanti*.
- Scanlan, M. (s.d.). *Simulazione della produzione per l'Industria 4.0*. Tratto da Engineering.
- Scurati, G., Gattullo, M., Fiorentino, M., Ferrise, F., Bordegoni, M., & Uva, A. (2018, Giugno). *Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality*

- applications in Industry 4.0. *Comput. Ind.*, 98, 68-79.  
doi:10.1016/j.compind.2018.02.001
- smeup. (2018, Ottobre 23). *Il Cloud Computing come tecnologia abilitante per l'industria 4.0*. Tratto da <https://www.smeup.com/blog/blog-infrastruttura-e-cloud/cloud-computing-industria-4-0/>
- Tareq, S., Rahman, T., Hossain, M., & Dorrington, P. (2021, Gennaio). Additive manufacturing and the COVID-19 challenges: An in-depth study. *J. Manuf. Syst.*, S0278612520302351. doi:10.1016/j.jmsy.2020.12.021
- Tenega. (2019, Aprile 21). *Cobot: che cosa sono, a che cosa servono e perchè ci aiuteranno a lavorare meglio*. Tratto da <https://www.tenega.it/cobot-significato-cosa-sono-servono/>
- Thompson, B. (2021, Marzo 03). *I tre trend tecnologici del 2021: simulazione, intelligenza artificiale e model-based definition (MBD)*. Tratto da PTC: <https://www.ptc.com/it/blogs/cad/top-cad-trends-2021>
- Tommasi, E. (2019, Giugno 19). *Robotica industriale: cos'è, come funziona e ambiti applicativi*. Tratto da Internet 4 Things: <https://www.internet4things.it/industry-4-0/robotica-industriale-cose-come-funziona-e-ambiti-applicativi/>
- Unioncamere. (2020, Giugno 09). *Impatti dell'emergenza Covid-19 sulle imprese e prospettive di ripresa rilevati attraverso il sistema informativo Excelsior*.
- Verisk. (n.d.). *Pandemic quickens diversification of supply chains beyond China*. Retrieved from <https://www.verisk.com/resources/COVID-19/pandemic-quickens-diversification-of-supply-chains-beyond-china/>
- Wang, X., & Wang, L. (2021, Febbraio). A literature survey of the robotic technologies during the COVID-19 pandemic. *J. Manuf. Syst.*, S0278612521000339. doi:10.1016/j.jmsy.2021.02.005
- Yang, G. (2020, Marzo). Combating COVID-19 The role of robotics in managing public health and infectious diseases. *Sci. Robot.*, 5(40). doi:10.1126/scirobotics.abb5589
- Zanotti, L. (2020, Novembre 24). *Big Data: cosa sono e come le aziende competono con le Big Data analytics*. Tratto da Network Digital360: <https://www.digital4.biz/marketing/big-data-e-analytics/big-data-cosa-sono-e-perche-grazie-alle-analitiche-il-business-continua-a-crescere/>
- Zhang, R., Sun, X., Lu, Y., & Bao, J. (2021, Febbraio). A digital twin-driven human-robot collaborative assembly approach in the wake of COVID-19. *J. Manuf. Syst.*, S0278612521000479. doi:10.1016/j.jmsy.2021.02.011
- Zonin, R. (2020, Febbraio 10). *Additive manufacturing, perché non se ne può più fare a meno*. Tratto da Industria Italiana: <https://www.industriaitaliana.it/additive-manufacturing-perche-non-se-ne-puo-piu-fare-a-meno/>
- Zonin, R. (2021, Febbraio 15). *Simulazione 3d: come cambiano le strategie di Oem e componentisti auto*. Tratto da Industria Italiana: <https://www.industriaitaliana.it/simulazione-cae-automotive-componentistica-danisi-engineering/>

