



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

**Le Tecnologie dell'Industry 4.0
Applicate al Settore Automotive
Il caso Maserati**

**Industry 4.0 technologies applied to the management
of the automotive sector
Maserati case study**

Relatore: Chiar.mo
Maurizio Bevilacqua

Tesi di Laurea di:
Gianluigi D'Arienzo

A.A. 2019/2020

Sommario

<i>Introduzione</i>	2
<i>Industry 4.0</i>	3
1.1 <i>Origine del termine</i>	3
1.2 <i>Dall'Industry 1.0 alla 4.0</i>	3
1.3 <i>Le quattro direttrici di sviluppo</i>	7
1.4 <i>L'obiettivo dell'Industry 4.0</i>	8
1.5 <i>Machine learning (ML) e Intelligenza Artificiale (AI)</i>	10
1.6 <i>I Nove Pilastri dell'Industry 4.0</i>	12
<i>Applicazioni Industry 4.0 per la Gestione del Settore Automotive</i>	29
2.1 <i>Elementi chiave per la gestione della produzione intelligente nel settore automotive</i> ...	33
2.1.1 <i>Big Data Analytics</i>	34
2.1.2 <i>Sistemi Cyber Fisici (CPS)</i>	34
2.1.3 <i>Intelligenza artificiale</i>	35
2.1.4 <i>Edge Computing</i>	36
2.1.5 <i>Comunicazione in rete nella produzione</i>	38
2.1.6 <i>Comunicazione 5G</i>	39
2.1.7 <i>Produzione intelligente tramite l'interconnessione di processi fisici e virtuali</i>	41
2.1.8 <i>Veicoli intelligenti autonomi</i>	42
<i>Il Caso Maserati</i>	44
<i>Conclusione</i>	49
<i>Bibliografia</i>	50

Introduzione

Il presente elaborato ha come oggetto di studio le tecnologie dell'Industry 4.0 con particolare attenzione alla loro applicazione nel settore automotive.

Nel primo capitolo, dopo averne dato una breve definizione e contestualizzazione, viene introdotto il concetto e l'obiettivo della Industry 4.0 e delle sue direttrici di sviluppo andando ad analizzare la fondamentale importanza del Machine Learning e dell'Intelligenza Artificiale. Vengono poi descritti quelli che sono i nove pilastri posti alla base della quarta rivoluzione industriale.

Il secondo capitolo esamina l'applicazione delle diverse tecnologie studiate quali i big data, i sistemi cyber fisici, l'intelligenza artificiale, la edge computing, la comunicazione 5G, l'utilizzo di sistemi virtuali e i veicoli intelligenti autonomi, all'interno del settore automotive.

Il terzo capitolo tratta del caso di studio della storica casa automobilistica italiana Maserati e del suo passaggio da un'industria manifatturiera artigianale ad un'industria 4.0. Analizzandone i miglioramenti ottenuti nella produzione e nei processi di sviluppo.

Capitolo I

Industry 4.0

1.1 Origine del termine

Il termine “**Industria 4.0**” fu usato per la prima volta nel 2011 in Germania, nello specifico la paternità del termine tedesco “Industrie 4.0” viene attribuita a *Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster* che lo impiegarono per la prima volta in una conferenza, tenuta alla Fiera di Hannover del 2011, in cui preannunciarono lo “**Zukunftsprojekt Industrie 4.0**”. Concretizzato al termine del 2013, il progetto per l’industria del futuro prevedeva investimenti in sistemi energetici, infrastrutture, enti di ricerca e aziende per poter ammodernare il sistema di produzione tedesco, ponendosi come obiettivo quello di riportare la manifattura tedesca ai vertici mondiali.

1.2 Dall’Industry 1.0 alla 4.0

Il significato del termine, invece, scaturisce dalla quarta rivoluzione industriale, preceduta dalle ben più note tre rivoluzioni:

- La **Prima Rivoluzione Industriale** ebbe luogo nella seconda metà del XVIII secolo in Inghilterra e riguardava principalmente i settori tessile e metallurgico. Essa ha trasformato un sistema economico che storicamente era composto da agricoltura, artigianato e commercio in uno basato sull'industria caratterizzata dall'uso di macchine azionate per la prima volta da forza (chassis) e successivamente dal motore a vapore.

Non vi è una specifica causa imputabile come avviatrice di tale rivoluzione, ma risulta essere partita a causa di una somma di motivazioni tra cui: una classe agricola non molto forte, una borghesia consolidata e arricchita dal commercio e dalla forza del paese, essendo una potenza commerciale e militare e infine l'esponenziale aumento demografico.

Le conseguenze sono state la creazione del capitalismo.

- La **Seconda Rivoluzione Industriale** è il processo che rappresentò la seconda fase di sviluppo industriale che viene cronologicamente riportato dagli storici al periodo compreso tra il Congresso di Parigi (1856) e quello di Berlino (1878), giungendo a pieno sviluppo nell'ultimo decennio del XIX secolo .

Si assistette ad una serie di cambiamenti importanti, che mutarono la vita del continente. Le innovazioni non furono della stessa portata in tutti i paesi: più significative in alcuni, meno evidenti in altri; tuttavia, gli Europei avevano l'impressione di essere giunti ad una svolta.

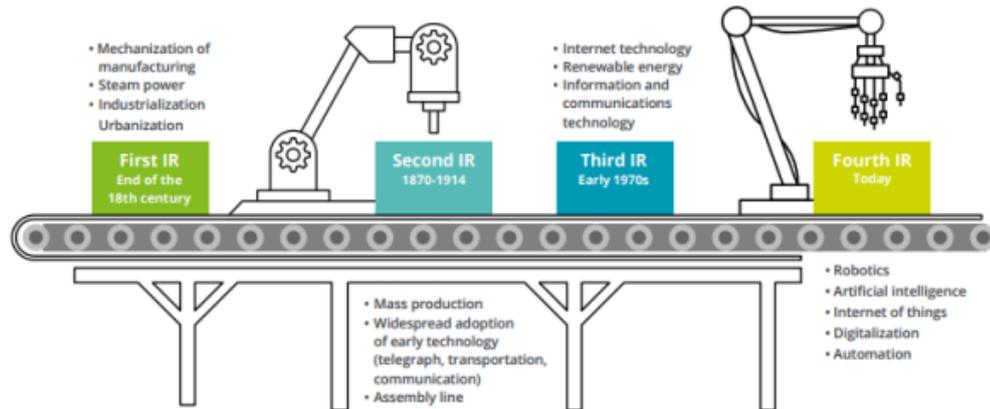
Nella seconda metà dell'Ottocento l'Europa occidentale infatti estese e consolidò la propria presenza nel mondo. Il suo prestigio si fondava sulla superiorità nel campo scientifico e tecnologico e sulla potenza industriale e capitalistica, rafforzato in seguito alla scoperta di nuove fonti di energia, come il petrolio e l'elettricità, all'utilizzo di nuovi sistemi di comunicazione e di trasporto, e al dominio incontrastato del commercio mondiale. Intanto, le grandi potenze europee portavano a termine le conquiste coloniali, soprattutto in Africa, spinte dal desiderio di procurarsi nuovi mercati di vendita per i prodotti nazionali e di accaparrarsi materie prime e risorse energetiche a basso costo. A questo prodigioso sviluppo industriale, che si protrasse fino agli inizi nel Novecento e che interessò anche altri Paesi del mondo, come gli Stati Uniti d'America ed il Giappone, è stato dato il nome di Seconda rivoluzione industriale.

- Poi è arrivata la **Terza Rivoluzione Industriale** che coinvolse, nella seconda metà del 1900, i paesi del primo mondo.

Le motivazioni imputabili allo scoppio di tale rivoluzione sono dovute alla crescita di conoscenze scientifiche e tecnologiche nate durante le guerre mondiali per scopi bellici e lo sfruttamento dell'energia atomica. Per gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica si segna la data di inizio per la corsa allo spazio, aprendo nuove conoscenze in un campo che era ancora poco conosciuto. Le invenzioni che più hanno determinato la rivoluzione sono state quelle nel campo della computer science, dell'elettronica e della telematica, che hanno contribuito alla creazione delle prime multinazionali e allo sviluppo del fenomeno della globalizzazione.

- **L'industria 4.0** descrive l'organizzazione dei processi produttivi basati sulle tecnologie e i dispositivi che comunicano autonomamente tra loro attraverso computer o modelli virtuali lungo tutta la filiera produttiva. Il fattore di intelligenza include sistemi computer-guided che monitorano i processi produttivi creando una riproduzione virtuale del mondo reale. Molte delle tecnologie collegate all'industria 4.0 sono entrate già in uso da diverso tempo, quindi l'evoluzione consiste nell'integrazione di tutte

queste tecnologie che condurranno a una significativa trasformazione del processo produttivo.



Le rivoluzioni industriali

1.3 Le quattro direttrici di sviluppo

Secondo un rapporto della multinazionale di consulenza McKinsey, le nuove tecnologie digitali si insedieranno nel profondo, nell'ambito di quattro direttrici di sviluppo:

1. la prima riguarda *l'utilizzo dei dati*, la *potenza di calcolo* e la *connettività*, e si declina in **big data**, open data, **Internet of Things**, machine-to-machine e **cloud computing** per la centralizzazione delle informazioni e la loro conservazione;

2. la seconda è quella degli *analytics*, che consiste nel ricavare valore dai dati raccolti. Solo l'1% dei dati raccolti viene utilizzato dalle imprese, che potrebbero invece ottenere vantaggi a partire dal **Machine Learning**.

3. la terza direttrice di sviluppo è *l'interazione tra uomo e macchina*, che coinvolge le interfacce touch, sempre più diffuse e la **realtà aumentata**;

4. infine, l'intero settore che si occupa del passaggio "*dal digitale al reale*" che comprende: la **manifattura additiva**, la stampa 3D, la robotica, le comunicazioni e le nuove tecnologie per immagazzinare e utilizzare l'energia in modo mirato, razionalizzando i costi e ottimizzando le prestazioni.

1.4 L'obiettivo dell'Industry 4.0

L'obiettivo dell'industria 4.0 ha il fine di ottimizzare e digitalizzare il processo produttivo per renderlo:

- **Flessibile;**
- **Automatico;**
- **Connesso.**

Come un dato di fatto i processi produttivi si sono evoluti in maniera considerevole. L'applicazione delle tecnologie digitali permette infatti di reinventare processi, aumentare la loro efficacia ed efficienza e liberare gli operatori da operazioni ripetitive e meccaniche.

Usando i sensori è possibile avere informazioni in tempo reale sull'avanzamento del processo di produzione; le nuove tecnologie di automazione e robotizzazione, permettono di concludere o modificare un processo produttivo in qualsiasi momento e anche da remoto. Il risultato di tutto questo è un enorme flusso di dati.

Industria 4.0 quindi significa che tutti gli step e i processi di produzione così come la pianificazione della produzione, lo sviluppo della logistica e il controllo produttivo sono completamente connessi e integrati.

Alla base di questa evoluzione ci sono i concetti di **machine learning** (ML) e **intelligenza artificiale** (AI).

È importante comprendere il significato, la connessione tra loro e perché sono così importanti per la Industry 4.0.

1.5 Machine learning (ML) e Intelligenza Artificiale (AI)

- **Definizione ML**

“Machine Learning is the science of getting computers to learn and act like humans do, and improve their learning over time in autonomous fashion, by feeding those data and information in the form of observations and real-world interactions.” (Faggella, 2019).

“Il Machine Learning è la scienza che permette ai computer di apprendere e agire in modo simile agli uomini, e aumentare la loro conoscenza durante il tempo in maniera autonoma, accumulando dati e informazioni attraverso le osservazioni e le interazioni con il mondo reale.” (Faggella, 2019).

Il machine learning è un metodo che è fondato sull'idea che le macchine possono imparare dai dati percorsi definiti e compiere azioni con il minimo input umano.

Il **ciclo di vita** del Machine learning può essere riassunto come segue:

- Fare la domanda giusta e impostare il problema;
- Raggruppare e collezionare dati;
- Formulare l'algoritmo;
- Testarlo;

- Raccogliere feedback;
- Usare i feedback per migliorare l'algoritmo.

Le macchine che apprendono sono utili agli uomini perché con tutta la loro potenza di processo sono in grado di identificare dei percorsi utili, all'essere umano invisibili, all'interno dei Big Data in maniera veloce. Il machine learning è uno strumento che può essere utilizzato per migliorare le abilità dell'uomo nella risoluzione dei problemi e ottenere risposte su un ampio range di problematiche.

- **Definizione AI**

“Artificial intelligence (AI) is an area of computer science that emphasizes the creation of intelligent machines that work and react like humans.”
(Techopedia, 2019)

“L'intelligenza artificiale è un area della computer science che enfatizza la creazione di macchine intelligenti che lavorano e reagiscono come umani.”
(Techopedia, 2019)

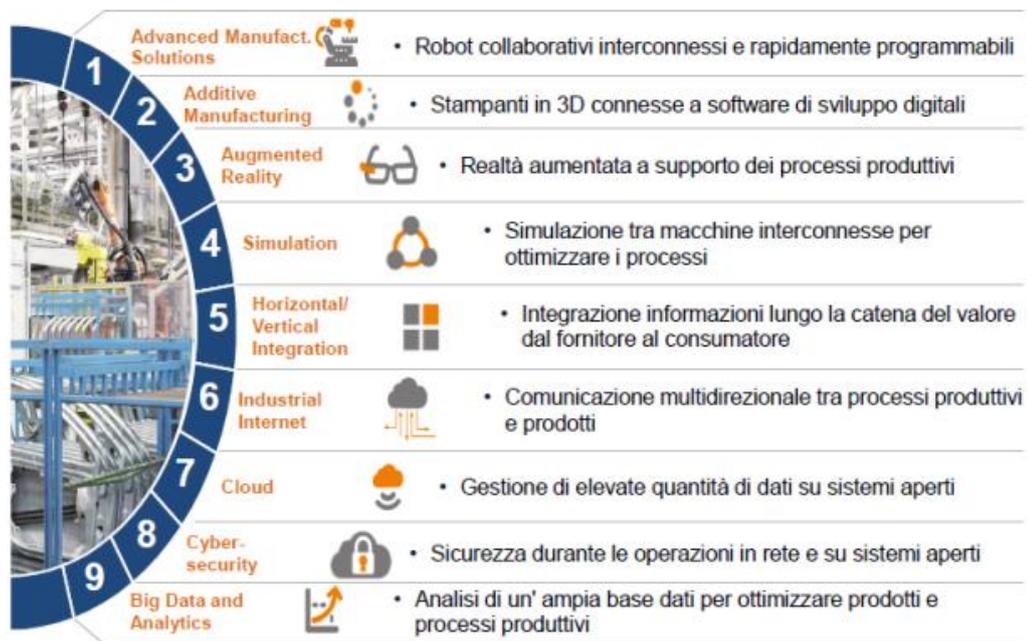
Alcune attività che i computer possono fare grazie all'intelligenza artificiale sono: riconoscimento vocale (tecnologie che permettono il riconoscimento e la traduzione di una lingua parlata in un testo), apprendimento, pianificazione, problem solving.

AI è diventata una parte essenziale della nuova industria tecnologica; infatti le macchine possono spesso agire e reagire come gli uomini, se hanno abbondanti informazioni collegate al mondo che le circonda.

L'evoluzione che stiamo vivendo va oltre la semplice automazione del processo di business, ma coinvolge l'ottimizzazione e la riduzione di sprechi, tutto questo è reso possibile attraverso le tecnologie abilitanti dell'industria 4.0.

1.6 I Nove Pilastri dell'Industry 4.0

Com'è facile intuire, le strategie di Industria 4.0 non sono rivolte ad un mero processo di digitalizzazione, ma coinvolgono l'industria da tutti i punti di vista: insomma, un percorso innovativo dell'industria a 360 gradi. Boston Consulting Group in un articolo del 9 aprile 2015 individua i **NOVE PILLARS** su cui si andrà a sviluppare il percorso dell'Industria 4.0, dei quali si presenta una efficace panoramica nella figura successiva.



È evidente che non si tratta di nove pilastri separati e indipendenti tra loro, ma ognuno di essi agisce in stretta connessione con gli altri.

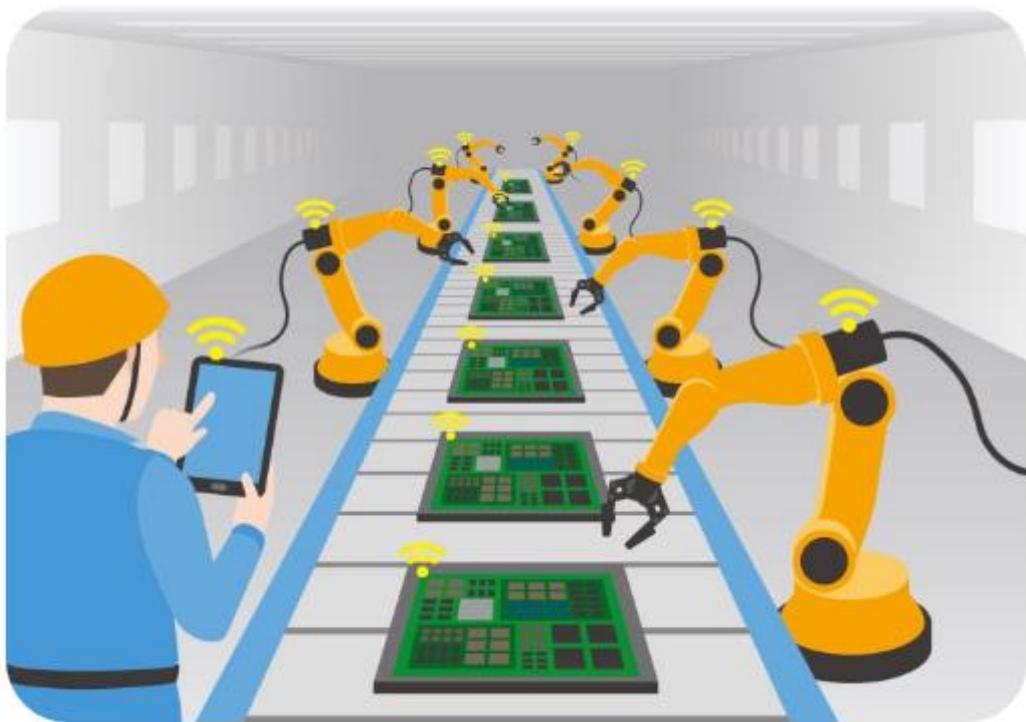
- **Advanced Manufacturing Solutions**

L'Advanced Manufacturing Solutions indica l'adozione di sistemi avanzati di produzione interconnessi e modulari, i quali garantiscono flessibilità e performance.

I robot sono usati nelle industrie manifatturiere con il compito di risolvere operazioni complesse, che altrimenti non potrebbero essere risolte facilmente da un essere umano.

Un robot autonomo è una tipologia di robot in grado di operare e di muoversi senza l'intervento umano, in base ad informazioni raccolte e archiviate dall' ambiente circostante.

In tali tecnologie rientrano sia i robot che trasferiscono materie prime, semilavorati e prodotti finiti in un modo più semplice e rapido rispetto a quelli tradizionali, sia i *robot collaborativi o cobot*. Questi ultimi sono progettati per funzionare in modo simile agli umani, interagendo con essi.



- **Additive manufacturing (3D printing)**

“L’AM è un sistema usato per generare oggetti tridimensionali basato sulla creazione di un modello trasversale dell’oggetto da costituire, sulla superficie di un medium fluido capace di alterare il suo stato fisico in risposta a stimoli sinergici quali radiazione incidente, bombardamento di particelle o reazioni chimiche, in lamine adiacenti che rappresentano le sezioni trasversali adiacenti successive dell’oggetto che si integrano tra loro, provvedendo ad una progressiva crescita per apposizione dell’oggetto desiderato, per cui un oggetto è creato da una superficie sostanzialmente planare del medium fluido durante il processo di formazione.”

La stampa 3D, ad oggi, risulta essere la tecnologia più dirompente, in grado di modificare e stravolgere i tradizionali paradigmi produttivi.

La produzione non avviene più per asportazione del materiale dal pieno, ma si parte da un modello virtuale tridimensionale e poi si giunge al prodotto finito mediante la stampa di strato in strato del modello virtuale.

Per le sopra citate ragioni, si parla più propriamente di Manifattura Additiva.

Il processo di produzione additiva ha come input la realizzazione del modello 3D dell’oggetto, a cui segue un processo semi-automatico di

conversione del file in formato STL, che prevede la decomposizione del modello in strati o *layer* stampabile dal macchinario di stampa 3D.

A valle del processo di stampa otterremo un prodotto che necessita di attività di finitura.

La peculiarità di questa tecnologia è di riuscire, tramite un unico processo di stampa, a fabbricare un oggetto fisico che tradizionalmente sarebbe ottenuto mediante la produzione di diversi componenti singoli, successivamente da assemblare.

Attualmente la stampa 3D è utilizzata solo per la creazione di prototipi o per la produzione di specifici componenti.



- **Augmented reality (AR)**

“Per realtà aumentata si intende l'arricchimento della percezione sensoriale umana mediante informazioni, in genere manipolate e convogliate elettronicamente, che non sarebbero percepibili con i cinque sensi.”

La realtà aumentata è una tecnologia che espande il mondo reale aggiungendo strati di informazioni digitali. L'AR non crea un intero ambiente artificiale per rimpiazzare quello reale, bensì sovrappone ad esso suoni, video e informazioni interattive in diretta.

La tecnologia della realtà aumentata crea una connessione tra il digitale ed il mondo fisico.



Essa può essere utilizzata per l'addestramento di tecnici: infatti, prima che i manutentori possano intervenire sul dispositivo senza conoscerlo o senza avere la giusta esperienza, essi possono condurre una sessione di addestramento tramite la realtà aumentata, evitando possibili ulteriori danneggiamenti.

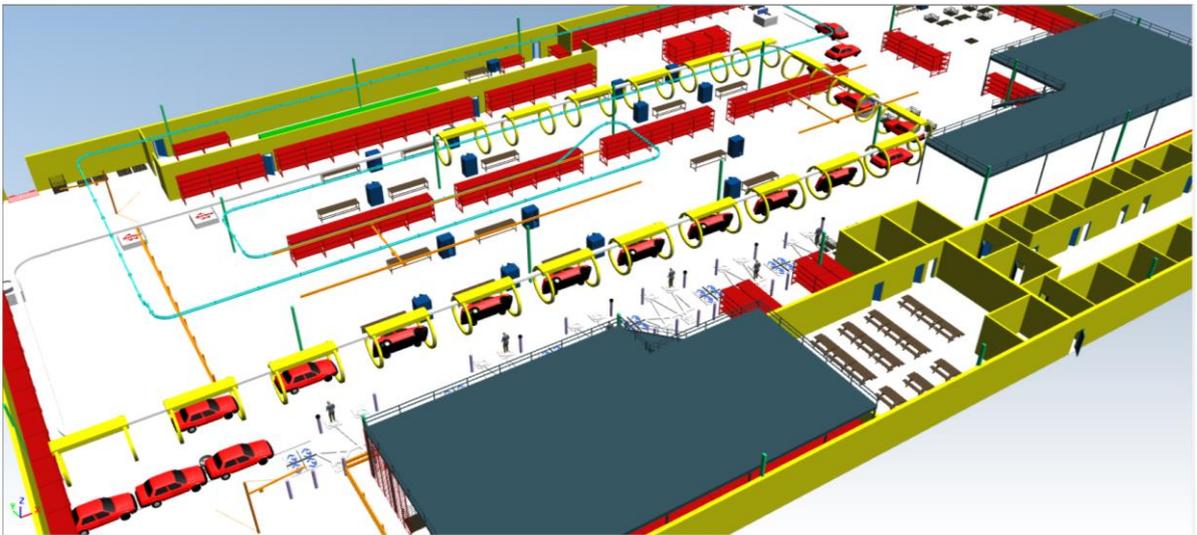
- **Simulation**

L'uso di sistemi di simulazione, già in uso nei processi di progettazione, viene esteso a tutti i processi di produzione. Nell'industria 4.0, le simulazioni sfruttano i dati in tempo reale per proiettare il mondo fisico dello sviluppo del prodotto e dei processi di produzione in un ambiente virtuale.

Questi modelli possono essere utilizzati per eseguire test più efficienti in modo da ottimizzare le impostazioni e i processi prima ancora che inizi la produzione, riducendo i tempi di fermo e migliorando la qualità. La simulazione è infatti la chiave per il controllo dei costi: essa guida l'innovazione, consentendo di prendere migliori decisioni.

Essa consentirà di attuare delle correzioni nel processo produttivo, senza affrontare gli ingenti costi derivanti dal learning-by-doing, riducendo il tempo di setup ed incrementare la qualità dei processi, nonché quella dei

prodotti realizzati. In tal modo è quindi possibile istruire i lavoratori sul suo utilizzo, senza il rischio di provocare guasti su un apparecchio reale, il che determinerebbe una perdita economica.



- **Horizontal and Vertical Integration**

L'integrazione orizzontale porta le relazioni tra sistemi cibernetici e sistemi aziendali ad un livello senza precedenti.

Ogni dispositivo o sistema, allo stesso livello, è collegato agli altri, consentendo la comunicazione tra sistemi in strutture diverse: in tal modo i lavori possono essere pianificati e adattati dalle macchine stesse, pertanto, i tempi di fermo in una struttura possono essere compensati dagli straordinari in un'altra struttura, senza alcun intervento umano.

L'integrazione verticale migliora ancora il tutto: ogni sistema è unito all'altro attraverso una gerarchia, condividendo un proprietario comune. Essa può avvenire secondo due direzioni: si può avere un'integrazione a valle, se un'azienda integra un passaggio successivo rispetto a quello che già ricopre (ad esempio se un'impresa assemblatrice di automobili apre una concessionaria), oppure un'integrazione a monte, se un'azienda integra un passaggio precedente rispetto a quello che già ricopre (ad esempio se l'azienda considerata inizia a produrre pneumatici). Esso migliora il controllo dei processi e permette una maggiore personalizzazione dei prodotti o dei servizi erogati.

Uno degli aspetti più critici è quello del protocollo di comunicazione, poiché vari sistemi non utilizzano tutti lo stesso linguaggio di comunicazione.

- **Internet of things (IoT)**

L'Internet of Things (IoT o Internet delle cose) è una tecnologia che permette di massimizzare le capacità di raccolta e di utilizzo dei dati da una moltitudine di sorgenti (prodotti industriali, sistemi di fabbrica, veicoli di trasporto...) a vantaggio di una maggiore digitalizzazione e automazione dei

processi, della facoltà di sfruttare machine learning e intelligenza artificiale per creare nuovi business e servizi a valore per clienti e consumatori.

La IoT nasce dalla **convergenza tra sensoristica, elaborazione e comunicazione in rete di apparati digitali specializzati** pensati per essere impiegati ovunque serva raccogliere ed elaborare informazioni, automatizzare o integrare il funzionamento di apparati diversi.

Il significato di Internet of Things (IoT) sviluppa al massimo livello i concetti della comunicazione in rete per permettere l'interazione tra oggetti, per esempio tra apparati di produzione destinati a operare insieme, tra apparati e sistemi aziendali utilizzati per la pianificazione, la sicurezza e la manutenzione.



La capacità di comunicazione consente oggi di avvalersi dei servizi in cloud per elaborazioni dati sofisticate o per l'inserimento in processi di business complessi.

L'Internet delle cose permette di informatizzare e mettere in rete le “cose”, esattamente come personal computer, pad e smartphone hanno fatto con le persone. Secondo Gsm Association e International Data Corporation (IDC), il mercato dei dispositivi IoT raggiungerà il valore di 1,1 trilioni di dollari nel 2026 (+567% rispetto al 2016), mentre Gartner stima che nel 2025 ci saranno 25 miliardi di device connessi.

- **Cloud computing**

Il cloud computing indica un paradigma di erogazione di servizi offerti su richiesta da un fornitore a un cliente finale attraverso la rete internet (come l'archiviazione, l'elaborazione o la trasmissione dati), a partire da un insieme di risorse preesistenti, configurabili e disponibili in remoto sotto forma di architettura distribuita.

Il cloud computing è basato su una “*cloud infrastructure*”, che è data dall'unione di hardware e software. Questa infrastruttura è formata da uno strato fisico e da uno astratto. Lo strato fisico consiste nelle risorse hardware

che sono necessarie per il supporto dei servizi cloud e generalmente comprendono server, archiviazione e componenti network.

Lo strato astratto consiste nei software sviluppati per l'utilizzo dello strato fisico, che mostrano le caratteristiche del cloud.

Il modello cloud è fornito attraverso tre differenti modelli di servizio:

❖ ***Software as Service (SaaS)***

La capacità fornita al consumatore consiste nell'utilizzare le applicazioni del provider in esecuzione su un'infrastruttura cloud. Le applicazioni sono accessibili da vari dispositivi client come un browser web o un'interfaccia del programma. Il consumatore non gestisce o controlla l'infrastruttura cloud sottostante tra cui rete, server, sistemi operativi, archiviazione o anche capacità di singole applicazioni, con la possibile eccezione di impostazioni di configurazione limitate dell'applicazione specifiche per l'utente.

❖ ***Platform as a Service (PaaS)***

La capacità fornita al consumatore è quella di distribuire sull'infrastruttura cloud creata appositamente per il consumatore oppure di acquistare applicazioni create mediante linguaggi di programmazione. Il consumatore non gestisce o controlla

l'infrastruttura cloud sottostante, inclusi rete, server, sistemi operativi o archiviazione, ma ha il controllo sulle applicazioni distribuite e possibilmente impostazioni di configurazione per l'ambiente di hosting dell'applicazione.

❖ *Infrastructure as a Service (IaaS)*

La capacità fornita al consumatore è quella di fornire elaborazione, archiviazione, reti e altri dati fondamentali, risorse dove il consumatore può distribuire ed eseguire software casuali, che può includere sistemi operativi e applicazioni. Il consumatore non gestisce o controlla l'infrastruttura cloud, ma ha il controllo sui sistemi operativi, archiviazione e applicazioni distribuite e possibilmente un controllo limitato della selezione componenti di rete.



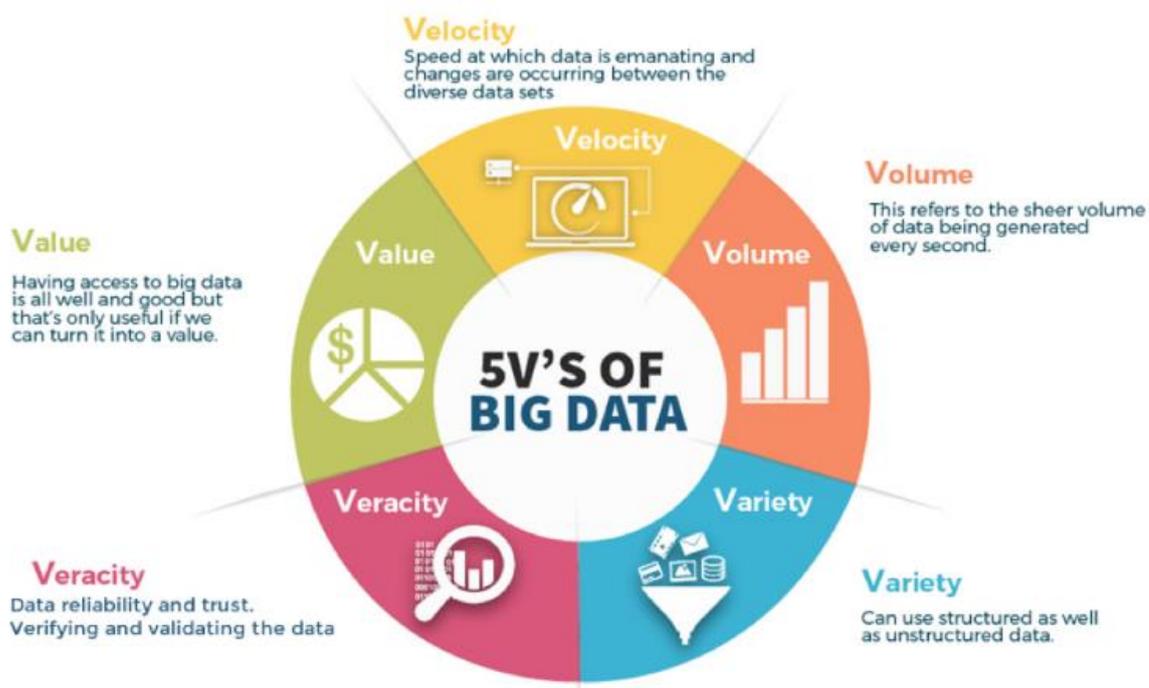
- **Cybersecurity**

Un maggior livello di digitalizzazione comporta, com'è facile intuire, un aumento dell'esigenza di proteggere i sistemi di produzione e la rete informatica da potenziali minacce informatiche. Queste possono essere di diverso tipo: possono minare sia l'incolumità e la privacy dei lavoratori, che le modalità e i processi di produzione, come può avvenire in casi di spionaggio industriale. A causa dell'elevata informatizzazione dei processi, un eventuale attacco informatico, ad esempio, consentirebbe di spegnere i macchinari di un certo impianto, causando una sostanziale perdita di tempo e denaro. Con Cybersecurity si indicano, pertanto, tutte quelle tecnologie, quei processi e quei sistemi necessari a proteggere collegamenti, dispositivi e dati da accessi non autorizzati; i dati confermano che un gran numero di attività manifatturiere sono colpite da attacchi informatici: per tale ragione, una rivoluzione 4.0 dell'industria non è possibile senza connessioni sicure.



- **Big data and Analytics**

Big data indica genericamente una raccolta di dati informativi così estesa in termini di volume, velocità e varietà da richiedere tecnologie e metodi analitici specifici per l'estrazione di valore o conoscenza. Il termine è utilizzato dunque in riferimento alla capacità (propria della scienza dei dati) di analizzare ovvero estrapolare e mettere in relazione un'enorme mole di dati eterogenei, strutturati e non strutturati (grazie a sofisticati metodi statistici e informatici di elaborazione), allo scopo di scoprire i legami tra fenomeni diversi (ad esempio correlazioni) e prevedere quelli futuri.



Il concetto di Big data ha acquisito uno slancio solo all'inizio degli anni 2000, quando l'analista di mercato Doug Laney ha articolato l'attuale definizione di Big data come "le tre V":

- ❖ **Volume**: le organizzazioni raccolgono dati da diverse fonti, tra cui transazioni commerciali, dispositivi intelligenti (IoT), apparecchiature industriali, video, social media e altro ancora. In passato i costi relativi all'archiviazione sarebbero stati un problema, ma oggi è decisamente più accessibile, grazie a piattaforme come i data lakes e Hadoop.
- ❖ **Velocità**: con la crescita dell'Internet delle Cose, i flussi di dati verso le imprese devono essere gestiti in modo tempestivo e a una velocità senza precedenti. Tag RFID, sensori e contatori intelligenti hanno portato la necessità di gestire questi fiumi di dati in tempo quasi reale.
- ❖ **Varietà**: I dati sono disponibili in tutti i tipi di formati, dai dati strutturati e numerici nei database tradizionali, ai documenti di testo non strutturati, e-mail, video, audio, dati di stock e transazioni finanziarie.

Con il tempo sono state introdotte altre “*due V*”:

- ❖ ***Variabilità***: Oltre a crescere in velocità e varietà, i flussi di dati sono imprevedibili, per cui cambiano spesso e variano di continuo. Sono la vera sfida per tutte quelle aziende che hanno bisogno di sapere quando qualcosa sta facendo tendenza sui social media e come gestire i picchi di dati giornalieri, quelli stagionali o basati sugli eventi.
- ❖ ***Veridicità***: La veridicità si riferisce alla qualità dei dati. Poiché i dati provengono da così tante fonti diverse, è difficile collegare, abbinare, pulire e trasformare i dati tra i sistemi. Le aziende hanno bisogno di collegare e correlare relazioni, gerarchie e collegamenti tra i dati. In caso contrario potrebbero andare rapidamente fuori controllo.

Capitolo II

Applicazioni Industry 4.0 per la Gestione del Settore Automotive

Il settore Automotive è da sempre un'industria caratterizzata da grandi volumi, elevati costi del prodotto e varietà delle componenti della distinta base. In pratica è un'industria con processi, prodotti e supply chain complessi e ad alta variabilità.

Di fronte alla crescente introduzione dell'elettronica nei processi produttivi e nei prodotti automobilistici, le multinazionali dell'auto hanno sperimentato e implementato una ridefinizione complessiva sia del loro processo produttivo, che del loro modello di business.

Per implementare la produttività, la redditività, la ripetibilità, la facilità d'uso e la soddisfazione dei dipendenti, sono state introdotti i *sistemi di produzione flessibile* (Flexible Manufacturing System FMS) ovvero sistemi di produzione intermedi tra la produzione per reparti e la produzione per linee dedicate, con l'utilizzo di veicoli *autonomi intelligenti* (AIV) e l'incorporazione IoT.

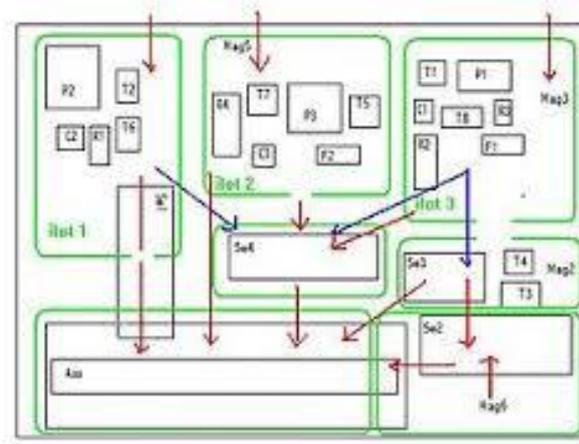
Il passaggio dalla produzione lineare a quella cellulare ha portato a svariati vantaggi, ma è l'uso della IoT che offre l'inclusione all'industria 4.0.

A tal proposito si schematizza la progressione dalla produzione tradizionale alla produzione intelligente dell'industria 4.0

❖ ***Produzione lineare sequenziale tradizionale*** → Molte aziende automobilistiche utilizzano un sistema di produzione sequenziale lineare, utilizzando sistemi di trasporto tradizionali per distribuire i prodotti attraverso il processo di assemblaggio. Il FMS è di tipo progressivo con il flusso del prodotto in un percorso unidirezionale di un sistema delineato. I componenti sono presentati all'inizio di una linea di assemblaggio, dove il flusso del prodotto avrà operazioni sequenziali completate da una serie di operatori specializzati sulla linea. Dove non c'è connettività cellulare con i trasportatori, gli operatori devono gestire i pezzi e distribuirli fisicamente nelle stazioni *Kanban* o nei carrelli. Inoltre, se c'è una distanza tra una stazione di lavoro e l'altra i carrelli devono essere caricati e spinti alla stazione successiva.

❖ ***Tipica produzione cellulare*** → La produzione cellulare è l'elemento pratico, che Kruger descrive come parte integrante, della Group

Technology (GT) che suddivide un insieme tecnologico, cioè un insieme di parti, in sottoinsiemi tra di loro simili chiamati famiglie. Il suo scopo è l'adattamento e la modifica di processi ad alta varietà e basso volume. La tipica produzione cellulare presenta un layout che razionalizza il flusso di materiale e riduce le attività che non aggiungono valore. Le pratiche di produzione cellulare avanzata promuovono cicli di vita più brevi dei prodotti offrendo allo stesso tempo un rapido time to market. Le varie celle sono collegate tramite un operatore o un trasportatore.



- ❖ **Produzione intelligente con tecnologie IoT** → La produzione intelligente nel settore automobilistico può essere resa possibile solo grazie al sostegno dell'IoT. È l'architettura computazionale che permette un'integrazione coerente dell'automazione per sviluppare

processi dinamici nell'industria 4.0; per questo IoT e sistemi cyber-fisici sono fondamentali per la raccolta dati. Questi processi descrivono l'integrazione orizzontale e offrono una maggiore flessibilità fornendo la conoscenza delle operazioni di produzione e del loro stato attuale che può essere anche condivisa.

Ciò offre un livello di apertura e chiarezza molto ampio. I dati provenienti dalle macchine rappresentano l'integrazione verticale; tali dati raccolti vengono inoltrati alla piattaforma industriale cloud e suddivisi in livelli per una migliore elaborazione. Questo processo informa gli operatori sul piano degli errori in modo che possano rispondere di conseguenza. Dunque, funziona come un sistema di feedback a circuito chiuso, che raccoglie e memorizza le informazioni durante tutto il processo di produzione. Viene così generata una documentazione in grado di accelerare la progettazione e lo sviluppo dei prodotti e semplificare un qualsiasi futuro cambiamento.

2.1 Elementi chiave per la gestione della produzione intelligente nel settore automotive

L'Internet of Things e il cloud utilizzano l'analisi dei Big Data, i sistemi informatici, l'intelligenza artificiale, la comunicazione 5G, i veicoli intelligenti autonomi e la smart production attraverso l'interconnessione di processi fisici e virtuali. I principali elementi che saranno sotto citati saranno la chiave di volta di una rivoluzione che sta modificando e che finirà per sconvolgere totalmente il settore dell'automotive, con l'obiettivo di raggiungere la smart production. Quest'ultima avrà tutte le sue macchine e i suoi dispositivi dotati di sensori intelligenti, consentendo la messa in rete e la condivisione dei dati raccolti che avranno un forte impatto positivo sulla produzione automobilistica.

Quando un'azienda decide di investire ingenti somme e competenze nella produzione cloud, sarà ripagata con una ricchezza della raccolta dati che aggiungeranno valore, quota di mercato, sicurezza delle macchine e del personale, manutenzione preventiva, redditività e infine la capacità di rispondere in maniera efficiente a qualsiasi cambiamento del mercato o del prodotto.

2.1.1 Big Data Analytics

Il Boston Consulting Group (BCG) indica come l'analisi dei dati di "*grandi insiemi di dati*" sia relativamente nuova per i contesti produttivi e descrive come le aziende stiano beneficiando della valutazione. Si riferiscono a miglioramenti e risparmi attraverso il monitoraggio delle apparecchiature, l'uso di energia e il controllo dei processi. Questi dati permettono di identificare precocemente i guasti attraverso la correlazione di tutti i dati.

I grandi dati sono necessari soprattutto per la diffusione dell'enorme massa di dati provenienti dai servizi di sistema e dal traffico. Essi devono successivamente sezionare i dati rilevanti per l'avanzamento dei guasti preventivi, la manutenzione, la produttività e la redditività nella produzione. Riconoscendo che, anche se l'analisi dei dati è costosa, le grandi imprese manifatturiere godono attualmente dei vantaggi dell'analisi, in quanto le loro borse e i loro bilanci la supportano.

Nella produzione l'analisi dei dati può coltivare le prestazioni industriali attraverso la *connettività di macchine, attrezzature, identificazione a radiofrequenza (RFID), codici a barre, prestazioni di mercato e profitti*.

2.1.2 Sistemi Cyber Fisici (CPS)

Il *CPS* è parte integrante della Industry 4.0 ed è descritto come una

connessione parallela con il mondo virtuale e fisico contemporaneamente per facilitare il processo decisionale decentralizzato.

Il sistema cyber fisico, quindi, è l'interazione tra i processi computazionali e i processi fisici. Le reti e i sistemi informatici embedded monitorano e controllano ogni struttura, solitamente grazie a meccanismi di retroazione (feedback loops) in cui i processi fisici influenzano quelli computazionali e viceversa. I CPS, dunque, rappresentano l'intersezione tra fisica e cibernetica: le due componenti non si possono comprendere se separate, ma esclusivamente nella loro interazione.

Il CPS può essere descritto come operante in una comunicazione decentralizzata, strutturata e non strutturata.

2.1.3 Intelligenza artificiale

I nodi dell'IA sono un'imitazione della *rete neurale* del cervello umano che replica i neuroni biologici.

L'IA si è sviluppata e si è evoluta grazie alla ricerca su larga scala nel campo dell'informatica e dell'apprendimento automatico attraverso “*potenti tecniche basate su macchine utilizzate per risolvere molti problemi del mondo*”.

In teoria l'IA è la clonazione e la rappresentazione dell'acume umano con

la capacità di mantenere la conoscenza appresa e applicata in future esecuzioni simulate. Il riconoscimento vocale è una delle componenti chiave dell'IA che spiega che l'apprendimento automatico incorpora anche *“il riconoscimento del volto, il riconoscimento degli oggetti visivi, il riconoscimento della scrittura a mano e la traduzione automatica”*.

È il desiderio e la necessità dell'IA nella maggior parte dei settori dipendenti dalla macchina che sta guidando la ricerca nell'area del deep learning. Si ritiene che sviluppando modelli interpretabili di apprendimento profondo e la creazione di nuovi algoritmi, si possano superare i limiti della previsione e del processo decisionale.

Li Deng cita *"Imparare a imparare è un potente paradigma di IA emergente ed è una fertile direzione di ricerca che dovrebbe avere un impatto sulle applicazioni di IA nel mondo reale"*.

2.1.4 Edge Computing

Edge computing utilizza il fringe networking piuttosto che i data center centralizzati, attraverso l'ottimizzazione di piattaforme aperte, creando *"connessioni agili, analisi dei dati tramite nodi edge e servizi cloud altamente reattivi"*.

L'Edge computing facilita il processo decisionale alla periferia della

fabbrica, più vicino alle macchine e ai dispositivi che operano in tempo reale.

L'Edge computing ha alleviato i problemi di sicurezza con la **latenza** dell'integrazione dei controlli per la produzione cloud. La latenza è un problema di sicurezza nella produzione in tempo reale, dove il tempo in movimento e la collaborazione con gli esseri umani è fondamentale. Si possono fare dei confronti con il monitoraggio incessante della salute nell'ambiente ospedaliero e il monitoraggio dei processi nella produzione, con la loro esplicita necessità di analisi in tempo reale e di trasmissione dei dati.

L'Edge computing comunica attraverso la **comunicazione a piattaforma aperta (OPC) nello strato intermedio dell'architettura**. Esso accelera la comunicazione tra i sistemi di esecuzione della produzione (*MES*), i controllori logici programmabili (*PLC*), le macchine intelligenti e i sensori attraverso l'ottimizzazione dei bordi.

È l'integrazione di nodi e reti edge che elaborano enormi quantità di dati che altrimenti verrebbero elaborati dal MES.

2.1.5 Comunicazione in rete nella produzione

L'Open Systems Interconnection (OSI) ha una funzione che utilizza un gateway per collegare un modello a sette strati per consentire la comunicazione macchina a macchina in modo autonomo tra sensori e dispositivi intelligenti. Ognuno dei sette strati ha un pacchetto con protocolli unici. La comunicazione di rete è la caratteristica essenziale chiave che lega l'IoT per l'implementazione di successo della produzione intelligente nel settore automobilistico.

I sette strati di comunicazione di rete dimostrano come i dati vengono inviati da un dispositivo all'altro, mantenendo una connettività in tempo reale, precisa e senza errori nelle applicazioni industriali automobilistiche.

Si afferma che le tradizionali reti di sensori wireless (WSN) sono *"un puro strumento di misura che permette solo di osservare l'ambiente, e i processi decisionali avvengono tipicamente al di fuori della rete"*.

Le WSN funzionano come un'applicazione middleware per l'avanzamento e il controllo dell'utilizzo dei sensori wireless. Espandendosi sul WSN mobile, si raggiunge una maggiore capacità di flessibilità nell'ambiente di produzione industriale automobilistico. Il WSN mobile viene utilizzato in tutto il settore industriale che funziona in modo efficace.

2.1.6 Comunicazione 5G

Third Generation Partnership Project (3GPP) è la **standardizzazione** delle telecomunicazioni da sette standard organizzativi ad un unico documento a sé stante. È dalla piattaforma del 3GPP che è stata prevista e studiata la visione del 5G.



Per infondere l'industria automobilistica nell'Industria 4.0, la comunicazione è la chiave per una connettività flessibile attraverso il concetto di comunicazioni 5G.

Il prerequisito di guida per il 5G è identificato come la necessità di bassa latenza, affidabilità, connettività, velocità di trasferimento dati e posizionamento ad alta precisione. Elevati livelli di automazione all'interno

dell'industria automobilistica richiedono il suddetto prerequisito come necessità di flessibilità autonoma.

La promessa di offrire connettività in tempo reale, soluzione a basso costo, produzione industriale adattabile e ridondanza del cablaggio hardwiring permetterà al settore automobilistico di evolvere nell'Industria 4.0. Si afferma che l'automazione all'interno di industrie in continua espansione ha motivato lo sviluppo della comunicazione 5G.

Nell'automazione, molti sensori possono essere remoti rispetto al piano della fabbrica, ma questi sensori devono essere reattivi, affidabili e operare in tempo reale. Questi possono essere accelerati attraverso il 5G.

La capacità di collegare migliaia di dispositivi attraverso l'ampia larghezza di banda del 5G è l'ingrediente fondamentale del successo proposto.

La larghezza di banda può essere paragonata ad un'autostrada a più corsie e i sensori rispetto ad un'auto intelligente simboleggiano quindi la grande capacità del 5G.

La preoccupazione maggiore è la sicurezza per il 5G all'interno della fabbrica o dei sensori/dispositivi. Con il crescente hacking informatico, ogni azienda deve, attraverso le reti IoT, difendersi da queste possibilità.

Le macchine all'interno dell'industria automobilistica lavorano con precisione, molte operano in remoto e molte sono robotiche collaborative. Le comunicazioni 5G miglioreranno l'automazione nella produzione ed è questa piattaforma di comunicazione che ha bisogno di una protezione superiore.

2.1.7 Produzione intelligente tramite l'interconnessione di processi fisici e virtuali

La *produzione virtuale* è uno strumento di sviluppo che permette a molti reparti del settore automobilistico di simulare il loro lavoro. Questo è un metodo per avere due sistemi che lavorano insieme con flessibilità e capacità massimizzate. L'approccio dei due sistemi visualizza gli errori che possono essere risolti con l'ottimizzazione.

Le interazioni tra il modello fisico e quello virtuale permettono allo stato fisico di creare aggiornamenti tangibili al modello virtuale, che verrà utilizzato come criterio di confronto.

Il modello virtuale fornisce *"ordini di controllo di feedback per far sì che il sistema fisico raggiunga il sincronismo con il processo predefinito"*.

Il *Manufacturing Execution System (MES)* nel settore Automotive è uno strumento fondamentale per mantenere la conoscenza di tutte le operazioni in tutta l'officina. È parte integrante dell'IoT.

La necessità del MES è necessaria per la continua amministrazione, il controllo e lo sviluppo dei processi di produzione. Ciò può essere realizzato a partire dal sistema fisico, attraverso l'elaborazione digitale del sistema virtuale.

2.1.8 Veicoli intelligenti autonomi

Autonomous Intelligent Vehicles (AIV) è un'area ben studiata negli ultimi anni. Le AIV sono gli ultimi elementi chiave per l'implementazione di successo della produzione intelligente per il settore automobilistico.

La tecnologia AIV è il pezzo finale del puzzle per promuovere e sostenere la flessibilità nel settore automobilistico. Offrirà in tempo reale, ripetibile, precisa ed eventualmente, dopo il payback, una soluzione a lungo termine per il flusso di prodotti a costi contenuti. L'AIV offrirà la possibilità di cambiare i processi e di consentire il cambio di prodotto, contrastando così qualsiasi costoso cambio di macchina e di layout delle macchine industriali.

Qualsiasi cambio di prodotto ha la possibilità di essere molto costoso nelle attuali operazioni di produzione se la flessibilità non è disponibile.

Gli AIV elimineranno l'uso della maggior parte dei trasportatori nei piani dell'officina, consentendo un maggiore accesso condiviso e passerelle.

Gli AIV abbinati alla comunicazione 5G e all'IoT garantiranno la produzione nei paesi ad alto costo del lavoro.

Promuoverà tutti gli aspetti della produzione, ad esempio la logistica, la flessibilità, l'efficacia globale delle attrezzature (OEE), la qualità, la produzione, il time to market e la soddisfazione del cliente.



Capitolo III

Il Caso Maserati



La Maserati è un'azienda italiana produttrice di automobili sportive di lusso fondata a Bologna, oggi con sede a Modena. Fino a qualche anno fa la produzione di Maserati era interamente affidata alla sede di Modena, dove le vetture venivano realizzate in modo completamente artigianale.

Ad oggi però, la società suddivide la propria produzione all'interno di tre stabilimenti diversi: a Mirafiori dove dispone di una linea dedicata a Levante, il primo SUV di casa Maserati; a Modena, storica sede Maserati, dove vengono prodotte GranTurismo e GranCabrio; a Grugliasco dove nascono Ghibli e la nuova Quattroporte.



Negli ultimi anni l'ingresso dello stabilimento di Grugliasco nel progetto Maserati ha portato ad una profonda revisione del processo produttivo, supportata da ingenti investimenti che hanno reso tecnologicamente all'avanguardia il plant Torinese.

La sfida affrontata dalla Casa del Tridente è a dir poco impegnativa in quanto prevede un notevole incremento del numero di unità prodotte, ma allo stesso tempo necessità di mantenere inalterati gli altissimi standard qualitativi che da sempre contraddistinguono le auto del marchio emiliano.

Senza dimenticare di uno degli aspetti per il quale il brand Maserati si contraddistingue ovvero l'altissima possibilità di customizzazione delle vetture.

Per rendere l'idea del livello di personalizzazione offerto, basti pensare che per il modello Quattroporte sono possibili circa 800.000 miliardi di combinazioni diverse considerando tutti i colori, le versioni, gli optional e gli interni disponibili.

Volumi elevati e customizzazione spinta si traduce in una mole non indifferente di informazioni da dover gestire e utilizzare nel modo corretto.

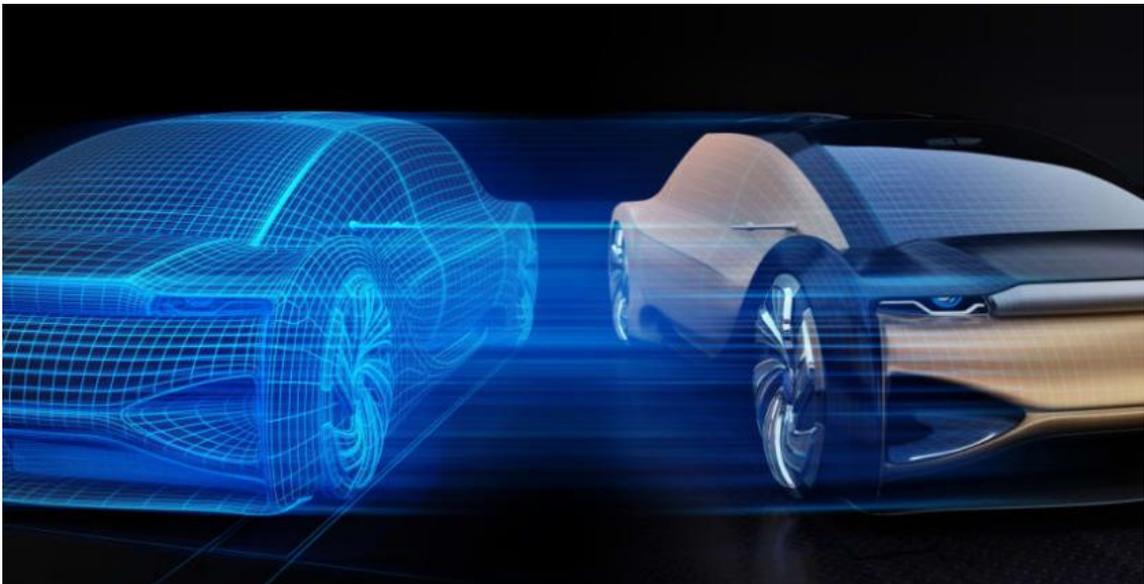
Avere accesso a una specifica informazione nel momento esatto in cui si richiede è la chiave per velocizzare la produzione andando a ridurre il time to market e il rischio di errori.

In quest'ottica all'interno dello stabilimento di Grugliasco è stato introdotto uno strumento informatico che consente di condividere su un'unica piattaforma sia il design del prodotto, sia il design del processo che andrà a generare quello specifico prodotto.

“Attraverso tale strumento possiamo creare quello che noi chiamiamo digital twin, ovvero un gemello digitale del modello reale sul quale effettuiamo simulazioni di varia natura” spiega Giuseppe Bramante.

La possibilità di poter simulare in anticipo qualunque processo e di

verificare l'effetto di modifiche significative all'interno di un ambiente virtuale condiviso con tutti i reparti e con partner esterni che forniscono porzioni delle linee produttive, permette di avere un riscontro di eventuali problemi antecedentemente alla realizzazione del modello fisico. Infatti, la modifica del Digital twin risulta più semplice, più veloce e meno dispendiosa rispetto alla modifica del modello fisico.



Il processo di digitalizzazione, dunque, ha portato cambiamenti a 360 gradi che hanno coinvolto l'intero stabilimento a tutti i livelli e in tutti i reparti, applicando così i concetti del World Class Manufacturing (WCM).

Il WCM è un sistema basato su una metodologia strutturata, rigorosa e integrata, che copre tutti i processi dello stabilimento, dalla sicurezza all'

ambiente, dalla manutenzione alla logistica, fino alla qualità. L'obiettivo è quello di eliminare gli sprechi, avere piena visibilità delle anomalie, azzerare le inefficienze. Più in generale migliorare l'efficienza del processo sotto tutti i punti di vista.

In quest'ottica la digitalizzazione rappresenta uno strumento imprescindibile per raggiungere tale obiettivo, poiché le metodologie utilizzate e il livello tecnologico raggiunti dalle linee di produzione Maserati non possono più prescindere dall'informatizzazione dei processi.

Gli strumenti digitali adottati in Maserati nello stabilimento di Grugliasco sono progettati e integrati in un'ottica Industry 4.0, dunque, sono la chiave per l'ottimizzazione dei costi, per lo snellimento della catena di produzione, per la velocizzazione e la gestione dei processi, ma soprattutto per avere un controllo in tempo reale del flusso produttivo.

La digitalizzazione, dunque, ha portato una serie di vantaggi alla produzione Maserati. Ad ogni modo, fedele alla tradizione che la identifica come azienda votata all'innovazione.

Conclusione e sviluppi futuri

In conclusione, quindi la Quarta Rivoluzione Industriale ha portato alla trasformazione digitale del sistema industriale, grazie ad una combinazione di tecnologie industriali come l'additive manufacturing e l'advanced automation e digitali come la IoT, il cloud computing e l'analisi dei Big Data. Gli impatti derivanti da una diffusione su larga scala del fenomeno sono ampi e profondi: le nuove tecnologie creano infatti le condizioni per lo sviluppo di modelli produttivi con meno vincoli rispetto a quelli posti dall'impiego delle tecnologie convenzionali.

Il settore manifatturiero e in particolare quello dell'automotive risulta essere in continuo sviluppo e ricerca costantemente il miglioramento di esso stesso in seguito alla grande competizione al livello globale.

Si prevede perciò che negli anni a venire ci sarà un'ulteriore rivoluzione, che riguarderà quella che chiamano la Collaborative Industry, ossia un modello di impresa caratterizzato dalla cooperazione tra macchine ed esseri umani, con il fine ultimo di dare un valore aggiunto alla produzione creando prodotti personalizzati che rispettino le esigenze dei consumatori.

Bibliografia

- CRONIN, Con; CONWAY, Andrew; WALSH, Joseph. Flexible manufacturing systems using IIoT in the automotive sector. *Procedia Manufacturing*, 2019, 38: 1652-1659.
- COHEN, Yuval, et al. Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms. *IFAC-PapersOnLine*, 2017, 50.1: 14958-14963.
- CABIGIOSU, Anna. 10 Industria 4.0: diffusione, applicazioni e rischi nel settore auto. 2018.
- THILMANY, Jean. Digital World Spawns Identical Twins. *Mechanical Engineering*, 2017, 139.10: 32-37.
- Definizione dell' Additive manufacturing (3D printing) – [Wikipedia.it](https://it.wikipedia.org/wiki/Additive_manufacturing)

- VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh.
Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 2018, 20: 233-238.
- RÜßMANN, Michael, et al. *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting Group, 2015, 9.1: 54-89.
- Definizione di Augmented Reality – [Wikipedia.it](https://it.wikipedia.org/wiki/Definizione_di_Augmented_Reality)
- CHENG, Guo-Jian, et al. Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing. In: 2016 international conference on information system and artificial intelligence (ISAI). IEEE, 2016. p. 407-410.
- KIBRIA, Mirza Golam, et al. Big data analytics, machine learning, and artificial intelligence in next-generation wireless networks. *IEEE access*, 2018, 6: 32328-32338.
- WANG, Lidong; WANG, Guanghui. Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and industry 4.0. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 2016, 6.4: 1-8.

- LEE, Jay, et al. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia Cirp*, 2014, 16.1: 3-8.
- Definizione del ciclo di vita del Machine Learning - SteelKiwi Inc.
- CHEN, Baotong, et al. Edge computing in IoT-based manufacturing. *IEEE Communications Magazine*, 2018, 56.9: 103-109.
- CALDERÓN GODOY, Antonio José; GONZÁLEZ PÉREZ, Isaías. Integration of sensor and actuator networks and the scada system to promote the migration of the legacy flexible manufacturing system towards the industry 4.0 concept. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2018, 7.2: 23.
- PÉREZ-LARA, Magdiel, et al. Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. *Wireless Networks*, 2018, 1-9.
- RAO, Sriganesh K.; PRASAD, Ramjee. Impact of 5G technologies on industry 4.0. *Wireless personal communications*, 2018, 100.1: 145-159.

- LEZZI, Marianna; LAZOI, Mariangela; CORALLO, Angelo.
Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. *Computers in Industry*, 2018, 103: 97-110.
- Significato e contestualizzazione delle Industry 4.0 - [Wikipedia.it](https://it.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0)
- MELL, Peter; GRANCE, Tim. Effectively and securely using the cloud computing paradigm. NIST, Information Technology Laboratory, 2009, 2.8: 304-311.
- Sistemi ciberfisici CPS – [Factory of knowledge.net](http://factoryofknowledge.net)