
UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE

Sede di FERMO



Tesi di Laurea in Ingegneria Gestionale

***-Confronto e valutazione tra digital twin simulation-based
and data driven-based-***

***-Comparison and evaluation between digital twin simulation-based
and data driven-based-***



Laureanda: Martina Sulpizio



**Relatore
Prof. Ing. Maurizio Bevilacqua**

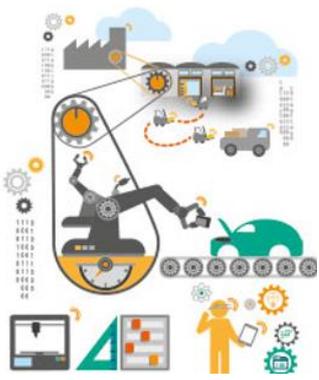
**Correlatore
Prof. Ing. Giovanni Mazzuto**

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

INDICE

0. INTRODUZIONE	4
1. NASCITA DEL DIGITAL TWIN	5
2. FASI DEL DIGITAL TWIN	7
3. DIGITAL TWIN IN ITALIA	10
4. PIATTAFORMA DI STEWART	14
5. LINGUAGGIO MODELICA	15
6. DELTA ROBOT	16
7. ROBOT PICK AND PLACE	18
8. METODI DI MODELLAZIONE	18
9. DIGITAL TWIN: Passaggio dal SEMPLICE al COMPLESSO	22
10. APPROCCIO AL MODELLO ONTOLOGICO	24
11. CARATTERISTICHE DI UN DIGITAL TWIN COMPLESSO	26
12. TECNICA: DIVISIONE-ASSEMBLAGGIO	30
13. ARCHITETTURA 4C	32
14. FASE DELL'ASSEMBLAGGIO	37
15. INTRODUZIONE ALLA METODOLOGIA DATA DRIVEN	49
16. PASSI FONDAMENTALI PER DIVENTARE UN'AZIENDA DATA-DRIVEN	51
17. DATA-DRIVEN DECISION MAKING: SPOTIFY	52
18. STRATEGIA DEL DATA - DRIVEN NEL MARKETING	54
19. APPROCCIO ALLA PRODUZIONE SOSTENIBILE ED INTELLIGENTE	59
20. CONFRONTO TRA I DIGITAL TWINS E LA METODOLOGIA DATA-DRIVEN	61
21. PROCESSI DI FUSIONE TRA DIGITAL TWIN E DATA DRIVEN	62
22. LIMITI DELLA NUOVA STRATEGIA PROPOSTA	64
23. NUOVI PARADIGMI PER I PRODOTTI AD ALTA INTENSITÀ ENERGETICA NELLE FABBRICHE DI PRODUZIONE	65
24. FUSIONE DELLE DUE TECNOLOGIE IN DUE AZIENDE CINESI	69
24.1 Focus Azienda A	70
24.2 Focus Azienda B	73
25. AGENDA 2030	79
26. ESITI DELLA FUSIONE	80
27. CONCLUSIONI	81
Bibliografia	86

0. INTRODUZIONE

<p>1784 INDUSTRIA 1.0</p> <p>Solo intervento umano</p>	<p>Nascita della macchina a vapore e conseguente meccanizzazione della produzione:</p> <ul style="list-style-type: none">• Iniziò in Inghilterra• Dall'artigianato alle fabbriche• Energia: acqua e vapore• Sfruttamento dei lavoratori	 <p>Fonte: CONCEPT & GRAPHICS by NetworldDigital360</p>
<p>1870 INDUSTRIA 2.0</p> <p>Riduzione dell'intervento umano</p>	<ul style="list-style-type: none">• Inizio intorno 1870• Prima catena di montaggio e produzione di massa• Energia: petrolio ed elettricità• Riduzione della forza lavoro necessaria	
<p>1970 INDUSTRIA 3.0</p> <p>Le macchine dipendono ancora dall'intervento umano</p>	<ul style="list-style-type: none">• Inizio intorno 1970• Digitalizzazione e automatizzazione• Computers, mobile, software, internet (dopo 1992), uso dell'elettronica e robotica.	
<p>2011 INDUSTRIA 4.0</p> <p>La maggior parte dei processi di produzione utilizza enormi quantità di dati e macchine intelligenti interconnesse che non dipendono da alcun intervento umano.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Attualmente in corso• Automazione completa e sistemi intelligenti• IoT, AI, BIG DATA, CLOUD COMPUTING, VR, STAMPA 3D, DIGITAL TWIN (2003)• Maggior enfasi sulla sostenibilità	

1.NASCITA DEL DIGITAL TWIN

Il DIGITAL TWIN è stato proposto per la prima volta da **Grievess** nel 2003, non destando grande attenzione in quel periodo. Tuttavia, con lo sviluppo della tecnologia dell'informazione, computer, hardware, sensori, big data, intelligenza artificiale e così via, la realizzazione del Digital Twin è diventata realtà.

Infatti nel 2012 la **NASA** ha riproposto il concetto del cosiddetto 'gemello digitale' e da lì sempre più università ed imprese hanno investito nella ricerca di questa nuova entità tecnologica.

Dal 2017 al 2019 il Digital twin è stato inserito da **Gartner** tra i primi dieci trend tecnologici e strategici, in quanto riesce a far collaborare ed unire il mondo reale con quello virtuale, ossia viene inteso come una mappatura di entità fisiche in uno spazio virtuale.



Consideriamo uno scenario in cui un'impresa decide di progettare un nuovo prodotto perché vuole ampliare il proprio catalogo o perché deve innovarsi cercando di rimanere concorrente nel mercato.

Tale processo è complesso e costoso, il primo prototipo che verrà costruito infatti avrà un assemblaggio con dei componenti che non saranno stati sviluppati e testati per lavorare insieme, quindi è probabile che si manifesteranno dei problemi più o meno gravi e per fare in modo che tutto funzioni correttamente si ha bisogno di un gran numero di risorse sia in termini economici che in termini di tempo.

E' possibile risolvere o evitare la maggior parte dei problemi convertendo tutti gli aspetti del progetto in un singolo modello virtuale che è appunto il DIGITAL TWIN.

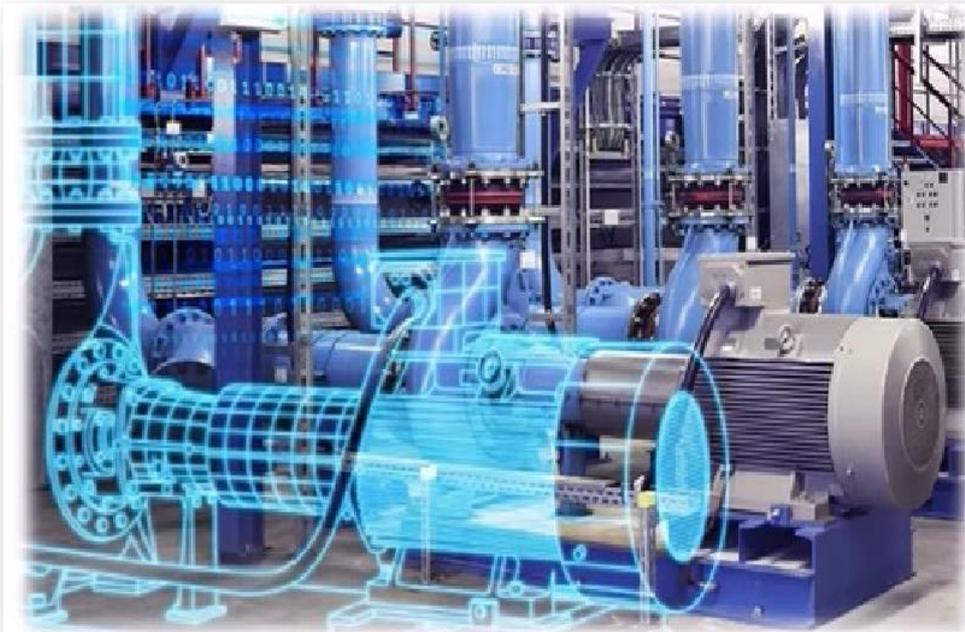
Tale novità non è altro che un'entità virtuale e si traduce in italiano "GEMELLO VIRTUALE". La parola gemello deriva dal fatto che esso è una replica identica in tutti gli aspetti al prodotto o al processo che si sta progettando, quindi è in grado di simularne non solo i comportamenti fisici, cioè MECCANICI, TERMICI,

ELETTRICI, ma anche tutti gli aspetti informatici come i SOFTWARE INTEGRATI, I PROTOCOLLI UTILIZZATI, I CONTROLLORI.

Nel caso in cui si tratti di un processo invece il Digital Twin descrive tutte le fasi della produzione e le varie operazioni che vengono eseguite, sempre con il fine di poterle simulare.

Essendo una copia esatta del prodotto, può essere usato per controllare dettagliatamente il suo funzionamento. La possibilità di emulare l'uso del prodotto, permette perciò di testarlo nelle diverse condizioni e per i diversi compiti per cui lo si sta progettando.

Testare il prodotto attraverso il Digital Twin consente di identificare i potenziali problemi e correggerli anche senza aver assemblato ancora nulla.



ASPETTI FISICI	ASPETTI INFORMATICI	ASPETTI GESTIONALI
• Meccanici	• Software	• Fasi di produzione
• Termici	• Protocolli	• Scheduling
• Elettrici	• Controllori	• Gestione risorse

Qualora il prodotto verrà assemblato e diverrà operativo, il Digital Twin non cesserà le sue funzioni ma le trasformerà. Entrerà in una sorta di simbiosi con la sua controparte reale, ossia una collaborazione in cui il gemello virtuale riceve dati dal campo, li elabora e restituisce importanti feedback alla sua controparte reale per migliorare il funzionamento. Con i dati raccolti inoltre si può monitorare ed ampliare un database di informazioni che potranno essere utilizzate in seguito per progetti futuri.

Quando si parla di prodotto si può pensare ad un qualsiasi oggetto fisico, nel campo manifatturiero o un macchinario industriale, un veicolo o un robot, mentre per quanto riguarda un processo si può immaginare uno sviluppo di produzione come una linea di assemblaggio.

2. FASI DEL DIGITAL TWIN

Il Digital twin nasce ed evolve lungo TUTTO IL CICLO DI VITA del prodotto, dalla sua progettazione fino al suo utilizzo.

Per ciascuna delle sue fasi (PROGETTAZIONE, PROTOTIPAZIONE, PRODUZIONE, UTILIZZO), l'entità virtuale fornisce una serie di vantaggi:

- Nella FASE DI PROGETTAZIONE aiuta a definire il design preliminare del prodotto;
- Nella FASE DI UTILIZZO aiuta ad ottimizzare e monitorare vari aspetti del prodotto;

Entriamo nel dettaglio su alcuni dei vantaggi, partendo dalle prime fasi del ciclo di vita del prodotto, quindi la PROGETTAZIONE e la PROTOTIPAZIONE: quando si avvia un nuovo progetto, può non esser chiaro ancora quale sia il risultato che si vuole ottenere, nel caso sia la commessa di un cliente, è normale che quest'ultimo non sia in grado di dare delle specifiche dettagliate inizialmente, verranno definite infatti man mano che il progetto viene portato avanti. Durante questo percorso che può essere lungo e complesso, è molto facile commettere errori, soprattutto quando il progetto in questione è innovativo e l'esperienza a riguardo non è ben consolidata. Gli errori si possono manifestare anche nelle fasi più avanzate del progetto, la loro correzione a quel punto può richiedere elevati costi e causare alcuni ritardi. Per fare un esempio durante lo sviluppo di un nuovo macchinario, ci si può accorgere dell'incompatibilità di due componenti solo quando questi vengono assemblati inizialmente nel primo prototipo, oppure si può supporre che il macchinario in questione non sia in grado di soddisfare le performance richieste dal cliente, perché è stato sottodimensionato e tutta la parte di un progetto deve essere ricostruita dal principio.

Un esempio invece riguardante un processo con una linea di evoluzione, un possibile problema potrebbe essere dato da un'operazione della linea eccessivamente lenta, che causa un collo di bottiglia e rallenta quindi l'intera produzione. Quando problemi del genere vengono identificati tardi, porre rimedio sarà tutt'altro che semplice. Spesso intere parti di progetto devono essere rivisitate e riassemblate, sarebbe opportuno quindi simulare il comportamento del prodotto o del processo già dalle prime fasi, in modo tale da analizzare come le varie scelte che vengono prese influiscono sul funzionamento finale del prodotto/processo.

Così che si potrà identificare subito eventuali problemi e correggerli prima ancora che questi siano costruiti. Eseguire modifiche su un modello virtuale è sicuramente più agevole che su un prototipo fisico, in quanto si ha la possibilità di simulare ed eseguire test efficacemente e rapidamente, ma anche in totale sicurezza.

Infatti nulla si può rompere, nessuno si può fermare durante l'utilizzo di un modello virtuale, cosa che invece potrebbe accadere durante l'impiego di una macchina reale.

Ad esempio se volessimo testare se un motore è più performante di un altro per una certa applicazione, non sarebbe necessario acquistare il motore da un venditore e montarlo fisicamente su un prototipo e poi eseguire il test sul prototipo, sarebbe sufficiente scaricare ed eseguire il download del modello del motore in questione dal sito del suo venditore ed inserirlo nel nostro Digital Twin e ripetere la simulazione con esso, per verificare se il motore che si sta valutando sia migliore o peggiore di quello precedente.

Inoltre grazie al gemello virtuale possono essere effettuati dei test che non sarebbero possibili su un prototipo fisico, come ad esempio i test di durata.

Una simulazione di poche ore permette di mostrare ad esempio gli effetti degli anni di utilizzo del prodotto e ciò consente così di studiare aspetti come l'usura dei componenti, l'invecchiamento ed il calo delle prestazioni.

Tutte queste potenzialità appena elencate, se vengono adeguatamente sfruttate, permettono di ottenere significativi risparmi economici e di ridurre notevolmente i tempi di sviluppo del progetto.

Non secondariamente il Digital twin permette anche di coinvolgere meglio i clienti, in quanto consente di mostrare l'anteprima del prodotto e di come il progetto procede ed in alcuni casi è possibile utilizzarlo per il training del personale (formazione professionale).

Passiamo ora a considerare le ultime fasi che sono state identificate come PRODUZIONE ed UTILIZZO.

In queste fasi il concetto di gemello virtuale si realizza completamente, la parola gemello deriva dal fatto che esso non solo è in tutto e per tutto identico al prodotto originale ma anche che le due entità esistono e lavorano a stretto contatto. Supponiamo che i due gemelli vivano in simbiosi tra loro, la collaborazione tra i due avviene in questo modo:

Il Digital Twin riceve in continuazione i dati dal suo gemello reale, esegue simulazioni in tempo reale e segnala ogni deviazione tra il comportamento che ci si aspetta dalla riproduzione e quello che viene misurato effettivamente dai sensori. Ogni deviazione può rappresentare un malfunzionamento, il fatto che questo venga prontamente segnalato può prevenire un guasto anche grave e questa procedura viene definita come MANUTENZIONE PREDITTIVA.

Per fare un esempio immaginiamo che il Digital Twin identifichi una rilevazione meccanica anomala, quest'ultima potrebbe rappresentare l'imminente rottura di un componente meccanico, la prevenzione di tale rottura eviterebbe danni ad altri componenti. Se invece pensiamo che venga individuato solo un riscaldamento di un motore, ciò potrebbe significare la presenza di attriti, quindi ad esempio mancanza di lubrificante, oppure semplicemente il sistema di raffreddamento non funziona più adeguatamente perché è ostruito da qualcosa ed è sufficiente pulirlo per ripristinare il corretto funzionamento del macchinario.

In quest'ultimo esempio è evidente come un intervento banale di pulizia, eseguito tempestivamente, può evitare che il motore si guasti e che l'impresa lo sostituisca con uno nuovo.

Se pensiamo inoltre che il motore in questione non sia affatto economico, che i tempi di consegna sono di diverse settimane e l'attesa della consegna causerebbe un fermo della produzione, è evidente l'utilità di disporre di un'entità virtuale.

Il Digital Twin lungo il ciclo di vita del prodotto



Un altro utilizzo del Digital Twin riguarda l'ottimizzazione del processo o dell'impiego del prodotto. Può essere usato per testare come la variazione di un set di parametri ha effetto sul funzionamento del prodotto o processo.

Si possono così identificare i parametri più adatti per un determinato scopo, per poi utilizzarli.

Nel caso di una linea di produzione, tramite la simulazione, si possono fare stime accurate della produzione in questione e si possono in alcuni casi prevedere la qualità finale dei prodotti.

Infine tutti i dati che vengono raccolti dal gemello digitale durante il suo utilizzo non vengono persi, ma rimangono in un database e costituiscono una preziosa fonte di informazioni che può essere sfruttata per progetti futuri.

Come ad esempio possono essere utilizzati per quello che prende il nome di DIAGNOSTICA REMOTA.

Consideriamo lo scenario dove un macchinario utilizzato da un'impresa ha un guasto e si ferma, l'impresa contatta immediatamente il produttore del macchinario e richiede assistenza.

A seguito della chiamata il produttore dovrà inviare un tecnico in trasferta affinché identifichi il problema e lo risolva. Nel caso si debba effettuare un cambio, i pezzi dovranno essere ordinati, attendere che vengano consegnati e se è necessario una seconda trasferta del tecnico per completare la riparazione. In uno scenario del genere i costi della riparazione sono molto elevati ed i tempi richiesti lunghi. Se esistesse un'entità virtuale del macchinario in questione, il produttore avrebbe a disposizione tutti i dati relativi del suo funzionamento e sarebbe in grado di identificare il guasto da remoto, senza nessuna trasferta di un tecnico.

Nel caso in cui il guasto fosse di lieve entità, il produttore può istruire il cliente affinché lo risolva autonomamente. Ad esempio potrebbe semplicemente indicare al cliente una procedura descritta nel manuale dell'impianto che permetterebbe di risolvere il problema. Nel caso invece in cui servisse necessariamente l'intervento di un tecnico specializzato, quest'ultimo partirebbe già conscio di dove si trova il guasto e di come ripararlo.

RICHIESTA ASSISTENZA TECNICA	
FASI TIPICHE	FASI con DIGITAL TWIN
Produttore	Guasto identificato da remoto
Tecnico prima trasferta	Tecnico unica trasferta
Ordine pezzi ricambio	
Tempi di attesa della consegna	
Tecnico seconda trasferta	

Infine nel caso in cui avessimo pezzi di ricambio, questi sarebbero stati ordinati preventivamente e sarebbero già disponibili dalla prima trasferta del tecnico. Quindi grazie al gemello digitale i tempi ed i costi della riparazione si riducono drasticamente.



3.DIGITAL TWIN IN ITALIA

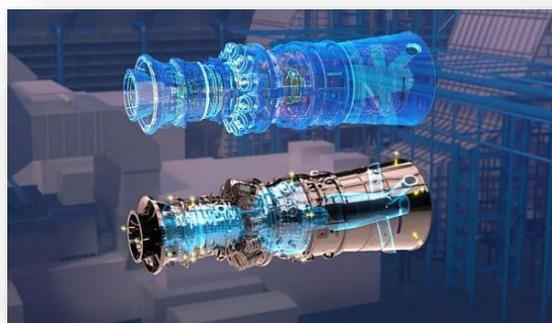
I Digital Twins non si sono diffusi in Italia negli ultimi anni, alcune grandi imprese li utilizzano già da tanto tempo, nel settore energetico per esempio vengono impiegati da anni per rendere più efficienti le pale eoliche e le turbine a gas, quindi per aumentare le energie che producono. È impensabile che il funzionamento di una pala eolica rimanga costante nel tempo, infatti l'usura e l'invecchiamento delle sue parti causano una naturale perdita di efficienza e quindi si manifesta sempre una deviazione del meccanismo della pala eolica. L'entità di questa deviazione dipende da numerosi fattori, sicuramente le condizioni in cui la pala eolica viene utilizzata ed il tipo di impiego che ne viene fatto sono determinanti. Tuttavia grazie al supporto del Digital Twin tante situazioni possono essere controllate oppure evitate.

Nel settore dei trasporti invece il gemello virtuale è usato per monitorare lo stato delle turbine degli aerei, ossia per individuare problemi e possibili guasti tramite manutenzione palliativa.

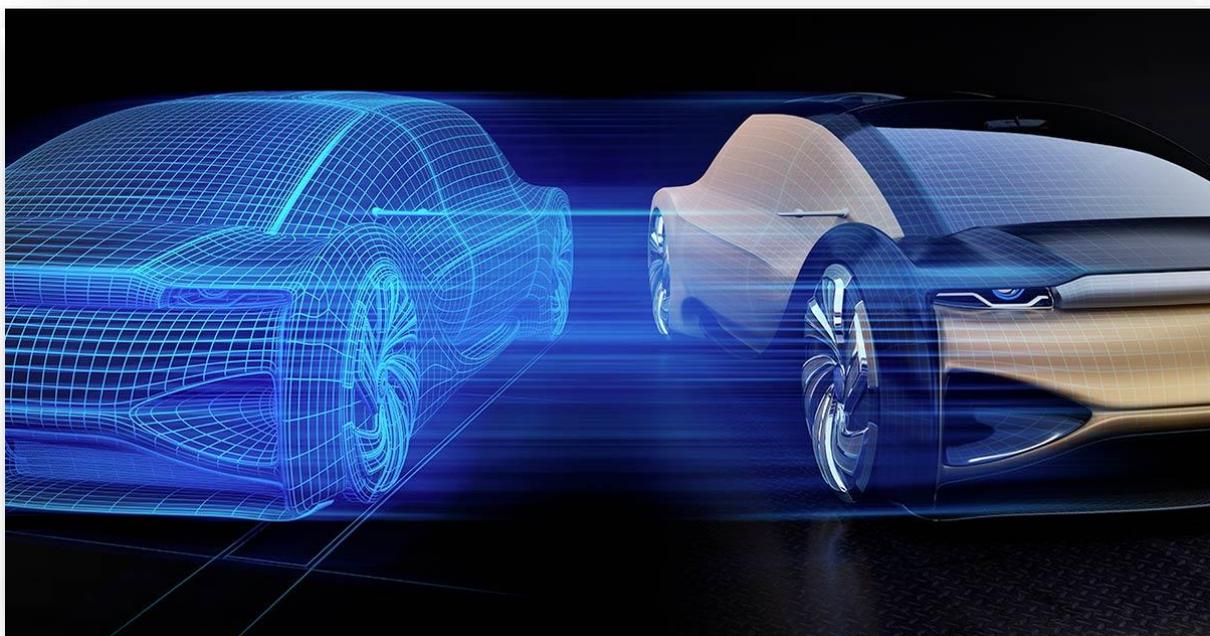
Un ulteriore esempio, pensiamo ad un oggetto più comune come ad un'automobile: se il proprietario la utilizza solo la domenica, l'auto ovviamente si mantiene nuova a lungo; se invece il proprietario l'adopera quotidianamente, magari anche per lunghi viaggi, si deteriorerà molto più rapidamente.

Ecco perché ciascun esemplare di prodotto, parlando in termini generici, in questi esempi ciascuna pala eolica, ciascuna automobile e così via, dovrà essere dotato di un Digital Twin personale, che si modificherà nel tempo, come la sua controparte reale, per rimanere sempre aggiornato ed allineato con il suo gemello reale. Non esiste quindi un unico modello per tutti i tipi di prodotto, ma ciascun singolo esemplare avrà il suo gemello virtuale personale, che non sarà statico ma cambierà anche esso nel tempo e si aggiornerà. Questo aggiornamento avviene in automatico ancora una volta grazie all'elevato numero di dati di cui il gemello digitale dispone e che vengono forniti in continuazione dai sensori. Per tale processo, l'intelligenza artificiale diventa un potente alleato.





Turbina aereo



Automobile



Pale Eoliche

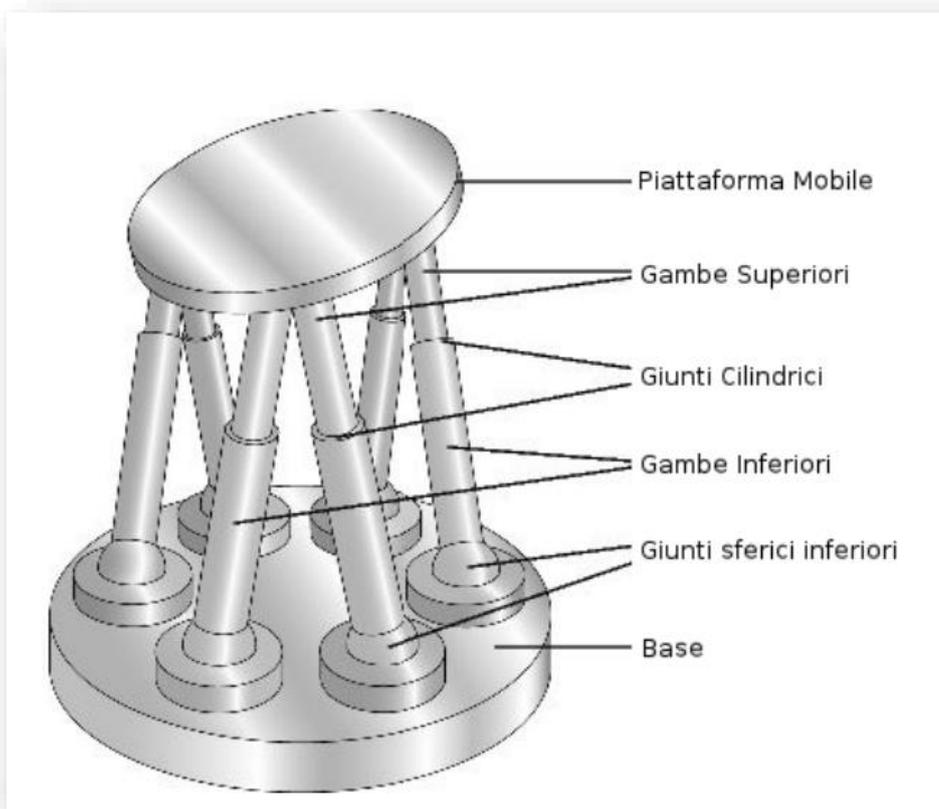
I gemelli digitali non sono solo utilizzati dalle grandi società, negli ultimi periodi si stanno diffondendo rapidamente anche nelle piccole e medie imprese; numerosi sono infatti i software anche gratuiti tramite cui è possibile digitalizzare i prodotti, non è sempre necessario effettuare tale operazione su un intero ciclo di vita di un prodotto, ma a seconda delle esigenze, il gemello può essere impiegato in alcune fasi piuttosto che in altre.

Un altro esempio di parallelismo tra l'oggetto reale e quello virtuale: la macchina utensile esegue un'operazione ed il Digital Twin, il suo personale, potrebbe essere utilizzato per prevedere la qualità finale del prodotto, oppure per monitorare il processo. Immaginiamo che l'entità virtuale identifichi una rilevazione anomala, questo potrebbe significare che l'utensile si è danneggiato e che deve essere sostituito.

Cambiare l'utensile per tempo può evitare che il pezzo che si sta lavorando venga scartato e che l'intero processo debba essere ripetuto dall'inizio.

4. PIATTAFORMA DI STEWART

Ora presentiamo un caso pratico del Digital twin: la simulazione di manipolatori paralleli, ovvero robot a CATENA CINEMATICA CHIUSA, in particolare la PIATTAFORMA DI STEWART.

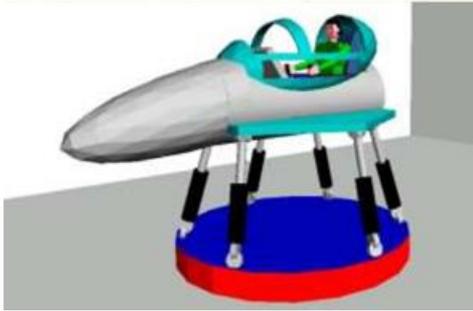


Tale piattaforma è un tipo di manipolatore parallelo a 6 gradi di libertà, composta da 6 attuatori lineari che muovono una tavola nello spazio.

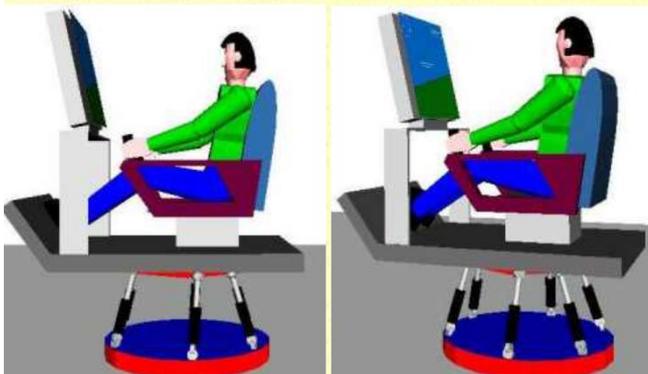
Grazie ai numerosi gradi di libertà, la tavola può essere posizionata in qualsiasi luogo nello spazio con un qualsiasi orientamento.

Si evince che viene perciò impiegato per il posizionamento ed il controllo del movimento: il dispositivo è composto da due piastre unite da sei gambe regolabili che ne consentono la regolazione ed il controllo con precisione. Sebbene originariamente adoperata per testare gli pneumatici, la piattaforma ha presto trovato applicazione nei settori aerospaziale, automobilistico e delle lavorazioni meccaniche. Tuttavia è conosciuta maggiormente per fornire il movimento preciso richiesto dai simulatori di volo.

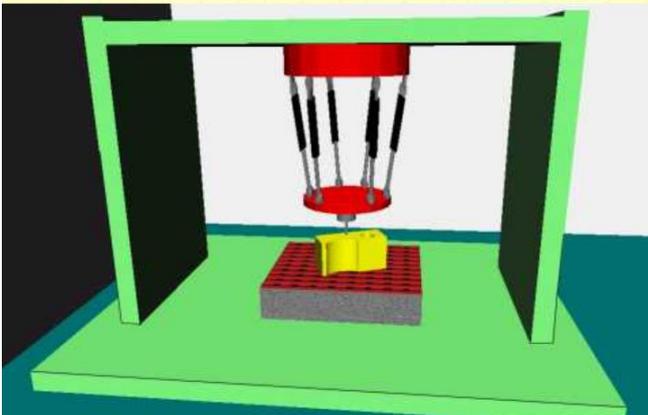
APPLICAZIONI della piattaforma



L'impiego della piattaforma di Stewart come mezzo di movimentazione di una sezione d'aereo



Simulazione delle condizioni di funzionamento di un generico veicolo volante, terrestre, natante o subacqueo che trasmette all'utilizzatore le corrette sensazioni fisiche, coerentemente con le manovre eseguite durante la simulazione.



Schema di una possibile applicazione della piattaforma di Stewart per operazioni di fresatura

5. LINGUAGGIO MODELICA

Per questo tipo di progetto è stato utilizzato MODELICA, un linguaggio NON PROPRIETARIO, quindi gratuito, orientato sugli oggetti e sulle applicazioni con cui è possibile modellare i sistemi fisici complessi e composti a loro volta da sottosistemi caratterizzati da una ventina di tipologie diverse tra di loro.

Un modello perciò può includere al suo interno sotto modelli che descrivono ciascuno parti meccaniche, piuttosto che parti elettriche o elettroniche che interagiscono tra di loro, queste interazioni implicano spesso aspetti logici, di controllo o di processo.

Il progetto ha ottenuto dei modelli che sono stati utilizzati con successo per lo studio di una serie di fattori, tra cui appunto lo studio dell'area di lavoro della piattaforma di Stewart.

L'area di lavoro è costituita da tutti i punti dello spazio raggiungibili dalla piattaforma, essendo quest'ultima un manipolatore a 6 gradi di libertà.

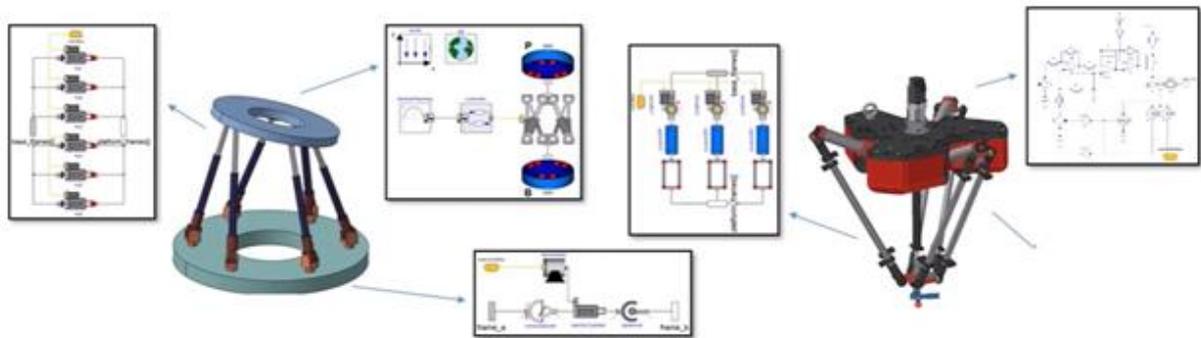
Analiticamente l'analisi dell'area di lavoro della piattaforma di Stewart è complessa da svolgere, ma grazie ad un simulatore questo compito può essere eseguito in modo molto più agevole.

MODELICA: un esempio di strumento gratuito

Modelica® è un :

linguaggio non proprietario con cui è possibile modellare sistemi fisici complessi

composti da sottosistemi meccanici, elettrici, elettronici, idraulici, termici, di controllo o di processo



6. DELTA ROBOT

I modelli sono stati sviluppati con un buon esito e dopo aver verificato il corretto dimensionamento degli attuatori scelti per i due manipolatori, nel caso del Delta Robot, è stato possibile prevedere la massima velocità per l'operazione del PICK AND PLACE (tecnica che prevede di raccogliere un oggetto da un punto per depositarlo in un altro).

Un Delta Robot è costituito da tre bracci collegati da giunti universali alla base: la caratteristica chiave del design è l'uso di parallelogramma nei bracci, che mantengono l'orientamento del dispositivo di estremità. Al contrario della piattaforma di Stewart che può cambiare l'orientamento del suo dispositivo della parte estrema.

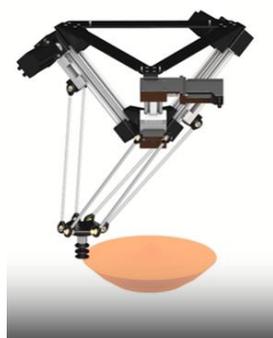
DELTA ROBOT



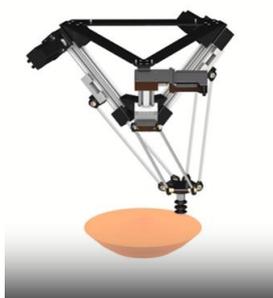
Fase iniziale



Quando un robot a geometria delta è dotato di una pinza o di una ventosa, può completare le operazioni di prelievo molto rapidamente. I delta robot possono essere utilizzati per applicazioni con requisiti di precisione di 0,5 mm, carichi fino a 5 kg e velocità massime fino a 3 m/s. La maggior parte dei delta robot è realizzata con i polimeri tribologicamente ottimizzati, con una notevole riduzione dei costi, ossia tutti i problemi che possono presentarsi nel moto relativo tra superfici interagenti sottoposte a carico sono stati ridotti.



Fase intermedia

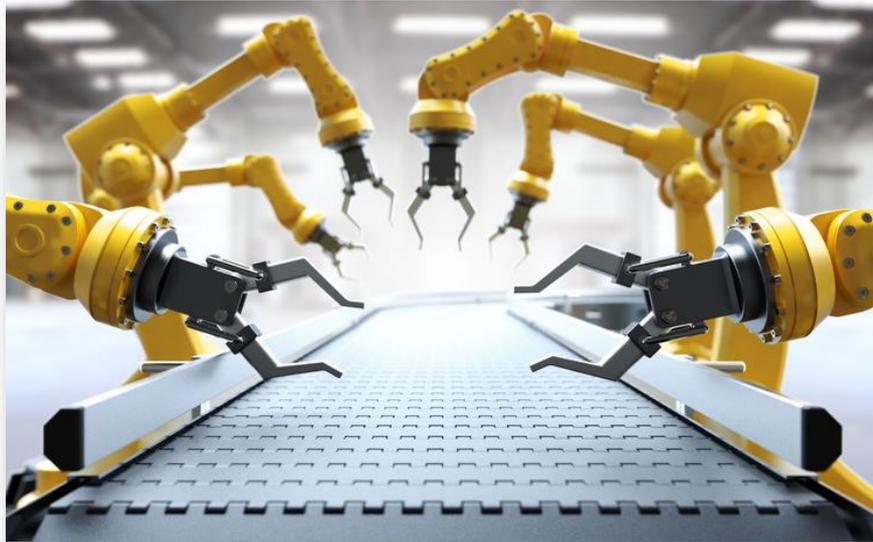


Fase Finale

7. ROBOT PICK AND PLACE

Una delle macchine più utilizzate nell'automazione industriale è senza dubbio il ROBOT PICK AND PLACE: rappresenta una delle trasformazioni fondamentali della moderna realtà produttiva, consente un ripensamento ed un coordinamento dei cicli operativi, la cui logica è quella di ottimizzare i processi, automatizzandoli al massimo ed aumentandone l'agilità.

Tali robot sono utilizzati in molti settori, tra cui quello automobilistico, elettronico, farmaceutico ed alimentare; possono far risparmiare denaro alle aziende ed allo stesso tempo migliorare l'efficienza, aumentare la produttività, ridurre gli errori e contribuire a garantire il controllo della qualità.



8. METODI DI MODELLAZIONE

Per quanto riguarda il processo di implementazione del gemello digitale, i metodi di modellazione hanno avuto un ruolo chiave ed alcuni studiosi hanno fatto scoperte rilevanti durante la loro creazione ed esecuzione.

Grievess ha proposto che il gemello digitale sia costituito da spazio reale, spazio virtuale e da collegamenti per il flusso di dati tra i due spazi.

Tao ha suggerito un modello a cinque dimensioni del Digital Twin, un'entità fisica, un'entità virtuale, un sistema di servizi, un sistema dati ed una rete di connessione. L'entità virtuale include un modello geometrico, un modello fisico, un modello comportamentale ed un modello che contiene principi.

Zhuang ha analizzato il concetto di gemello digitale e l'approccio alla sua implementazione suddividendolo in diverse fasi, ossia "un ciclo di vita".

Alam ha presentato un modello di riferimento del Digital Twin, costituito da elementi fisici, cibernetici ed ibridi per fornire così una struttura di base generale.

In ogni caso, negli ultimi anni, questa nuova entità virtuale è stata ampiamente applicata a vari settori, tra cui:

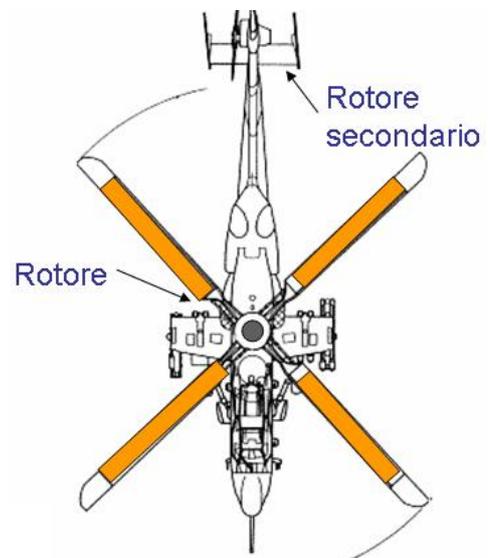
- L'aerospaziale;
- La produzione di macchinari;
- Il medico;
- La navigazione;
- Le costruzioni urbane.

La produzione di macchinari è uno dei più importanti campi di applicazione dei Digital Twins.

Cimino ha voluto esaminare anche lui questo strumento innovativo, la sua applicazione nella produzione, le caratteristiche, le funzionalità del sistema ed il suo assemblaggio.

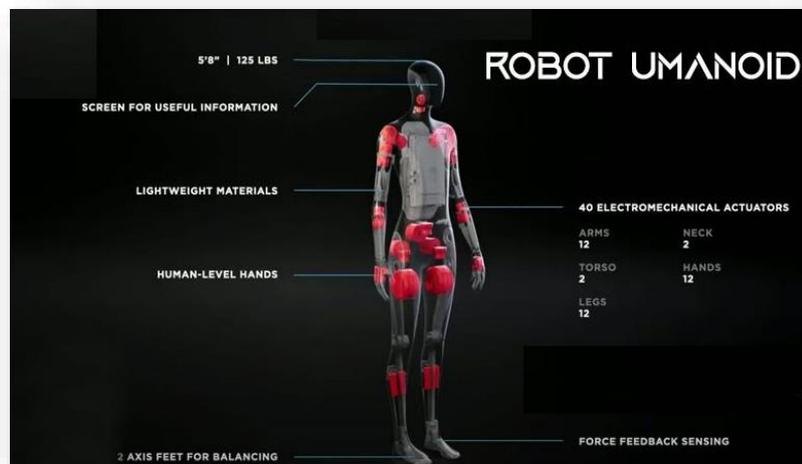
Studiando la definizione, le tecnologie abilitanti e l'architettura del Digital Twin, **Stavropulos** ha invece suddiviso le applicazioni nell'industria 4.0 in basso, medio, alto livello.

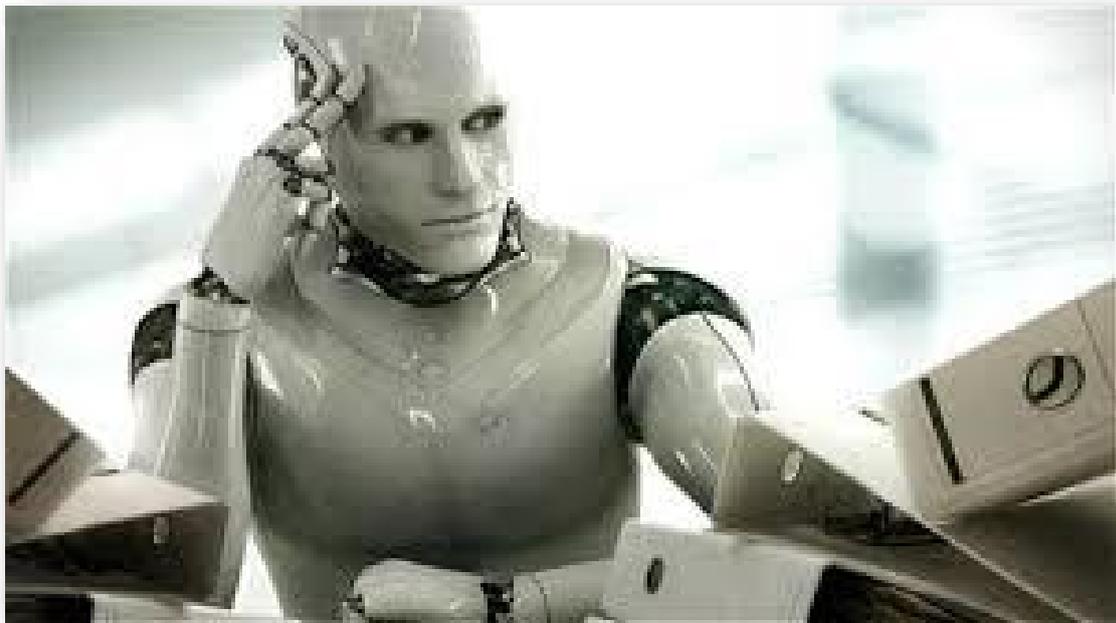
Duan ha sviluppato il sistema di un gemello digitale per testare l'attrezzatura del rotore a pale basato su Unity3D e realizzare un monitoraggio dei dati in tempo reale.



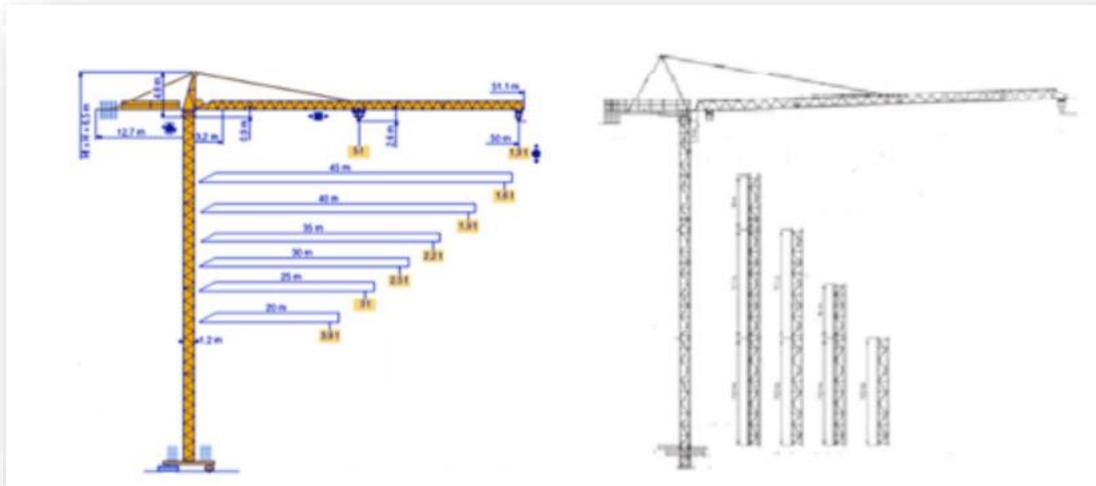
Ritto utilizzerà invece un modello computazionale basato sulla fisica ed una macchina di apprendimento per rilevare i danni nelle strutture.

L.v. ha proposto un robot umano come Digital Twin, con un quadro di montaggio basato sul riconoscimento delle immagini e tecnologie di apprendimento per migliorare l'efficienza dell'assemblaggio e della sicurezza.

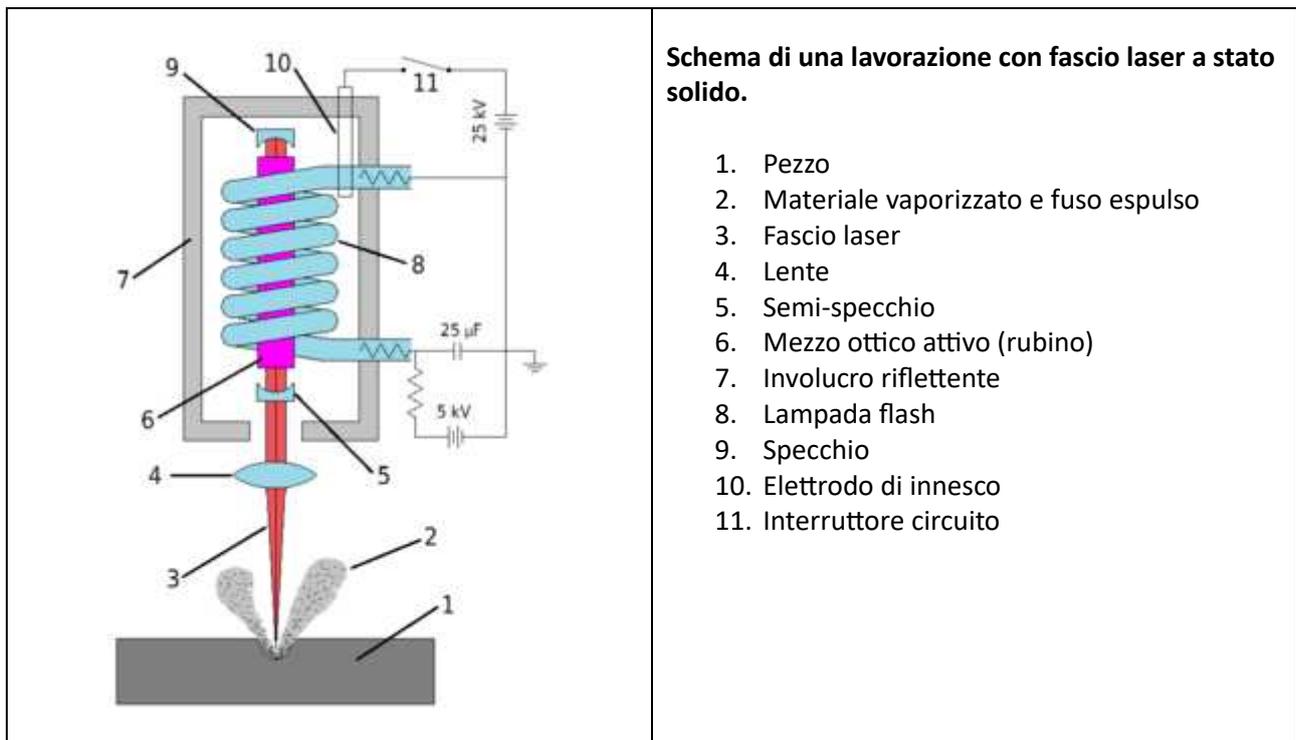




Lai ha definito ed utilizzato un modello analitico per monitorare la deformazione, lo stress ed il carico di una gru a braccio.



Ulteriormente Stavropulos ha poi adoperato il gemello digitale per garantire un elevato controllo del processo manifatturiero e per la simulazione dell'ultraveloce processo di asportazione di materiale con il laser.



In sintesi, prima di realizzare un modello utile a costruire un Digital Twin, si dovranno effettuare i seguenti passaggi:

- Determinare i contesti applicativi;
- Analizzare i requisiti funzionali;
- Distribuzione dell'hardware e del software di sviluppo;

Infine ci sarà quindi la messa in servizio e l'implementazione dell'entità virtuale.

9. DIGITAL TWIN: Passaggio dal SEMPLICE al COMPLESSO

Ci sono molti modi per sviluppare i componenti di un gemello digitale, anche gli strumenti e le piattaforme impiegate dagli sviluppatori sono diverse. Tali diversità portano a delle difficoltà di interazione tra i vari modelli che servono ad assemblare un Digital Twin.

Attualmente, di fronte alle novità che riguardano le multidimensionali applicazioni del gemello digitale, si definirà un tipo di Digital Twin COMPLESSO, questo perché non è facile avviare la modellazione, l'intero processo e l'intero business di tale gemello in una sola volta.

In parte perché conseguire la modellazione in scala reale dalla MACRO alla MICRO composizione e sviluppare la potenza di calcolo in un unico livello è praticamente impossibile, figuriamoci delle multidimensionali applicazioni.

Alcuni studiosi stanno cercando di costruire un metodo standard per la modellazione del gemello digitale complesso, così da riuscire a simulare, prevedere ed ottimizzare un comportamento in multi-scala e multi-contesto.

Wang ha proposto un nuovo modello per internet, riguardo il settore industriale, basato sulla multi-granularità gerarchica del Digital Twin. In informatica, la granularità si riferisce ad un rapporto tra calcolo e comunicazione, ma anche in senso classico alla suddivisione di compiti più grandi in compiti più piccoli e più finemente delegati.

Applicando quest'ultimo concetto perciò vengono realizzati diversi tipi di modello con percezioni ed oggetti di controllo differenti; la loro struttura sarà caratterizzata da una suddivisione in livelli, dove i livelli più bassi cooperano per completare la produzione dei livelli più alti.

Pan ha scisso il sistema logistico della produzione in tre livelli e sfruttato il **Cloud-fog-edge**, basato su una struttura di controllo, per il monitoraggio in tempo reale di tutte le possibili decisioni ed azioni da intraprendere.

Il **Cloud** indica un'erogazione di servizi offerti su richiesta da un fornitore ad un utente 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 da remoto sotto forma di architettura distribuita.

Il **Fog** è un'architettura orizzontale, a livello di sistema, utile a distribuire senza soluzione di continuità risorse e servizi di calcolo, immagazzinamento di dati, controllo e funzionalità di rete sull'infrastruttura che connette il Cloud all'Internet of Things (IoT).

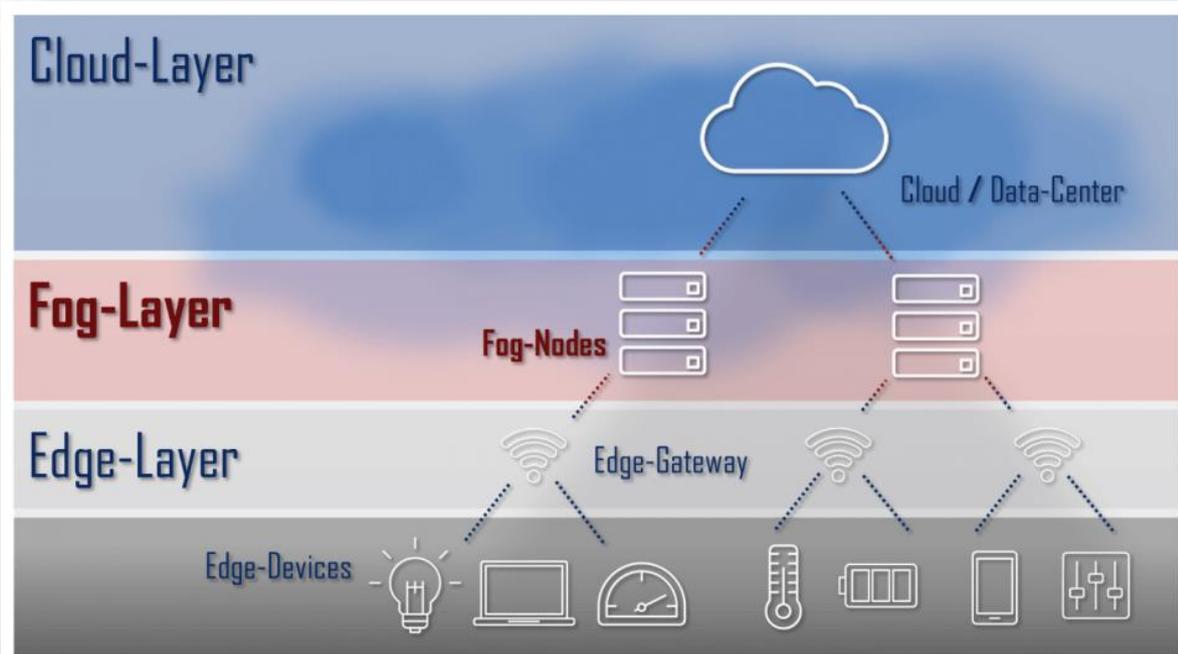
Rappresenta al tempo stesso un'estensione ed un miglioramento del paradigma Cloud in supporto alle applicazioni dell'IoT che devono rispettare precisi parametri di Qualità di Servizio (QoS) per essere processati, ossia la latenza e la banda disponibili per una certa connessione.

L'**edge** è un modello di calcolo distribuito nel quale l'elaborazione dei dati avviene il più vicino possibile a dove questi vengono generati, migliorando i tempi di risposta e risparmiando sulla larghezza di banda. Tale processo porta considerevoli vantaggi in termini di latenza di elaborazione, riduzione del traffico dati e maggior resilienza in caso di interruzione nella connessione dati.

Se un'azienda utilizza delle soluzioni poco performanti per una qualsiasi delle finalità appena descritte, potrebbe essere proficuo prendere in considerazione l'approccio del Cloud-fog-edge, dato che i vantaggi sarebbero davvero notevoli e gli eventuali costi iniziali sarebbero subito ammortizzabili.

SERVIZI OFFERTI dal CLOUD-FOG-EDGE

- Smart working
- Conservazione dei dati
- Lavoro multiutente condiviso
- Testing e compilazione delle applicazioni
- Trasmissione in streaming
- Fruizione di software on demand



	Cloud	Fog	Edge
Latency	Highest	Medium	Lowest
Scalability	High, easy to scale	Scalable within network	Hard to scale
Distance	Far from the edge	Network close to the edge	At the edge
Data analysis	Less time-sensitive data processing, permanent storage	Real-time, decides to process locally or send to cloud	Real-time, instant decision making
Computing power	High	Limited	Limited
Interoperability	High	High	Low

10. APPROCCIO AL MODELLO ONTOLOGICO

Fino a qui perciò abbiamo visto come degli studiosi hanno semplicemente proposto di frazionare il gemello digitale in diversi livelli, non occupandosi delle interfacce.

Successivamente l'evoluzione della tecnologia, ha aperto una porta a dei servizi innovativi per integrare, interagire, espandere e riutilizzare la modellazione dei Digital Twins.

Ad esempio attraverso l'Ontologia, che fornisce un modello semantico di facile accesso e comprensione per i computer, si possono sommare più informazioni di modelli complessi.

Bao usa il modello fondato sull'Ontologia per descrivere le risorse ed i processi di assemblaggio di una determinata produzione.

Il termine Ontologia è entrato in uso nel campo dell'intelligenza artificiale e della rappresentazione della conoscenza, per mostrare il modo in cui diversi schemi vengono combinati in una struttura dati contenente tutte le entità rilevanti e le loro relazioni in un dominio. I programmi informatici possono poi usare l'ontologia per una varietà di scopi, tra cui il ragionamento induttivo, la classificazione e svariate tecniche per la risoluzione di problemi, quindi scopi utili anche per la creazione e gestione di un Digital Twin.

Dai ha ripartito i dati fabbricati in informazioni geometriche e non geometriche, di conseguenza ha costruito un modello informativo attraverso l'ontologia e tali dati.

Singh ha realizzato un modello ontologico e proposto una metodologia generale includendo una mappa per definire, creare e gestire i database concepiti per i gemelli digitali.

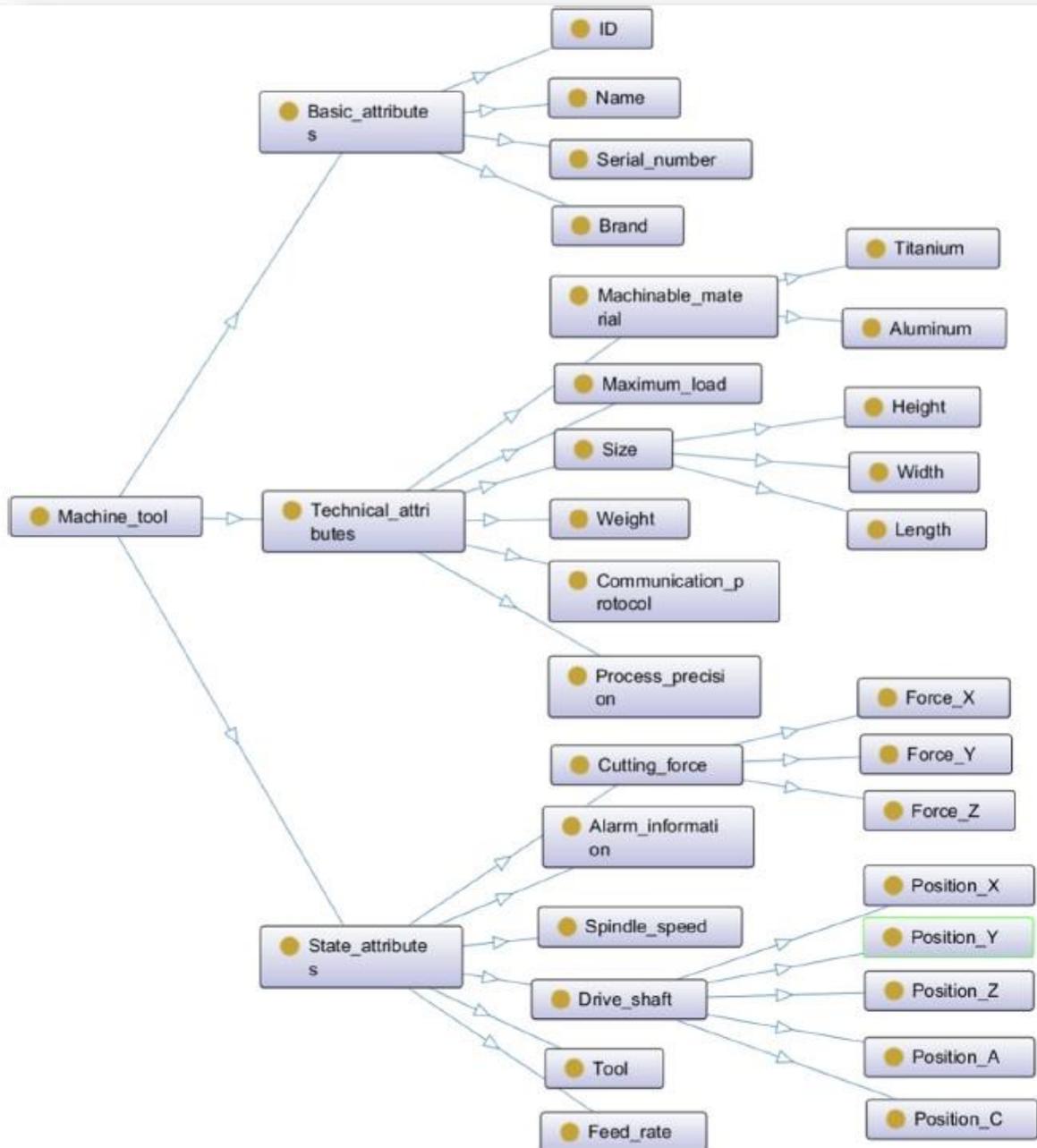
Lu ha plasmato dei Digital Twins per tutte le risorse di una produzione di una compagnia internazionale, anche egli attraverso l'ontologia. Inoltre ha esposto un grafico della "conoscenza" per descrivere gli attributi delle entità fisiche presenti in quel contesto e le loro relazioni con esse.

Liu invece ha conseguito un modello basato anche questo sul grafico della conoscenza, per esporre fattori inerenti alla qualità del prodotto, attraverso tre diverse gradazioni.

Sole ha impiegato il grafico della conoscenza per descrivere e coordinare le attività di assemblaggio di una linea di produzione, mostrando così tutte le varie azioni da compiere in sequenza.

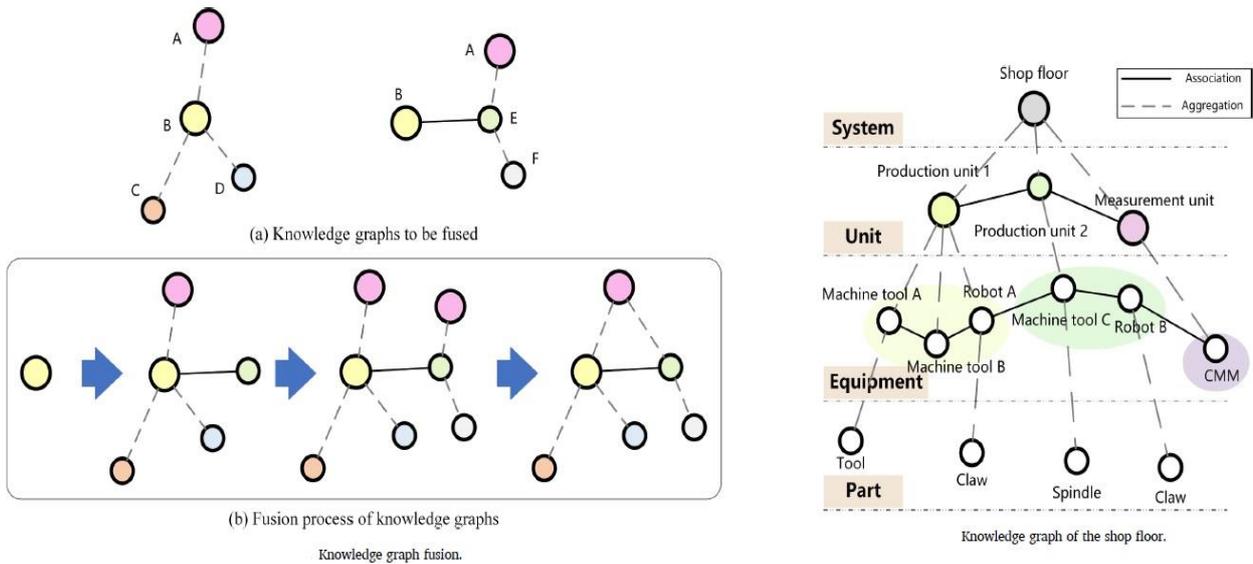
L'Ontologia ed il grafico della conoscenza possono essere utilizzati quindi per riorganizzare e richiamare i moduli di una produzione, ma sono anche un valido supporto per costruire gemelli digitali complessi scalabili.

MODELLO ONTOLOGICO



Ontology model of the machine tool.

GRAFICO DELLA CONOSCENZA



11. CARATTERISTICHE DI UN DIGITAL TWIN COMPLESSO

Schleich ha definito 4 caratteristiche importanti sul concetto di Digital Twin, necessarie per arrivare alla realizzazione dei Digital Twins complessi:

- La **SCALABILITA'** ossia fornire informazioni su scale differenti;
- L'**INTEROPERABILITA'** ossia la capacità di convertire, combinare e stabilire l'equivalenza tra diverse rappresentazioni del modello;
- L'**ESPANDIBILITA'** ossia riuscire ad integrare elementi o sostituire/modificare completamente il gemello digitale;
- La **FEDELTA'** ossia avere una rappresentazione del virtuale più simile possibile all'entità fisica.

Per definire e costruire un gemello digitale complesso, esso deve essere contraddistinto da più funzioni, più scale di composizione, più dati dimensionali e vari altri scenari.

Zhuang ha suddiviso l'articolato processo dell'assemblaggio del prodotto in: inizializzazione, fase centrale dell'assemblaggio attraverso l'impiego del concetto di granularità e fase finale.

La granularità menzionata da Zhuang in questo caso sta ad indicare che si ha una certa estensione spaziale, in quanto si lavora su più livelli e con numerosi dati. L'estensione spaziale dei Digital Twins complessi potrebbe essere vasta, ciò non significa tuttavia che si riesca ad esprimere tutte le informazioni inerenti ad un processo; ecco perché quando si parla di **SCALABILITA'** dei gemelli virtuali complessi si intende la capacità di rappresentare dati corretti ed essenziali e di nascondere quelli irrilevanti su uno stesso livello di composizione.

Platenius-Mohr ha definito l'**INTEROPERABILITA'** come "l'abilità di due o più sistemi/applicazioni di scambiare informazioni ed adoperarle reciprocamente".

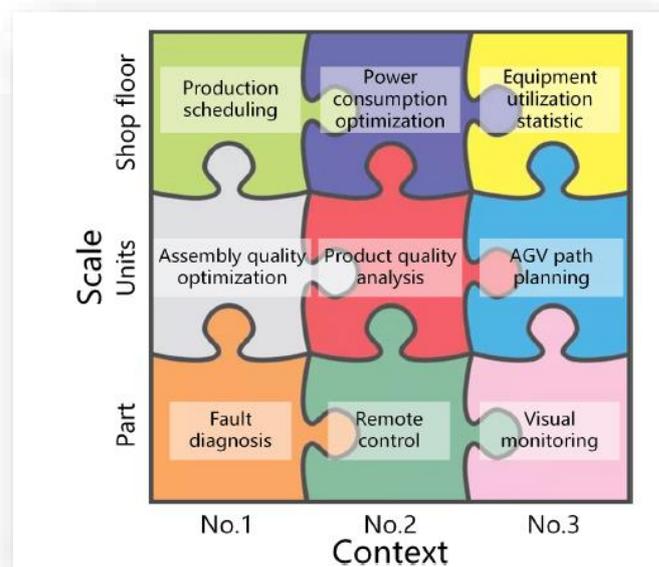
I Digital Twins complessi possono essere costituiti da più modelli derivanti da gemelli digitali semplici; l'interoperabilità dei gemelli virtuali complessi non è solo la capacità di convertire e di combinare diverse rappresentazioni di un modello in un'unica rappresentazione, ma anche la capacità di convertire e combinare diverse raffigurazioni di più modelli differenti in un'unica raffigurazione.

Xie ha proposto un'alta scalabilità come caratteristica principale per i Digital Twins complessi, per estendere l'ambiente di sviluppo ai programmatori ed avere soluzioni progettuali e di prodotto migliori.

La scalabilità intesa da Xie comprende anche il concetto di ESPANDIBILITA', quindi la capacità di integrare elementi o sostituire un modello rappresentante un gemello virtuale complesso.

Liu sostiene la necessità di avere un'alta FEDELTA' ciò significa dire che il gemello digitale deve simulare il comportamento del gemello fisico, nello spazio virtuale, in maniera quasi identica.

Con gli attuali metodi di modellazione e potenza di calcolo, è molto difficile creare un Digital Twin complesso del tutto equivalente alla sua controparte reale. Pertanto, si può cercare solamente di avvicinarsi il più possibile al prodotto fisico nelle funzioni o nei comportamenti richiesti.



Prendiamo come esempio un'officina per illustrare ulteriormente le caratteristiche di un gemello digitale complesso e comprendere al meglio le sue funzionalità.

L'officina è un sistema multi-scala ed i dati dei suoi gemelli digitali solitamente devono essere presentati su livelli differenti.

Le informazioni chiave generalmente includono la programmazione della produzione, il tasso di qualificazione del prodotto ed il consumo di energia quando l'oggetto dello studio è l'intera officina. Invece quando l'oggetto dello studio sono le attrezzature per le macchine utensili, i dati chiave cambieranno in base alla velocità, ad esempio di un mandrino (dispositivo meccanico), ossia la velocità di avanzamento corrente del motore. I diversi livelli dell'officina comprendono perciò la produzione, le unità e l'attrezzatura; ciascuno di essi può includere a sua volta multipli contesti. Ad esempio in un livello dell'officina potremmo trovare contesti come la programmazione della produzione e le statistiche sui consumi energetici; nel livello delle apparecchiature invece contesti come il monitoraggio dei dati, il controllo remoto e la diagnosi dei guasti.

Livelli di un'officina	
Produzione	Apparecchiature
<ul style="list-style-type: none"> • Programmazione della produzione 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoraggio dati
<ul style="list-style-type: none"> • Statistiche sui consumi energetici 	<ul style="list-style-type: none"> • Controllo remoto
	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosi dei guasti

L'officina con i suoi vari livelli e multipli contesti forma un sistema complesso, i suoi Digital Twin, in base alle 4 caratteristiche fondamentali illustrate da Schleich, dovrebbero perciò essere così contraddistinti:

Per quanto riguarda la scalabilità, i dati presenti dovrebbero mutare in modo adattivo al variare dell'oggetto di studio. Ecco perché quando l'oggetto di studio è l'officina, il gemello digitale dovrebbe mostrare il programma di produzione, la sua efficienza ed altre peculiarità.

Invece quando l'oggetto di studio è una linea di produzione, il gemello digitale dovrebbe esporre lo stato delle macchine utensili, la posizione di un AGV (veicolo a guida automatica ossia un macchinario senza conduttore umano) e così via.



MANDRINO



VEICOLO A GUIDA AUTOMATICA (AGV)

Se l'attenzione si concentra su determinate apparecchiature, il gemello digitale dovrebbe mostrare le azioni, l'idoneità fisica ed altri attributi di tale contesto.

Un Digital Twin di un'officina contiene modelli virtuali di molti oggetti ed ogni modello può essere composto a sua volta da altri diversi modelli, come quelli geometrici o con proprietà fisiche o con regole comportamentali oppure con dettami per realizzare funzioni complesse. Detto ciò, applicando il concetto di interoperabilità, i modelli potrebbero interagire tra di loro ed appartenere allo stesso oggetto o ad oggetti diversi.

Dato che le informazioni del modello che tratta il funzionamento della macchina utensile possono dirigere l'andamento del modello geometrico e l'interazione tra il comportamento del prototipo dell'AGV ed il prototipo dove si illustra il comportamento del braccio robotico, ecco che può essere concretizzata una collaborazione tra i vari modelli.



Braccio Robotico

In officina, il numero, il tipo e persino la disposizione della posizione dell'attrezzatura possono essere regolati insieme alla pianificazione generale di un processo di produzione. Pertanto passando ora al concetto di espandibilità possiamo dire che quando lo spazio fisico o le esigenze funzionali cambiano, il gemello digitale può essere riconfigurato attraverso semplici operazioni per mantenere la sincronizzazione con l'entità fisica.

Infine parlando di Fedeltà, sebbene attualmente sia impossibile realizzare i modelli virtuali identici alle entità reali, alcuni metodi possono essere impiegati per migliorare il più possibile la fedeltà del modello, ad esempio attraverso la costruzione di un prototipo che consideri i fattori più influenti e/o utilizzando algoritmi più avanzati.

La scienza dei sistemi è un campo interdisciplinare che si occupa della comprensione di sistemi semplici e complessi; essa integra le idee di olistico e riduzionismo e sottolinea inoltre che la costruzione di sistemi complessi richiede non solo la loro scomposizione prima in sotto sistemi semplici implementabili, ma anche l'analisi delle relazioni tra i componenti e delle loro funzioni (compresi gli ingressi e le uscite del sistema) in toto.

Per **Olistico** si intende quel principio filosofico e metodologico di alcune scienze per il quale i sistemi complessi sono irriducibili alla mera somma delle loro parti, in modo tale che le leggi che regolano la totalità non possano mai essere riducibili alla semplice composizione di quelle che regolano le parti costituenti.

Per **Riduzionismo** si intende una concezione epistemologica che cerca di formulare concetti e linguaggi di una teoria scientifica attraverso i termini di un'altra teoria considerata fondamentale. Anche, la tesi secondo cui ogni asserto scientifico potrebbe venir tradotto in termini e predicati osservativi.

La scienza dei sistemi quindi ha presentato un metodo di modellazione dei gemelli digitali complessi nello spazio virtuale, tuttavia è difficile costruire direttamente un complesso gemello digitale in un unico processo, principalmente perché deve contenere diverse scale e contesti.

Pertanto, vengono proposte ulteriori idee di modellazione basate sulla tecnica "DIVISIONE-ASSEMBLAGGIO" per costruirlo.

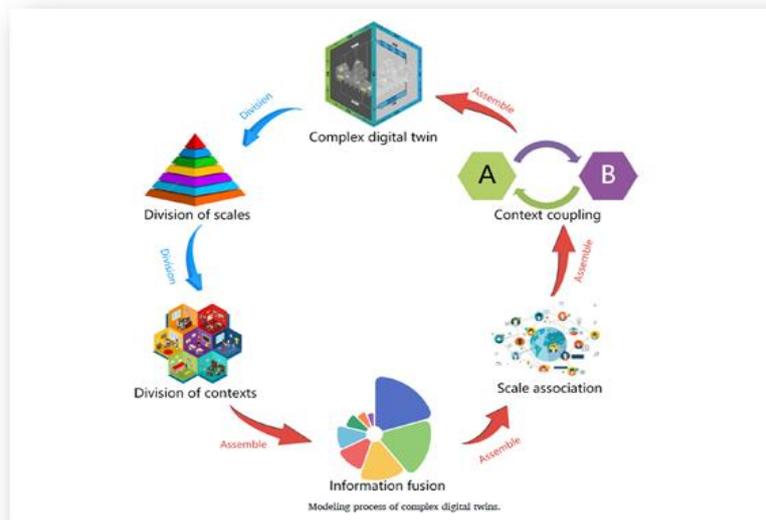
12.TECNICA: DIVISIONE-ASSEMBLAGGIO

Innanzitutto c'è da ribadire che un Digital Twin complesso è costituito da diversi Digital Twin semplici: il primo problema da risolvere perciò è quello di capire come suddividere un modello complesso.

E' possibile suddividerlo prima in diversi livelli secondo le scale presenti, poi in base ai contesti diversi, dopo di che si deve assemblare i vari Digital Twins semplici in un unico Digital Twin complesso avente appunto una funzione più articolata rispetto a ciascun singolo.

Per l'assemblaggio è possibile usufruire del modello basato sull' ontologia, che può fornire un contenitore adatto per fondere le relative informazioni dell'oggetto di ricerca in questione. Uno strumento efficace per descrivere le associazioni tra i vari livelli dei gemelli digitali semplici è il “grafico della conoscenza”, che può descrivere gli attributi e le relazioni tra le entità fisiche.

Le interazioni fra i contesti servono anche per le questioni chiave che devono essere risolte, ad esempio può accadere che entrino in contatto un'interazione comportamentale con un'iterazione di calcolo tra i vari Digital Twin semplici.



Secondo la scienza dei sistemi, la divisione dei livelli in un sistema complesso è molteplice; il sistema infatti può essere suddiviso in base a diversi criteri:

- Il tempo
- Lo spazio
- Lo stato di movimento

I diversi componenti, dopo la divisione, assumono spesso funzioni diverse.

Semeraro ha sottolineato che un sistema complesso di solito è costituito da diverse scale, di piccole o grandi dimensioni e possono essere presenti differenti scenari nei principali contesti applicativi.

Pertanto, un gemello digitale complesso secondo Semeraro dovrebbe essere suddiviso secondo scale spaziali, poi ripartito in diversi contesti a seconda delle funzioni.

Zhang ha espresso il suo parere riguardo il processo di modellazione di un sistema complesso, secondo lui è necessario riutilizzare e fondere un gran numero di modelli già esistenti.

La suddivisione del sistema complesso suggerisce anche che lo strato più basso del sistema, dovrebbe essere implementabile in base alle ultime tecnologie sorte e che alcune funzioni o servizi delle entità virtuali dovrebbero essere incapsulati come componenti per realizzare il riutilizzo dei modelli rappresentanti i gemelli.

Considerando che il software è l'ultimo portatore di un Digital Twin, il livello più basso di un sistema complesso dovrebbe essere quello adoperato per sviluppare i componenti.

Dopo tali premesse, esponiamo l'architettura 4C di un gemello digitale complesso, concretizzata mediante un metodo di divisione gerarchica.

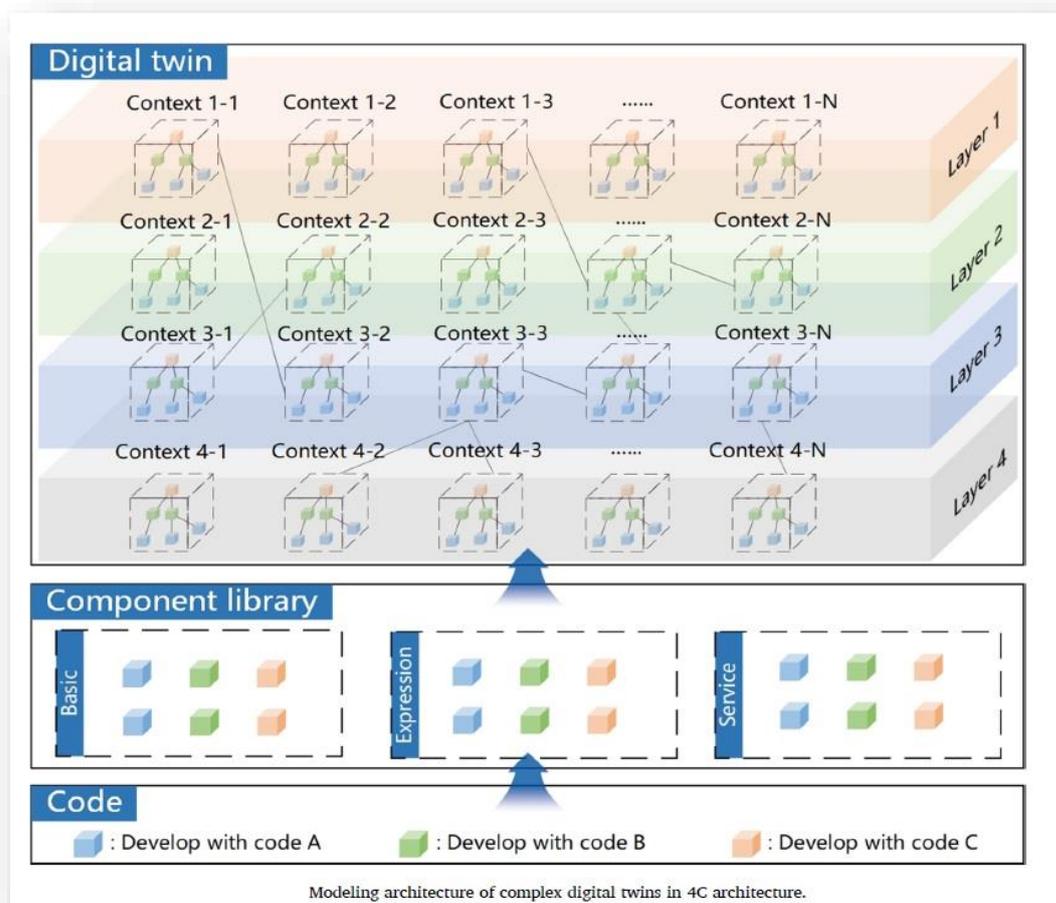
L'architettura 4C è caratterizzata da una composizione, un contesto, una componente ed un codice:

- La composizione serve a scindere un gemello digitale in diversi livelli
- Il contesto è lo scenario specifico applicativo
- Il componente è l'unità funzionale per la costruzione dei Digital Twins semplici
- Il codice serve per l'implementazione specifica dei componenti

Il processo di realizzazione di tale architettura è il seguente: in primo luogo, essendo un Digital Twin complesso ripartito in più strati, con differenti scale, è opportuno determinare per ciascun livello quali sono gli elementi rilevanti e quali i dettagli trascurabili. Successivamente dato che vi sono più contesti, bisogna far in modo che ogni gemello virtuale semplice del sistema si concentri solo su una specifica funzione.

È da sottolineare che ogni Digital Twin semplice del sistema è diviso in diversi componenti funzionali, secondo il particolare processo di implementazione; per sviluppare e per incapsulare questi componenti viene utilizzato un linguaggio di programmazione o una piattaforma appropriata.

Infine i componenti che si ritrovano nello stesso contesto vengono integrati e combinati tra loro per dar vita ad un Digital Twin semplice.



13. ARCHITETTURA 4C

Andiamo ora ad analizzare, nel particolare, ciascuna "C" dell'architettura:

COMPOSIZIONE: solitamente le entità fisiche nei gemelli digitali complessi appartengono ciascuna a contesti diversi. Ogni contesto ha una notevole estensione spaziale, quindi non possono essere visualizzati contemporaneamente ed ecco perché è necessaria la suddivisione in scale diverse. Sappiamo che un Digital Twin complesso può essere distribuito su più livelli attraverso scale differenti, ad esempio come sistema, unità, parte, sotto-parte. Gli elementi costituenti variano a seconda del livello.

Nel livello SISTEMA troviamo espresse le condizioni operative generali del Digital Twin complesso, le regole da seguire, il consumo di risorse e l'output di prodotto.

L'UNITA' è quel livello che mostra i diversi materiali di equipaggiamento per raggiungere un determinato obiettivo; gli elementi presenti qui sono per lo più legati alle funzioni, come l'avanzamento delle attività, l'efficienza della produzione e l'accuratezza del prodotto.

Il livello denominato PARTE è il più piccolo e serve per rappresentare parti mobili relativi alla funzione dell'attrezzatura, che vanno monitorati o controllati, come il servomotore, il mandrino, ecc... Gli elementi presenti sono concentrati in chiave geometrica, inoltre qui troviamo espressi gli attributi fisici statici o dinamici come le dimensioni, le coordinate di posizione ed il funzionamento dello stato dell'apparecchiatura. Poi abbiamo il livello SOTTOPARTE dove ci potrebbero essere delle entità di natura inferiore rispetto a quelle che ritroviamo nel livello parte, come l'ingranaggio del mandrino o degli effetti microscopici come alcuni tipi di deformazione di determinati materiali.

In conclusione possiamo dire che i fattori di modellazione ed i dati dell'intero gemello digitale complesso sono espressi in modo selettivo sui diversi livelli e sono ottenuti tramite sensori o controllori di apparecchiature.

CONTESTO: nello stesso livello un Digital Twin può presentare più contesti, anche se non è facile costruire un gemello digitale in un multi-scenario. Per facilitare tutto ciò, sarebbe opportuno effettuare una divisione del multi-contesto oltre alla divisione in diverse scale.

Grazie alla suddivisione in livelli, i Digital Twins potrebbero contenere molte entità fisiche ed a sua volta un'entità fisica specifica può avere molti contesti applicativi.

Con la scissione del contesto, un gemello virtuale potrebbe essere semplificato di conseguenza. Infatti in uno specifico gemello digitale semplice, di solito viene considerato solo un contesto singolo o limitato; i parametri che non appartengono a quel singolo contesto possono essere nascosti o considerati come costanti, quindi l'espressione matematica che illustra il meccanismo del modello rappresentante il gemello è anche essa semplificata.

Dopo di che, il gemello digitale potrebbe focalizzarsi solo su un'unica scala ed un unico contesto, ed alla fine formare un legame tra gli altri vari semplici gemelli digitali.

Per ogni Digital Twin, ci possono essere molteplici specifiche fasi di implementazione di esso, tra cui:

- La fase in cui si ha la ricezione di dati in input;
- La fase in cui si elaborano e si mostrano i risultati di output;
- La fase dove si plasma la struttura;
- La fase dove avviene una composizione funzionale;

Questo metodo di suddivisione abilita il complesso gemello digitale ad avere un certo grado di scalabilità, infatti permette che diversi elementi e dati da esprimere si trovino su uno stesso livello e contesto, fornendo

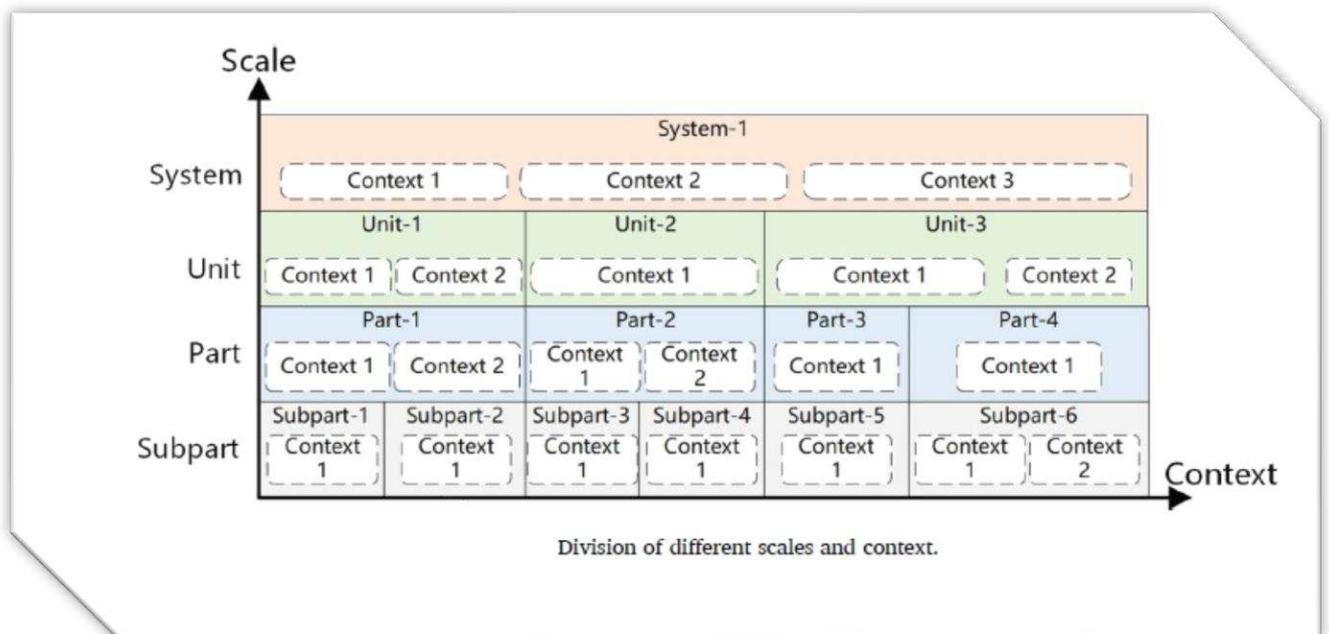
così informazioni a diverse scale. Tuttavia scindere un Digital Twin complesso in più Digital Twin semplici, presenta anche alcuni svantaggi.

Le entità fisiche, come le attrezzature, i materiali, le persone, possono contenere informazioni multidimensionali, ma la divisione in diverse scale e contesti rende molte azioni discontinue, infatti ognuno dei sopracitati registra solo una parte delle informazioni, non possono rappresentare l'entità fisica completa. In particolare, sebbene la scomposizione in varie scale consente di esprimere i dati su quattro livelli, separa anche gli attributi di alcune entità fisiche a scala incrociata in livelli diversi.

In aggiunta, dopo la frammentazione del multi-contesto, poiché vengono considerati solo i parametri di un singolo contesto, l'accuratezza del meccanismo del modello sarà ridotta.

Dopo aver suddiviso il Digital Twin complesso, il passo successivo è esaminare e strutturare ciascun Digital Twin semplice costituente.

I metodi per sviluppare un gemello digitale sono vari ed anche i software e le piattaforme utilizzate dagli sviluppatori per l'implementazione sono diversi; tutto ciò però può portare ad una scarsa portabilità e scalabilità del gemello. Per ridurre il lavoro ripetitivo durante la costruzione del gemello digitale, le attività simili dovrebbero essere estratte da componenti standardizzati indipendenti dal server, in base alla funzione, poi si dovrebbe realizzare una libreria contenente i componenti dei gemelli digitali, per migliorare efficacemente la portabilità e la scalabilità.



COMPONENTI: un Digital Twin può essere suddiviso in:

Componenti di base
Componenti di visualizzazione
Componenti di servizio

I componenti di base di un gemello digitale semplice sono principalmente legati ai dati, come le operazioni del database (includere la lettura e la scrittura) e la preelaborazione delle informazioni.

I componenti di visualizzazione vengono impiegati per costruire l'interfaccia di interazione uomo-computer e visualizzare il contenuto sulla suddetta interfaccia.

La mansione dei componenti di servizio invece è quella di studiare i dati raccolti in tempo reale sulla base dei modelli rappresentanti meccanismi e dei modelli rappresentanti dati, realizzando così le funzioni per le simulazioni, le previsioni e le ottimizzazioni.

Queste tre tipologie di componenti sono organizzate secondo due strutture:

- La prima struttura è incentrata sul funzionamento dei dati in input ed output;
- La seconda struttura si fonda sulla modellazione del gemello digitale, ossia la sua geometria fisica, il comportamento che deve tenere e le regole che deve seguire.

Le geometrie vengono create attraverso modelli CAD di entità fisiche.

Il CAD è un software che consente di progettare e poi creare la relativa documentazione tecnica, sostituendo il disegno manuale con un processo automatizzato.

Gli attributi fisici di tali entità invece possono essere simulati da software come ANSYS, che viene adoperato per progettare prodotti e semiconduttori, nonché per creare simulazioni che testano la durabilità di un prodotto, la distribuzione della temperatura, i movimenti dei fluidi e le proprietà elettromagnetiche.

Il comportamento da tenere non è altro che la risposta all'azione di fattori interni ed esterni, che possono essere dovuti dalle catene di Markov o da una rete neurale, ossia un metodo di intelligenza artificiale che insegna ai computer ad elaborare i dati in un modo che si ispira al cervello umano.

Le catene di Markov invece descrivono un processo stocastico particolare, che si presta per la creazione di modelli di sistemi che hanno un comportamento casuale nella loro evoluzione; illustrano bene infatti i fenomeni casuali che evolvono in funzione del tempo e che non hanno memoria degli stati precedenti.

Le regole derivano dai dati, spesso generati tramite Machine Learning, ovvero quella scienza in grado di sviluppare algoritmi e modelli statistici impiegati dai sistemi informatici per lo svolgimento di compiti senza istruzioni esplicite, basandosi invece su modelli e inferenza (processo induttivo o deduttivo a seconda delle premesse formulate).

Le interfacce dei parametri modificabili in un componente dovrebbero essere configurate in anticipo, in modo che poi i parametri possano essere, se necessario, cambiati.

Le interfacce di un componente includono principalmente:

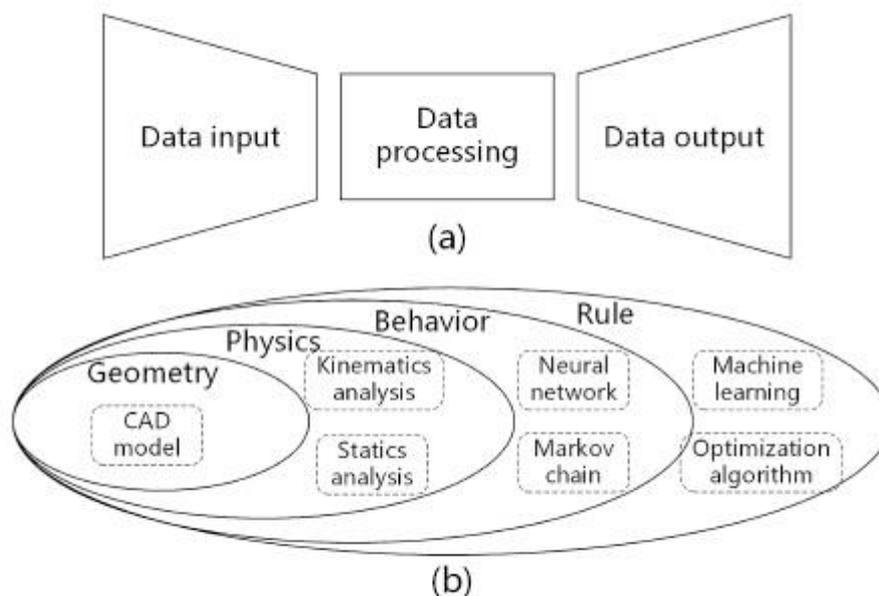
- IL NOME che è una generalizzazione della funzione del componente;
- L'ID che serve per l'identificazione univoca nel sistema;
- L'IP che viene utilizzato per comunicare con le apparecchiature all'interno della rete;
- La COMPOSIZIONE ed il CONTESTO che rappresentano rispettivamente il livello e lo scenario di un Digital Twin semplice nell'architettura 4C;
- L'INPUT e l'OUTPUT dei dati che sono le interfacce impiegate per l'interazione fra i componenti;

Vi sono però anche altri parametri variabili nei componenti, come la frequenza del componente nell'acquisire dati, la dimensione del componente che ha la funzione di analizzare delle informazioni e che richiede anche delle interfacce.

Inoltre vi è riservata un'interfaccia per la registrazione di una descrizione dettagliata degli impieghi dei componenti, che può essere adoperata in futuro per esaminare la correlazione per l'appunto tra i vari componenti, attraverso delle tecnologie di intelligenza artificiale come il riconoscimento del testo.

Components library					
Basic components		Service components		Visualization components	
Read/Write MySQL	Data noise reduction	Markov chain	Support Vector Machine	Line Graphs Drawing	Virtual Space Tour
Read/Write Hadoop	Downsampling	Genetic Algorithm	Random Forest	Bar Graphs Drawing	3D Model Translation
Read/Write Redis	Missing Data Imputation	FEM Simulation	Convolutional Neural Networks	Pie Graphs Drawing	3D Model Rotation
Read/Write Kafka	Data Normalization	FVM Simulation	Recurrent Neural Networks	Statistics Table Generation	Human Machine Interface

Classification of components.



The structure of the component.

CODICE: qui ci troviamo nello step finale per concretizzare un Digital Twin semplice. Il processo di sviluppo di un componente solitamente dipende dall'usufruire di più linguaggi di programmazione, piattaforme digitali e software inerenti ad un determinato contesto, scelti in base a dei specifici requisiti.

Secondo la struttura dei componenti sopra descritta, il codice aiuta quindi a sviluppare la funzione di un componente come:

- L'input/output dei dati
- L'elaborazione dei dati
- La forma geometrica
- Gli attributi fisici
- Le regole di relazione
- Il comportamento
- Incapsulare le interfacce del componente

La componentizzazione delle funzioni perciò abilita un Digital Twin complesso ad avere un certo grado di espandibilità.

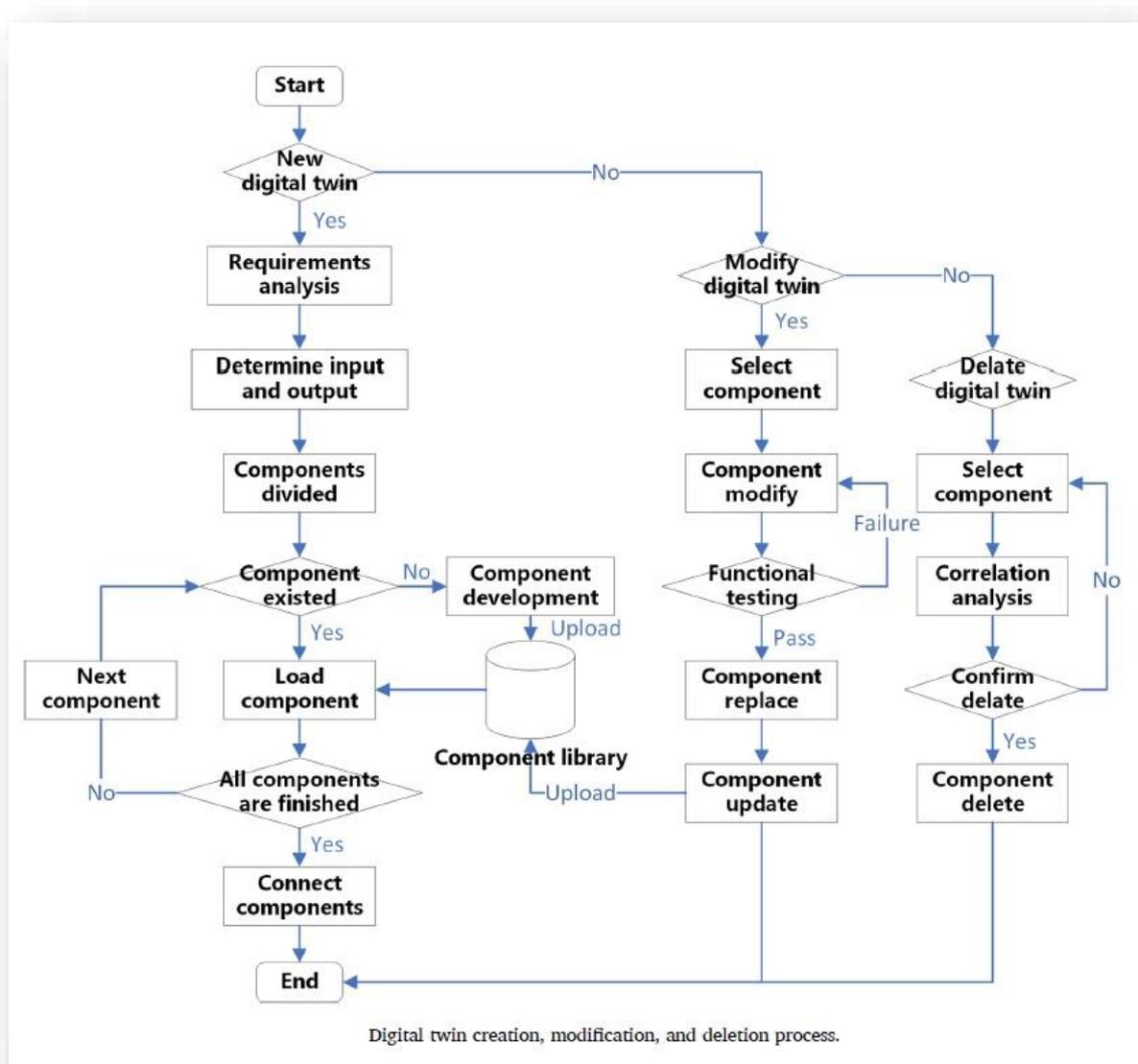
Nell'architettura 4C, i componenti sono le unità funzionali più piccole di un Digital Twin semplice, quindi l'evoluzione e l'aggiornamento dei gemelli digitali vengono conseguiti mediante la creazione, la modifica e l'eliminazione di tali componenti.

Quando si inizia a creare un nuovo gemello digitale, dopo i risultati dell'analisi funzionale e la scomposizione dei componenti, di questi ultimi viene stabilito se ci sono quelli che possono eseguire una mansione nella libreria dei componenti.

Se il componente non dovesse esistere, deve essere sviluppato e sincronizzato nella libreria, attraverso il collegamento di diverse tipologie di componenti.

Nel momento in cui si apportano modifiche ad un Digital Twin, è necessario effettuare un test funzionale offline o online dei componenti e solamente quelli che superano il test possono sostituire gli originali.

Di conseguenza, quelli trasformati devono essere aggiornati sistematicamente all'interno della libreria, aggiungendo ogni volta il numero e la descrizione della versione temporanea. Quando invece si deve eliminare un gemello digitale, dato che ci possono essere delle dipendenze funzionali tra i componenti, è necessario prima analizzare le loro correlazioni, per garantire che poi la rimozione del componente non influisca sulla funzione del sistema.



14. FASE DELL'ASSEMBLAGGIO

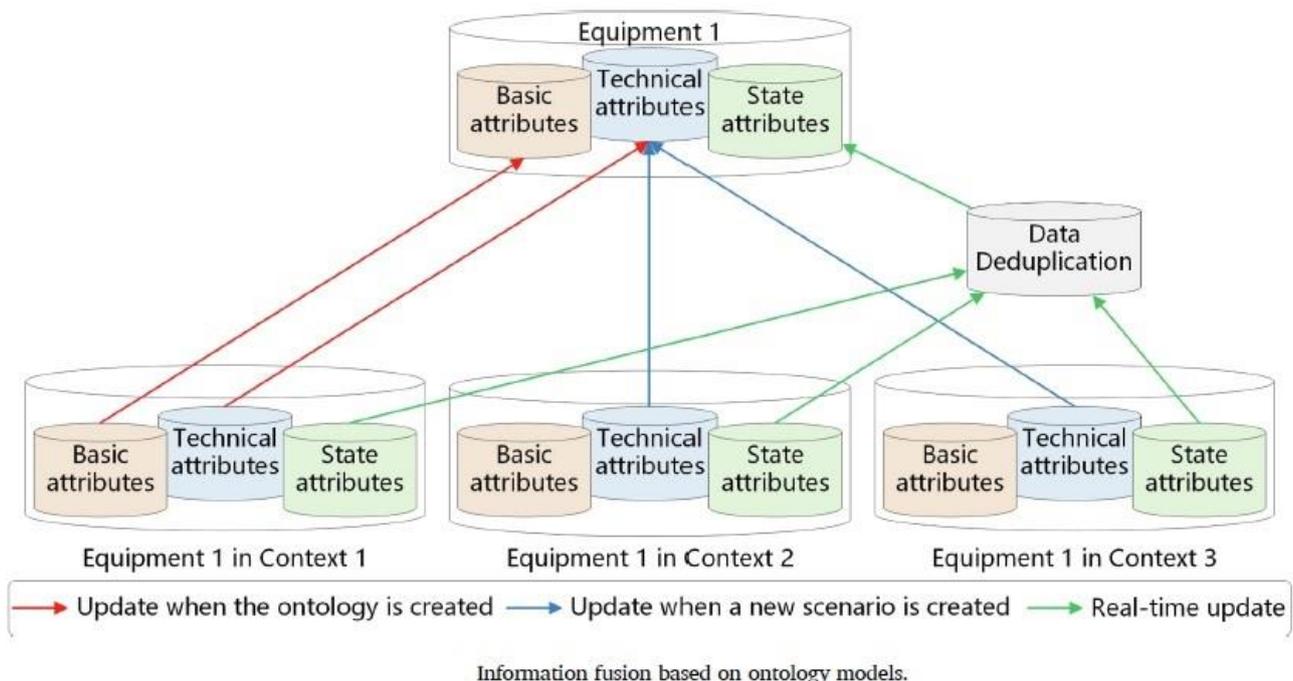
Dopo che i Digital Twin semplici sono stati suddivisi in scale e contesti specifici e sono stati creati collegamenti tra di loro, rimangono comunque indipendenti l'uno dall'altro. Per iniziare l'assemblaggio di un gemello digitale complesso, è necessario esaminare inizialmente la fusione delle informazioni, l'associazione multi-scala e l'interazione multi-contesto.

Nel 1993, **Gruber** ha dato la prima definizione formale, ampiamente accettata, di "Ontologia" nel campo della scienza dell'informazione. Il modello di Ontologia fornisce una descrizione semantica che può essere comprensibile ad un computer e che può essere adoperata come contenitore per fondere le informazioni multidimensionali simili. **Lattanzi** ritiene che l'Ontologia e la semantica debbano essere definite come un passaggio fondamentale nella modellazione degli oggetti e degli attributi di un gemello digitale. Invece il grafico della conoscenza, proposto per la prima volta da Google, può essere impiegato per costruire reti di relazioni semantiche tra nodi ed è ulteriormente uno strumento efficace per descrivere le associazioni di scala.

Rosanec ha proposto l'Ontologia come codificatore delle entità e dei loro attributi nell'officina e il grafo della conoscenza per istanziare le relazioni, apportando così capacità cognitive al gemello digitale.

L'interazione multi-contesto può avvenire attraverso l'analisi del comportamento del sistema e la creazione di collegamenti tra i Digital Twins semplici.

Possiamo perciò dire che l'ONTOLOGIA, il GRAFO DELLA CONOSCENZA, il MULTICONTESTO, l'ANALISI DEL COMPORTAMENTO di un sistema sono gli strumenti essenziali per assemblare più Digital Twin semplici in un unico Digital Twin complesso.



Il modello di Ontologia serve per studiare ed integrare gli attributi di base, gli attributi tecnici e gli attributi di stato provenienti dai semplici gemelli digitali, inoltre grazie ad esso si avranno dei metodi efficaci per l'aggiornamento dei dati necessari per realizzare la fusione delle informazioni; i dati STATICI vengono aggiornati solo quando il Digital Twin viene inizializzato, i dati DINAMICI invece vengono rinnovati in tempo reale, durante il funzionamento del gemello.

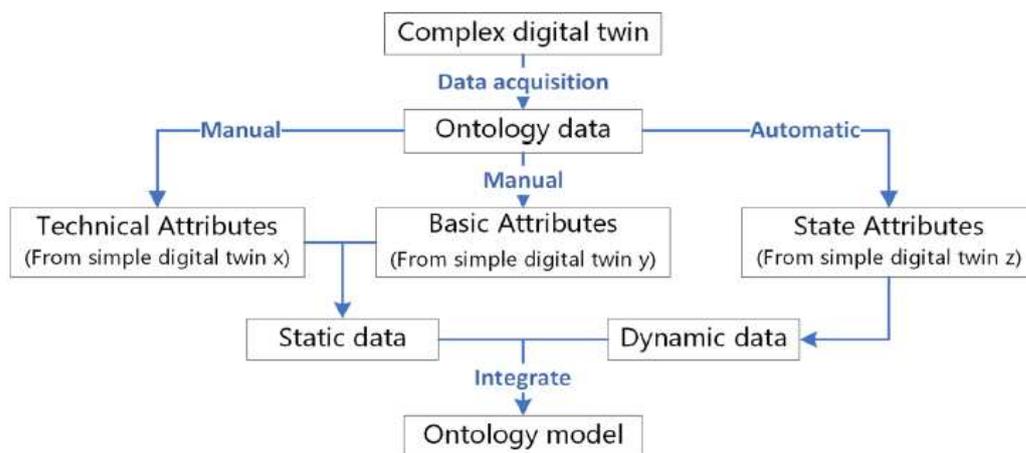


Fig. 8. Data composition of ontology model.

Per quanto riguarda il grafico della conoscenza, esso documenta gli attributi essenziali di un'entità fisica, poi imposta ed illustra le relazioni tra i gemelli digitali semplici del sistema. Successivamente, vengono studiati tre tipi di interazione tra i Digital Twin semplici, affinché si possa perfezionare i comportamenti di quello complesso, il quale è basato sull'esistenza delle variabili intermedie.

Queste interazioni vengono chiamate:

- **SOVRAPPOSIZIONE**
- **TRASMISSIONE**
- **ITERAZIONE**

servono per favorire tre tipi di relazione:

RELAZIONI	INDIPENDENTE
	UNIDIREZIONALE
	BIDIREZIONALE

A prescindere dal tipo, queste interazioni si fondano sullo scambio di dati tra i componenti.

In un'officina, come sorgenti di informazioni, troviamo le macchine utensili ed i sistemi di controllo, i quali generano diversi tipi di dato: Boolean, String, Integer ecc....

Pertanto, è necessario adoperare un formato di scambio dati uniforme, codificabile da tutte le sorgenti utilizzate, affinché avvenga una comunicazione tra di loro ed una trasmissione di dati eterogenei.

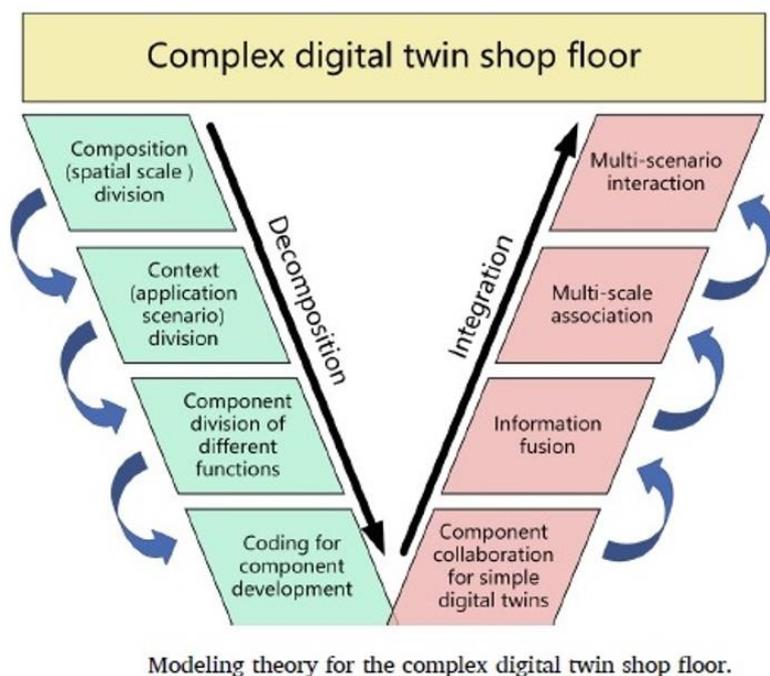
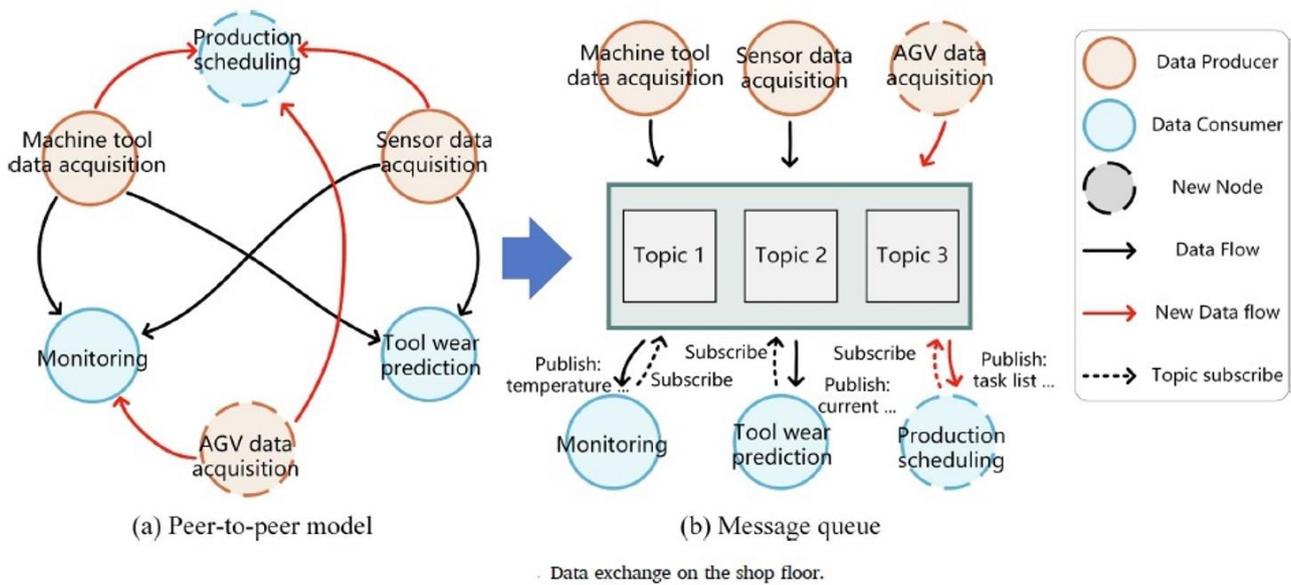
JSON è uno dei formati più usati perché è leggibile, facile da attuare, impiegare e studiare; i dati grazie ad esso vengono archiviati e trasmessi sotto forma di coppie "chiave-valore", ossia costituiti da due elementi correlati:

- Una **CHIAVE** è una costante che definisce il set di dati, ad esempio genere, colore, prezzo;
- Un **VALORE** è una variabile che appartiene al set di dati ad esempio maschio/femmina, verde, 100.

Completamente formata, tale coppia potrebbe avere un aspetto simile al seguente:

- `gender = male`
- `color = green`
- `price > 100`

Il passaggio successivo consisterà nell'implementare le interazioni basate sui dati unificati; lo scambio di dati *peer-to-peer* (ossia attraverso una rete informatica nella quale i computer degli utenti connessi fungono nello stesso tempo da client e da server) diventerà sempre più complesso man mano che l'attività in officina si espanderà, mentre le code di messaggi provenienti da **Kafka** o **RabbitMQ** (broker di messaggistica) possono ridurre la complessità del trasferimento di informazioni, disaccoppiando i dati di input dai dati di output. Nel modello *peer-to-peer*, aggiungendo un nodo produttore di dati, si dovrà richiedere la creazione di più canali per la trasmissione di informazioni, con altrettanti nodi correlati e lo stesso procedimento si andrebbe a verificare per l'aggiunta di un nodo consumatore di dati. Mentre nel modello che usa una coda di messaggi, l'aggiunta di un nodo, richiederebbe la creazione di un solo canale di dati.



Le teorie e le applicazioni relative ai Digital Twins sono oltremodo ispezionate; i metodi per risolvere i problemi dei sistemi complessi attraverso appunto l'ingegneria dei sistemi, negli ultimi anni, vengono sempre più usufruiti per fornire indicazioni circa la modellazione di un gemello digitale.

L'ingegneria dei sistemi, basata sui *modelli MBSE*, in genere creati avvalendosi di strumenti software specializzati, in grado di simulare ed analizzare il comportamento, le funzioni e le caratteristiche fisiche di un sistema, propone un metodo di modellazione per i Digital Twins complessi consistente in due fasi: "decomposizione ed integrazione".

Nella prima fase, la scomposizione dell'officina del gemello digitale complesso viene effettuata attraverso:

- La divisione della scala spaziale;
- La divisione dello scenario applicativo;
- La divisione e lo sviluppo dei componenti funzionali.

Nella seconda fase, le molteplici funzioni dei gemelli digitali semplici vengono conseguite attraverso la collaborazione di diversi tipi di componenti, quindi l'integrazione del gemello digitale complesso viene attuata con la fusione delle informazioni, l'associazione multi-scala e l'interazione del multi-scenario.

Un fattore importante da non tralasciare è "l'errore termico" che influenza la precisione di lavorazione delle macchine dell'officina; nelle macchine utensili, ad esempio, la distribuzione della temperatura del mandrino è direttamente correlata all'errore termico.

Il metodo degli elementi finiti (FEM) può essere impiegato per simulare la distribuzione della temperatura del mandrino, tuttavia se si hanno strutture meccaniche complesse, il FEM non può realizzare tale processo in tempo reale. Pertanto, viene suggerito un ulteriore approccio per la previsione della distribuzione della temperatura del mandrino, che *integra* il FEM ed il modello di DEEP LEARNING.

Il FEM impiega una tecnica numerica atta a cercare soluzioni approssimate, di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali, riducendo queste ultime ad un sistema di semplici equazioni algebriche; poi tramite una griglia geometrica definita "mesh", suddivide un modello geometrico in tanti piccoli elementi di facile calcolo. La soluzione finale viene trovata dal sistema sommando tutte le soluzioni parziali, calcolate per ogni elemento. A fronte delle condizioni al contorno applicate, un'analisi FEM, permette di ricavare quindi spostamenti, deformazioni e tensioni in un sistema strutturale.

Il DEEP LEARNING invece è il ramo più avanzato del Machine Learning, si tratta di un insieme di tecniche basate su reti neurali artificiali organizzate in diversi strati: ogni strato calcola i valori per quello successivo, in modo da elaborare l'informazione in maniera sempre più completa.

In questo contesto, gli input includono:

- Il carico del mandrino;
- La temperatura dell'ambiente;
- Il tempo di funzionamento della macchina;

L'uscita è la distribuzione della temperatura prevista del mandrino.

Durante tale processo, il modello geometrico del mandrino viene importato nella piattaforma di simulazione, vengono impostate le fonti di calore e le varie condizioni da rispettare ed infine non resta che attendere i risultati della simulazione impostata.

Successivamente i risultati vengono convertiti in immagini ed utilizzati per abilitare il generatore e il discriminatore nel GAN, ossia un'architettura algoritmica che sfrutta due reti neurali, contrapponendole l'una all'altra, con lo scopo di generare nuovi dati, potenzialmente molto simili a quelli reali.

Durante la sperimentazione, è stato usato il sistema di automazione CNC SINUMERIK ed inoltre è stato sviluppato un componente per l'acquisizione della temperatura ambiente, basato su sensori ed il generatore nel GAN è stato impiegato per trattare i dati di un componente di elaborazione, attraverso il linguaggio di programmazione "Python".

L'errore quadratico medio (MSE) e l'R-quadrato vengono adoperati per valutare quantitativamente l'algoritmo di previsione della distribuzione della temperatura.

L'errore quadratico medio è una formula che indica appunto la differenza quadratica media fra i valori dei dati osservati ed i valori dei dati stimati, l'R-quadrato invece è un coefficiente di determinazione che valuta il legame tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico usato.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}$$

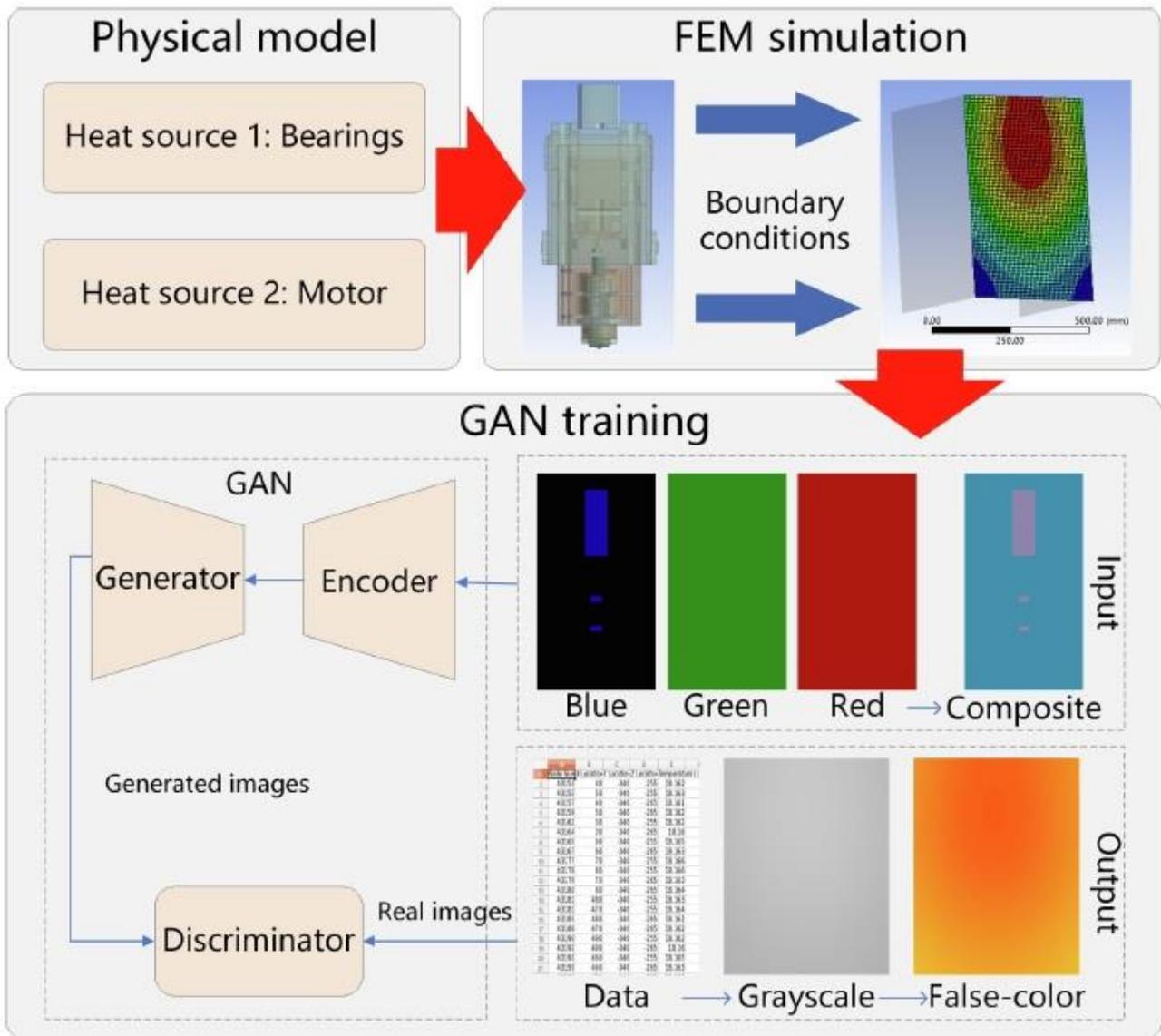
$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS},$$

• $RSS = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ è la devianza residua

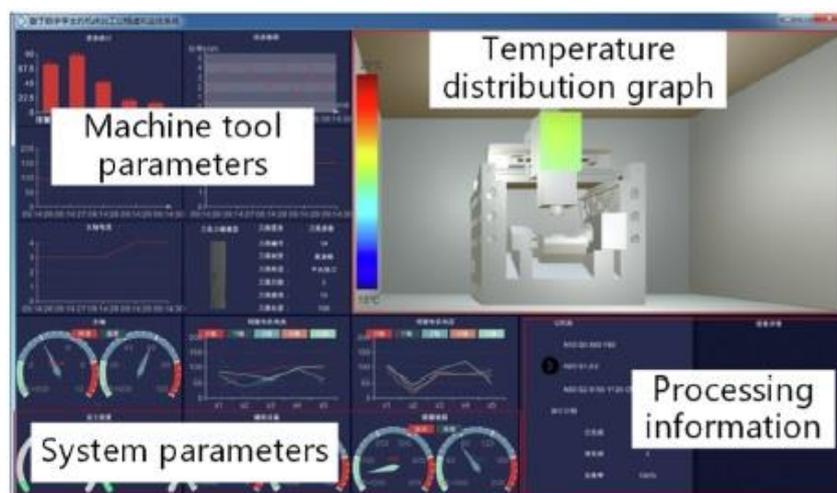
• $TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ è la devianza totale

- y_i sono i dati osservati;
- \bar{y} è la loro media;
- \hat{y}_i sono i dati stimati dal modello.

Infine, il componente di output dei dati è stato realizzato con lo Unity3D (motore grafico multiplatforma), i grafici sono stati disegnati con il plug-in (UGUI) e per il modello geometrico, gli script di controllo del comportamento della macchina virtuale, sono stati scritti in C# o JavaScript.



Process of spindle temperature distribution prediction.



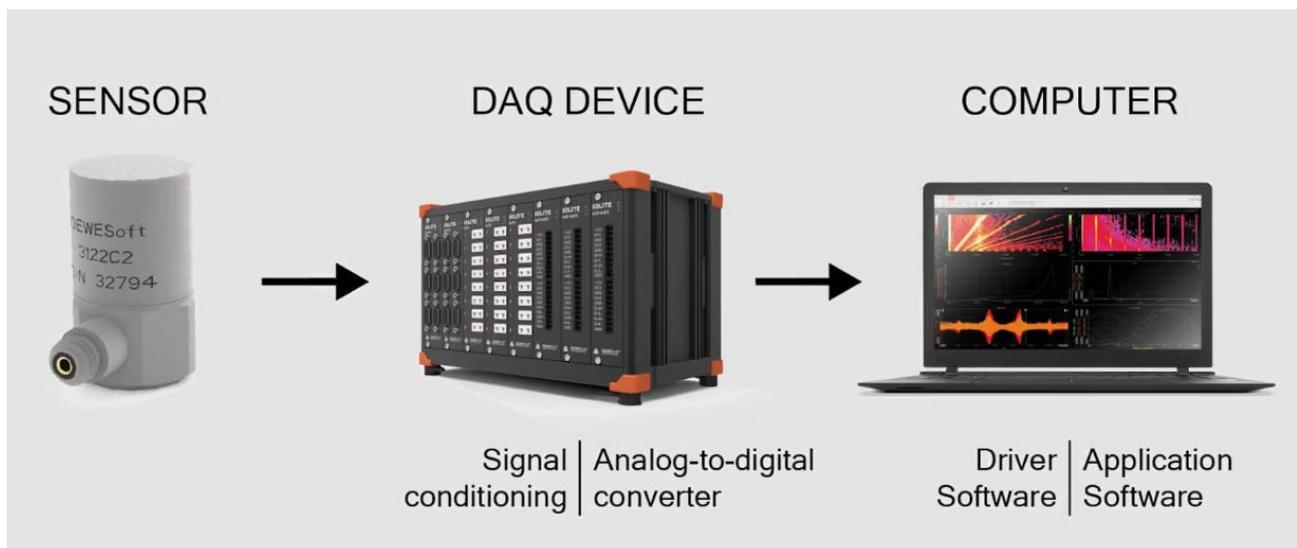
Visualization of spindle temperature distribution prediction.

Ora è necessario focalizzarsi sugli utensili, che sono essenziali nella lavorazione, la loro usura infatti è direttamente correlata alla precisione di lavorazione.

Esistono due modalità principali di monitoraggio dell'usura degli utensili:

- Nel METODO DIRETTO si hanno dispositivi come sensori di contatto e sensori ottici per valutare l'usura e sebbene abbiano un'elevata precisione di misurazione, è opportuno anche un rilevamento offline dai lavoratori;
- Nel METODO INDIRETTO viene utilizzata la forza di taglio e le vibrazioni per prevedere l'usura; Il più grande vantaggio di questo metodo è che è possibile ponderare lo stato di usura dell'utensile attraverso l'elaborazione dei dati, in linea con i requisiti in tempo reale del gemello digitale.

Solitamente si tende a scegliere il metodo indiretto e per implementare la funzione di previsione dell'usura degli utensili, sono necessari anche diversi *componenti di acquisizione ed output di dati* (legati al software ed all'hardware adoperati), un *componente di elaborazione di informazioni* ed un *componente di visualizzazione*. Anche il codice impiegato per concretizzare questi componenti deve essere determinato in base all'hardware ed a degli algoritmi specifici.

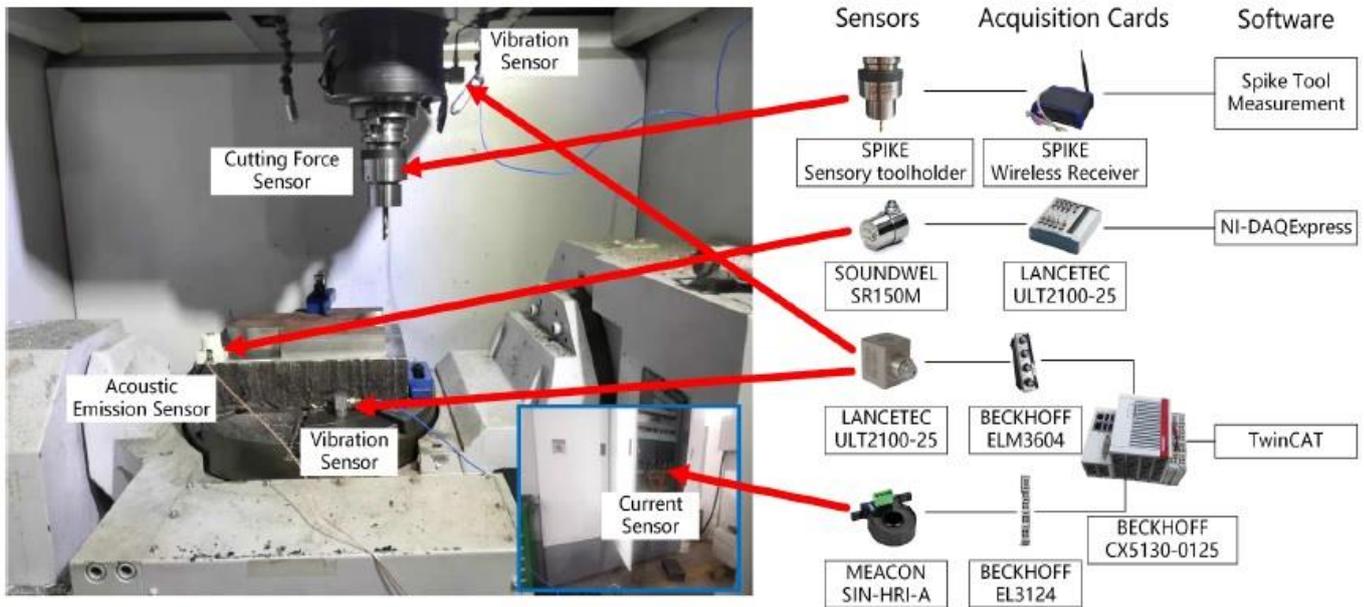


Tre sono i componenti di acquisizione di dati richiesti:

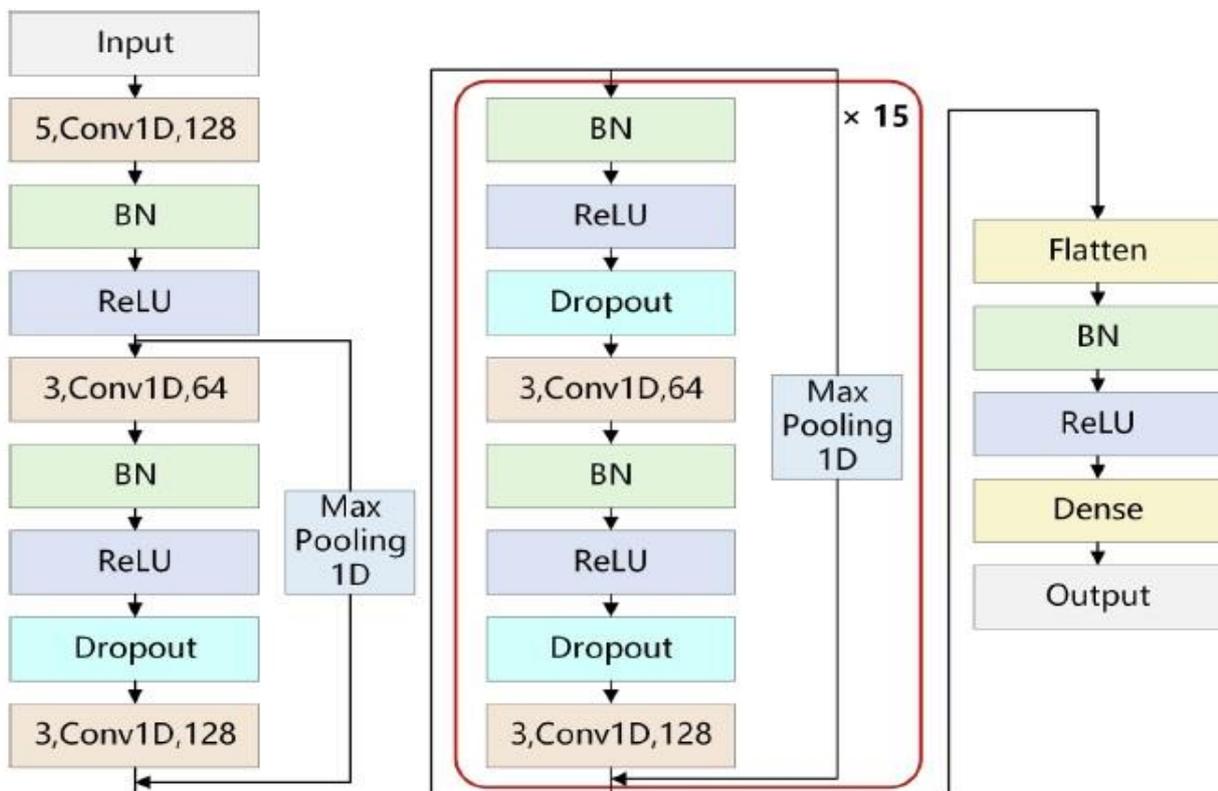
- Per la forza di taglio, che è stato sviluppato attraverso lo **Spike Tool Measurement**, ossia uno strumento laser;
- Per le emissioni acustiche, che è stato realizzato tramite **NI-DAQExpress**, ovvero un software interattivo applicativo;
- Per le vibrazioni e la corrente, che è stato attuato attraverso l'applicazione **TwinCAT**, in grado di realizzare interfacce operatore che integrano funzioni avanzate.

I segnali di vibrazione e corrente poi vengono raccolti da un computer incorporato BECKHOFF, il quale offre soluzioni di controllo ed automazione universali ed indipendenti dal campo d'impiego, infatti vengono usate nelle applicazioni più svariate, a livello mondiale.

Per il componente dell'elaborazione dei dati, è stato usato l'algoritmo basato su **ResNet** (rete neurale residua che serve per agevolare lo spostamento nei vari livelli di un sistema), scritto in Python, per quello degli output dei dati invece viene impiegato il motore Unity3D



Experimental environment for tool wear prediction.



ResNet-based tool wear prediction model.

L'errore quadratico medio (MSE) e l'R-quadrato vengono adoperati anche in questo processo per valutare quantitativamente l'algoritmo di previsione dell'usura dell'utensile. Quando l'usura dell'utensile supera una certa soglia, tale situazione viene contrassegnata in rosso nel componente di visualizzazione.

Focalizzando di nuovo l'attenzione sull'attività di produzione, si osserva che per convalidare il funzionamento di un processo di fabbricazione, prima della produzione effettiva, è possibile usufruire della simulazione basata sul software CAM (il quale genera istruzioni di programmazione che vengono usate per la fabbricazione di prodotti ed utensili), anche se essa non riflette lo stato della lavorazione in tempo reale, ciò significa che una volta iniziata l'operazione, il prodotto è una "scatola nera", la cui geometria e precisione di elaborazione, possono essere ottenute solo mediante "misurazione" al termine del processo.

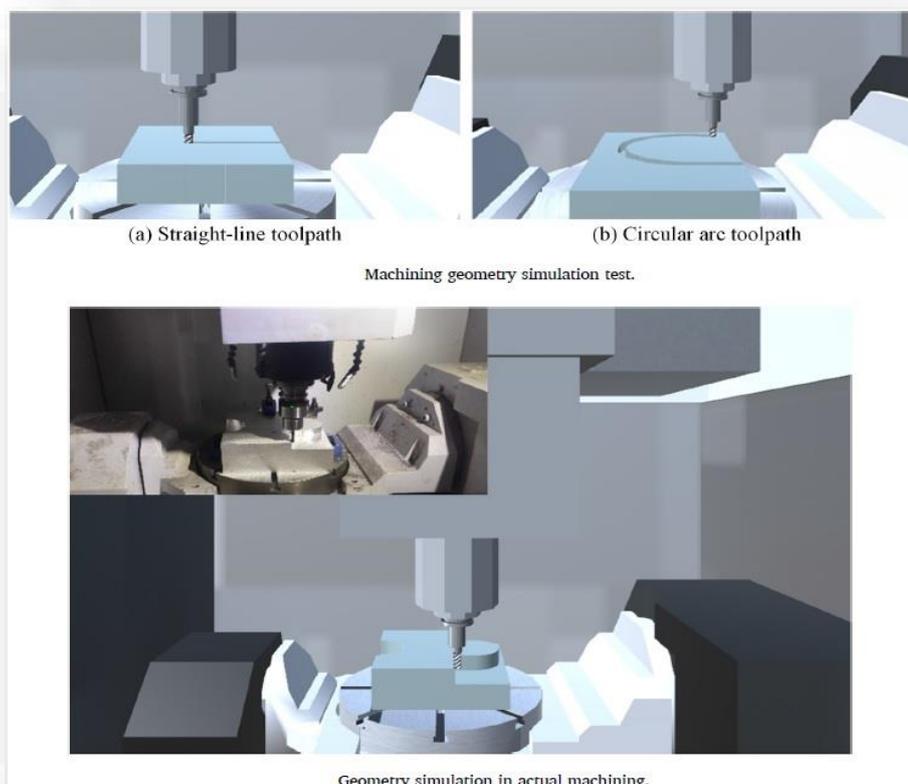
Pertanto, è necessaria una simulazione della geometria che possa riflettere la lavorazione in tempo reale e che fornisca anche un supporto tecnico per l'implementazione di elaborazioni virtuali più complesse. Tale simulazione può essere generata attraverso delle particolari interazioni tra i vari strumenti ed i componenti di un Digital Twin.

In aggiunta, per migliorare la precisione della geometria, bisognerebbe andare a considerare e ad ottenere una certa temperatura del mandrino.

Per la realizzazione della simulazione della geometria ci devono essere quindi:

- Un componente per la regolazione del volume spostato;
- Un componente per la rimozione del materiale;
- I componenti di base per l'acquisizione dei dati;
- I componenti di visualizzazione per le interazioni uomo-macchina.

Sono state testate perciò varie simulazioni geometriche, dove i componenti rilevanti hanno funzionato correttamente e sono stati in grado di generare un modello geometrico del pezzo lavorato coerente con l'entità fisica, seguendo il procedimento appena descritto.

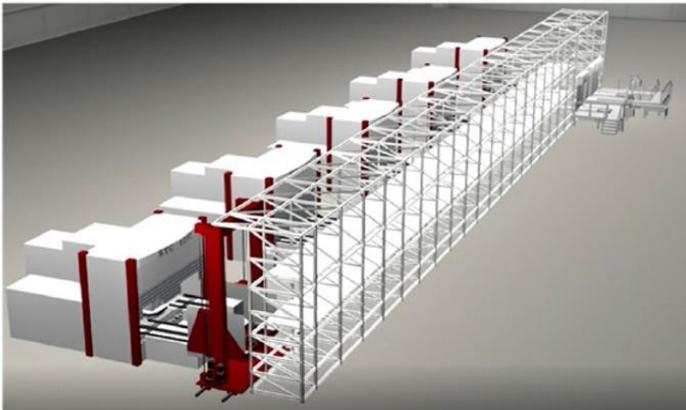


Una programmazione efficace della produzione può migliorare la capacità produttiva e risparmiare sui costi, tutto ciò mediante l'organizzazione delle risorse dell'officina, comprese le attrezzature, i tempi e le sequenze di elaborazione.

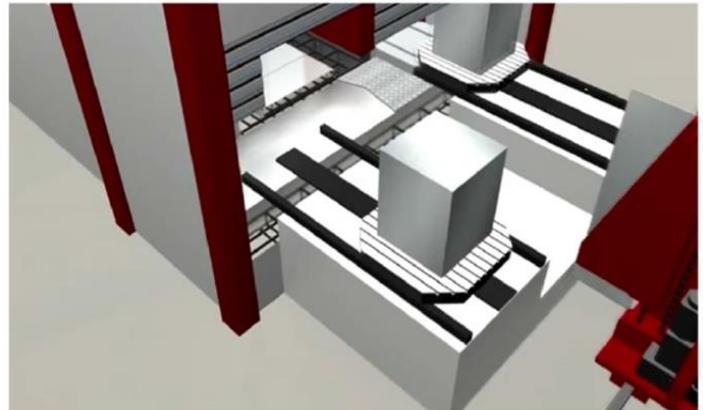
Tuttavia, gli utensili da taglio, risorsa importante nell'officina di produzione, sono raramente considerati nella programmazione della produzione ed alcuni dei problemi causati dall'eccessiva usura di questi utensili, come guasti alla macchina e consegne ritardate, possono essere evitati considerando dal principio la loro vita utile residua.

L'implementazione della programmazione della produzione richiede:

- Un componente di elaborazione dei dati per ottimizzare il piano di programmazione;
- Un componente di input dei dati per ottenere le attività di produzione;
- Un componente di output dei dati per generare i **diagrammi di Gantt** che permettono la rappresentazione grafica di un calendario di attività utile per pianificare, coordinare e tracciare specifiche mansioni di un progetto, dando in aggiunta una chiara illustrazione dello stato d'avanzamento del piano di lavoro.

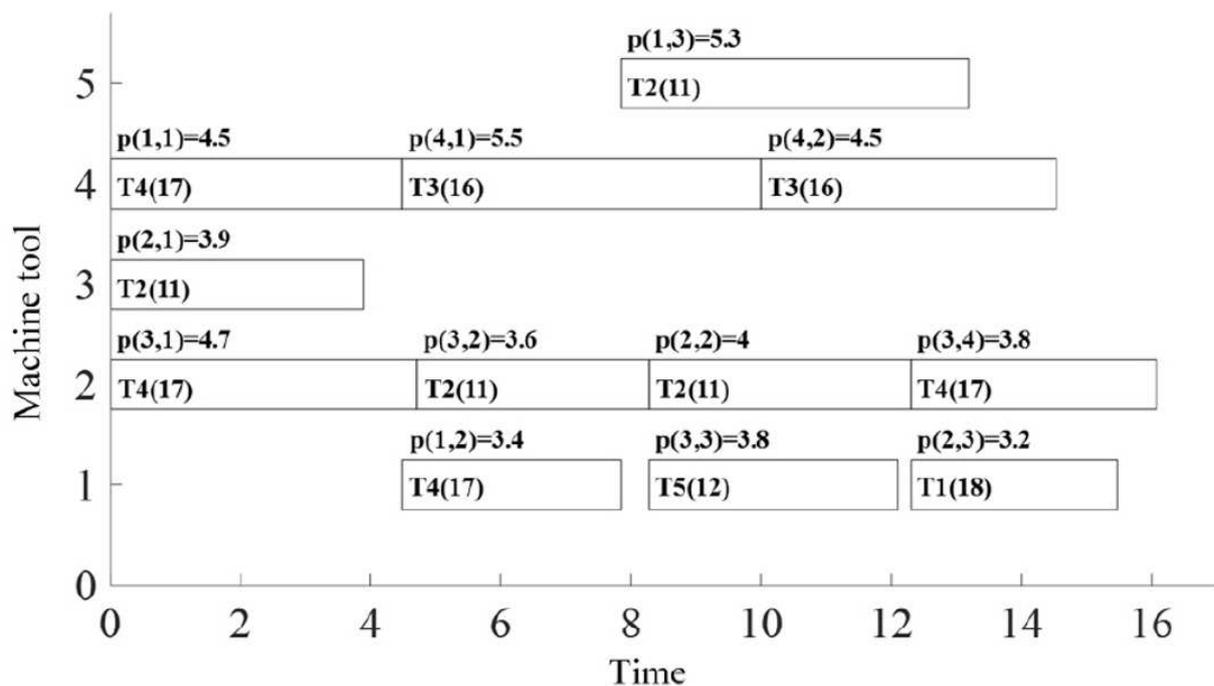


(a) Overview



(b) Delivery

Visualization of the production scheduling.



Gantt chart of the scheduling result.

Per quanto riguarda il componente di input dei dati, vale la pena notare che in altri scenari applicativi, esso raccoglie dati in tempo reale dalle apparecchiature dell'officina, mentre qui deve rilevare informazioni in un secondo momento dal sistema di pianificazione delle risorse aziendali o dal sistema di esecuzione della produzione, attraverso un'interfaccia dati riservata.

La componente di elaborazione dei dati invece ha il compito prima di determinare i parametri del modello matematico in base alla situazione reale, attraverso la risoluzione dell'algorithmo memetico basato su NSGA-II, per il problema di ottimizzazione, poi di decifrare quindi tale modello per riuscire ad ideare la programmazione della produzione. Il componente di output dei dati viene sviluppato in Unity3D (motore grafico multiplatforma).

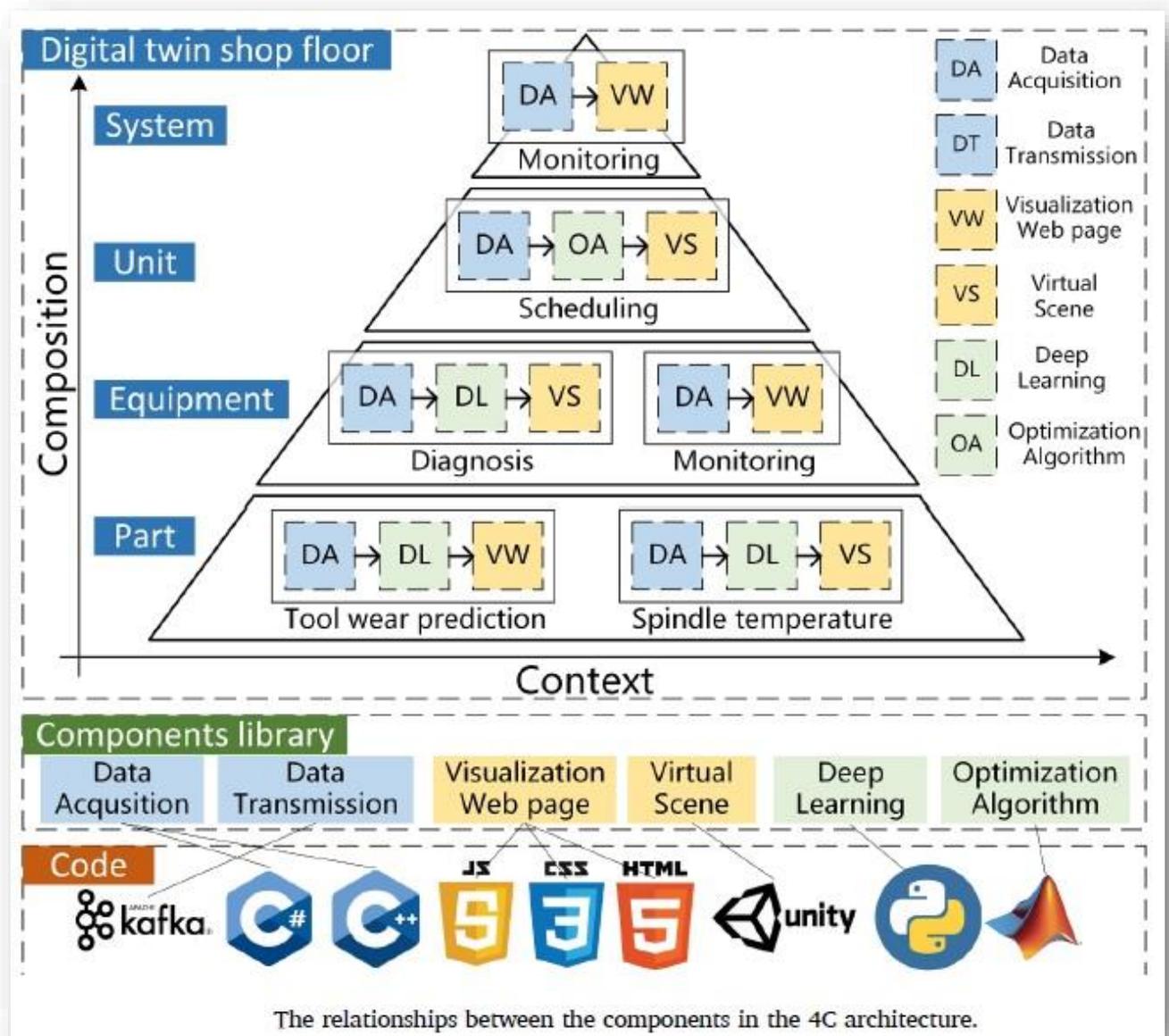
I modelli geometrici rappresentanti le entità fisiche in officina, vengono costruiti attraverso il software CAD, il quale è dotato di una tecnologia che consente di progettare e successivamente di creare la relativa documentazione tecnica, sostituendo il disegno manuale con un processo automatizzato; i modelli vengono poi convertiti in formati come FBX (utile per l'interoperabilità tra le applicazioni di creazione di contenuti digitali) ed importati in Unity3D.

Infine, la panoramica dello scenario di programmazione della produzione nell'officina di un gemello digitale, comprende cinque centri di lavoro, un veicolo su rotaia ed un rack di stoccaggio.

I dati in tempo reale vengono utilizzati per aggiornare periodicamente le entità virtuali e per visualizzare il processo di trasporto oggetti.

Giunti a questo punto, vale la pena sottolineare che abbiamo constatato che le fasi di implementazione di un'officina di un Digital Twin, sono caratterizzate dalla combinazione del metodo di modellazione di un Digital Twin complesso e l'esperienza in diversi campi scientifici per determinare scale spaziali, scenari applicativi, componenti funzionali e strumenti di sviluppo, quindi di riuscire ad assemblare un gemello digitale complesso attraverso la fusione delle informazioni, l'associazione multi-scala e l'interazione multi-scenario.

Inoltre i componenti riutilizzabili e l'interazione di diversi scenari consentono di estendere in seguito il complesso Digital Twin.



15. INTRODUZIONE ALLA METODOLOGIA DATA DRIVEN

In concomitanza con l'introduzione del concetto dell' **Internet of Things** nelle aziende (neologismo utilizzato nel contesto delle telecomunicazioni e dell'informatica che fa riferimento all'estensione di internet nel mondo degli oggetti e dei luoghi concreti, i quali acquisiscono una propria identità digitale in modo da poter comunicare con altri elementi nella rete e poter fornire servizi agli utenti), il Digital Twin ha trovato la sua condizione di massimo sviluppo. In particolare, nel settore delle industrie 4.0, il gemello virtuale viene impiegato per numerose applicazioni e per creare lo spazio ideale per la diffusione dei fenomeni di digitalizzazione e di cultura **DATA DRIVEN**.

I dati sono davvero una risorsa strategica indispensabile per le organizzazioni di qualsiasi dimensione o mercato, grazie ad essi infatti, le imprese possono prendere decisioni corrette alimentate dall'oggettività degli accadimenti e non dalle soggettività delle sensazioni. In un passato non così lontano, i dati erano fondamentali solo per alcune funzioni di back-office (tutte le attività di un'azienda che contribuiscono alla sua gestione operativa). Oggi, invece, sono diventati un bene prezioso per tutte le strutture aziendali e l'importanza della sua gestione strategica è solo in aumento. Il termine "**DATA-DRIVEN**" racchiude tale concetto: un'impresa è orientata a prendere decisioni, di qualsiasi genere, basate sui dati piuttosto che sull'istinto o sulle opinioni personali.

Detto in altre parole, DATA-DRIVEN indica che un'azienda dispone ed è in grado di usare dei dati di cui ha necessità, per poter fare delle scelte che portino ai risultati attesi.

Il termine inglese tradotto letteralmente in italiano, non è altro che "essere guidati dai dati", quindi utilizzare delle informazioni per migliorare il processo decisionale, rafforzare analisi e strategie, identificare problemi e trovare soluzioni.

Sostituendo le intuizioni o le opinioni astratte con azioni basate sullo studio e sull'oggettività dei dati, siamo in grado di comprendere in modo più efficace andamenti, trovare tendenze o addirittura anticipare scenari. Sebbene l'intuizione possa essere uno strumento utile, sarebbe un errore fondare tutte le decisioni su di essa, nonostante possa essere la scintilla che avvia lungo una certa direzione. Infatti solo attraverso delle informazioni concrete diventa possibile verificare, comprendere e quantificare determinate operazioni ed i conseguenti risultati.

Ovviamente è necessario dover strutturare un processo di raccolta ed analisi per poter ricavare indicazioni dai dati ed affrontare così i problemi, rispondere alle domande aziendali, identificare nuove opportunità di crescita ed infine aumentare la redditività. Le organizzazioni erette sui dati infatti, possono superare i concorrenti in termini di redditività e di produttività, oltre ad avere più probabilità di superare gli obiettivi di fatturato. Con informazioni corrette a disposizione quindi un'impresa non dovrà prendere decisioni aziendali sulla base di eventuali supposizioni errate, giudizi o consumatori insicuri. I dati forniranno tendenze, numeri statistici e tutti gli approfondimenti necessari per arrivare a specifiche scelte, comprendere andamenti ed avere un certo tipo di prestazioni.



raccolta dati



analisi dei dati



identificazione
problemi



identificazione strategie



ricerca delle soluzioni



immissione nel mercato

	FATTORI INTERNI		
FATTORI POSITIVI	S Punti Di Forza	W Punti di Debolezza	FATTORI NEGATIVI
	O Opportunità	T Minacce	
	FATTORI ESTERNI		



16.PASSI FONDAMENTALI PER DIVENTARE UN'AZIENDA DATA-DRIVEN

Tuttavia diventare un'azienda DATA-DRIVEN non è sempre fattibile. La causa principale potrebbe derivare dalla realtà dei dati di oggi: il volume, la varietà, la tipologia, la velocità, sono tutte caratteristiche che fanno parte di un'onda lunga che ha sommerso strutture che non erano così pronte a cavalcarla. Senza ombra di dubbio, oggi si generano dati in una maniera più celere di quanto si è in grado di captarli. Le aziende DATA-DRIVEN quindi sono quelle che considerano la gestione dei dati (*Data management*) non un fattore tecnico, ma un pilastro tattico del business, si fanno guidare dai numeri ed informazioni certe per prendere decisioni rilevanti.

Per diventare un'azienda DATA-DRIVEN è indispensabile che ci siano:

- Dirigenti che si prodigano a migliorare l'impresa e dipendenti che hanno l'entusiasmo di contribuire a tutto ciò, cercando di imparare costantemente nuove metodologie e ad adoperare nuove tecnologie. Inoltre ci devono essere delle condizioni affinché possa avvenire un'ottima collaborazione tra il personale, per riuscire così a pianificare al meglio le operazioni da svolgere;
- Processi per definire dei passaggi necessari che assicurino che le decisioni siano basate sui dati e non prese in modo casuale;
- A disposizione tecnologie in grado di consentire alle persone di poter sfruttare meccanismi di self-service sui dati, per costruire piattaforme scalabili, che si prendano cura di automazioni e qualità del dato.

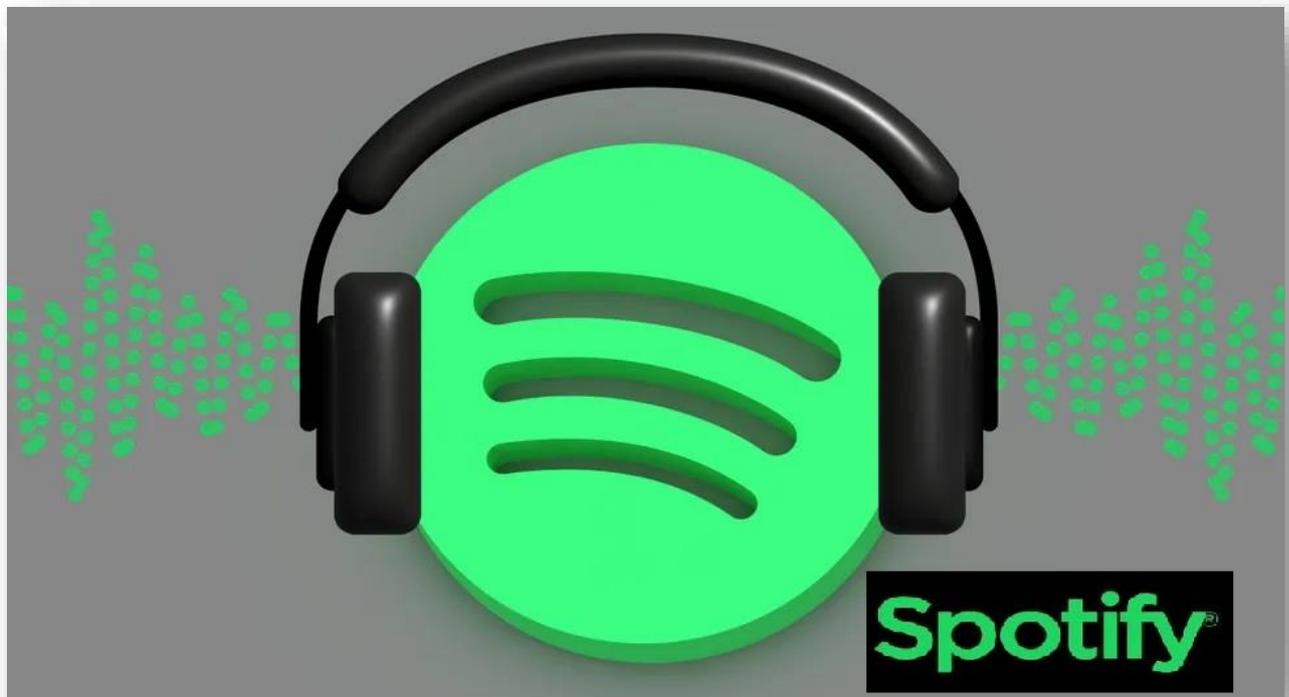
La trasformazione in DATA-DRIVEN Company non può dunque avvenire con la sola tecnologia, ma con un percorso di "*change management*", in grado di portare la cultura del dato a tutti i livelli aziendali. Oggi i CEO ed i manager hanno bisogno di notizie sempre aggiornate e corrette che li aiutino a capire cosa riserva loro il futuro. In un mondo dove la tecnologia regna sovrana ed è in continua evoluzione, non è plausibile rivolgere l'attenzione al passato, all'analisi di metriche e KPI (indicatore chiave di prestazione, attraverso un valore misurabile che dimostra l'efficacia con cui un'azienda sta raggiungendo gli obiettivi) basati su serie storiche,

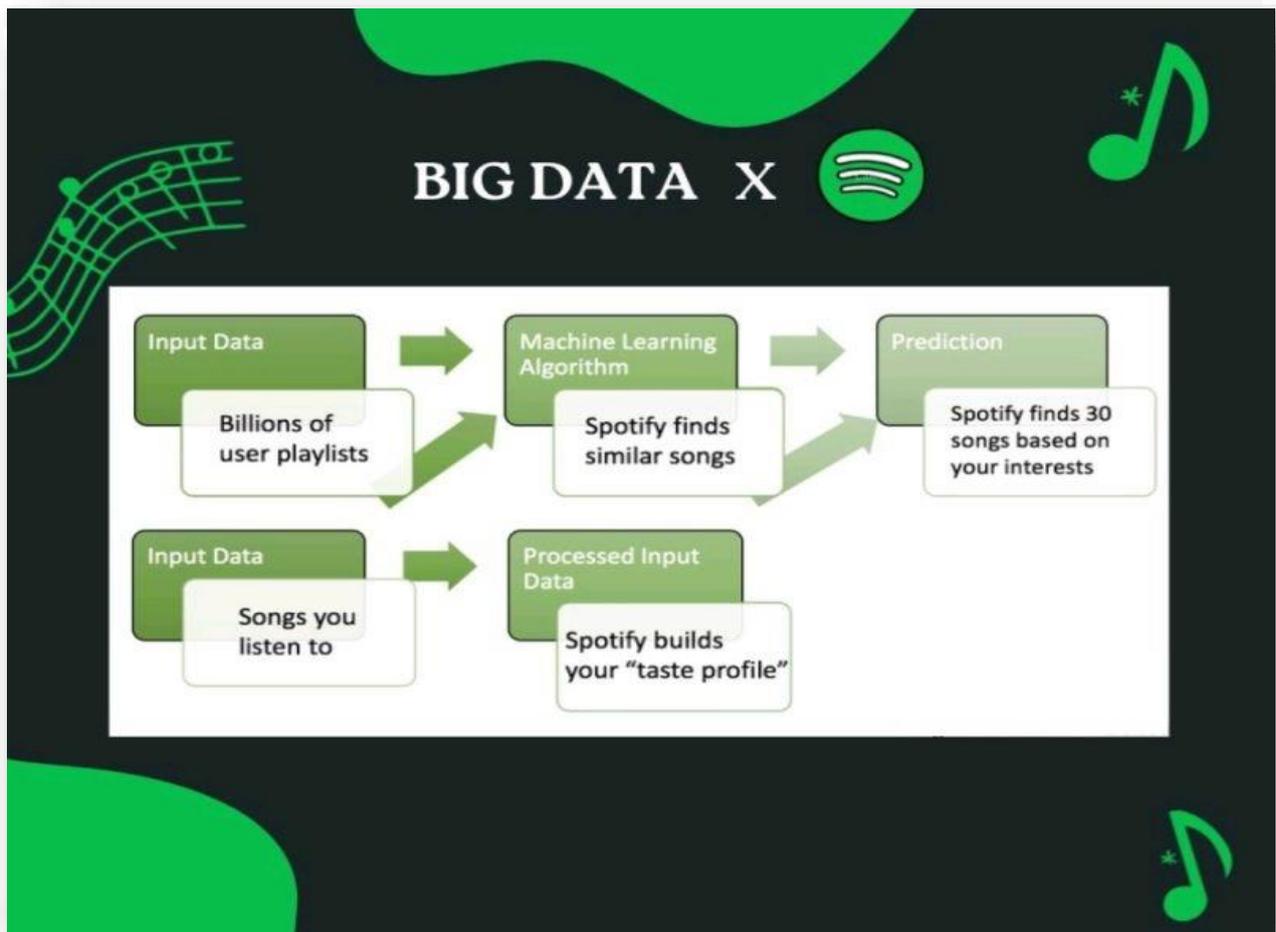
alla generazione di statistiche e report a consuntivo per studiare i comportamenti degli utenti o per individuare problemi tecnici o eventi critici.

Pensiamo ad esempio alla gestione, in tempo reale, di macchinari industriali connessi per la manutenzione predittiva, applicata nel caso dell'industria 4.0 o alle transazioni finanziarie ed alle assicurazioni, dove lo studio dei dati serve per individuare le frodi o nel marketing, dove è fondamentale ormai anticipare i comportamenti del consumatore andando ad osservare le sue preferenze.

17.DATA-DRIVEN DECISION MAKING: SPOTIFY

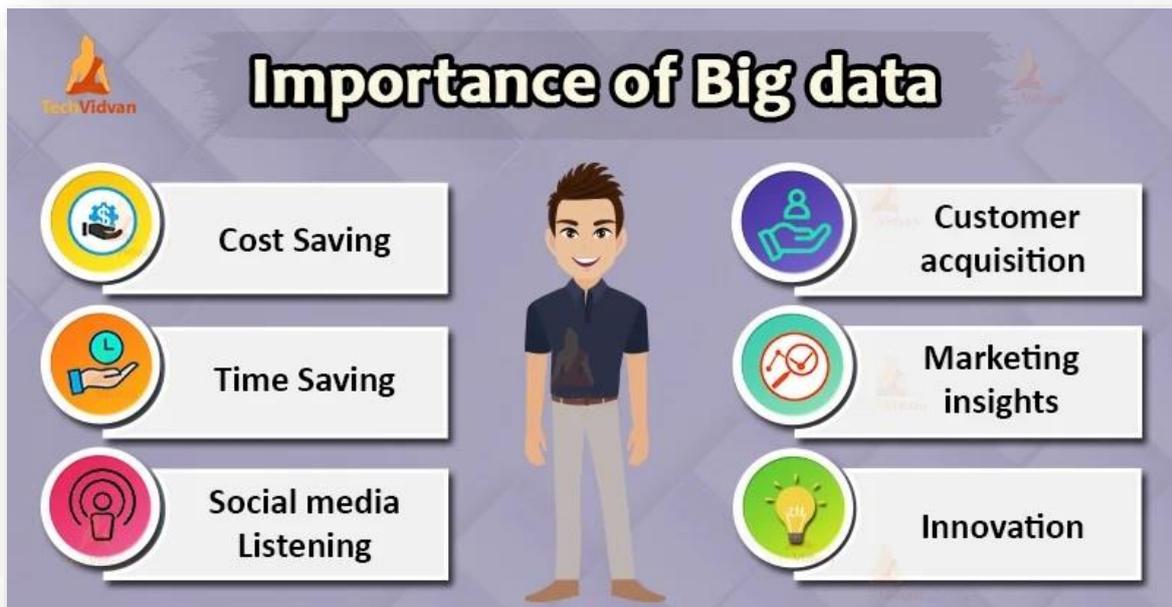
Un esempio di eccellenza è **Spotify**, (servizio musicale privato svedese che offre lo streaming on demand di una selezione di brani di varie case discografiche ed etichette indipendenti, incluse Sony, EMI, Warner Music Group e Universal) che con il suo sistema di suggerimento dei brani, edificato appunto sull'analisi delle preferenze, è una delle aziende più note per aver investito notevoli risorse nel "*Data-Driven Decision Making*": è un approccio che si applica a tutta l'organizzazione, al suo interno vi è un team di dipendenti completamente dedicati allo sviluppo di una piattaforma che rileva e controlla dati in modo automatico. Di recente, Spotify ha voluto seguire questa direzione anche dal punto di vista "*tecnico-infrastrutturale*", assicurandosi che gli impianti siano in grado di fornire dei dati di base su cui poter ragionare, anche per intervenire in caso di necessità di un miglioramento tecnico.





Una volta compreso cos'è il modello DATA-DRIVEN, sorge spontanea una domanda: quali dati occorrono? Il lavoro preliminare da eseguire è ovviamente osservare e comprendere processi, comportamenti e trovare il modo migliore di quantificarli e qualificarli, individuando ciò che è realmente importante per ciascuna impresa. Ad esempio: quanti e quali clienti, quando comprano, quante transazioni, quanto spendono, quanti anni hanno, che personalità hanno, ecc....

Una volta individuati i dati significativi, le aziende li devono raccogliere, governare, proteggere e studiare, il che implica l'entrata in gioco dell' *Intelligenza Artificiale*, della *Machine Learning*, dell'*IoT* e dell'*Advanced Analytics* per la coordinazione di grandi volumi di informazioni, i cosiddetti **Big Data**.

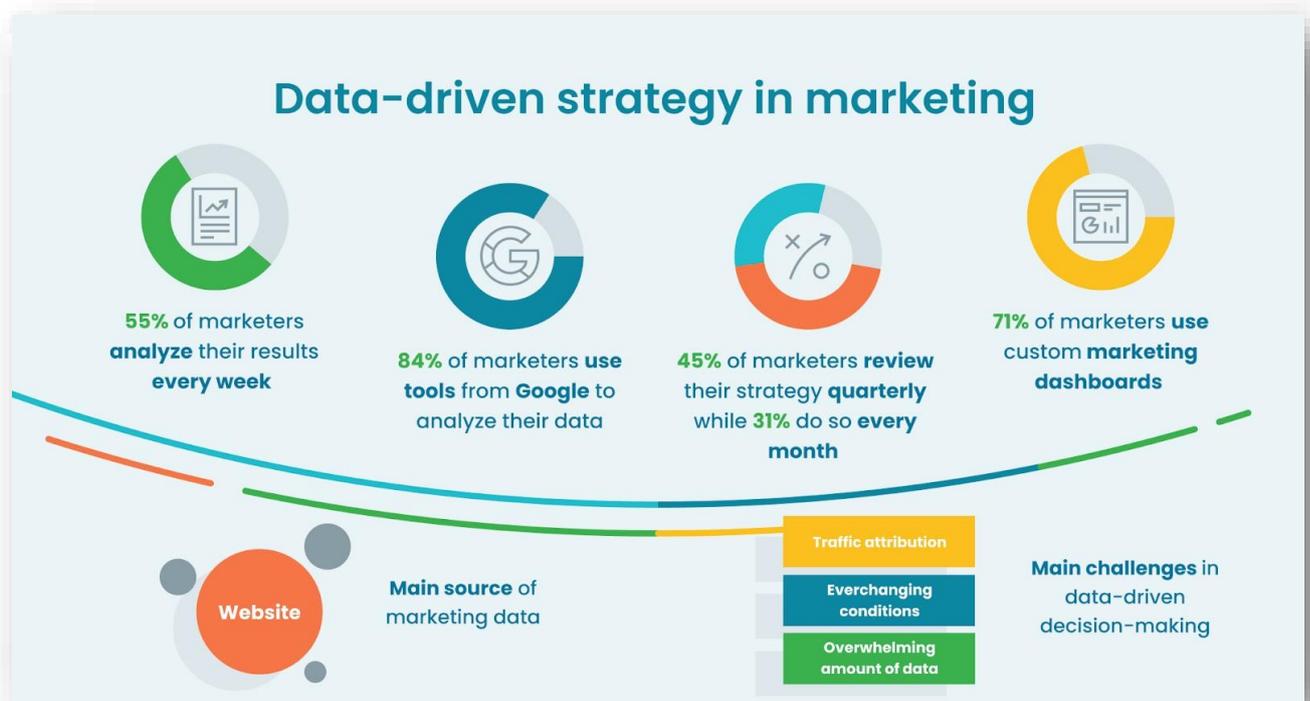


Occorre dunque una *Data Strategy*, i dati infatti devono essere parte integrante della strategia competitiva, considerando il contesto macroeconomico, i benchmarking con l'industria di riferimento (processi dove si confrontano i risultati della propria impresa con quelli di altre che operano nello stesso mercato), il modello di business aziendale. Partendo da qui, si possono poi valutare ed attivare le azioni che permettono di comprendere la posizione competitiva aziendale ed i bisogni dei clienti. La cultura del dato passa anche attraverso la sicurezza, alle imprese servono infrastrutture potenti ed affidabili, le quali devono garantire la protezione massima dei dati, la *Data Protection* infatti è un importante pilastro del business aziendale.

18.STRATEGIA DEL DATA - DRIVEN NEL MARKETING

Escludendo la funzione *Finance* (funzione aziendale che si occupa di tutto ciò che riguarda il denaro), che è da sempre la prima fonte di informazioni per la direzione di un'azienda, l'ambito dove la trasformazione DATA-DRIVEN è più rilevante oggi è il **Marketing**, che ha l'obiettivo di prevedere i comportamenti dei clienti ed aumentare le vendite, personalizzando le proposte sulle singole preferenze.

Secondo uno studio della Salesforce, impresa statunitense di Cloud Computing, nel Marketing continuano a crescere le sorgenti di dati: in media sono passate da 8 a 10 nel 2021 e tra queste le più comuni sono CRM, ERP, eCommerce, Contact Center, i siti Web e le Mobile App; si prevede che diventeranno 45 nel 2025.



Un altro ambito degli *Analytics* è quello dell'ascolto del cliente, ovvero l'analisi della **VoC** (*Voice of the Customer*), quindi delle opinioni lasciate dagli utenti durante le molteplici interazioni con i brand, che viene effettuata in automatico, scandagliando sistematicamente i loro feedback, i quali possono essere :

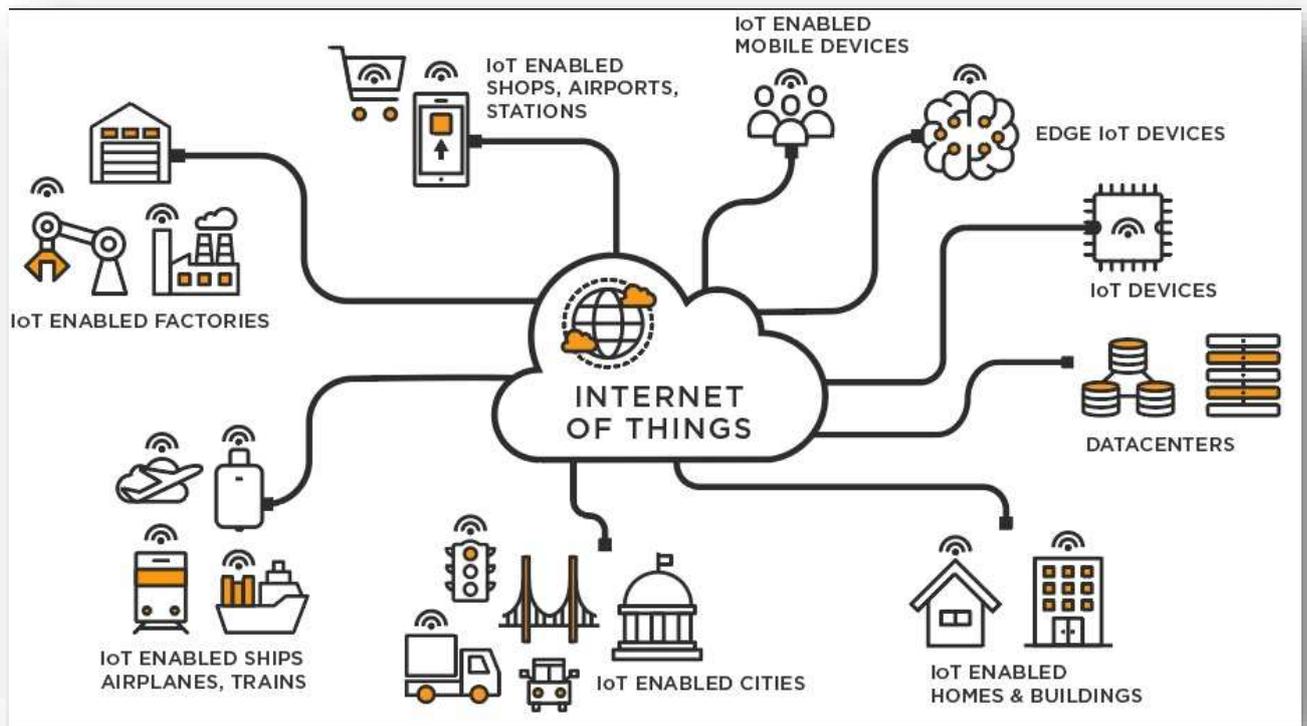
- PUBBLICI come per esempio i commenti sui social, le recensioni e le stellette (*star rating*) per dare un voto;
- PRIVATI come i sondaggi o la pratica del "*Customer Care*", ossia l'insieme di tutti i servizi forniti ai clienti prima, durante e dopo l'acquisto di un prodotto.

La politica del DATA-DRIVEN sta diventando una priorità di innovazione anche per la direzione delle *Risorse Umane* (HR). Esaminare e coordinare informazioni relative al personale aiuta a fornire un maggiore supporto decisionale e strategico in termini di acquisizione, gestione, sviluppo e retention delle persone.

I dati utili per la Direzione HR sono ad esempio quelli di performance, tassi di retention e turnover, contributi social media, risultati delle survey di clima, leadership and competence assessment.

In ambito industriale, *l'Internet of Things*, che rende ogni oggetto un dispositivo connesso e comunicante, ha creato innumerevoli opportunità legate all'accesso a nuove sorgenti di dati. I sensori sono in grado di inviare informazioni in tempo reale ed i tag tengono traccia di ogni spostamento.

Tutto ciò sta determinando nuove esigenze sul piano della gestione dei dati stessi, sia in termini infrastrutturali che analitici.



Come già spiegato, ogni azienda deve saper individuare i dati significativi per il proprio business, in ogni ambito applicativo. Nel Marketing, i dati di prima parte, quelli raccolti direttamente ed archiviati nel CRM (sistema software che coordina tutti i rapporti e le interazioni di un'azienda con i clienti sia potenziali che effettivi), sono senza dubbio i più pregiati e vengono poi integrati con i dati di terze parti, ossia quelli provenienti dai social, ad esempio per generare profili utente ed erogare contenuti in maniera ottimizzata, migliorando così i risultati delle campagne.

Le imprese più avanzate sono oggi in grado di acquisire ed analizzare i dati in tempo reale, nel momento stesso in cui si generano, per creare proiezioni ed ipotesi che grazie all'applicazione di algoritmi del *Machine Learning* (metodo di analisi dati che automatizza la costruzione di modelli analitici), sono sempre più precise e veritiere.

Si parla in questo caso di **Advanced Analytics**, ovvero tecnologie che permettono di utilizzare le informazioni non solo in modalità descrittiva, come avveniva nei tradizionali sistemi di Business Intelligence, ma anche in modalità predittiva e prescrittiva, anticipando problemi e comportamenti, bisogni e tendenze.

I sistemi di Marketing Analytics, ovvero tool e processi per l'analisi dei dati di Marketing, in particolare i Web Analytics, sono ormai parte integrante del lavoro dei marketing manager; attualmente i dati e gli Analytics sono così intrecciati con le strategie di vendita, che le aziende richiedono familiarità con i dati come prerequisito per essere un buon professionista di marketing, oltre alle capacità creative.

I vantaggi del "*DATA-DRIVEN Marketing*" sono evidenti: campagne effettuate con strumenti di Marketing-Automation su segmenti di clienti profilati, ottengono consensi più considerevoli rispetto alle campagne generiche, assicurandosi così un notevole incremento delle vendite.

Il focus del "*DATA-DRIVEN Marketing*" è la Customer Experience personalizzata, ossia l'esperienza complessiva che i clienti vivono durante tutta la loro relazione con l'azienda: non solo lo shopping, ma anche le interazioni che includono la Customer Care and support (assistenza alla clientela) e la scoperta di un brand,

così che il Marketing possa creare un engagement (livello di coinvolgimento emotivo che un utente sente nei confronti di un'azienda o un prodotto) e raggiungere l'obiettivo della fidelizzazione al brand.



Va tenuto sempre a mente che occorre rispettare la privacy dei clienti, i dati personali vanno infatti raccolti chiedendo il permesso, garantendo la loro protezione, spiegando quali vengono scelti e come verranno impiegati.

L'obiettivo principale di un brand, ovviamente, è quello di attirare più clienti possibili, attraverso efficaci strategie di ingaggio e fidelizzazione, privilegiando così la ricerca di quei dati che permettono di conoscere al meglio la popolazione, non solo le caratteristiche socio-demografiche, ma anche le reali abitudini ed esigenze della gente e per ultime ma non ultime, le preferenze in base alle mode del momento.

La captazione di certe informazioni è necessaria inoltre per saper bilanciare prezzi e qualità.

Si possono introdurre varie attività mirate a rilevare dati, ad esempio possono essere forniti volontariamente dai clienti in cambio di vantaggi come buoni sconto, premi ed omaggi; uno strumento chiave per conoscere i comportamenti d'acquisto e veicolare promozioni mirate sono infatti le *fidelity card*.

È opportuno poi integrare più fonti di acquisizione dati in un profilo unico:

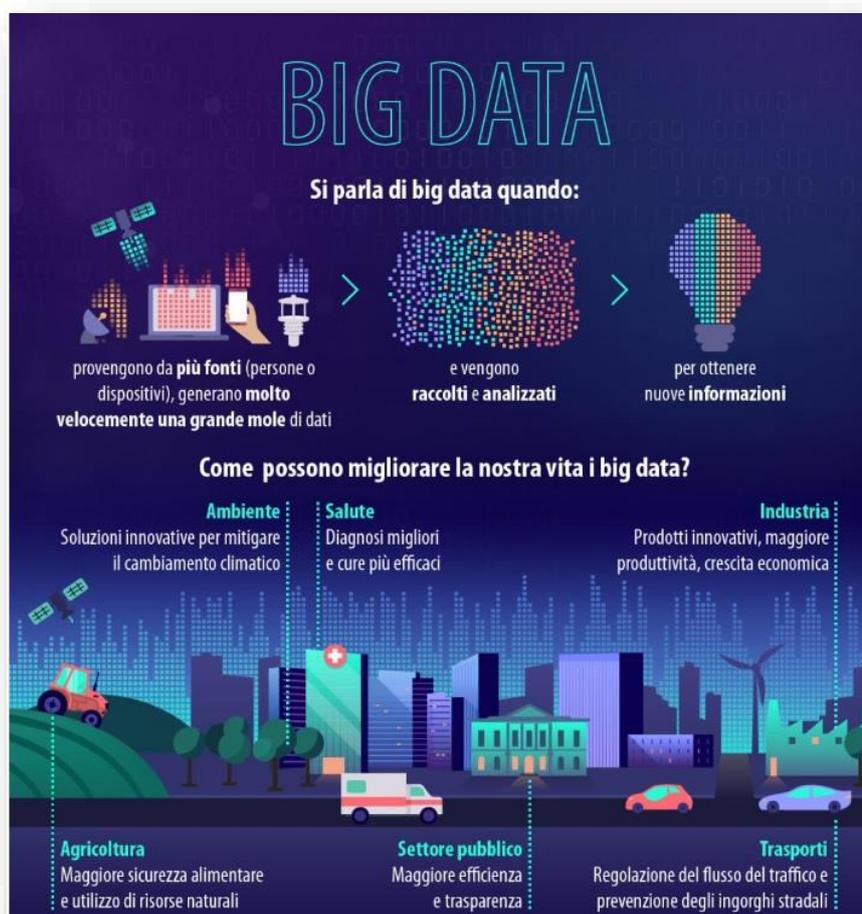
- e-Commerce,
- Pos,
- Campaign-Management,
- Customer Database,
- Carte Loyalty,
- Attività sui social.

La tecnologia al giorno d'oggi permette di tracciare in modo specifico non solo gli acquisti online, ma anche le azioni che avvengono nei social, come i like ad un post, le condivisioni, le recensioni ecc.... indicative del grado di coinvolgimento del cliente.

Un altro tassello tecnologico cruciale è la Customer Data Platform (CDP) che è un data-base unico, gestito dal marketing, accessibile da tutti i sistemi di Marketing-Automation, con una funzionalità chiave : raccogliere le informazioni in tempo reale, relative a dei singoli individui, provenienti da sorgenti diverse.

In aggiunta, alimenta campagne marketing via e-mail o attraverso messaggi su smartphone e *DATA-DRIVEN Advertising*. La società globale di ricerca **IDC** conia il termine "*intelligenza aziendale*" per definire la capacità di un'organizzazione di sintetizzare le informazioni captate e necessarie ai fini aziendali, applicando così la conoscenza risultante su larga scala e ritenendo che tutte le imprese debbano sviluppare una "cultura aziendale" centrata sull'utilizzo dei dati. Sebbene la spesa per i servizi e le soluzioni di analisi e gestione dei dati continuerà a crescere con un tasso a due cifre, IDC rivela che soltanto il 29% delle organizzazioni intervistate afferma di essere "molto preparata" ad affrontare le sfide sul fronte dei dati nel prossimo futuro. Il maggior freno a queste iniziative ed innovazioni aziendali è rappresentato da ostacoli a livello culturale e non tecnologico, per il 90% delle imprese. Il rischio, conclude IDC, è quello che se entro il 2024 le aziende non saranno in grado di controllare la crescita dei dati, l'abilità nel saperli esaminare e il proliferare di silos decisionali (sistemi che separano le diverse tipologie di dipendenti, solitamente in base al reparto in cui lavorano), si sperimenterà l'incapacità di apprendere e trasformare la conoscenza in un vantaggio competitivo.

I dipartimenti di Marketing spesso infatti si trovano privi degli specialisti che dovrebbero osservare, comprendere e mettere a frutto operazioni derivanti dalle informazioni ricercate e quindi ricorrono ad un poco efficace "*reporting retroattivo*". Per superare tutto ciò, **Deloitte** ha compilato un vademecum su come concretizzare un Marketing basato sui Big data, capace di generare valore.



È da sottolineare che i dati valgono poco se non sono "*in forma*" utilizzabile ed inoltre devono essere collocati in base ad un ordine di priorità: ci sono i dati dei propri clienti, quelli di seconde o terze parti ecc....

Dal momento che è improbabile che un solo dispositivo realizzi tutto questo processo, è necessario combinare più strumenti: Online Analytics, piattaforme dei Data Management, CRM, altri tipi di software per la vendita e così via. Saranno poi i **Marketers** che dovranno decidere come adoperare tali dati e che esperimenti effettuare con essi, appoggiandosi ai **Data Scientists** per intuire al meglio quali sono quelli significativi, ossia a degli addetti allo sviluppo di strategie, dopo aver esplorato delle fonti di dati, creando così dei modelli inerenti ai dati optati attraverso dei linguaggi di programmazione quali **Python** e **R**, implementandoli infine nelle applicazioni.

Bisogna dunque capire che cosa è possibile ottenere oggi da questi strumenti e che cosa è solo sperimentazione; non dimenticare poi le piattaforme che si integrano subito con i sistemi di marketing esistenti, come quelle per il rilevamento delle anomalie, per l'individuazione dei trend, dei segmenti e propensione.

Se vi è un'operazione completamente manuale, coordinare le molteplici e disparate fonti di dati ha costi e tempi proibitivi; come già detto, l'impiego dei dati richiede una combinazione di processi e policies, ecco perché entra in gioco anche la **Data Governance** ossia la disciplina che attraverso appunto processi, policies ma anche ruoli, metriche e standard, consente di sfruttare il potenziale del patrimonio informativo di cui aziende ed organizzazioni dispongono. Ciò accade ad esempio nel settore manifatturiero, nella sanità, nelle banche, nelle società di assicurazioni e così via.

Per le organizzazioni sarebbe opportuno inoltre abbandonare il sistema della reportistica mensile e delle previsioni trimestrali che generano conoscenza episodicamente e non in tempo reale, garantendo così prestazioni migliori, anche se ciò potrebbe portare a delle violazioni di privacy riguardo alcune informazioni captate.

19. APPROCCIO ALLA PRODUZIONE SOSTENIBILE ED INTELLIGENTE

Nel corso degli anni, sul fronte delle varie innovazioni scientifiche, numerose imprese hanno promosso l'implementazione di una produzione sostenibile ed intelligente.

La **produzione sostenibile** non consiste soltanto nel ridurre l'impatto ambientale, ma anche nel tener conto dei bisogni della società, nell'essere economicamente responsabili, nel ridurre il più possibile lo sfruttamento delle risorse naturali e dell'energia; infine nel fare appello per pretendere ed assicurarsi dei processi sicuri per i dipendenti.

Nel contesto dell'Industria 4.0, un gemello digitale è ampiamente utilizzato per ottenere una **produzione intelligente**, sebbene questo approccio spesso ignori la sostenibilità.

Considerare contemporaneamente le tecnologie dei Digital Twins e dei Big Data è utile per conseguire una strategia di *produzione intelligente e sostenibile*, fondata su sistemi di gestione delle informazioni per le industrie ad alta intensità energetica (EII), dal punto di vista del ciclo di vita del prodotto.

L'integrazione tra i processi di un gemello digitale e quelli dei big data potrebbe fornire infatti delle tecnologie chiave per l'acquisizione dei dati in ambienti di produzione ad alta intensità energetica, ma anche in ambienti incerti ed impervi, così come il controllo in tempo reale delle condizioni di lavoro sia semplici che complesse. Dopo aver esaminato due aziende, una nel **Sud** ed una nel **Nord** della **Cina**, si è constatato l'efficacia della strategia di integrazione; i risultati mostrano che le due imprese A e B hanno raggiunto gli obiettivi di risparmio energetico e riduzione dei costi.

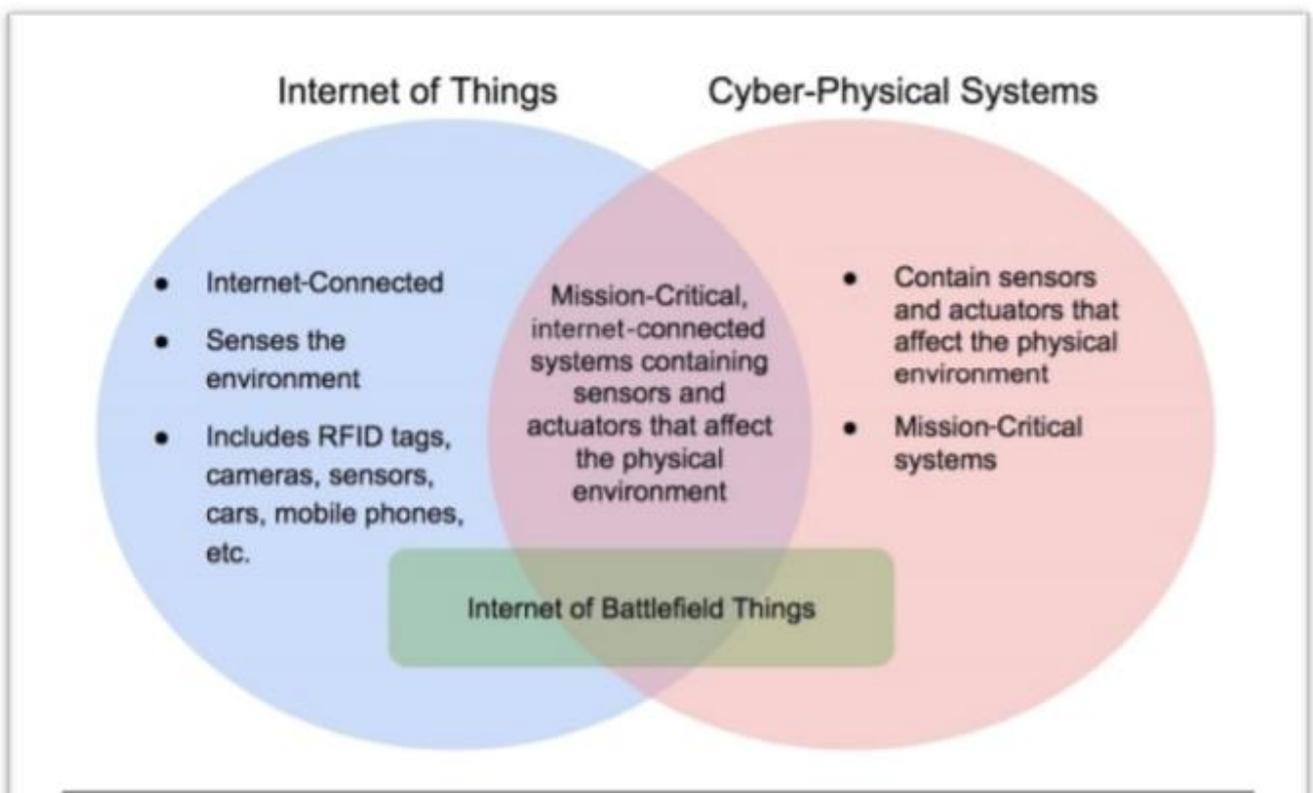
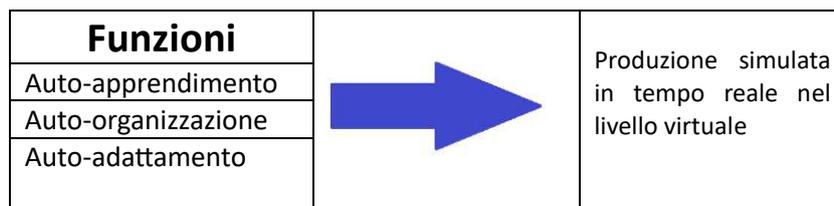
Rimanendo sempre nel contesto dell'Industria 4.0, l'applicazione dell'**IoT** (Internet of Things) nelle industrie manifatturiere, genera enormi dati che richiedono il monitoraggio, in particolare per i dispositivi informativi integrati nel prodotto.

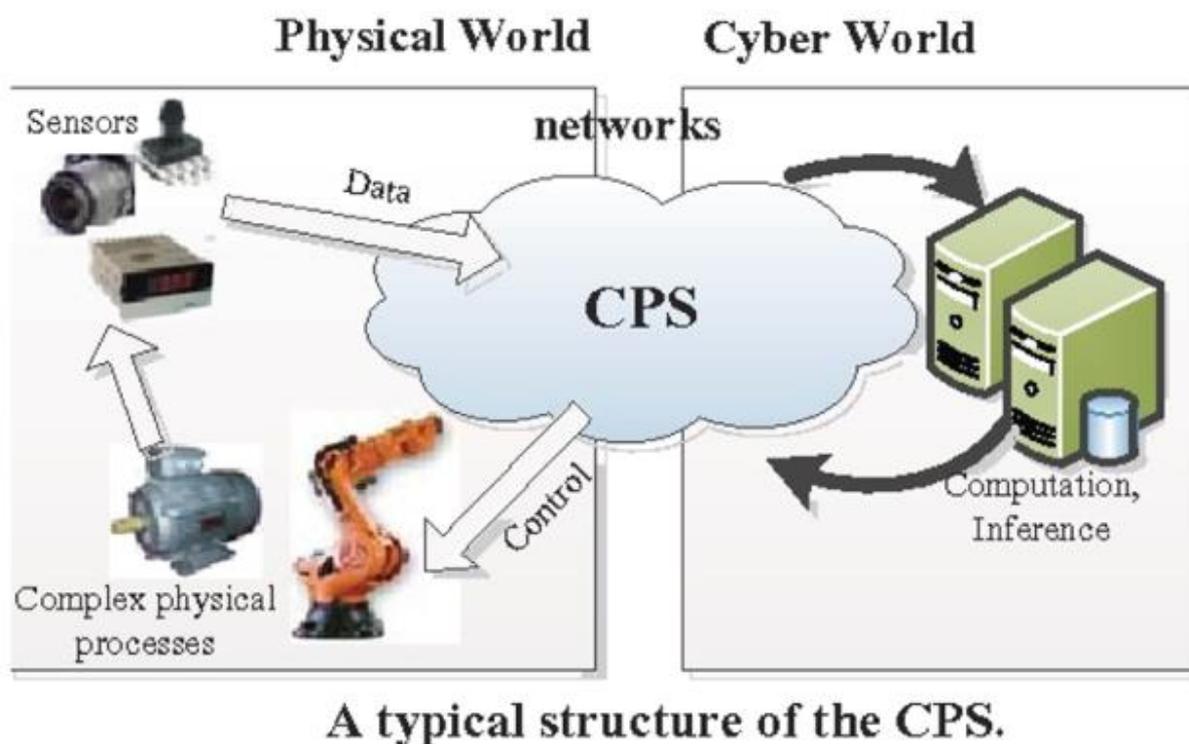
Il monitoraggio e la manutenzione delle fasi del ciclo di vita del prodotto, sono compiti cruciali nella produzione, mirano a rilevare le eccezioni e garantire la normale esecuzione delle attività.

La raccolta dei dati è difficile in alcuni ambienti, come ad esempio quelli ad alta pressione, alta temperatura, alta alcalinità, alta acidità e fumosi, pertanto studiare i prodotti ad alta intensità energetica, ottenere ed integrare i dati dal loro intero ciclo di vita, per migliorare l'efficienza energetica, rimane una sfida.

Tuttavia nel **Cyber-Physical System** (sistema informatico in grado di interagire in modo continuo con il sistema fisico in cui opera, è composto da elementi fisici dotati ciascuno di : *capacità computazionale, comunicazione e capacità di controllo*), un Digital Twin potrebbe fornire idee per risolvere il problema dell'assortimento dati nelle situazioni particolari, esso infatti sarebbe in grado di estrarre i big data in tempo reale, formare una mappatura sia per le officine fisiche che quelle virtuali ed infine ottimizzare i processi di progettazione, produzione ed assistenza del prodotto.

Realizzando così funzioni di auto-apprendimento, auto-organizzazione ed auto-adattamento attraverso la tecnologia dei gemelli digitali, la produzione derivante dagli ambienti estremi può essere simulata in tempo reale nel livello virtuale; dunque le informazioni difficili da captare possono essere ottenute indirettamente.





20. CONFRONTO TRA I DIGITAL TWINS E LA METODOLOGIA DATA-DRIVEN

La **differenza essenziale** tra le due tecnologie sta nel fatto che:

- I Digital Twins vengono utilizzati per simulare un negozio fisico ed ottenere dati simultaneamente, ma non considerano come tali dati vengono procurati e convertiti in conoscenza;
- La metodologia DATA-DRIVEN invece viene adoperata per integrare ed analizzare le informazioni senza considerare le interazioni in concomitanza tra le officine fisiche e quelle virtuali.

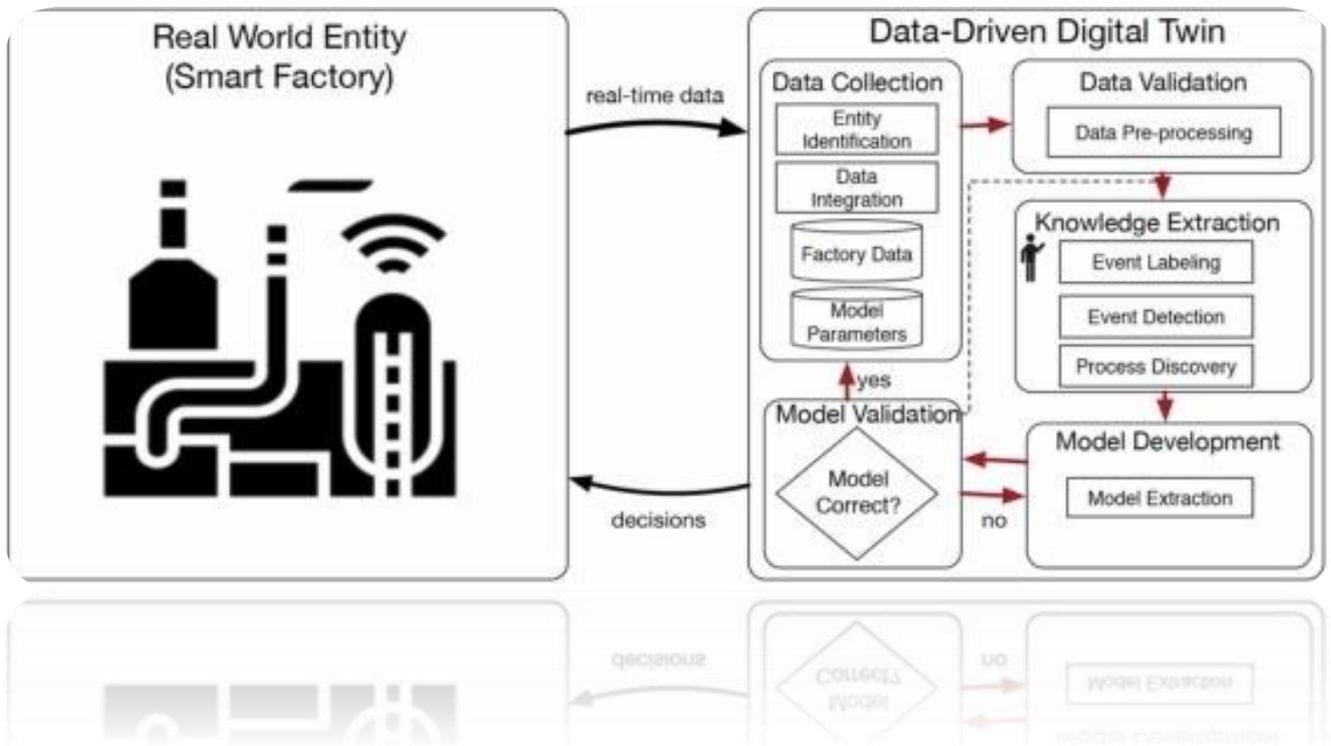
In termini di applicazioni, mentre la metodologia DATA-DRIVEN si concentra maggiormente sulle tecnologie relative ai dati, come:

- il *Cloud Computing*, tipologia di servizi erogati via internet ed accessibili da remoto, l'utente non ha bisogno infatti di acquistare il software ed installarlo sul proprio pc, è sufficiente che si colleghi tramite browser;
- la *pulizia dei dati*;
- il *Data Mining*, tecnica di analisi assistita da computer per elaborare ed esplorare grandi insiemi di dati e con alcuni strumenti scoprire schemi e relazioni segrete;

Un gemello digitale invece si focalizza maggiormente sulle tecnologie fondate sull'unione reale-digitale come:

- la *simulazione*;
- la *realtà virtuale*;
- la *realtà aumentata*;
- il *Cyber-Physical System*.

Pertanto, è necessario un metodo di integrazione per i Digital Twin ed i Big Data, che non solo possa concretizzare l'interazione in tempo reale tra laboratori fisici e virtuali, ma anche trasformare i dati raccolti in conoscenza, così che la combinazione delle due tecnologie possa conseguire un processo completo del ciclo di vita del prodotto, dall'acquisizione dei dati alla loro analisi ed al feedback, migliorando così l'integrità e la praticabilità dell'intero sistema.



21. PROCESSI DI FUSIONE TRA DIGITAL TWIN E DATA DRIVEN

Per la progettazione, la produzione ed i servizi di un prodotto, viene proposto quindi un **nuovo metodo** guidato dal gemello digitale sfruttando l'analisi dei big data.

La ricerca scientifica infatti si è concentrata su come generare ed impiegare i *Dati Cyberfisici* per gestire e costruire al meglio il ciclo di vita di un prodotto.

Per valutare in modo ottimale la qualità di un prodotto, è stato proposto un progetto a "doppia guida digitale" per coniugare entità fisica e modello virtuale del prodotto.

Per la realizzazione invece di un **robot cellulare**, un approccio basato sulle tecnologie dei gemelli digitali per una produzione intelligente, è stato suggerito per la riduzione del consumo di energia, infatti grazie ad un sistema di sensori al suo interno ed alle telecamere di cui è dotato, è in grado di monitorare gli ambienti e di "comunicare" eventuali malfunzionamenti dei sistemi elettrici, termici o perdite d'acqua e di gas, in collegamento all'impianto domotico.



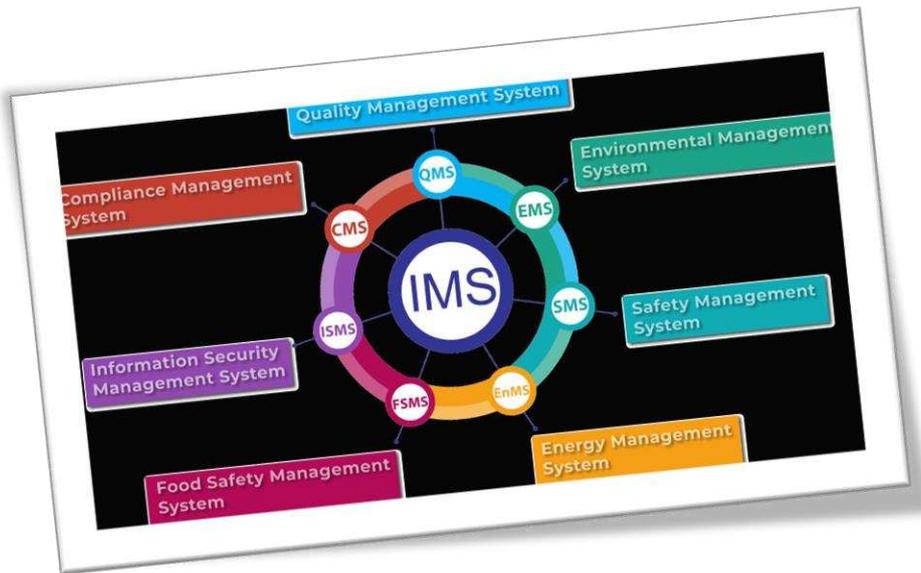
Per la riforma della produzione nelle imprese manifatturiere, si è ideato un piano di lavoro di riferimento per la fusione tra virtuale e reale attraverso sia i Big Data che i Digital Twins, attuando la cosiddetta produzione intelligente e promuovendo l'aggiornamento dell'intelligenza aziendale.

Inoltre è stato elaborato un modello di servizio per eseguire un monitoraggio continuo sulle risorse utilizzate nella produzione condivisa ed è stato sviluppato un sistema per dimostrare la fattibilità di tale modello.

La combinazione delle tecnologie dei Digital Twin e dei Big Data sappiamo che dovrebbe favorire la crescita di una produzione intelligente, per ottenere un certo grado di precisione e qualità sui prodotti e servizi da fornire.

Non a caso tra le varie proposte da attuare, vi è un'architettura gerarchica di un gemello digitale basata sullo sfruttamento dei Big Data, per migliorare l'efficienza produttiva.

Ren ha esaminato l'utilizzo dei Big Data durante la formazione dell'intero ciclo di vita del prodotto ed ha illustrato come questi grandi dati possono essere raccolti, ripuliti, elaborati, integrati ed estratti negli **IMS** (sistemi di gestione dati ed interfacce di programmazione delle applicazioni dei sistemi gerarchici per l'organizzazione e l'accesso ai dati stessi), suggerendo inoltre di conseguire un quadro analitico basato sui Big Data per gli **EIMI** (*European Institute of Mathematics for Innovation*) e per avere strategie di produzione più efficaci. Un altro studio ha introdotto un'architettura predittiva per pianificare la produzione fondata sull'analisi dei Big Data ed assegnare strumenti per facilitare il risparmio energetico per gli EIMI.



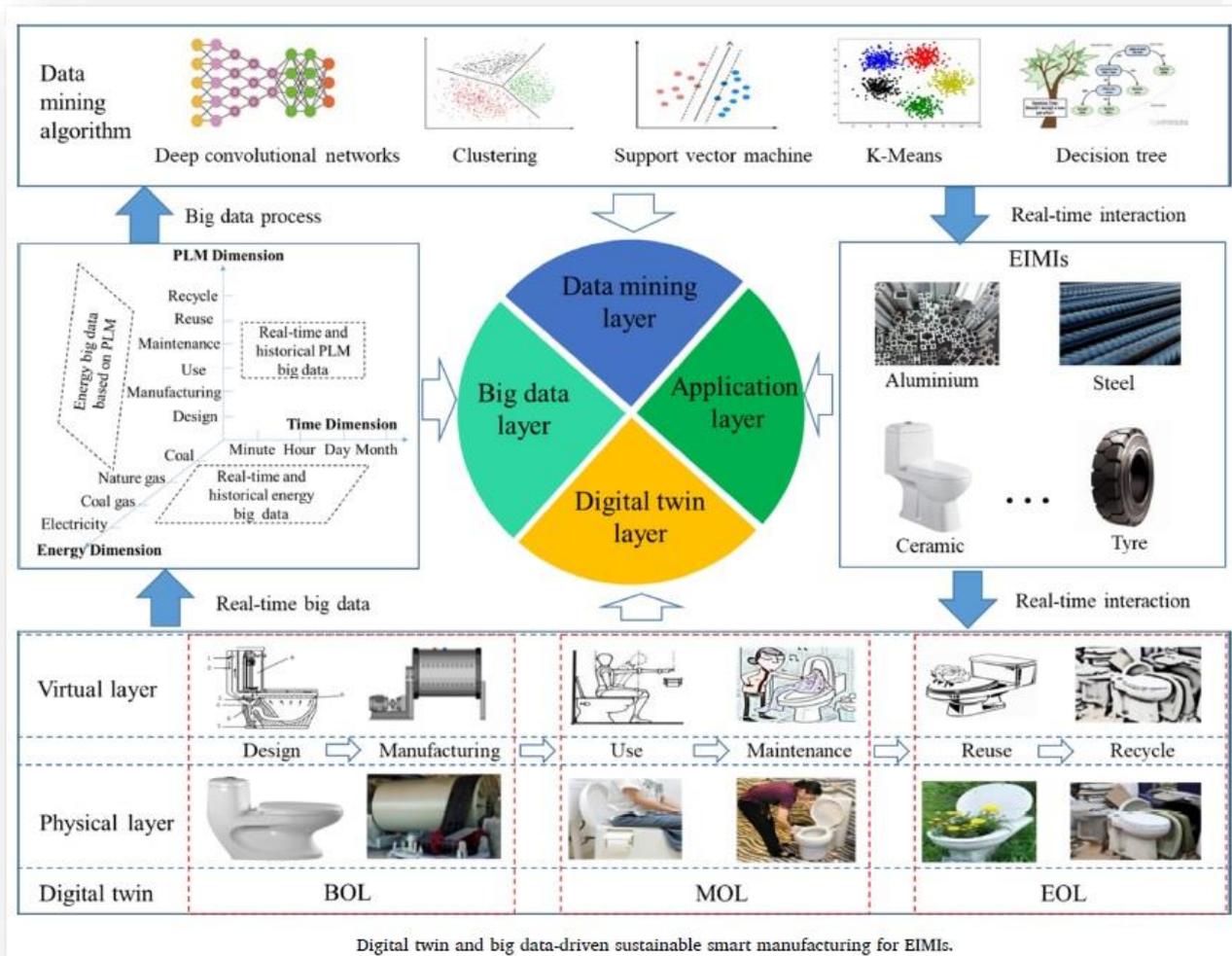
22. LIMITI DELLA NUOVA STRATEGIA PROPOSTA

Nel contesto della produzione intelligente e sostenibile, i Digital Twins ed i Big Data sono stati studiati a fondo, ma diverse lacune devono ancora essere colmate:

- Per quanto riguarda il gemello digitale nel settore manifatturiero, la maggior parte degli studi si è concentrata sulla pianificazione della produzione 'intelligente', dedicando poca attenzione all'integrazione negli IMS. Anche negli EIMI, il gemello digitale basato sugli IMS non è stato abbastanza attenzionato;
- In termini di produzione intelligente e sostenibile realizzata attraverso l'analisi dei Big Data, la maggior parte dei modelli e dei metodi presentati si è concentrata solo nel campo delle industrie manifatturiere, trascurando le caratteristiche ad alta intensità energetica e le tecnologie del gemello digitale;
- Infine, la produzione intelligente e sostenibile che doveva essere costruita grazie alla fusione delle tecnologie dei Big Data ed dei gemelli digitali per gli EIMI è stata esiguamente esaminata.

L'idea di base è quella di raggiungere un certo grado di sostenibilità ed intelligenza della produzione sfruttando in contemporanea sia l'innovazione della metodologia DATA-DRIVEN e sia quella dei Digital Twin per le imprese manifatturiere ad alta intensità energetica.

23. NUOVI PARADIGMI PER I PRODOTTI AD ALTA INTENSITÀ ENERGETICA NELLE FABBRICHE DI PRODUZIONE



Digital twin and big data-driven sustainable smart manufacturing for EIMs.

L'immagine appena esposta, mostra l'anello chiuso della struttura della strategia, che consiste nella combinazione delle tecnologie del gemello digitale, Big Data, Data Mining e delle correlate applicazioni. La parte inferiore dell'immagine illustra i sotto-strati fisici e virtuali di un gemello digitale, che include l'inizio del ciclo (BOL; design e produzione), metà ciclo (MOL; uso e manutenzione) e fine ciclo (EOL; riutilizzo e riciclo). Grazie alla tecnologia *IoT*, possono essere raccolti dati riguardo le fonti e gli usi dell'energia per la gestione del ciclo di vita del prodotto in tempo reale e trasferiti in un preciso livello dedicato all'immagazzinamento.

I big data energetici degli EIMI includono:

- La dimensione PLM (progettazione, fabbricazione, uso, manutenzione, riuso e riciclo);
- La dimensione ENERGETICA (carbone, gas naturale, gas di carbone ed elettricità);
- La dimensione TEMPORALE (minuti, ora, giorno, mese ed anno).

Due qualsiasi di queste dimensioni costituiscono Big Data basati su PLM, storici ed in tempo reale, ma anche Big Data riguardanti l'energia in tempo reale e storici.

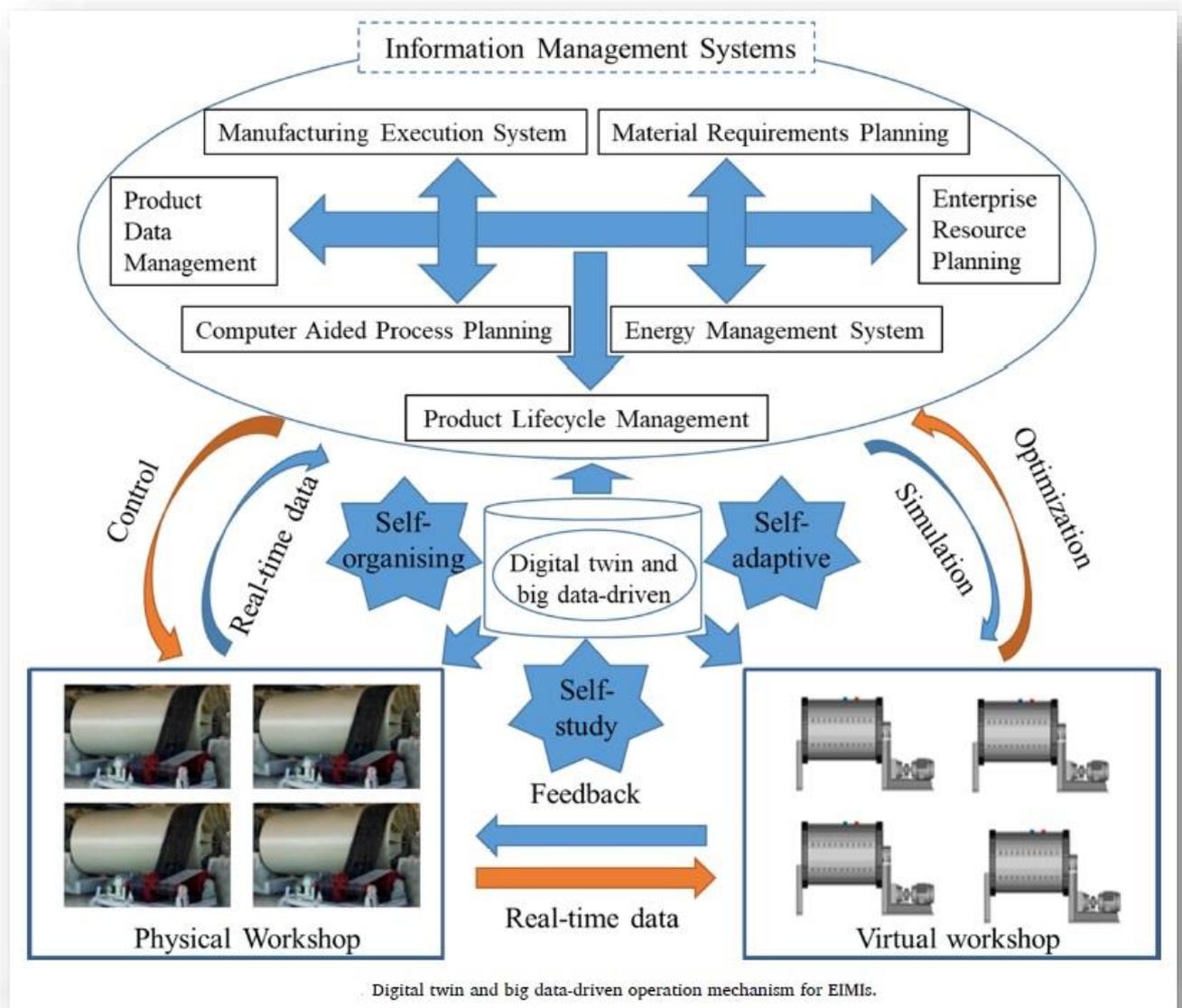
Questi set di dati vengono semplificati, integrati e memorizzati negli IMS.

Il consumo ed il costo dell'energia durante le diverse fasi del ciclo di vita del prodotto, possono essere calcolati in dettaglio per migliorare ulteriormente l'efficienza ed il risparmio energetico delle imprese.

Nel livello del Data Mining, diversi algoritmi, come il **Deep Convolutional Networks**, il **Clustering**, il **Support Vector Machine**, il **K-Means** ed il **Decision Tree**, sono stati progettati per ottenere intelligenza e sostenibilità.

Nel livello dell'applicazione, l'energia ed il consumo di risorse possono essere ridotti, migliorando così la produzione e l'efficienza. Se si riesce a raggiungere una produzione sostenibile ed intelligente si gioverà in termini di economia ed ambiente. Successivamente, le funzioni non utilizzate possono essere adoperate nel livello del Digital Twin, dove si raccoglie ulteriormente dei dati, per ottenere l'ottimizzazione iterativa e migliorare il controllo dell'intera dimensione PLM.

Si andrà poi a proporre un nuovo paradigma per i prodotti ad alta intensità energetica nelle fabbriche di produzione: un gemello digitale e delle operazioni attraverso l'uso dei Big Data e dei meccanismi adeguati per gli EIMI.



Questo schema invece illustra la tecnologia del gemello digitale costituita dai laboratori fisici e virtuali e dagli IMS.

Si osserva quindi che negli IMS vengono progettati:

- Il **Manufacturing Execution System (MES)**, il sistema in cui avvengono determinate operazioni per realizzare la produzione;
- Il **Material Requirements Planning (MRP)**, dove avviene la pianificazione dei fabbisogni dei materiali;
- L'**Energy Management System (EMS)**, il sistema che si occupa della gestione dell'energia necessaria concretizzare la produzione;
- L'**Enterprise Resource Planning (ERP)**, ovvero dove avviene la pianificazione delle risorse aziendali;
- Il **Product Data Management (PDM)**, qui si effettua la coordinazione dei dati del prodotto;
- Il **Computer Aided Process Planning (CAPP)**, ossia dove si verifica la pianificazione dei processi assistita appunto dai computer;
- Il **Product Lifecycle Management (PLM)**, in cui ha luogo la conduzione ed il controllo dell'intero ciclo di vita di un prodotto;

L'officina fisica fornisce dati in tempo reale per quella virtuale e gli IMS, a loro volta, simulano l'officina virtuale e controllano quella fisica.

D'altro canto il laboratorio virtuale può fornire informazioni all'officina fisica ed ottimizzare in modo iterativo il processo di produzione attraverso gli IMS.

Inoltre, il monitoraggio preciso delle condizioni dell'officina, svolge un ruolo importante nel rilevamento del suo stato e dei guasti. L'officina fisica inizia a creare i prodotti correlati solo dopo l'approvazione di tale compito. Quindi gli IMS raccolgono ed archiviano dati su persone, macchine, prodotti e consumo di energia. L'officina virtuale simulerà la produzione del prodotto nell'officina fisica e fornirà feedback alla produzione. Successivamente, gli IMS vengono uniti per controllare il processo di produzione ad alta intensità energetica nell'officina fisica. L'obiettivo finale del gemello digitale e delle operazioni basate sui big data, come già esposto, è raggiungere una produzione sostenibile ed intelligente per EIMI, così che le capacità di auto-organizzazione, auto-adattamento ed auto-apprendimento dei laboratori possono essere raggiunte nelle future fabbriche intelligenti. Sottolineiamo poi che i vari dispositivi provenienti dall' IoT, basati su tecnologie informatiche avanzate, vengono configurati in ogni processo inerente a tale contesto, per formare un ambiente "*Internet of Manufacturing Things*". I vari dati possono essere catturati e raccolti da tag RFID [piccoli chip, in cui sono contenute le informazioni riguardanti l'articolo o il prodotto che identifica, codificate attraverso le radiofrequenze (LF, HF o UHF)], o da altri tipi di sensori o contatori intelligenti e così via.

Sulla base dei protocolli di comunicazione (ad esempio. RS-485/232, Wi-Fi, Bluetooth e 4/5G), è possibile stabilire un ambiente di produzione distribuito e dinamico per raccogliere dati sia in tempo reale che non e trasferirli negli IMS per il processo decisionale efficiente dal punto di vista energetico.

I dati energetici ridondanti originali possono includere rumori, dettagli illegali, abbreviazioni, duplicati o essere insignificanti, possono implicare inoltre dettagli non validi, errati, ripetitivi oppure consumare alti livelli di energia o causare ritardi. I tradizionali metodi di controllo e di purificazione di dati hanno dimostrato di non essere efficaci nell'età contemporanea. Ecco perché si è provato ad impiegare dei programmi, come **Storm Stream** e **MapReduce Batch Processing** per la pulizia e gli accertamenti sui dati energetici sia in tempo reale che non.

Durante l'ispezione dei dati, vengono create regole per gestire i dati e le loro inesattezze, che possono avvenire durante la loro raccolta da varie fonti.

Per arrivare a soluzioni efficienti, i vincoli dei dati vengono combinati attraverso la conoscenza del dominio per sviluppare norme pertinenti, come la limitazione della lunghezza del campo d'azione e la consistenza delle abbreviazioni.

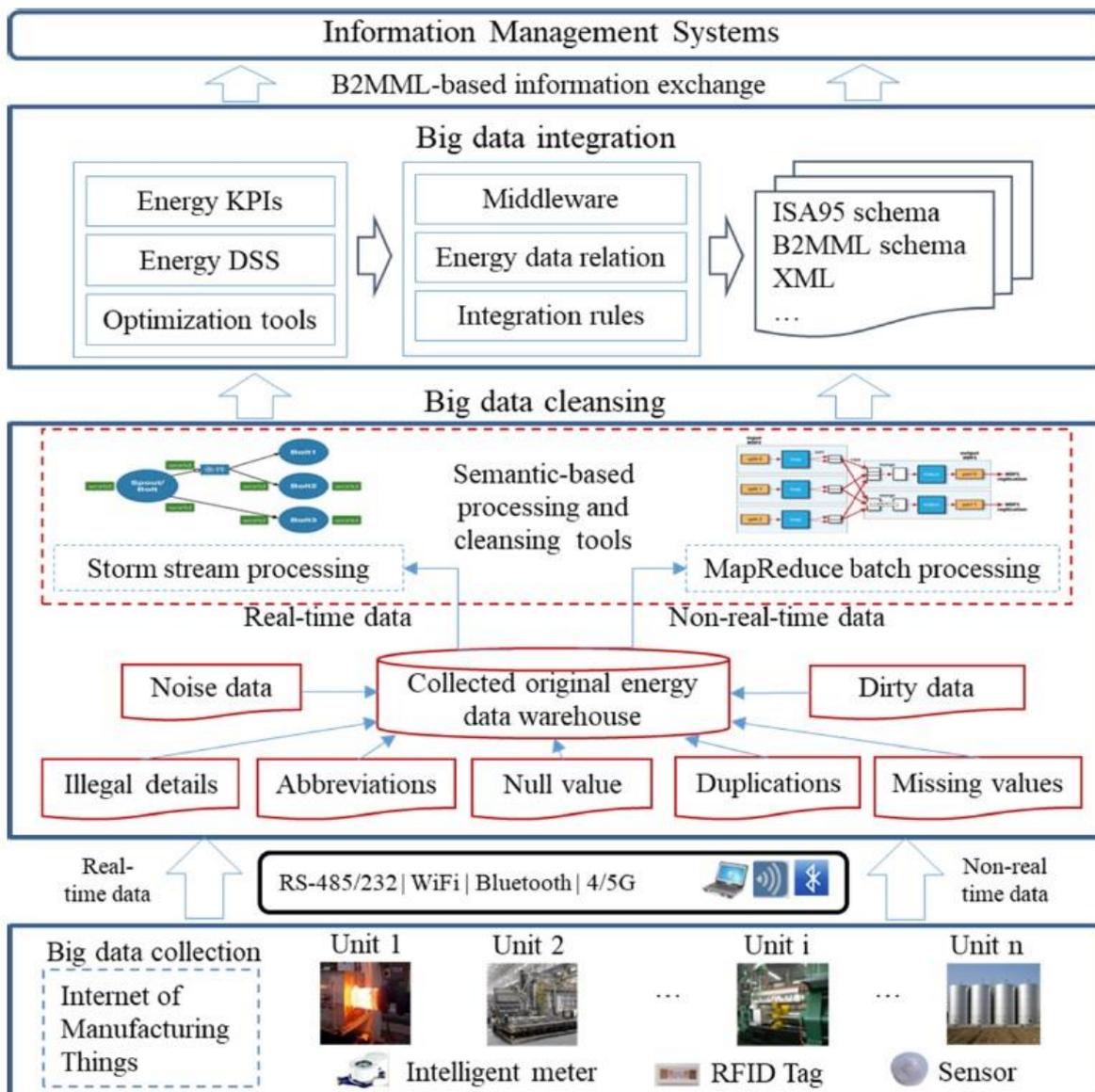
Non è possibile utilizzare direttamente una grande quantità di dati sull'energia, anche dopo averli revisionati e corretti, tuttavia si possono integrare in molteplici modi per garantire una corretta condivisione su diversi segmenti di mercato per il business.

Viene realizzato così un metodo di modellazione dei dati unificato per costruire appunto un modello per i dati energetici attraverso la multi-granularità ed il multi-livello per le varie integrazioni.

Gli indicatori chiave della prestazione energetica (EKPI), vengono adoperati in un sistema di supporto (DSS) con strumenti di ottimizzazione per definire le relazioni tra i dati riguardanti l'energia multi-sorgente, l'integrazione delle informazioni sulle regole da seguire nei suddetti processi e l'impiego della tecnologia middleware.

Lo standard internazionale **ISA 95**, impiegato per lo sviluppo di un'interfaccia automatizzata tra sistemi aziendali e sistemi di controllo, il linguaggio di markup dal business alla produzione (**B2MML**) ed il linguaggio di mercato estensibile (**XML**), vengono adottati per fornire schemi standard per i vari dati energetici captati. I formati degli standard possono essere utilizzati nel processo decisionale, dal punto di vista energetico, per ottenere un valore aggiunto.

Successivamente, tutti i dati possono essere integrati nei diversi IMS.



The overall framework of big data collection, cleansing and integration for EIMs.

24.FUSIONE DELLE DUE TECNOLOGIE IN DUE AZIENDE CINESI

Il gemello digitale e la metodologia DATA-DRIVEN, come tecnologie emergenti, sono state ampiamente al centro dell'attenzione mondiale e si sono evolute gradualmente negli ultimi anni.

Tuttavia molte aziende sono riluttanti ad utilizzare queste tecnologie, a causa del loro costo elevato e secondo alcuni ad avere pochi benefici. Gli autori hanno constatato che sono poche infatti le aziende che adoperano entrambe le tecnologie.

L'efficacia della strategia di produzione intelligente e sostenibile, da attuare attraverso l'uso contemporaneo dei Digital Twins e dei Big Data, è difficile da analizzare e verificare in una sola azienda.

Pertanto, ora confronteremo ed esamineremo due aziende produttrici di ceramica, una nella Cina meridionale ed una in quella settentrionale.

La tabella che ora andremo ad esporre riassume il consumo totale di energia delle due società in questione:

Comparison of the annual energy consumption rates of the two companies.

Parameters	Electricity consumption (kWh)	Coal gas (cubic meters)	Natural gas (cubic meters)	Diesel (tons)	Water consumption (tons)
Company Faenza (A)	25 million	/	14 million	280	0.35 million
Company Huida (B)	86.18 million	95.60 million	2.48 million	/	1.2 million

Nel primo caso quindi troviamo l'azienda **Faenza** (denominata qui *Azienda A*) della **Cina Meridionale** che utilizza uno **SGA** (Sistema di Gestione Ambientale) per ottenere una produzione intelligente e sostenibile, ossia un sistema che garantisce il controllo di tutti gli aspetti ambientali legati alle proprie attività aziendali o a quelle svolte per proprio nome da parte dei fornitori. Questo strumento permette da un lato di tutelare l'ambiente e la salute dell'uomo, dall'altro di ridurre al minimo i rischi di eventuali sanzioni che potrebbero arrecare gravi danni all'attività di un'impresa.

Nel secondo caso abbiamo la società **Huida** (denominata qui *Azienda B*) della **Cina Settentrionale**, che può raggiungere una produzione intelligente e sostenibile, migliorare l'efficienza energetica attraverso la captazione e l'impiego dei Big Data riguardo il ciclo di vita di un prodotto.

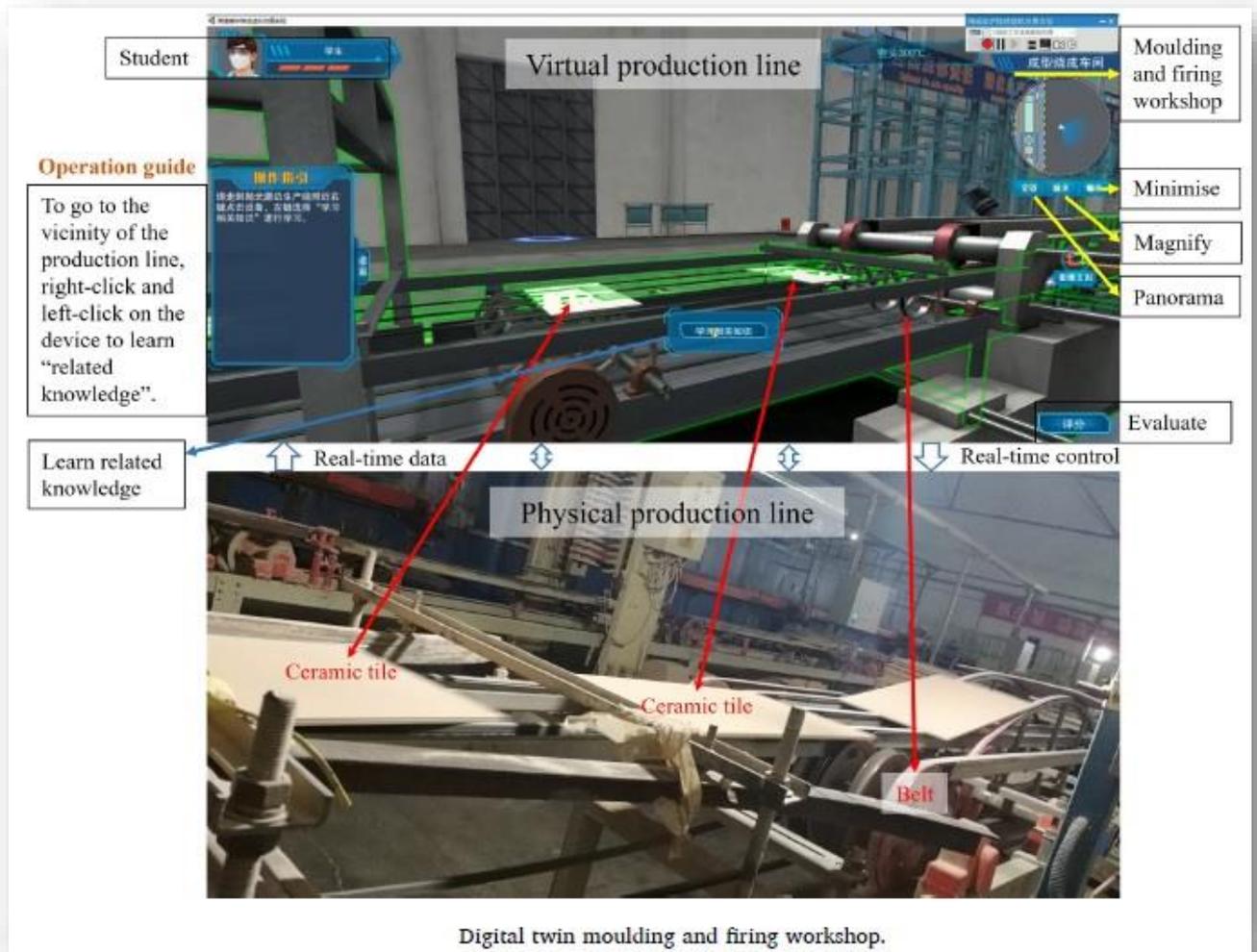
La maggior parte degli studi sulla tecnologia dei gemelli digitali non viene messa in pratica, questo perché implementare alcune innovazioni nella maggior parte delle aziende è impegnativo e l'acquisizione dei dati in tempo reale richiede una tecnologia eccezionalmente avanzata, che ha un costo maggiore rispetto ai benefici del risparmio energetico, di conseguenza un gran numero di imprese è riluttante a provare la tecnologia del gemello digitale.

Durante la fase di produzione, la funzione di auto-organizzazione di una fabbrica senza equipaggio può essere concretizzata attraverso la creazione di un Digital Twin, mentre la funzione auto-adattativa può gestire automaticamente determinate singolarità che possono presentarsi.

L'entità virtuale può essere utile anche per la funzione di auto-apprendimento, accumulando esperienze e conoscenze in svariati ambiti.

Il software di simulazione della produzione della ceramica può creare un laboratorio virtuale utilizzando come esempio il laboratorio di stampaggio e cottura.

L'officina fisica fornisce dati in tempo reale per quella virtuale, mentre l'officina virtuale controlla il lavoro di quella fisica in tempo reale.



Digital twin moulding and firing workshop.

Nell'angolo in alto a sinistra dell'immagine, lo studente, l'insegnante o l'operatore può essere selezionato come oggetto di utilizzo e funzionamento. Sempre sulla sinistra, viene mostrata la guida operativa ed il suo contenuto principale è quello di introdurre le funzioni dei pulsanti destro e sinistro del mouse.

Ad esempio, per recarsi nelle vicinanze della linea di produzione, un utente può fare click con il pulsante destro del mouse, oppure fare click con il pulsante sinistro sul dispositivo per acquisire "conoscenze correlate". Sotto il cerchio, sul lato destro dell'immagine, è possibile selezionare il tasto per il panorama, l'ingrandimento e la riduzione ad icona.

24.1 Focus Azienda A

Nel **caso A**, i dati dell'officina di stampaggio digitale, vengono analizzati in base all' EMS e l'implementazione del Digital Twin presentato è necessaria per l'attuazione della strategia proposta e quindi per ridurre il consumo di energia e risparmiare sui costi.

Il modello energetico del ciclo di vita di un prodotto è espresso nella seguente equazione:

$$E_B^A = \sum_{i=1}^{N_B^A} c_i \cdot g_B^i = 25 \cdot 10^6 \cdot 0,1229 + 14 \cdot 10^6 \cdot 1,330 + 0,28 \cdot 10^3 \cdot 1,4571 + 0,35 \cdot 10^6 \cdot 0,0857 \approx 21,7229 \cdot 10^6 \text{ (kgce)}$$

Dove:

E_B^A	È il consumo energetico totale del prodotto durante un determinato intervallo di tempo;
C_i	È l'equivalente standard di carbone del mezzo energetico i-esimo;
g_B^i	È l'utilizzo totale dell'i-esimo mezzo energetico;
$Kgce$	È l'intensità energetica (sta per chilogrammo di carbone equivalente);
$N_B^A = 4$	È il totale delle classi di energia media nella società A.

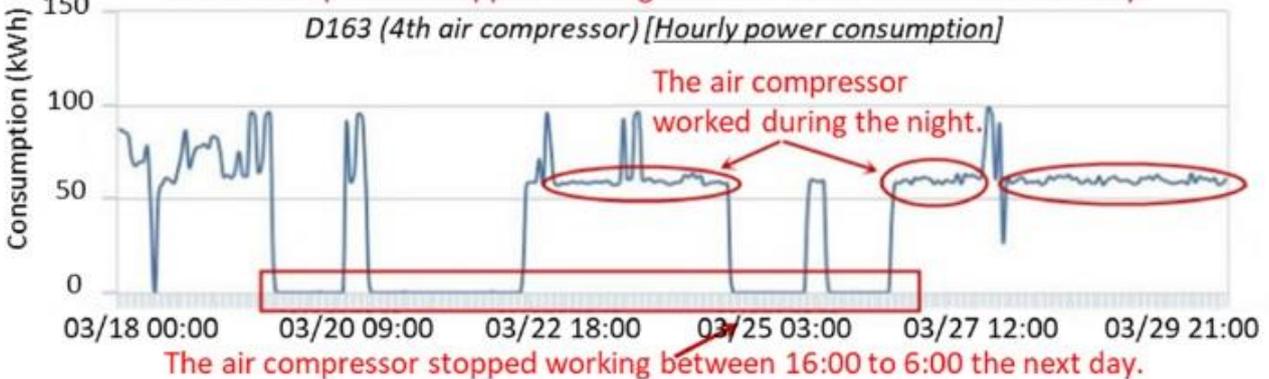
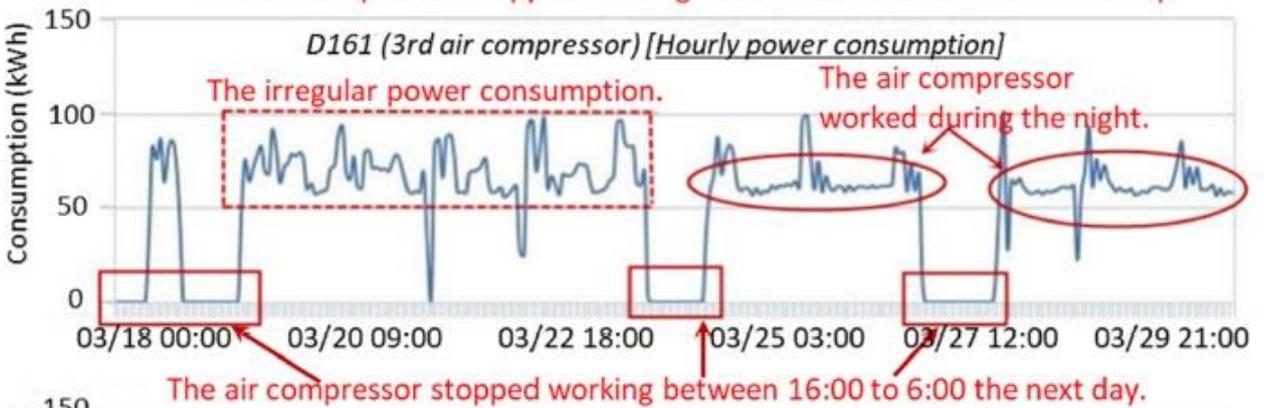
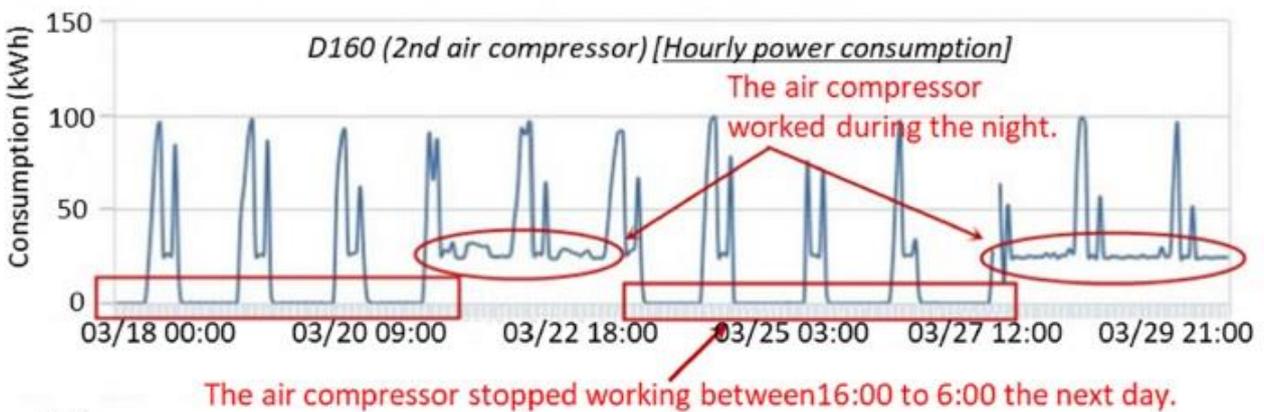
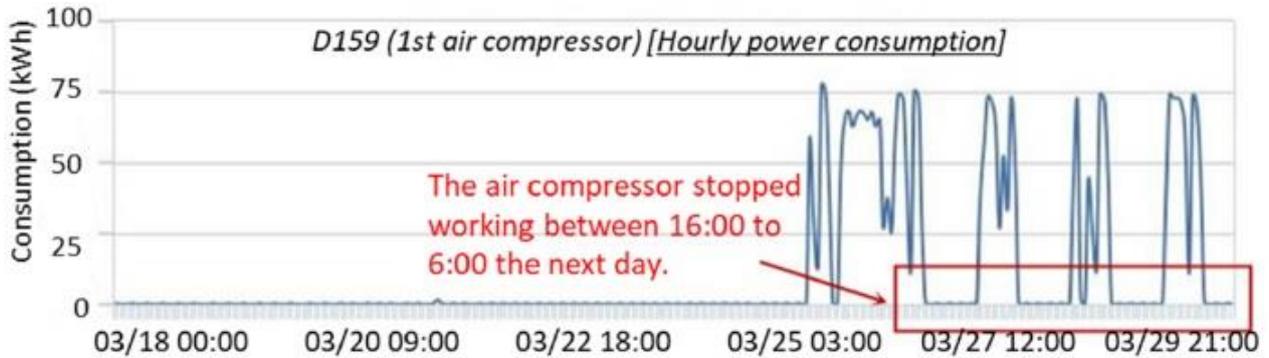
Parametri- Energia BOL	
	0,1229 kgce/kWh
• Gas naturale	1,330kgce/m ³
• Gasolio	1,4571 kgce/kg
• Acqua	0,0857 kgce/t
	Kgce = intensità energetica

- kWh= chilowattora
- m³ = metro-cubo
- t = tonnellata

Grazie al SGA sviluppato dal partner ricerca e sviluppo (R&S), l'azienda può raccogliere dati nuovi ogni minuto che passa, l'operatore infatti può impostare un certo tipo di raccolta in base alle esigenze dell'azienda. La fabbrica ha più linee di produzione: la quarta linea di produzione, che comprende tre officine di stampaggio, è stata scelta per illustrare la strategia.

Gli operatori lavorano a rotazione su due turni per garantire che l'attività si svolga tutto il giorno. L'uso di aria compressa è esaminato sulla base dell'EMS per identificare e bloccare immediatamente qualsiasi problema o errore di produzione. Diminuire la quantità di aria compressa può in aggiunta far risparmiare energia e ridurre consumi e costi di produzione.

Il regolamento per il funzionamento del compressore d'aria è coerente con la produzione vera e propria dell'azienda A, i compressori del 2° e 4° piano hanno consumato meno energia elettrica nel periodo 19-23 marzo, poiché le ore di lavoro sono state inferiori, mentre il 3° compressore ha mostrato un consumo irregolare, come esibito nel grafico che segue:



Comparison of hourly power consumption in moulding workshop on March 18–29.

Pertanto, stabilizzare il consumo di aria compressa e garantire che quest'ultima non venga utilizzata durante le ore non lavorative, è fondamentale per il funzionamento e la manutenzione quotidiana dei compressori d'aria in fabbrica.

Riassumendo quanto sopra, la quantità di aria compressa nel terzo piano presenta potenziali margini di riduzione e l'impiego notturno dell'aria deve essere anche esso sempre ispezionato per determinare se si verifica una perdita o un utilizzo anomalo.

I dati possono essere suddivisi in livelli orari e giornalieri: grazie all'EMS, possono essere poi adoperati per determinare il tempo di un eventuale anomalia del consumo energetico, in base alla curva di potenza dell'apparecchiatura.

Inoltre possono anche essere adoperati per promuovere l'uso, nelle ore NON di punta ed in base ai prezzi dell'elettricità, per risparmiare sui costi. Infine possono essere sfruttati per individuare le differenze di consumo energetico tra le varie apparecchiature ed aggiornare gli impianti obsoleti.

Dopo aver implementato perciò gli IMS, per riuscire ad attuare la strategia di produzione intelligente e sostenibile, è diventato possibile monitorare e studiare i dati energetici multi-fonte ed eterogenei generati durante la produzione.

Di conseguenza, dopo un solo mese di utilizzo, i **consumi energetici** hanno mostrato una riduzione del 3% e man mano che i gestori acquisivano maggiore familiarità con il funzionamento dell'EMS, i risparmi energetici aumentavano gradualmente.

L'azienda A quindi è riuscita a risparmiare circa il 4% dei costi energetici dopo il secondo semestre di attività, ed ad ottimizzare l'intera produzione, migliorando costantemente l'efficienza energetica e risparmiando così il 5%–10% dei costi energetici annuali.

Ora andiamo ad esaminare l'azienda B che essendo una delle imprese leader nel settore della ceramica, nella Cina Settentrionale, ha chiari vantaggi competitivi, soprattutto nell'ambito sanitario: mira a soddisfare la domanda dei consumatori di prodotti di alta qualità e fornire servizi eccellenti attraverso la progettazione, la ricerca e lo sviluppo, la produzione e le vendite.

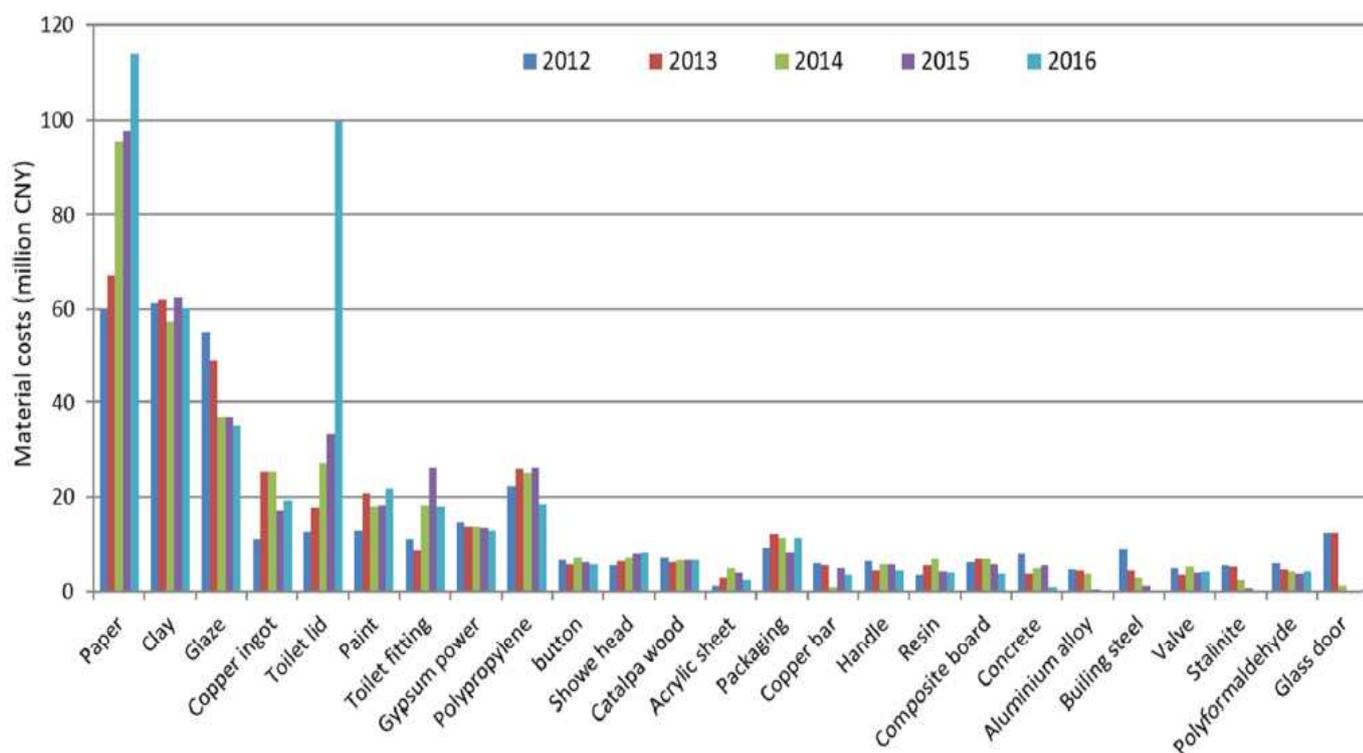
24.2 Focus Azienda B

L'azienda B produce maggiormente cinque tipi di prodotto, tra cui sanitari in ceramica, vasche e mobili da bagno, piastrelle in ceramica che vengono venduti anche all'estero ed in tutte le altre province della Cina. Al fine di raggiungere l'obiettivo della quotazione, la società B ha riepilogato i dati degli anni precedenti e ha pubblicato due prospetti online rispettivamente nel 2015 e nel 2017, che hanno fornito supporto per lo studio di questo caso. In particolare, i dati dal 2012 al 2016 sono fondamentali per mantenere la riservatezza dell'attività critica dell'azienda B. Il costo viene utilizzato per il confronto e l'analisi di diversi tipi di dato che caratterizzano ogni fase del ciclo di vita di un prodotto. Appalti a lungo termine o temporanei sono stati adoperati per l'acquisto di materiali ed energia; vengono stabilite e negoziate relazioni di cooperazione, a lungo termine, con fornitori importanti per grandi quantità di energia primaria e materie prime.

Per i materiali ausiliari di minor consumo, prezzo e qualità, l'approvvigionamento avviene nell'istante della richiesta.

Unit price of the primary materials.

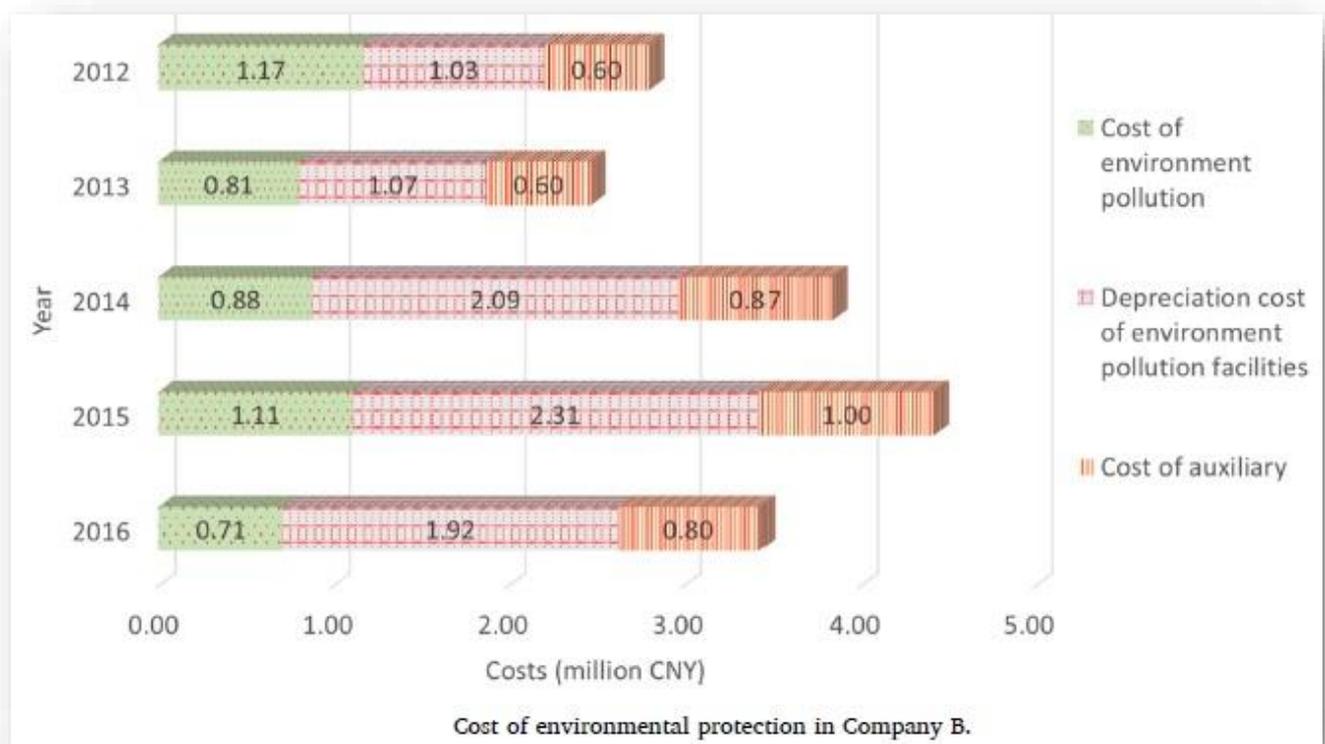
Main material	Unit	2012	2013	2014	2015	2016
Paper	CNY/ton	2478.13	2237.75	2169.9	2146.29	2261.81
Clay	CNY/ton	258.62	274.64	288.04	280.42	276.35
Glaze	CNY/ton	2032.51	1718.39	2036.05	1991.47	2303.51
Copper ingot	CNY/kg	36.95	35.33	32.8	28.73	27.89
Toilet lid	CNY/piece	1105.39	1060.47	1147.44	1248.81	1178.5
Paint	CNY/kg	18.98	18.9	18.37	18.51	19.1
Toilet fitting	CNY/piece	29.62	33.43	37.09	35.62	32.16
Gypsum power	CNY/ton	495.63	493.38	502.39	495.59	505.04
Polypropylene	CNY/ton	9516.43	9871.77	9907.01	7380.57	7638.13
Button	CNY/piece	1.68	1.36	2.2	2.07	1.94
Shower head	CNY/piece	19.67	20.39	21.04	18.94	19.39
Catalpa wood	CNY/cubic meter	5445.56	5452.57	6502.13	6161.72	5308.84
Acrylic sheet	CNY/kg	23.43	22.81	22.62	21.8	20.83
Packaging	CNY/piece	0.97	1.2	1.01	1.12	1.09
Copper bar	CNY/kg	36.43	35.2	31.83	29.34	26.36
Handle	CNY/piece	4.18	5.46	6.36	6.52	7.08
Resin	CNY/kg	11.53	12.57	12.18	11.8	12.48
Composite board	CNY/kg	17.48	16.87	17	16.8	13.92
Concrete	CNY/cubic meter	128.87	139.08	276.13	257.19	266.51
Aluminium alloy	CNY/kg	18.37	18.66	18.78	18.8	18.9
Building steel	CNY/ton	4386.29	3659.15	3414.09	2410.94	2517.53
Valve	CNY/piece	3.63	4.33	6.15	4.98	4.76
Stalinite	CNY/cubic meter	55.67	55.47	57.21	50.63	51.3
Polyformaldehyde	CNY/ton	13857.39	12033.01	9832.5	8673.65	10890.26
Glass door	CNY/piece	410.26	402.25	408.28	411.03	403.54



Material costs in Company B.

La tabella appena mostrata, presenta tutti i costi dei materiali dal 2012 al 2016, con i valori di carta, argilla e smalti relativamente elevati, questo perché la società B produce principalmente, come già spiegato, sanitari e piastrelle in ceramica, che hanno bisogno in particolar modo appunto di queste materie prime. Questa azienda ha sempre prodotto un gran numero di servizi igienici, soprattutto dal 2016 in poi, quando il governo cinese ha incoraggiato la produzione di **servizi igienici intelligenti**, a seguito dei quali, la domanda di coperchi per WC è improvvisamente aumentata a dismisura. Da sottolineare poi è che L'Huida considera la qualità del prodotto come l'ancora di salvezza dell'impresa e quindi implementa controlli rigorosi seguendo le normative nazionali e di settore pertinenti. La catena di produzione dell'azienda B, che è simile a quella dell'azienda A, comprende la macinazione, lo stampaggio, la smaltatura e la sinterizzazione; inoltre ha una modalità di produzione esternalizzata. Nel corso degli anni, l'Huida ha sempre attribuito importanza alla protezione dell'ambiente ed ha adottato efficaci misure di monitoraggio e di trattamento per i vari fattori inquinanti tra cui acque reflue, gas di scarico, rifiuti solidi e rumori. Con il passare del tempo e l'invecchiamento graduale delle apparecchiature, il costo dell'inquinamento ambientale, il costo di ammortamento delle strutture per salvaguardare dall'inquinamento ambientale e dei materiali ausiliari sono aumentati gradualmente nel 2014 e nel 2015.

In altre parole, il costo della protezione ambientale è aumentato progressivamente in entrambi gli anni.



A causa della politica ambientale del governo, le apparecchiature che emettono gas di scarico, come le caldaie, sono state chiuse per sei mesi nel 2016. Successivamente, il costo della protezione ambientale è diminuito, pertanto, l'azienda B ha potuto continuare ad adottare misure per risparmiare energia e ridurre le emissioni, senza dover chiudere nessun impianto.

Nella tabella che ora verrà esibita, troviamo che i ricavi complessivi delle vendite sul mercato interno sono aumentati dal 2012 al 2016.

Sales revenues and composition according to the selling model in Company B (million CNY).

Items		2012	2013	2014	2015	2016
Indirect sales	Domestic	549.27	801.52	1006.52	1010.76	1118.68
	Overseas	667.03	636.93	664.39	803.18	699.06
Direct sales	Engineering	410.11	251.67	249.49	284.68	249.99
	Others	129.99	145.90	156.56	124.21	196.01
Total		1756.40	1836.01	2076.96	2222.83	2263.74

Nel 2016 i ricavi delle vendite sul mercato interno sono aumentati del 103,67% rispetto a quello del 2012. Il motivo principale è da attribuire al progresso dello sviluppo urbano della Cina ed al significativo miglioramento del tenore di vita delle persone; i ricavi delle vendite sul mercato interno hanno infatti risentito della continua crescita dei consumi e di alcuni marchi.

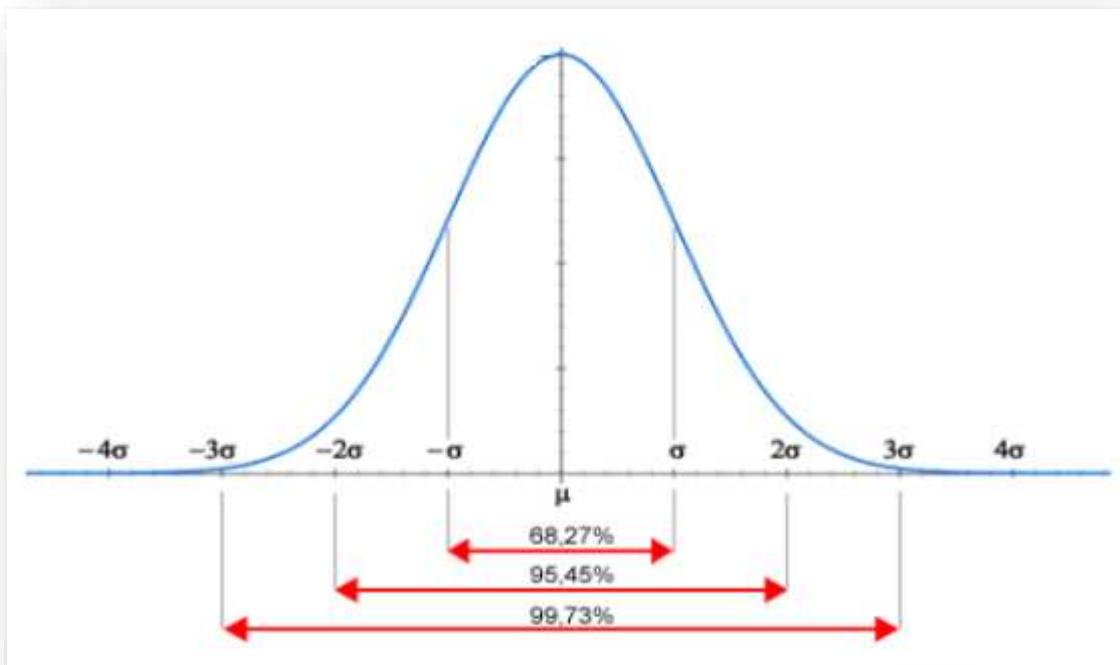


Company B's distributors, sales revenues and percentages throughout China in 2016.

Nell'immagine appena esposta vi sono invece i distributori e le vendite dell'azienda B in tutta la Cina nel 2016, con i ricavi in percentuale. Come si può evincere sempre dal grafico, il fatturato nel Nord della stato è il più alto, seguito da quello della zona orientale: Il motivo è legato alla posizione delle società ed allo sviluppo economico differente nelle varie regioni della Cina.

La società B si trova nel Nord della Cina ed i ricavi delle vendite sono proporzionali alla distanza di trasporto,

essa vende i suoi prodotti principalmente attraverso rivenditori e distributori; infatti questi sono partner stabili che garantiscono fondamentalmente la crescita continua dei ricavi delle vendite dei prodotti. Il mercato si estende in base alle caratteristiche regionali, le regioni orientali hanno una domanda maggiore rispetto a quelle della Cina centrale ed occidentale. In aggiunta, la domanda nelle città è superiore a quella nelle zone rurali, a causa dei diversi livelli di sviluppo economico in tutto il paese. Nel contesto dell'Industria 4.0, le industrie manifatturiere possono ottenere un vantaggio competitivo sostenibile attraverso vari modelli di gestione, realizzabili ad esempio o con il **Six Sigma** che è un programma di gestione della qualità, basato sul controllo dello scarto quadratico medio, con lo scopo di portare la qualità di un prodotto o di un servizio ad un determinato livello, particolarmente favorevole per il consumatore o con altri programmi di produzione snella che si prodigano per ridurre gli sprechi fino ad eliminarli e mirano alla qualità totale.

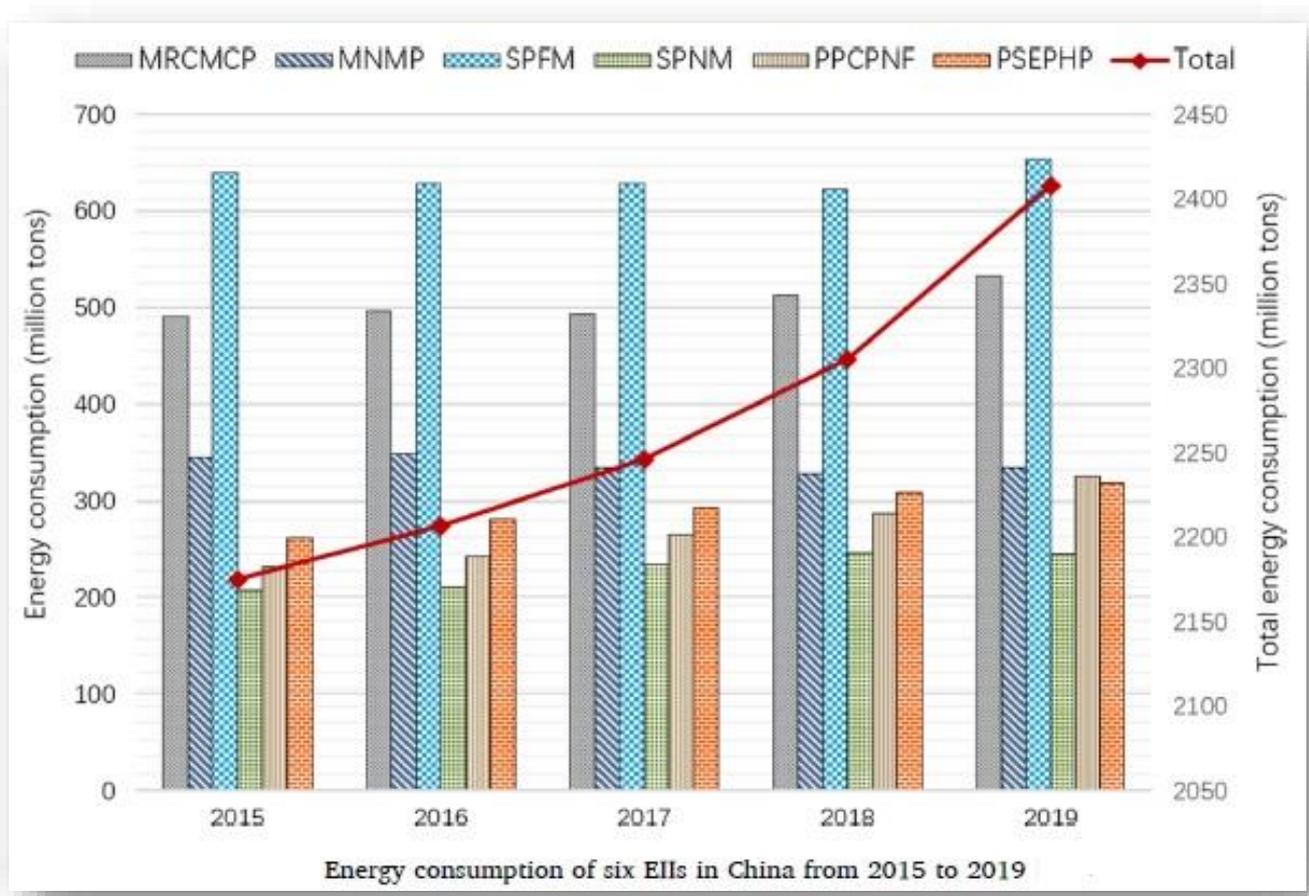


σ = scarto quadratico medio per il controllo della qualità

μ = media o valore atteso

Tuttavia, in ambienti di produzione ad alta intensità energetica, si verifica un grave inquinamento anche dopo l'adozione di modelli avanzati a favore di una linea di produzione ecosostenibile. Per esempio, in ambienti di produzione estremi, come ad alta pressione, o ad alta temperatura, o ad alto contenuto alcalino, oppure ad alta acidità e fumosi, l'impiego di sensori può essere complicato. Pertanto, le **EII (Industrie ad Alta Intensità Energetica)** dovrebbero realizzare una nuova strategia o modello per raggiungere una produzione ed un consumo sostenibili sia nella pratica che nella teoria; in relazione a questo, la tecnologia del gemello digitale è necessaria per simulare ambienti estremi ed ottenere indirettamente dati per una produzione che si raggiunge attraverso un'alta intensità energetica. Le informazioni possono poi essere ulteriormente estratte ed elaborate attraverso gli IMS, che sfruttano la metodologia DATA-DRIVEN: una combinazione di simulazioni create e sviluppate da software, algoritmi di ottimizzazione, modelli matematici che esaminano il consumo energetico in tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto, per riuscire a concretizzare una produzione sostenibile ed intelligente. Di conseguenza, molte aziende, specialmente quelle cinesi, hanno effettuato delle

ricerche interdisciplinari sui gemelli digitali, i Big Data, l'eco-sostenibilità ed hanno cercato di implementare delle strategie con i loro SGA, risparmiando energia, costi ed aumentando la loro competitività. Non a caso dunque la Cina è il contributore più significativo alla crescita dell'economia globale, ma allo stesso tempo è anche il più grande emettitore di anidride carbonica al mondo.



25. AGENDA 2030

Nel 2021 il governo cinese ha formulato un piano d'azione per raggiungere il picco dell'utilizzo di carbonio entro il 2030 ed ottimizzare le strutture industriali ed energetiche esistenti, in quanto le **EII** (*le Industrie ad Alta Intensità Energetica*) consumano più della metà di tutta l'energia in Cina.



L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità, sottoscritto nel Settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. Essa ingloba 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile.

Il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni delle **EII** sono molto importanti per migliorare il proprio vantaggio competitivo sostenibile sul fronte internazionale.

In ogni caso, le politiche nazionali, come le riforme e l'apertura della Cina, le caratteristiche delle regioni stesse, hanno fatto sì che la *Cina Meridionale* sia divenuta relativamente più sviluppata della *Cina Settentrionale*, infatti la maggior parte delle aziende meridionali tutt'ora utilizza **IMS avanzati**.

Focalizzando di nuovo l'attenzione sulle aziende scelte in precedenza per essere analizzate, l'**azienda A** (*Cina del Sud*) si è detto che impiega un SGA per realizzare una strategia di produzione intelligente e sostenibile, la **società B** (*Cina del Nord*) invece, che è più grande della A, è stata quotata alla Borsa di Shanghai, ma non usufruisce di un EMS ed adopera ancora la registrazione manuale dei dati, dunque l'implementazione delle tecnologie del gemello digitale vengono prima testate nelle aziende meridionali che sono più evolute.

Tuttavia, la ricerca pratica è limitata, non è infatti semplice concretizzare una produzione intelligente e sostenibile attraverso la combinazione tra i Digital Twins e la metodologia DATA-DRIVEN, ma nonostante ciò si è cercato di affrontare tale sfida : in base al meccanismo operativo ed al quadro generale, alcune imprese manifatturiere sono riuscite ad adoperare tecnologie informatiche avanzate per acquisire dati in varie fasi del ciclo di vita di un prodotto, identificare le relazioni tra le diverse fasi ed esplorare ulteriormente ed ottimizzare i fattori che influiscono sulla produzione intelligente e sostenibile.

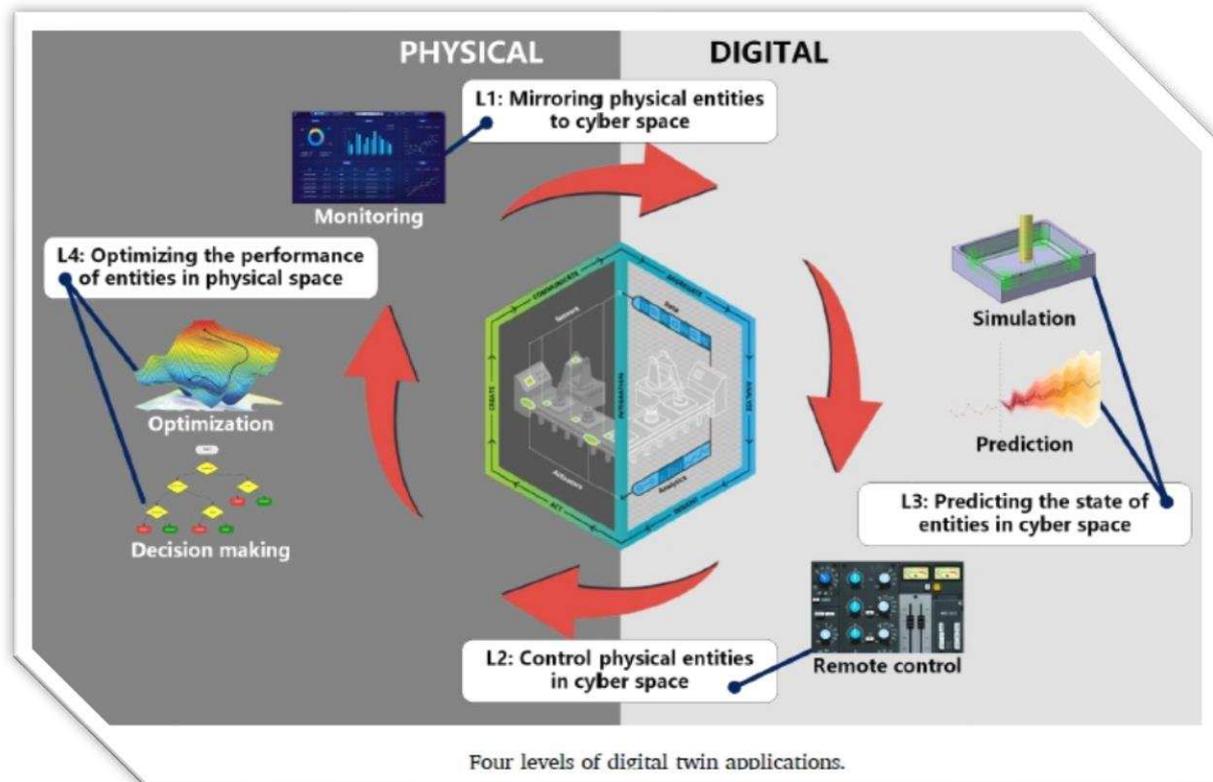
26. ESITI DELLA FUSIONE

Infine, dopo aver analizzato i due casi scelti e rappresentativi (l'azienda A e l'azienda B) si evince che:

- Con la strategia proposta si può monitorare ed esaminare l'eterogeneità multi-sorgente dei dati energetici, che consentono di comprendere meccanismi da attuare per arrivare ad un adeguato risparmio energetico;
- I costi possono essere calcolati dettagliatamente durante le diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto, così da ottenere un risparmio finanziario per le imprese;
- Nell'ambito del meccanismo di funzionamento a *doppia guida digitale*, l'officina virtuale può interagire in tempo reale con l'officina fisica;
- Dapprima viene determinato un quadro generale di raccolta, pulizia ed integrazione dei Big Data, che vengono successivamente elaborati ed integrati negli IMS;
- Sebbene la strategia proposta fornisca nuovi spunti innovativi manageriali, permangono tuttavia dei limiti. Non vi sono modelli di implementazione dettagliati per l'uso simultaneo dei Digital Twin ed i Big Data, né specifici ed adeguati algoritmi di elaborazione ed ottimizzazione dei dati. Inoltre, la strategia proposta si occupa principalmente del processo del ciclo di vita del prodotto in circostanze comuni, non tenendo conto delle situazioni inconsuete e quindi non organizzando delle risposte adatte alle emergenze; si possono verificare ad esempio delle perdite di dati causate da arresti anomali del sistema.

Pertanto, questa sperimentazione potrebbe essere estesa in più direzioni in futuro, in primo luogo si potrebbero sviluppare nuovi modelli o algoritmi di ottimizzazione, con dei meccanismi di associazione, classificazione, **Clustering** (combinazione di tecniche di analisi multivariata dei dati volte alla selezione e al raggruppamento di elementi omogenei in un insieme di dati), previsione e diagnosi, per attuare una produzione intelligente e sostenibile. Successivamente si dovrebbero decretare modelli di previsione accurati e di controllo collaborativo per realizzare un processo decisionale per il risparmio energetico. A seconda poi delle caratteristiche di produzione e di applicazione nei diversi settori, dovrebbero essere conseguiti svariati prototipi ed algoritmi per aumentare la flessibilità e l'applicabilità di questo progetto.

In aggiunta, non sono stati setacciati dettagli approfonditi per concretizzare al meglio le fasi di utilizzo, manutenzione e riciclaggio del prodotto, sarebbe opportuno perciò che si presti maggiore attenzione allo studio del MOL ed EOL.



27. CONCLUSIONI

Per iniziare a trarre le conclusioni possiamo dire che: la trasformazione digitale, iniziata con l'avvento dell'Industry 4.0, ha raccolto sotto il suo cappello tutta una serie di tecnologie abilitanti capaci di innovare e digitalizzare processi, oggetti e risorse. Così oggi, mentre le imprese di tutto il mondo rincorrono la *quarta rivoluzione industriale*, la fusione dei nuovi paradigmi (Digital Twin e DATA-DRIVEN) si pone come uno strumento per governare le "Smart Factory".

La ricerca scientifica degli ultimi anni ha messo in evidenza luci ed ombre sul Digital Twin: uno dei principali problemi è l'assenza di uno standard di sviluppo, comunicazione ed implementazione. Le caratteristiche di modularità del gemello digitale ad oggi, non trovano applicazione reale, a causa della frammentazione dei protocolli di comunicazione. La sua realizzazione è demandata all'impresa, che vuole implementarlo e che deve sostenere tutti i costi di sviluppo. Tuttavia, sarebbe sicuramente molto più semplice, se esistesse uno standard comune e se ogni produttore di macchinari/mezzi di trasporto creasse il rispettivo modulo Digital Twin, da vendere o fornire all'impresa acquirente. Per i produttori significherebbe innovare il proprio modello di business ed aumentare i flussi di ricavi, mentre gli acquirenti implementerebbero un nuovo strumento in modo semplice, grazie al concetto "Plug and Simulate".

Il beneficio principale dell'impiego contemporaneo del gemello virtuale e della tecnologia DATA DRIVEN è la possibilità di prendere decisioni immediate basandosi su indicazioni o dati ottenuti in tempo reale. Non solo, la numerosità dei dati raccolti e le analisi su di essi, uniti all'applicazione dell'Artificial Intelligence (AI) e della Machine Learning (ML), garantiscono una scelta mirata ed efficace per il business aziendale.

L'obiettivo è demandare al Digital Twin la proposta di soluzioni di sintesi, basate sull'inferenza di numerosi parametri, spesso non individuabili in tempo breve dal decisore umano.

Da uno studio scientifico sul paradigma “*Digital Twin per il settore manifatturiero*” è emerso che le tecnologie necessarie per lo sviluppo di questo sono : il **CPS**, i **Big Data Analytics**, l’**IoT** ed il **Cloud**. La valutazione di 20 imprese campione ha evidenziato però, un basso grado di innovazione tecnologica.

Nella tabella seguente, vengono messe a confronto le tecnologie principali necessarie per sviluppare un Digital Twin ed il livello di implementazione effettiva di tali tecnologie:

- Per il campione generale *Metalmeccanico + Automotive* (1/ Indagine /Campione);
- Per la selezione di imprese che non investirebbero nel Digital Twin (2/ Indagine /No Digital Twin);
- Per la selezione di imprese che investirebbero immediatamente (3/ Indagine/Early Adopters).

Confronto Tecnologie “LETTERATURA vs INDAGINE”			
Review Letteratura	Indagine (1)	Indagine (2)	Indagine (3)
	Campione	No Digital Twin	Early Adopters
CPS	5°	7°	4°
Big Data Analytics	8°	11°	7°
IoT	7°	10°	1°
Cloud	2°	2°	3°
Smart Sensor	1°	1°	2°
Confronto tecnologie necessarie per il Digital Twin vs implementate dalle imprese campione			

*NB n° indica la posizione di realizzazione; esempio: 2° = secondo posto

Si evince che sia nell’ *Indagine 1* che nella *2* le tecnologie **Cloud** e **Smart Sensor** sono quelle maggiormente realizzate. Invece l’**IoT** ed i **Big Data Analytics** nell’ *Indagine 1*, non ottengono un buon posizionamento all’interno delle prime cinque posizioni, cosa che invece accade per la tecnologia **CPS**.

La situazione peggiora nell’*Indagine 2* dove il **CPS**, i **Big Data Analytics** e l’**IoT** raggiungono le ultime posizioni in classifica.

Nel caso 3, che teoricamente dovrebbe rappresentare le imprese che più innovano, tutte le tecnologie si posizionano tra le prime 5, tranne i **Big Data Analytics** che si trovano al 7° posto, pur rappresentando il miglior risultato per questa tecnologia.

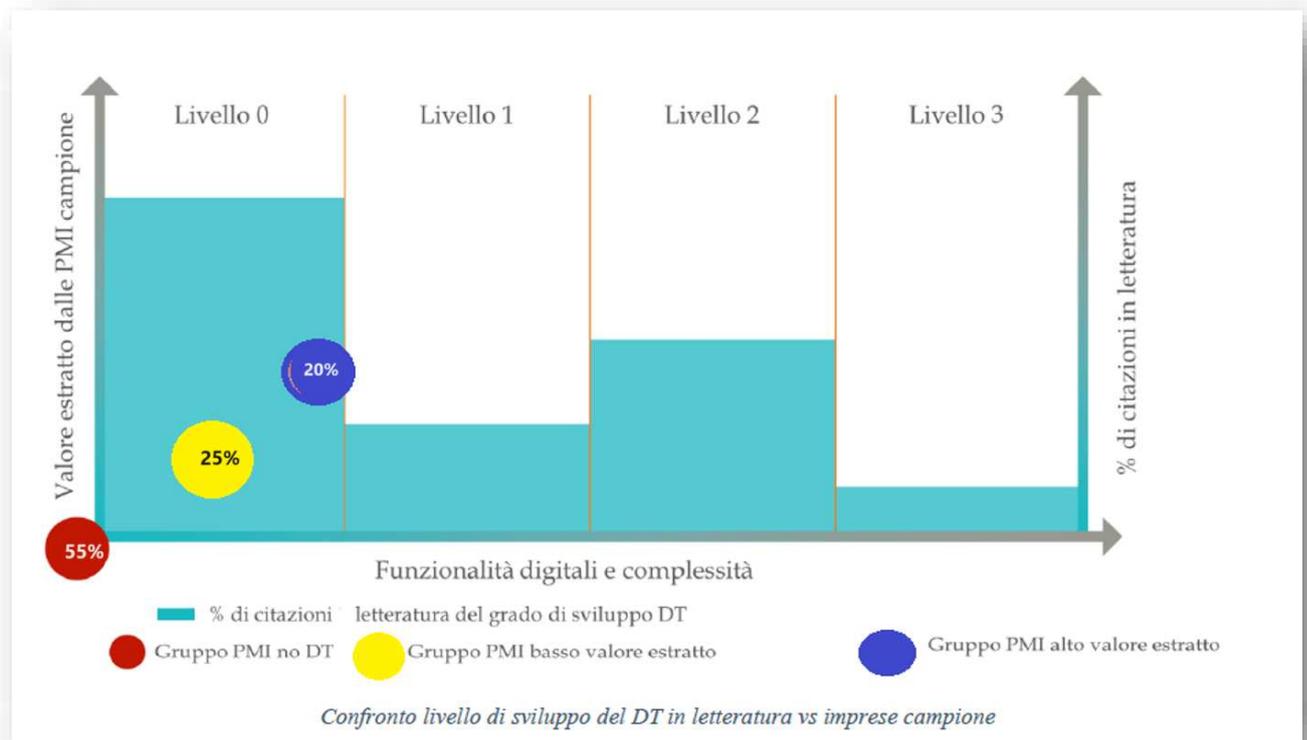
Il confronto che avviene nella tabella dunque, evidenzia che ad oggi, la messa a punto del gemello virtuale insieme ai Big Data Analytics nelle **PMI** (Piccole e Medie Imprese) è possibile solo tra gli Early Adopters.

Per tutte le altre imprese, l’implementazione non è impossibile, tuttavia data la scarsa propensione all’innovazione ed ai costi elevati, si potrebbe immaginare un Digital Twin capace soltanto di raccogliere i dati di produzione.

L’analisi e la ricerca di esperti nel settore “*Industrial Internet of Things*” hanno permesso di definire 4 gradi di sviluppo del Digital Twin:

- **Livello Zero:** Interconnessione e Raccolta dati
- **Livello Uno:** Simulazione per lo sviluppo prodotto
- **Livello Due:** Simulazione che coinvolge una o più aree della Supply Chain (sistema di organizzazioni coinvolte nel processo atto a trasferire/fornire un prodotto/servizio dal fornitore al cliente)
- **Livello Tre:** Simulazione avanzata che coinvolge l'intero PLC (computer per l'industria specializzato in origine nella gestione o controllo dei processi industriali).

Di seguito si intende comparare, su di un grafico costruito ad hoc, i risultati provenienti da una recensione su di una lettura scientifica con quelli dell'indagine svolta sul campione di imprese precedente.



Il grafico mostra come la maggior parte delle imprese (55%) si posiziona al di sotto del livello 0, ovvero le implementazioni tecnologiche dell'Industry 4.0 non appartengono a nessun grado di sviluppo del gemello virtuale.

Viceversa, il 45% delle imprese si distingue per un'implementazione di livello 0.

Solo il 20% del campione (PMI alto valore estratto), corrispondente a 4 imprese, hanno dimostrato l'interesse di voler realizzare, nel breve periodo, il Digital Twin di livello 0 e nel futuro il livello 1.

I risultati dell'indagine ricalcano sostanzialmente il grado di sviluppo del gemello digitale che emerge dalla lettura scientifica, la maggior parte degli articoli si è concentrata sul livello 0.

Il calcolo del valore estratto è frutto di una valutazione qualitativa dei criteri:

- Interconnessione completa
- Framework KPI (Indicatore Chiave di Prestazione)
- Possesso di un MES (Manufacturing Execution System)
- Coinvolgimento del personale
- Condivisione andamento produttivo con il cliente
- Progetti innovativi Industry 4.0

Le analisi condotte restituiscono un panel di imprese con scarsa conoscenza delle tecnologie abilitanti dell'Industry 4.0. Circa il 50% delle imprese non conoscono il CPS, ma dopo una spiegazione dettagliata il 75% ha dichiarato di aver programmato l'uso o di aver implementato tale tecnologia. Questa buona notizia, si scontra con la credenza diffusa (47% del campione), che avere i dati aziendali nel Cloud sia meno sicuro di possederli su di un House Server. Questo quadro è confermato dalla valutazione delle realizzazioni del Digital Twin condotte sul campione, l'obiettivo era individuare possibili spazi di business sui quali concentrarsi nelle ricerche future.

Digital Twin Ranking	
Valutazione delle implementazioni del Digital Twin da parte delle imprese campione	
1°	Analisi predittive, sui dati raccolti, volte a segnalare l'impossibilità di consegnare una commessa in tempo
2°	Informazioni in tempo reale sullo stato dei macchinari o dell'intera linea produttiva
	Analisi predittive, sui dati raccolti, volte a segnalare la data futura di guasto dei macchinari
3°	Possibilità di registrare e certificare in modo automatico/semiautomatico tutte le lavorazioni o attività necessarie alla produzione ed eventualmente previste dal contratto
	Possibilità di ricevere suggerimenti ed indicazioni automatici riguardo la conformità dei processi /lavorazioni rispetto alle norme ISO di settore
4°	Informazioni in tempo reale sulle attività svolte dai dipendenti
	Condividere in modo autonomo alcune delle informazioni raccolte attraverso i suoi clienti
5°	Dati raccolti in cloud e consultabili da qualsiasi computer connesso alla rete ed eventualmente da smartphone
	Possibilità di sfruttare i dati raccolti in tempo reale per effettuare delle simulazioni matematico-statistiche sui processi produttivi con il fine di rendere più efficiente la produzione e le risorse impiegate
6°	Condividere alcune delle informazioni raccolte con i suoi fornitori al fine di schedulare meglio le proprie attività produttive

Da come si evince dalla tabella appena esposta, il principale interesse è rivolto al livello 0 del Digital Twin ed all'implementazione di analisi predittive sullo stato della commessa e dei macchinari. La trasparenza della Supply Chain (si intende quel processo che permette di portare sul mercato un prodotto o servizio, trasferendolo dal fornitore fino al cliente) e le simulazioni matematico-statistiche non sono una priorità delle PMI (Piccole o Medie Imprese).

Le due implementazioni innovative:

- Possibilità di registrare e certificare in modo automatico/semiautomatico tutte le lavorazioni o attività necessarie alla produzione ed eventualmente previste dal contratto;
- Possibilità di ricevere suggerimenti ed indicazioni automatici riguardo la conformità dei processi/lavorazioni rispetto alle norme ISO di settore;

Hanno riscosso notevole interesse, in particolare la prima, che integrandosi con la tecnologia **Blockchain**, per garantire la tracciabilità delle operazioni svolte, sgrava le imprese da numerosi problemi gestionali e legali.

La **Blockchain** infatti sfrutta le caratteristiche di una rete informatica di nodi e consente di gestire ed aggiornare, in modo univoco e sicuro, un registro contenente dati ed informazioni in maniera aperta, condivisa e distribuita, senza la necessità di un'entità centrale di controllo e verifica.

In conclusione, si può affermare che ad oggi, stante la scarsa cultura delle imprese verso i benefici dell'Industry 4.0, il Digital Twin di livello 0 è implementabile nella maggior parte delle PMI (*Piccole o Medie Imprese*) appartenenti al gruppo delle "Imprese Innovatrici".

Per l'implementazione di livello 1 e 2, il target più adatto sono invece gli "Early Adopters", in quanto hanno già adottato gran parte dei concetti dell'*Industry 4.0* e possono compiere un passo ulteriore.

L'implementazione di livello 3, non è applicabile a nessuna impresa del campione e probabilmente a nessuna PMI in generale, fino a quando la ricerca scientifica non avrà definito uno standard di sviluppo del Digital Twin capace di abbracciare il concetto "Plug and Simulate".

Bibliografia

- Benedetti, A. (s.d.). *Aziende data driven, cosa sono, come lo si diventa, quali vantaggi comporta*. Tratto da BIGDATA 4INNOVATION:
file:///C:/Users/Utente/Desktop/TESt/Azienda%20data%20driven,%20come%20lo%20si%20diventa,%20vantaggi%20-%20Big%20Data%204Innovation.html
- Campanini, P. (s.d.). *Dalla Simulazione al Digital Twin: nuovi strumenti per le PMI*. Tratto da https://www.youtube.com/watch?v=_VG3r_WAZqQ&t=177s
- Campanini, P. (s.d.). *Esempio di Digital Twin da Progetto MUSP*. Tratto da Pillole di innovazione: <https://www.youtube.com/watch?v=3mhFoFrZgvM>
- Campanini, P. (s.d.). *Il Digital Twin lungo il ciclo di vita del prodotto*. Tratto da Pillole di innovazione: <https://www.youtube.com/watch?v=NTPThcOV0JI&t=26s>
- Campanini, P. (s.d.). *L'evoluzione del Digital Twin*. Tratto da Pillole di Innovazione: <https://www.youtube.com/watch?v=W-T1WU5BWRE&t=310s>
- Data-Driven: cosa significa e perché un approccio basato sui dati è importante in azienda*. (s.d.). Tratto da Network Digital 360: file:///C:/Users/Utente/Desktop/TESt/Data-driven_%20cosa%20significa%20e%20perch%C3%A8%20%C3%A8%20importante%20in%20azienda.html
- Digital Twin e la cultura 'data driven'*. (s.d.). Tratto da CADTEC :
file:///C:/Users/Utente/Desktop/TESt/Digital%20Twin%20e%20la%20cultura%20'data%20driven'.html
- Immediato, S. (s.d.). *Industry 4.0 e Digital Twin: grado di conoscenza e analisi*.
- Ma, S., Ding, W., Liu, Y., Ren, S., & H. Y. (s.d.). *Digital twin and big data-driven sustainable smart manufacturing based on*. Tratto da Applied Energy 326 (2022) 119986.
- Wenjie Jia, W. W. (s.d.). *Advanced Engineering Informatics*. Tratto da www.elsevier.com/locate/aei
- Wenjie Jia, W. W. (s.d.). *From simple digital twin to complex digital twin Part I: A novel modeling*. Tratto da Advanced Engineering Informatics 53 (2022) 101706: www.elsevier.com/locate/aei
- Wenjie Jia, W. W. (s.d.). *From simple digital twin to complex digital twin part II: Multi-scenario*. Tratto da Advanced Engineering Informatics 56 (2023) 101915: www.elsevier.com/locate/aei

