



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E SCIENZE MATEMATICHE

Corso di Laurea triennale Ingegneria gestionale

**I DIGITAL TWIN: TECNOLOGIA ABILITANTE DELL'INDUSTRY 4.0 E IL LORO IMPIEGO
NELLA SIMULAZIONE DELLE MACCHINE UTENSILI**

**DIGITAL TWINS: ENABLING TECHNOLOGY OF INDUSTRY 4.0 AND THEIR USE IN THE
SIMULATION OF MACHINE TOOLS**

Relatore: Chiar.ma

Tesi di Laurea di:

Prof. Mengoni Maura

Monti Matilda Maria

Correlatore:

Prof. Ceccacci Silvia

A.A. 2019 /2020

Ringraziamenti

Vorrei dedicare questo elaborato ai miei genitori e a tutte le persone che hanno creduto in me. A voi va la mia gratitudine e tutto il mio amore.

Vorrei ringraziare il mio papà e la mia mamma, che mi hanno permesso di intraprendere questo percorso formativo, compiendo sacrifici e supportandomi sempre sia nei momenti di gioia che in quelli di sconforto.

Ringrazio mia sorella, che mi è sempre stata accanto e anche lei ha sacrificato l'opportunità di avere una sorella maggiore al suo fianco a causa della mia lontananza da casa.

Ringrazio il mio fidanzato, Dennis, che in questi anni mi ha sopportato e supportato, restandomi vicino e trovando sempre parole di conforto e di sostegno. Non ha mai smesso di sognare un futuro con me, ma senza impedirmi di realizzarmi come donna, anzi, mi ha spronato a fare sempre meglio.

Ringrazio tutta la mia famiglia, perchè non c'è stato un solo attimo in cui hanno pensato che io potessi non farcela e che hanno gioito con me per ogni esame superato.

Ringrazio, inoltre, tutti i miei amici, quelli di una vita e quelli che ho trovato in università, perchè, è anche grazie a loro supporto se sono riuscita a raggiungere questo traguardo.

Infine, ringrazio tutti i professori, in particolare la professoressa Maura Mengoni, che mi ha permesso di vivere un'esperienza unica in un'azienda multinazionale, facendomi relazionare con il mondo del lavoro.

Un sentito grazie di cuore a tutte le persone che ho incontrato e che ho perso, perchè anche loro hanno contribuito alla persona che sono diventata.

Grazie di cuore!

Indice

Abstract	1
Introduzione	2
1. Industry 4.0	4
1.1 La progressione industriale	4
1.2 Cosa significa Industry 4.0?	5
1.2.1 Le Smart Factory, "la nuova concezione di fabbrica"	5
1.2.2 Cyber-Physical System.....	7
1.2.3 Internet of Things.....	8
1.2.4 Internet of Service.....	9
1.3 Caratteristiche dell'industria 4.0	9
1.3.1 L'integrazione verticale fra i livelli della catena del valore.....	10
1.3.2 L'integrazione orizzontale tra gli attori della supply chain	10
1.3.3 End-to-end engineering attraverso l'intera catena del valore	11
1.4 Le tecnologie abilitanti dell'Industry 4.0.....	12
1.4.1 Il cloud computing.....	13
1.4.2 La cybersecurity	14
1.4.3 Big Data and Analytics	15
1.4.4 Advanced manufacturing solution.....	17
1.4.5 Additive manufacturing.....	17
1.4.6 Augmented Reality	18
1.4.7 Simulazione: digital twin aggiornati in real-time	19
2. Digital Twin	21
2.1 Cenni storici e definizione di Digital Twin	21
2.2 Tipologie di Digital Twin	24
2.2.1 Digital Twin Instance	25
2.2.2 Digital Twin Prototype.....	25
2.2.3 Digital Twin Aggregate	25

2.3 Applicazioni del Digital Twin	26
2.3.1 Digital Twin for Product Design	26
2.3.2 Digital Twin for Additive Manufacturing.....	27
2.3.3 Digital Twin Shop-floor	28
2.3.4 Digital Twin for PLM	29
2.3.4.1 Framework for PLM.....	29
2.4 Tecnologie abilitanti dei Digital Twin.....	31
2.4.1 Connettività	31
2.4.1.1 Sensori	31
2.4.1.2 Big Data.....	31
2.4.1.3 L'Internet of Things	32
2.4.2 Digitalizzazione.....	32
2.4.3 Intelligenza artificiale	33
2.5 Benefici derivanti dall'uso dei Digital Twin	33
2.6 Digital Twin in Italia: come procede la digitalizzazione?	34
2.6.1 Piano Transazione 4.0	35
2.6.2 Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza	36
2.7 Alcuni esempi applicativi dei Digital Twin.....	36
2.7.1 Fameccanica.....	37
2.7.2 Eni	37
2.7.3 Singapore	38
3. Software Digital Twin	40
3.1 Siemens.....	40
3.1.1 NX della Siemens.....	41
3.1.1.1 NX for product Design	42
3.1.1.1.1 Design Interoperability	42
3.1.1.1.2 Design Validation	43
3.1.1.1.3 Drafting and Documentation.....	43
3.1.1.2 Knowledge Reuse	44

3.1.1.3 Model Based Definition	44
3.1.1.4 NX for Manufacturing.....	45
3.1.1.4.1 NX for Additive Manufacturing.....	45
3.1.1.4.2 NX CAM Software.....	46
3.1.1.4.3 Design Tools for Part Manufactures	47
3.2 Dassault Systèmes.....	47
3.2.1 Processo di digitalizzazione di Dassault Systèmes	48
3.2.2 CATIA	49
3.2.3 3DEXPERIENCE	50
3.2.3.1 CATIA	50
3.2.3.2 BIOVIA.....	50
3.2.3.3 GEOVIA.....	51
3.2.3.4 SOLIDWorks	51
3.2.3.5 3DVIA	51
3.3 SAP Leonardo	51
3.3.1 Le soluzioni di SAP Leonardo	52
4. Caso studio	54
4.1 Biesse Group S.p.A.	54
4.2 bSuite.....	55
4.3 bSolid	60
4.3.1 Simulazione macchina	61
4.3.2 Area CAD/CAM.....	61
4.3.3 Area dati macchina.....	62
4.3.4 Area attrezzaggio	63
4.4 Dove si acquisiscono i dati per realizzare il DT.....	64
4.5 Passaggio da modello cinematico 3D a Digital Twin	65
4.5.1 Semplificazioni del modello3D	66
4.5.1.1 Prima semplificazione	67
4.5.1.2 Seconda semplificazione	69

4.5.1.3 Terza semplificazione	70
4.5.1.4 Rifiniture	70
4.6 Creazione del file per l'importo del modello in b_Solid	71
4.7 Assemblaggio macchinario digitale	72
4.8 Il digital twin del macchinario.....	73
4.9 Differenze tra modello 3D e Digital Twin.....	74
4.9.1 Magazzino a catena.....	75
4.9.2 Quote differenti per punti uguali	75
5. Conclusioni	77

Indice delle figure

Figura 1: le quattro rivoluzioni industriali.....	4
Figura 2: cinque parole chiave per la smart factory.....	6
Figura 3: "5C" architecture for Cyber-Physical Systems.....	7
Figura 4: integrazione verticale	10
Figura 5: Integrazione orizzontale	11
Figura 6: integrazione End-to-end della value chain.....	12
Figura 7: le tecnologie abilitanti dell'industry 4.0.....	13
Figura 8: le "8V" che caratterizzano i big data	16
Figura 9: Unità globali di robot industriali	17
Figura 10: fasi di realizzazione dell' Additive manufacturing	18
Figura 11: Ciclo sviluppo DT	20
Figura 12: prima rappresentazione di un Digital Twin	22
Figura 13: Passaggio da mondo reale e mondo digitale.....	24
Figura 14: Lo scopo e le relazioni tra Digital Twin e il prodotto fisico	24
Figura 15: Tipologia di Digital Twin.....	26
Figura 16: Modello generale di un digital twin per prodotto	27
Figura 17: Modello di Digital Twin Shop-Floor.....	29
Figura 18: Framework del DT per un PLM	30
Figura 19: Com'è definito l'IoT	32
Figura 20: Digital Twin di un macchinario di Fameccanica.....	37
Figura 21: Virtual Singapore	39
Figura 22: Design Interoperability	42
Figura 23: Visualizzazione del feedback.....	43
Figura 24: Realizzazione disegni tecnici da assiemi in 3D	44
Figura 25: Digitalizzazione a partire da un modello 3D.....	45
Figura 26: 3DEXPERIENCE.....	48
Figura 27: L'evoluzione digitale di Dassault	49
Figura 28: CATIA v6	49
Figura 29: IoT di SAP.....	52
Figura 30: bSuite	55
Figura 31: bEdge.....	56
Figura 32: bNest.....	57
Figura 33: bCabinet	57

Figura 34: bAvant	58
Figura 35: Simulazione macchina in b_solid	61
Figura 36: Area CAD/CAM in b_Solid.....	62
Figura 37: Area dati macchina	63
Figura 38: Area attrezzaggio.....	64
Figura 39: Distinta aperta	64
Figura 40: Machine body configuration.....	65
Figura 41: Modello 3D in Solid Edge	66
Figura 42: Semplificazione bulloneria	67
Figura 43: Elementi di bulloneria non semplificati.....	68
Figura 44: Differenza dimensionale fra un elemento semplificato e uno non	69
Figura 45: Soppressione scavi e fori	69
Figura 46: Ingombro aereo dei componenti elettrici	70
Figura 47: Documento VRML.....	71
Figura 48: Digital Twin derivante dal VRML.....	72
Figura 49: Punto driver/driven	73
Figura 50: Digital Twin di una ROVER A	74
Figura 51: Scostamento utensile rispetto alla verticale	75
Figura 52: quota del punto in Solid Edge	75
Figura 53: Quota punto in b_Solid.....	76

Nomenclatura

M2M	Machine to Machine
CPS	Cyber-Physical Systems
IoT	Internet of things
IoS	Internet of Service
KET	Key Enabling Technology
R&D	Research and development
PMI	Piccola Media Impresa
IT	Information Technology
OT	Operational Technology
DT	Digital Twin
PLM	Product Lifecycle Management
CPPS	Cyber-Physical Production Systems
DTI	Digital Twin Instance
DTP	Digital Twin Prototype
DTA	Digital Twin Aggregate
DTE	Digital Twin Environment
DTPD	Digital Twin for Product Design
AM	Additive Manufacturing
DTAM	Digital Twin for Additive Manufacturing
DTS	Digital Twin Shop-Floor
PLC	Product Life Cycle
AR	Augmented Reality
DTs	Digital Twin Framework
VEP	Virtual Environment Platform
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
DDM	Data-Driven Modeling
AI	Artificial Intelligence
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
NC	Numerical Control

Abstract

Il seguente elaborato andrà a trattare e descrivere l'utilizzo dei digital twin nella fase di post-vendita di un macchinario utensile.

Studiando, dunque, come le nuove tecnologie che caratterizzano l'industria 4.0 possono essere utilizzate non solo da aziende ma bensì anche dai consumatori finali. La scelta dell'argomento trattato è stata guidata principalmente dall'attuale importanza nel mondo aziendale di queste rivoluzionarie tecnologie, quali: l'internet of things (IOT), la realtà aumentata e i digital twin, nell'industria 4.0.

Durante l'attività di tirocinio, svolto presso la Biesse Group S.p.a, ho avuto l'opportunità di relazionarmi con le nuove tecnologie con cui un'azienda moderna opera costantemente.

In particolare è stato svolto un lavoro d'inserimento di progetti, sviluppati in Solid Edge, riguardanti macchine utensili acquistate realmente da un consumatore finale, nel software di digital twin in modo da ricreare l'intero macchinario in una Suite virtuale.

Una volta finita la fase di "assemblaggio" digitale del macchinario si passa alla fase di controllo in cui, viene testato il modello virtuale e si analizzano e risolvono i problemi che possono nascere o da un errato inserimento di alcune parti della macchina o da una discrepanza di coordinate tra il macchinario e il Digital Twin.

In conclusione ho potuto creare un Digital Twin finalizzato alla vendita, partendo da un modello cinematico in tre dimensioni e arrivando a poter simulare le sue lavorazioni in un ambiente virtuale altamente realistico.

Introduzione

Da quasi un decennio si è iniziato a parlare di quarta rivoluzione industriale.

Oggi tutte le realtà aziendali sono state coinvolte nel processo di trasformazione digitale.

Questa rivoluzione ha fatto sì che le aziende apportassero cambiamenti: a livello organizzativo, nei processi produttivi, nella gestione dei flussi di dati e ai modelli di business.

In questo modo, è stato cambiato il concetto di fabbrica che non viene vista più come statica e rigida ma bensì è diventata dinamica e modulare per adattarsi a tutti i cambiamenti tecnologici che consentono loro di essere più efficienti, per aumentare la qualità del prodotto e in generale a rendere sempre più soddisfatto il consumatore finale.

In questo contesto nascono innumerevoli tecnologie all'avanguardia, ne sono un esempio l'internet of things (IoT), la realtà aumentata e i Digital Twin.

L'idea alla base della creazione dei Digital Twin e quella di potersi interfacciare con la controparte digitale con estrema facilità e d'altra parte l'accentrare le informazioni in un unico strumento capace di analizzare i flussi informativi e facilitare le decisioni.

Nell'Industry 4.0 si arrivava alla digitalizzazione con un processo di bottom-up, ossia che l'oggetto reale veniva digitalizzato, mentre, con i Digital Twin si è creato un processo di digitalizzazione di tipo top-down ossia che prima si realizza il prodotto virtuale e poi si passa alla costruzione dell'oggetto fisico. Ovviamente i Digital Twin non escludono il processo bottom-up in quanto si può benissimo creare un oggetto virtuale partendo dall'oggetto fisico.

La scelta del tipo di digitalizzazione viene fatta in base all'uso che si dovrà fare del modello digitale, se esso viene creato in fase di progettazione si avrà il processo top-down ma se viene creato per facilitare la comprensione o l'utilizzo di un oggetto fisico si prediligerà l'altro tipo di digitalizzazione.

Ultimamente c'è stata una vera e propria "corsa" all'acquisto di queste tecnologie da parte delle aziende, però non è sempre detto che esse portino beneficio nell'organizzazione e nell'efficienza. Quindi si ritiene necessario evitare di digitalizzare gli sprechi, perché se si acquista uno strumento digitale senza prima aver mappato i processi as-is dell'azienda si incorre nel rischio di perdere ingenti risorse.

In questa tesi, dopo aver approfondito l'Industry 4.0 e i Digital Twin, viene riportata la creazione di un Digital Twin in tutte le sue fasi; la capacità del programma di Digital Twin di poter operare, in collaborazione al controllo numerico, per programmare e movimentare il macchinario reale; l'abilità del software di analizzare e elaborare Big Data posti sottoforma di Documenti ISO.

1. Industry 4.0

1.1 La progressione industriale

Il termine Industry 4.0 viene utilizzato per la prima volta nel 2011 ad Hannover Mess. Il termine è stato coniato dal governo tedesco in occasione di un'iniziativa per promuovere l'informatizzazione del processo di produzione come parte della loro strategia nazionale ad alta tecnologia[1].

Da quel momento in poi si parlerà di vera e propria rivoluzione industriale, che con il passare degli anni, sta interessando le aziende di tutto il mondo, siano esse di piccole, medie o grandi dimensioni.

Questa rivoluzione identifica un nuovo cambio di paradigma rispetto alle tre precedenti, infatti in seguito alla meccanizzazione, grazie all'uso dell'energia elettrica nel 1784, si è passati alla produzione di massa con l'introduzione delle linee di assemblaggio nel 1870, seguito poi dalla rivoluzione portata dall'automazione favorita dalle tecnologie informatiche nel 1969 e infine, oggi, alla fusione del mondo fisico con quello virtuale grazie ai sistemi cyber-physical di produzione.

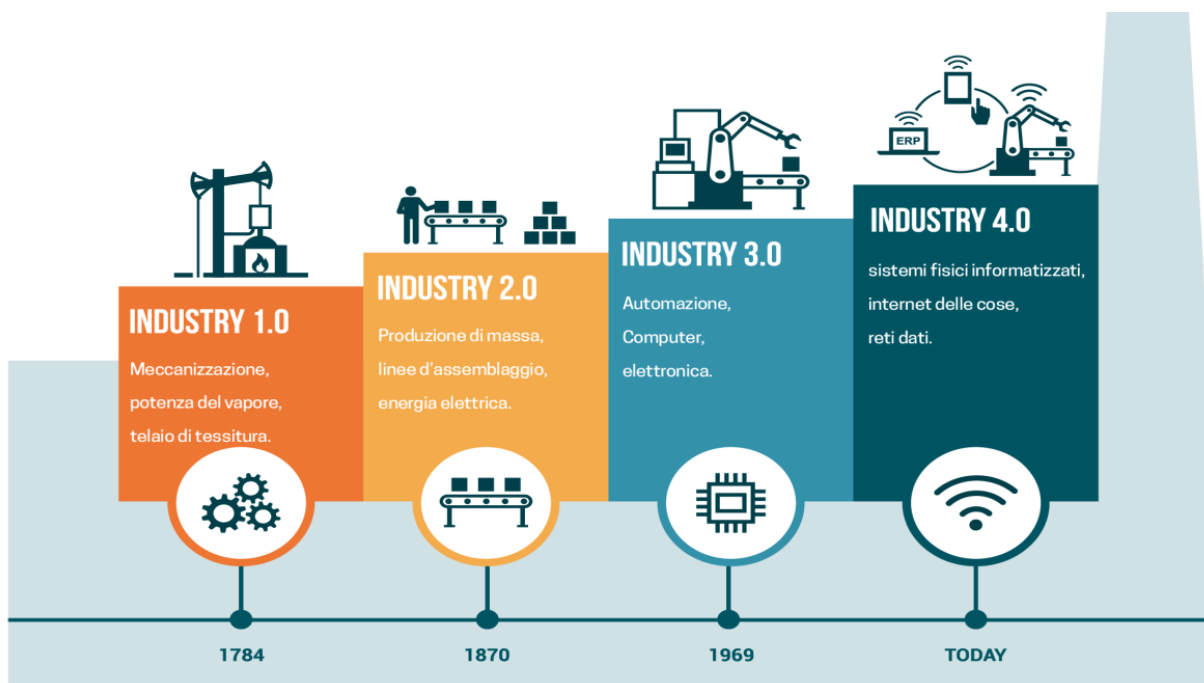


Figura 1: le quattro rivoluzioni industriali
(fonte: Agenda Digitale)

1.2 Cosa significa Industry 4.0?

In che cosa consiste questa rivoluzione industriale? Questa rivoluzione è stata necessaria da quando la tecnologia ha fatto enormi progressi nel settore industriale. Queste nuove tecnologie stanno confondendo i confini tra mondo fisico e mondo virtuale della produzione.

Sono quattro i pilastri principali dell'Industry 4.0: il primo è la raccolta e l'utilizzo dei dati, dove è molto importante la potenza di calcolo e la connettività interna ed esterna dell'industria per ricevere ed elaborare i big data e i dati interni (machine to machine); il secondo è l'analisi dei dati raccolti, dove la capacità delle macchine sarà quella di apprendere dai risultati elaborati costantemente; il terzo è l'interfaccia di comunicazione tra macchina e uomo; e il quarto riguarda l'effettiva realizzazione dei prodotti tramite nuove forme di produzione, come per esempio la stampa 3D, le nuove organizzazioni interne aziendali, esempio M2M, e in fine con le nuove tecnologie di gestione e razionalizzazione dell'energia e i suoi costi.

Questa è solo una delle definizioni che si trovano sull'industry 4.0, ma per una definizione più tecnica si fa riferimento a quella proposta da Hermann et al. (2015):

"L'industry 4.0 è un termine che racchiude tecnologie e concetti organizzativi della catena del valore. All'interno delle Smart Factory modulari, nelle industrie 4.0, i sistemi cyber-fisici (CPS) controllano i processi fisici, creano una copia virtuale del od fisico e prendono decisioni decentralizzate. Attraverso l'Internet of Things (IoT, i CPS comunicano e cooperano tra loro e gli esseri umani in tempo reale. Tramite l'Internet of Service (IoS), entrambe i servizi, interni e inter-organizzativi, sono offerti ed utilizzati dagli attori della catena del valore".

Analizzando questa definizione, vengono riportate quattro tecnologie caratterizzanti della quarta rivoluzione industriale.

1.2.1 Le Smart Factory, "la nuova concezione di fabbrica"

Il significato di Smart Factory è fabbrica intelligente ed è un concetto utilizzato per descrivere l'impiego di diverse tecnologie digitali, quali i CPS che comunica tramite IoT, con lo scopo di coordinare dinamicamente le persone e i processi [2].

Le caratteristiche che distinguono una Smart Factory da una normale azienda sono:

- L'integrazione verticale tra i sottosistemi gerarchici interni dei processi operativi, al fine di ottenere una manifattura adattiva;

- L'integrazione orizzontale tra le imprese, con lo scopo di creare una vasta rete collaborativa;
- Un'integrazione digitale end-to-end dell'ingegneria, su tutta la value chain per favorire la personalizzazione del prodotto.

Ci sono inoltre dei fattori che descrivono una Smart Factory:

- La connessione dei processi per generare dati che favoriscono il processo decisionale in tempo reale.
- L'ottimizzazione della fabbrica, consentendo così di ridurre al minimo gli interventi manuali e per rendere più affidabile il processo produttivo.
- Trasparenza dei dati raccolti
- La proattività dei sistemi e degli impiegati che possono anticipare e agire prima che si manifesti un problema.
- L'agilità della fabbrica, essa riesce ad adattarsi e a modificare le schedulazioni produttive con interventi minimi. Quindi la fabbrica sarà capace di auto-configurarsi.[3]

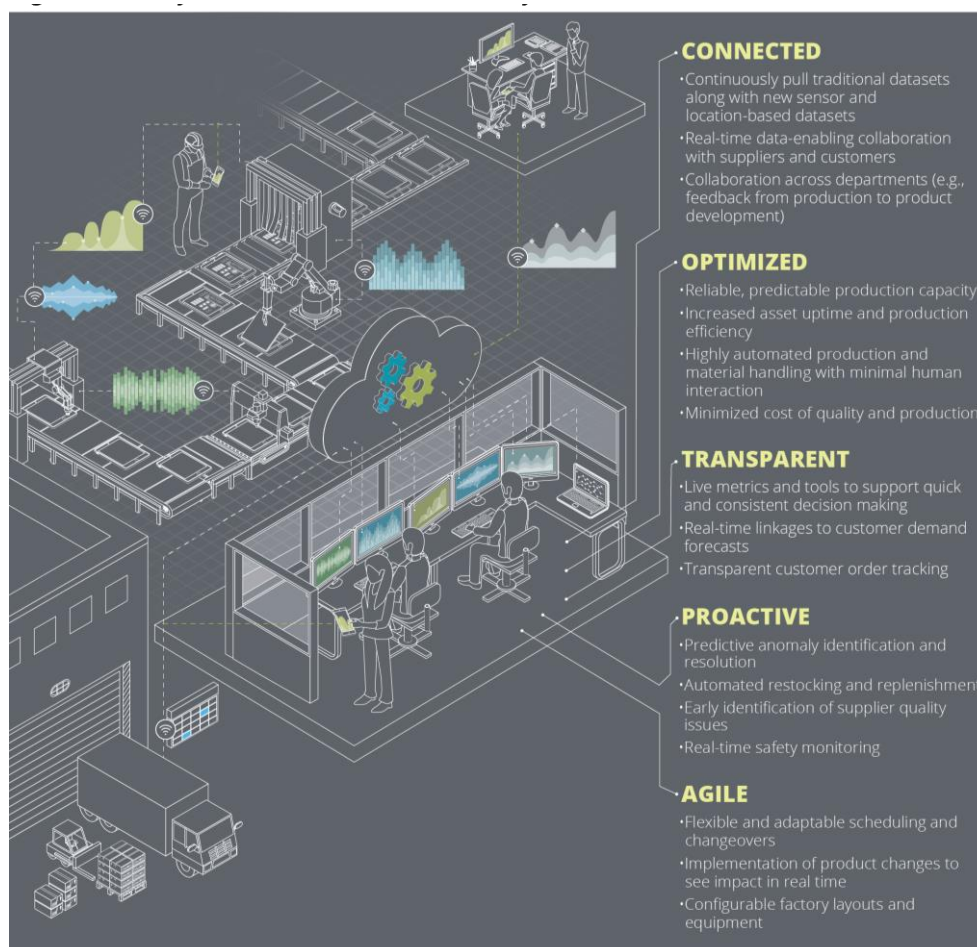


Figura 2: cinque parole chiave per la smart factory
(fonte: Deloitte analysis)

1.2.2 Cyber-Physical System

I sistemi CPS sono considerati una delle innovazioni tecnologiche chiave, KET, della quarta rivoluzione industriale. I CPS possono essere collocati in primo piano per le potenzialità promesse ai fini della creazione di valore lungo le tre dimensioni della digitalizzazione del settore manifatturiero: lo smart product, lo smart manufacturing e i cambiamenti nei business model delle aziende.

Dunque, sono un insieme di tecnologie differenti che generano un sistema autonomo, intercomunicante e intelligente, capace di facilitare l'integrazione tra soggetti diversi e fisicamente distanti. Questo sistema dà vita a tre scenari che si susseguono: generazione e acquisizione dati, computazione e aggregazione dei dati precedentemente acquisiti ed, infine, supporto al processo decisionale.

Questa definizione deve includere la presenza di oggetti interconnessi che siano in grado di generare e produrre dati di vario genere, riducendo così le asimmetrie informative tra i soggetti coinvolti; inoltre attribuisce alla comunicazione un ruolo di primaria importanza ed infine include il concetto di Digital Twin, ovvero la capacità dicotomica di tali sistemi di creare e affiancare all'aspetto fisico dei prodotti, dei sistemi e dei processi quello virtuale o digitale. [4]

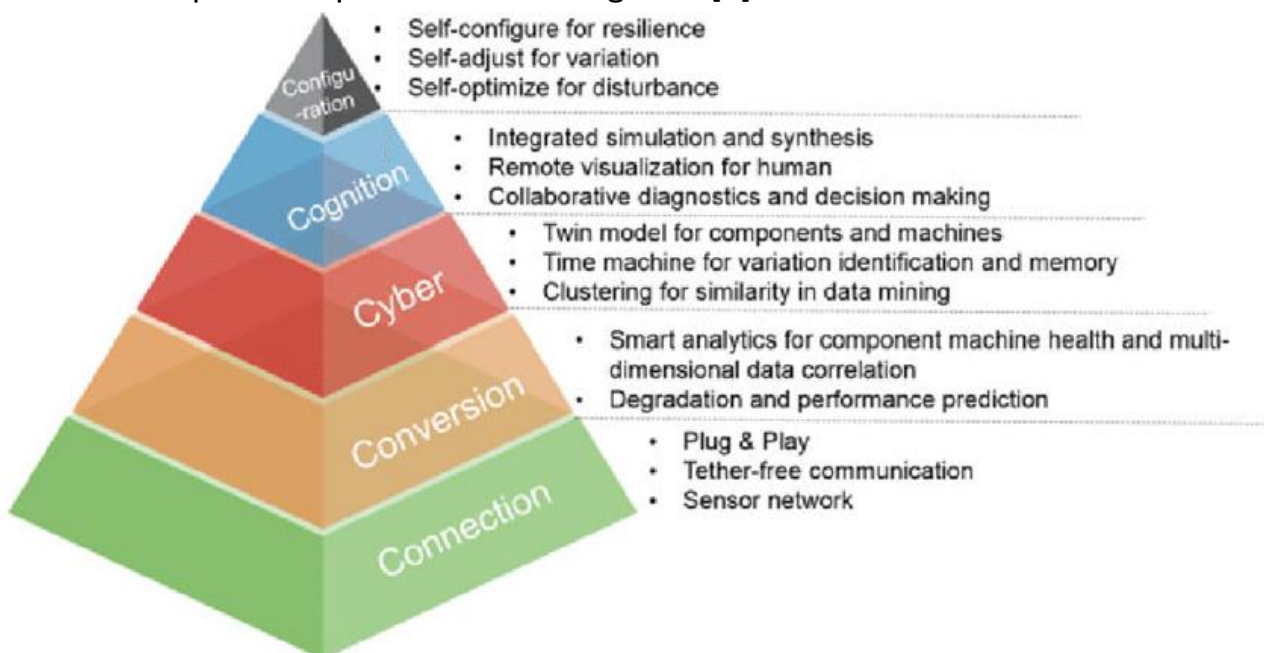


Figura 3: "5C" architecture for Cyber-Physical Systems
(fonte [5])

La figura illustra la struttura teorizzata, che identifica i livelli in ordine crescente, dove nel livello 1 vengono generate i dati, nel livello 2 i dati vengono analizzati e convertiti per essere usati nel livello 3 in cui poi vengono comparati con i dati storici. Nel livello 4 le informazioni ottenute dalle analisi precedenti vengono raccolte in

dashboard al fine di rendere l'attività di decisione il più semplice possibile. Nel livello 5 il CPS è capace di effettuare delle azione correttive con lo scopo di garantire la corretta produzione.

Quindi il CPS, è composto da un asset fisico dotato di capacità computazionale, di comunicazione e di controllo, che può essere un oggetto, un sistema o un processo industriale, a cui viene associato un Digital Twin con cui interagisce: in modo mono-direzionale, ossia, il DT acquisisce i dati prodotti dal physical twin, che vengono poi analizzati ed utilizzati off-line; oppure in modo bidirezionale, ossia il Digital Twin può intervenire con allarmi o in modo diretto sul comportamento del physical twin, se rileva comportamenti anomali o comunque ottimizzabili.[51]

Dunque, i CPS stanno entrando nell'utilizzo dei mainstream, rappresentando uno strumento primario per le organizzazioni che implementano progetti IoT e stanno diventando parte integrante delle strategie aziendali digitali.

Per Fei Tao, Meng Zhag e A.Y.C. Nee i cyber Physical System e i digital twin condividono lo stesso obiettivo: aspirano ad una perfetta integrazione tra mondo fisico e mondo cyber.[52]

I CPS possono operare in moltissimi campi e questa varietà di utilizzo può generare delle complessità, che però vengono limitate attraverso la simulazione digitale e, quindi, dai digital twin.[53]

La relazione tra i due sistemi è intercambiabile: i CPS forniscono un framework integrato e compatibile con una prospettiva globale, mentre i DT possono essere considerate come applicazioni mirate.

Inoltre, i DT presentano alcune caratteristiche dei CPS, come la mappatura cyber-fisica, il controllo a circuito chiuso e una struttura a tre livelli. Quindi gli elementi dei digital twin possono essere un supporto fondamentale per l'innovazione e l'implementazione dei CPS.

1.2.3 Internet of Things

Il termine IoT nasce nei laboratori del MIT quando furono condotte ricerche sull'RFID (Radio Frequency Identification). Da allora il termine si è evoluto da strumento di tracciamento a rete di sistemi interconnessi che combinano elementi hardware, software, microprocessori, sensori e database, capace di identificare e processare informazioni sfruttando internet come mezzo di comunicazione.

L'IoT è definito come una rete mondiale di oggetti interconnessi univocamente indirizzabili, basata su protocolli standard.[6]

Dunque è una tecnologia che permette di massimizzare le capacità di raccolta e di utilizzo dei dati che provengono da un'infinità di sorgenti (prodotti industriali, sistemi di fabbrica, ecc.) a vantaggio di una maggiore digitalizzazione e automazione dei processi, della facoltà di sfruttare machine learning e intelligenza artificiale per creare nuovi business e servizi finalizzati a clienti e consumatori. Nel caso in cui si opera con l'IoT nelle Smart Factory il termine evolve in Industrial Internet of Things (IIoT).

L'Internet delle cose è un componente tecnologico fondamentale nei progetti d'industria 4.0 per rendere intelligenti macchine e linee di produzione attraverso l'integrazione di sensori IoT, attuatori e componenti di Edge computing per elaborazione in tempo reale e quindi avvio di processi automatici.

1.2.4 Internet of Service

L'Internet of Service è volto verso una manifattura orientata al servizio, attraverso l'innovazione del modello di business. Questa tecnologia riesce a creare maggior valore aggiunto al prodotto con un incremento della soddisfazione del cliente. Con l'IoS si creano, dunque, delle informazioni grazie all'elaborazione dei dati provenienti dalla supply chain, permettendo così di schedulare meglio la produzione e migliorare il processo di R&D dei nuovi prodotti.

Lo scopo dell'IoS è il monitoraggio del ciclo di vita del prodotto con il fine di prendere decisioni basate sulle informazioni raccolte ed analizzate con l'aiuto di tecnologie complementari. Infine permette anche di prevenire fermi macchina improvvisi, mantenendo così il flusso produttivo costante e garantendo affidabilità di macchinari e prodotti.

1.3 Caratteristiche dell'industria 4.0

Con la quarta rivoluzione industriale e l'avvento delle nuove tecnologie, il processo di produzione si sta evolvendo. Tutto questo è andato sicuramente a favore delle grandi aziende multinazionali, ma d'altra parte aiuta a colmare il gap, formatosi negli anni, tra PMI e le grandi realtà aziendali, rendendo così le PMI più competitive nel mercato.

Abbiamo introdotto prima le caratteristiche che distinguono una Smart Factory da un'impresa del passato. Andiamo a vedere in dettaglio le caratteristiche principali.

1.3.1 L'integrazione verticale fra i livelli della catena del valore

Per soddisfare il paradigma dell'industria 4.0 è necessario rispondere a dei requisiti di produzione molto complessi. In un'azienda la sua produzione deve essere organizzata in modo veloce e flessibile per raggiungere la personalizzazione di massa (mass customization).[7]

L'integrazione verticale, dunque, consente di collegare tutti i livelli logici all'interno della fabbrica, dalla logistica interna fino ai servizi post vendita. In questo modo i dati fluiscono liberamente in questi livelli in modo che le decisioni strategiche e tattiche possano essere guidate dai dati.

Nella pratica s'intende che tra i vari livelli vengono integrate delle tecnologie che permettono un agevole comunicazione tra le macchine e le attrezzature della fabbrica.

Un'impresa integrata verticalmente può godere di svariati benefici quali:

- Disponibilità dei dati sulla produzione e sulla catena di fornitura.
- Gestione dei dati in real-time.
- Automazione di tutto il processo produttivo.
- Misurazione continua di tutti i parametri del processo produttivo.



Figura 4: integrazione verticale
(fonte: Buffoli Industries)

1.3.2 L'integrazione orizzontale tra gli attori della supply chain

Per seguire l'integrazione orizzontale ed implementare gli strumenti offerti dalla quarta rivoluzione industriale è necessario che tutti gli attori della supply chain collaborino. L'obiettivo è quello di implementare un processo di trasformazione digitale che porta i tradizionali sistemi di produzione all'evoluzione in sistemi di produzione CPS che sfruttano soluzioni intelligenti all'interno della Smart Factory.

L'integrazione orizzontale è articolata in più livelli:

- All'interno dello stesso impianto di produzione, lo scopo prevede che una linea di produzione interconnessa sia in grado di rispondere dinamicamente allo stato di ogni macchinario per aumentare l'efficienza e i tempi di fermo attraverso la manutenzione predittiva.
- Tra più piani di produzione. L'industria 4.0 propone l'integrazione orizzontale tra i sistemi di gestione della produzione (Manufacturing Execution System). In questo modo i dati provenienti dalle strutture di produzione sono condivisi con l'intera azienda.
- Attraverso l'intera Supply Chain. La caratteristica di questo livello è che si promuove la trasparenza dei dati e alti livelli di collaborazione automatizzata tra la catena di approvvigionamento a monte e la catena di logistica a valle.[8]

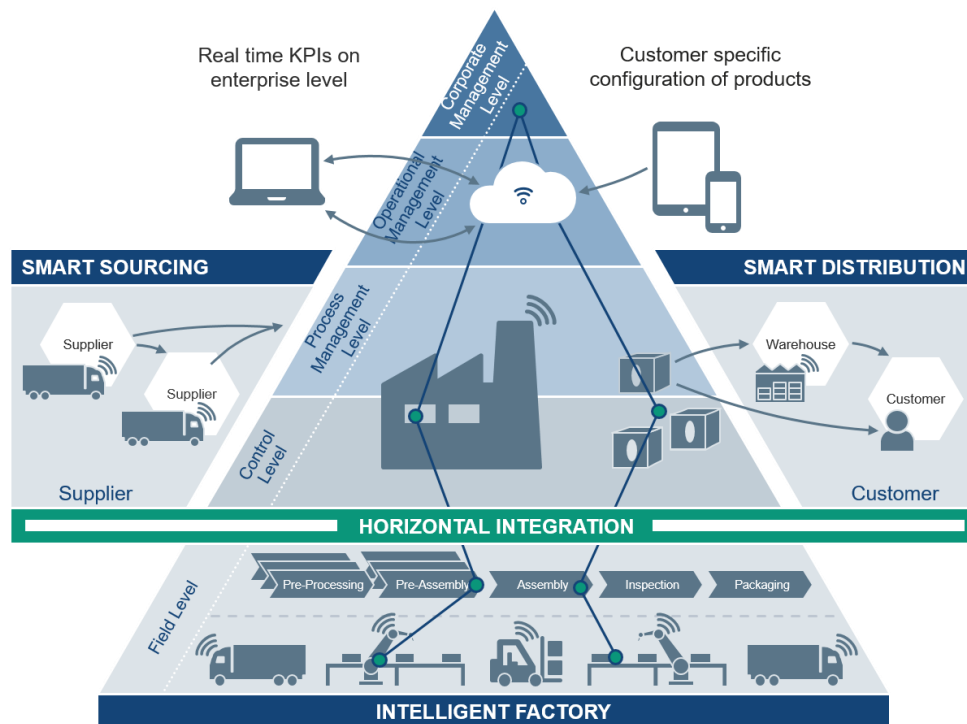


Figura 5: Integrazione orizzontale
(fonte: CleanPng)

1.3.3 End-to-end engineering attraverso l'intera catena del valore

L'integrazione dei componenti fisici e virtuali deve passare attraverso le fasi di disegno, sviluppo e ingegnerizzazione dei prodotti. Per questo motivo, uno dei punti chiave della strategia presentata dal governo tedesco riguarda la necessità di integrazione, in un'ottica digitale e di IoT, delle componenti di engineering lungo tutta la value chain e la crescente attenzione posta sulle componenti di

modellazione e disegno di processi, per favorire la gestione in ogni fase della tecnologia e dei sistemi tecnologici. L'obiettivo è quello di creare un approccio ingegneristico che vada a coprire tutte le diverse discipline tecnologiche coinvolte nel processo e nella value chain.

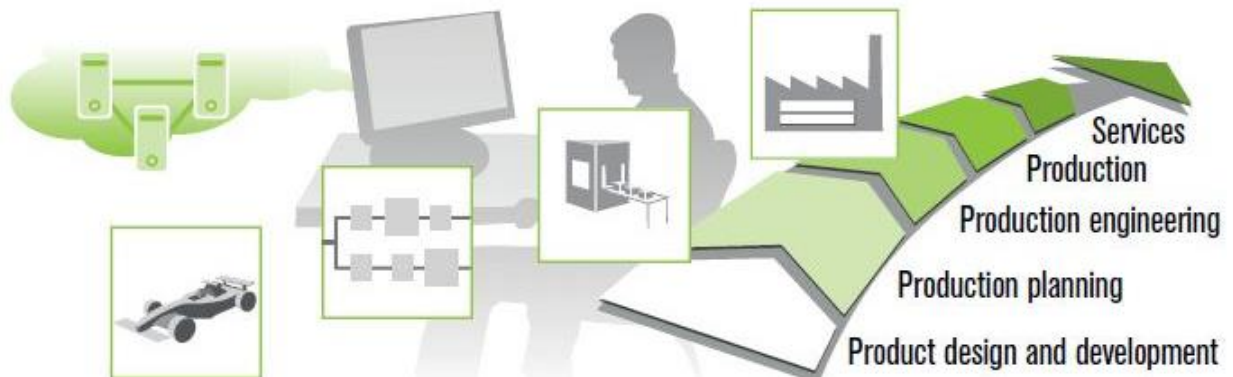


Figura 6: integrazione End-to-end della value chain
(fonte: Siemens 2012)

1.4 Le tecnologie abilitanti dell'Industry 4.0

Alla base dell'industria 4.0, ci sono enormi quantità di dati che fluiscono sia dall'ambiente esterno all'azienda che dalle organizzazioni interne ad essa. Questi dati vengono chiamati Big Data e sono impiegati per migliorare la capacità produttiva, l'efficienza, la sicurezza e la continuità operativa.

Vista l'enorme mole di dati da analizzare e condividere, si sono creati problemi per quanto riguarda lo storage e la sicurezza.

Lo storage è lo spazio dove vengono immagazzinati i dati e rappresenta il layer tecnologico grazie al quale distribuirli rendendoli disponibili secondo la velocità e le prestazioni ideali per ciascuna tipologia di business o workload, in modo dinamico e, pensando all'IoT e all'industria 4.0, sempre più in real-time.[9]

Oltre ai Big data e al cloud computing, si aggiungono altre KET che sono: advance Manufacturing solutions, additive manufacturing, augmented reality, simulazione, industrial internet of things e cybersecurity. Andiamo a vedere nello specifico di cosa si tratta.

Industria 4.0: Le tecnologie abilitanti



Figura 7: le tecnologie abilitanti dell'industry 4.0
(fonte: FabLab Roma Network)

1.4.1 Il cloud computing

Il cloud computing è considerato una tipologia di riduzione dei costi e una scelta di soluzione rapida per rispondere a puntuali e specifici problemi operativi, anche se il valor vero del cloud computing è il modo in cui può essere utilizzato per supportare una strategia globale progettata per creare agilità del business.

La rapida e continua evoluzione del cloud è guidata dalla pressante necessità delle organizzazioni di far fronte ai cambiamenti nei mercati.[10]

I servizi che il cloud computin è in grado di offrire sono molto variabili in base alle esigenze ed alle possibilità di una PMI o di un'azienda.

È possibile racchiudere i benefici di questa tecnologia in tre punti:

- Più flessibilità e agilità: permette di scalare facilmente la potenza di calcolo, di rete e di storage e permette ad un'azienda di far fronte a picchi improvvisi di attività.
- Maggiore efficienza operativa: permette una riduzione notevole delle attività operative e della manutenzione all'infrastruttura.
- Riduzione dei costi: si assiste ad una notevole riduzione dei costi legati alla gestione dell'infrastruttura IT e alla sua manutenzione.

Esistono vari modelli di cloud computing offerti alle imprese che operano nell'industry 4.0. essi sono principalmente quattro:

- Infrastructure as a Service (IaaS): è un hardware che include uno spazio virtuale su un server, delle connessioni di rete, una larghezza di banda e degli indirizzi IP. Questo modello è un vero e proprio outsourcing delle risorse in termini di spazio, rete e potenza computazionale.
- Platform as a Service (PaaS): fornisce una piattaforma per costruire applicazioni e servizi su internet, si accede alla piattaforma facilmente da un browser. Questo modello funge da facilitatore per lo sviluppo di applicazioni. La piattaforma fornisce dei linguaggi di programmazione, librerie e servizi dedicati sviluppati dai provider.
- Software as a Service (SaaS): in questo modello ci si avvale di una terza azienda che si chiama hosting service provider, per utilizzare i programmi necessari tramite internet e si paga in base all'uso effettivo dei programmi.
- Container as a Service (CaaS): questo modello fornisce un servizio online di virtualizzazione a container. Il fornitore consente all'utente di sviluppare dei software in container di applicazioni per poi eseguirli, testarli e distribuirli.

1.4.2 La cybersecurity

Dunque abbiamo visto come il mercato industriale è in forte evoluzione: gli impianti produttivi sono sempre più digitali e interconnessi e ci si avvale dei big data per avere una visione da diverse prospettive. Pensare di affrontare tutti i temi di sicurezza dei sistemi industriali con lo stesso approccio e la stessa metodologia utilizzata fino ad oggi sarebbe un errore. Per mantenere l'integrità del dato sono state pensate soluzioni rivolte a tutto il suo ciclo di vita, inoltre è indispensabile tenere traccia degli accessi e una precisa registrazione in caso di correzione o variazione dei dati.[11]

La sicurezza e la protezione dei dati sono, quindi riconosciuti come aspetti chiave che non devono mancare in qualsiasi realtà aziendale e, in particolare, diventano ancora più critici nell'ambito di realtà tecnologicamente complesse come quelle dell'industria 4.0.

L'"Agenzia dell'Unione Europea per la Sicurezza della rete e delle informazioni" (ENISA), nella pubblicazione dello studio "Industry 4.0 - Cybersecurity Challenges and Recommendations", ha cercato di identificare le principali criticità nell'adozione di processi standard volti a garantire la sicurezza e la protezione dei dati negli ambiti IT e OT dell'industria 4.0. lo studio si focalizza sulle tre aree di rischi: persone,

processi e tecnologia e fornisce utili raccomandazioni generali, senza penalizzare il lato innovativo dell'Industry 4.0. Tali considerazioni e raccomandazioni sono generalizzabili a qualsiasi realtà aziendale che eroghi servizi attraverso l'utilizzo di sistemi e servizi IT.[12]

Quindi si ha una grande vulnerabilità delle aziende, perchè aumenta esponenzialmente il rischio di attacchi informatici che non si limiterebbero solo alla produzione o alla vendita del prodotto, ma, visto che tutti i dispositivi delle Smart Factory sono connessi dall'IoT, potrebbero provocare fermi macchina, danni agli impianti, rischi per la salute dei dipendenti, danni all'immagine e perdite di risorse.

La soluzione che le imprese dovrebbero prevedere è un approccio integrato alla sicurezza che parta dalla definizione di framework per la cybersecurity e dovrebbero adottare tecnologie di rilevamento e prevenzione dalle intrusioni, come per esempio: monitoraggio dell'integrità, chiusura delle porte TCP/IP, patching virtuale, analisi sandbox avanzata, machine learning, rilevamento malware, protezione antispam.[13]

1.4.3 Big Data and Analytics

Con il termine Big Data and Analytics si intende la raccolta e l'analisi di dati provenienti da fonti diverse che transitano attraverso internet e che descrivono, per esempio, i trend del mercato, le abitudini dei consumatori, le domanda di beni. Attraverso opportuni strumenti per la gestione dei big data, le imprese possono effettivamente estrarre valore economico dalle operazioni di acquisizione ed elaborazione dalla grande mole di dati, essendo in grado di identificare possibili scenari futuri e quali azioni intraprendere per ottimizzare i risultati.

Le caratteristiche dei Big Data sono essenzialmente otto, definite come le "8V":

- **Varietà:** i dati acquisiti e analizzati sono del tutto eterogenei, per fonte, formato e contenuto, per questa ragione maggiormente corrispondenti alle mille sfaccettature del mercato reale.
- **Valore:** rappresenta la capacità dei dati, ove correttamente analizzati, di creare valore aggiunto in quanto consentono all'azienda che ne fa uso di indirizzare le azioni in linea con le richieste di mercato.
- **Volume:** rappresenta la sempre maggiore quantità di dati che sono immessi nei sistemi digitali.

- Veracità: indica l'autenticità dei dati, che a sua volta influisce sul rapporto tra qualità dei dati immagazzinati e accuratezza dell'analisi.
- Variabilità: la capacità dei dati raccolti di cambiare il proprio significato e la propria importanza nel corso del tempo, rendendo più complesso il processo di giusta selezione e gestione efficace dei dati.
- Visualizzazione: in quanto l'aspetto è rilevante per prendere decisioni o per stimolare, essi devono essere rappresentabili efficacemente per poter acquisire valore per il business
- Velocità: capacità con cui i dati vengono processati e trasformati per apportare valore informativo, l'aspetto cruciale è l'evoluzione dei dati in real-time.
- Viscosità: definisce la resistenza che si affronta nel trasformare i dati, dovuto a processi interni di change management o da aggiornamento degli algoritmi.

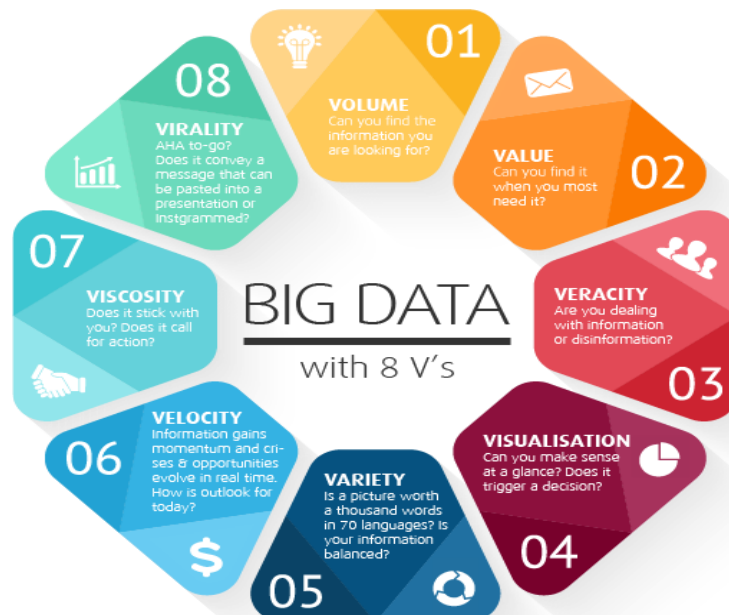


Figura 8: le "8V" che caratterizzano i big data
(fonte: gluelabs)

I dati raccolti ed analizzati dagli algoritmi possono essere suddivisi principalmente in tre tipologie: dati strutturati, che sono dati inseriti manualmente e conservati in database organizzati secondo precisi schemi e tabelle e sono analizzati tramite dei modelli di gestione relazionali; dati destrutturati, consistono tipicamente in file (testi, immagini, video), e non essendo organizzati rendono la loro analisi molto complessa ma essi sono quelli maggiormente rappresentativi della realtà. Questi dati sono analizzati da modelli information retrieval; dati semi-strutturati, consistono in dati misti che possiedono caratteristiche proprie sia dei dati strutturati che di quelli destrutturati, sono un esempio i file Xml. Questi dati

possono essere analizzati sia da modelli relazionali che da modelli information retrieval. [14]

1.4.4 Advanced manufacturing solution

Comprende il gruppo di tecnologie composto da diversi modelli di macchine o sistemi che si possono connettere tra loro per permettere il controllo da remoto.

Si parla dunque di robotica collaborativa ed interconnessa ovvero la condivisione di uno spazio di lavoro tra uomo e robot in modo efficiente e sicuro grazie all'intelligenza artificiale delle macchine.[15]

Grazie a questa collaborazione tra uomo e macchina si è arrivati ad automatizzare solo parzialmente il processo produttivo perchè l'automazione non è economicamente conveniente. Nonostante questo svantaggio si può comunque notare una notevole corsa all'automazione da parte delle aziende di tutto il mondo come mostrato nel seguente grafico:

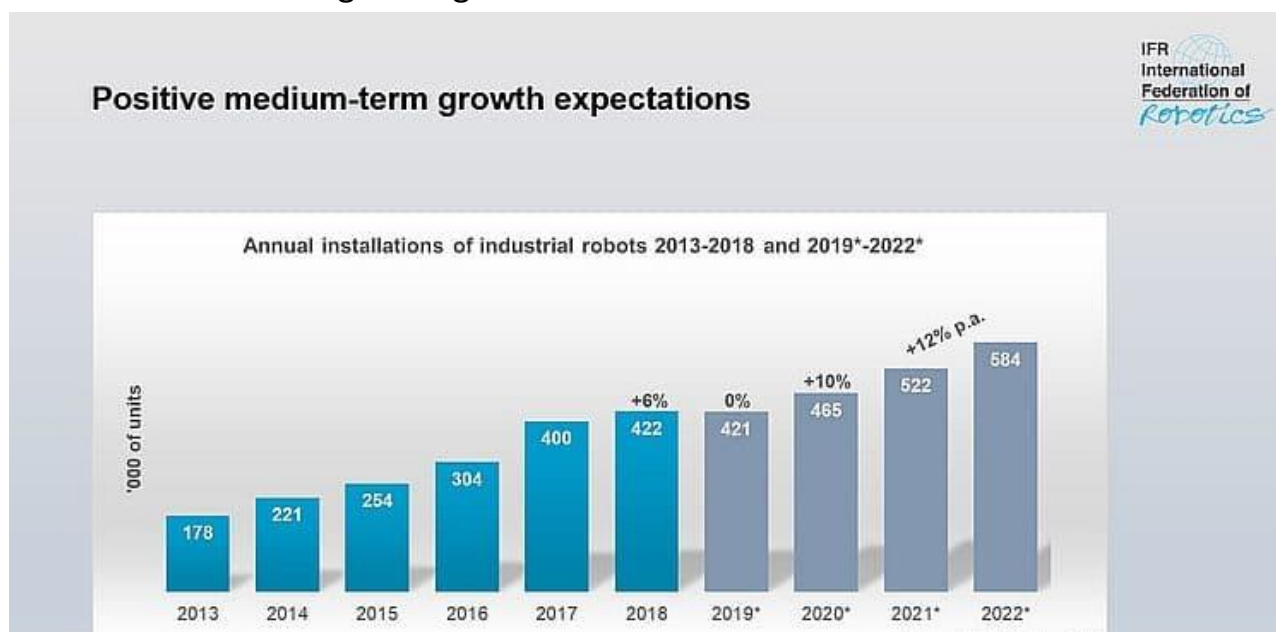


Figura 9: Unità globali di robot industriali
(fonte: World Robotics 2019)

1.4.5 Additive manufacturing

Con l'espressione additive manufacturing ci si riferisce principalmente alla stampa tridimensionale, alle tecniche e alle tecnologie legata ad essa. I vantaggi di questa tecnologia sono molteplici ma il più rilevante nell'ambito del manufacturing è la diminuzione del tempo che intercorre tra l'ideazione del prodotto e il prodotto finito.

Dunque da luogo ad un nuovo metodo di produzione basato sulla realizzazione di prodotti fisici attraverso la sovrapposizione di materiali strato su strato. Il processo additivo si contrappone a quello sottrattivo delle tecnologie a controllo numerico [16]. Il processo di produzione è un processo di tipo "design driven manufacturing" che ha come punto di partenza la realizzazione di un modello 3D che viene convertito tramite dei software in un file formato STL, successivamente un software dedicato consentirà, mediante lo slicing opportunamente orientato e supportato, di produrre il file di macchina necessario per la produzione.

La caratteristica principale della stampa 3D è proprio la produzione del pezzo mediante materiali differenti che vengono depositati strato dopo strato. Mentre, uno dei vantaggi principali è quello di riuscire a produrre in un'unica soluzione componenti che in precedenza venivano prodotti separatamente per poi essere assemblati.



*Figura 10: fasi di realizzazione dell' Additive manufacturing
(fonte: Ridix)*

1.4.6 Augmented Reality

Si parla di realtà aumentata quando si integrano informazioni digitali con l'ambiente dell'utente in tempo reale. C'è una differenza fra augmented reality e realtà virtuale che spesso vengono considerati uguali. La realtà virtuale è una simulazione della

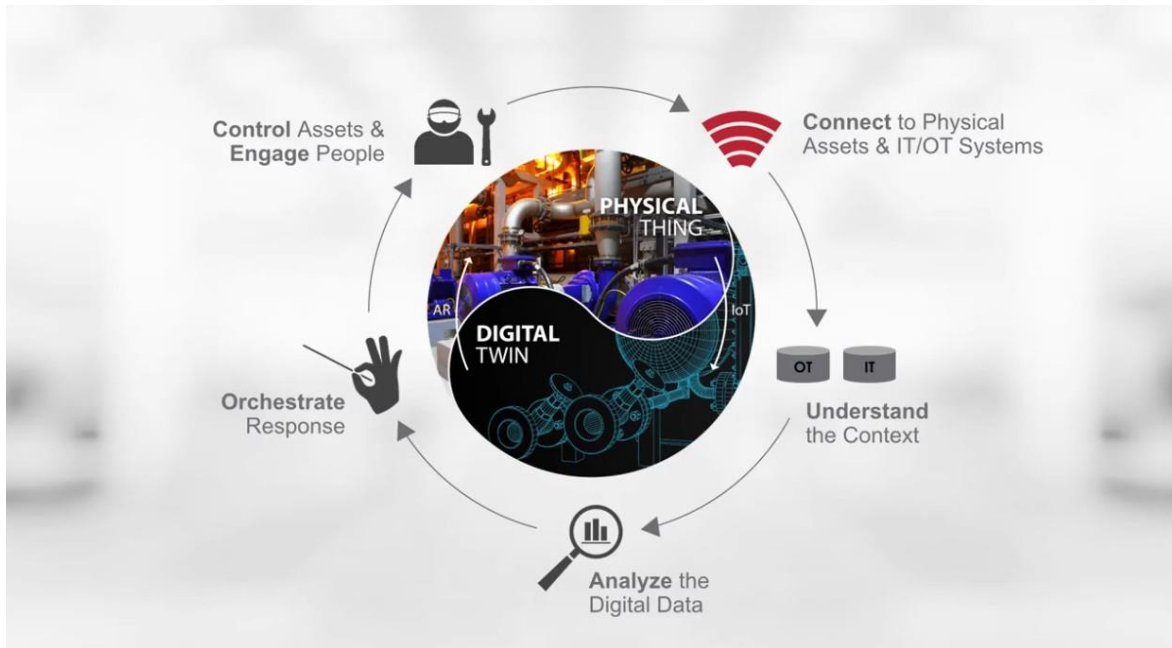
vita reale generata al computer mentre con la realtà aumentata si aggiungono miglioramenti della vita reale generati al computer.[17]

Esistono diverse categorie di tecnologie per l'augmented reality, ciascuna differenziata in base agli obiettivi e i casi d'uso applicativi:

- AR basata su marker: utilizza una telecamera e alcuni tipi di marcatori visivi tipo un codice QR o 2D.
- AR senza indicatore: è una delle tecnologie più implementate della realtà aumentata. L'AR senza indicatore (markerless) utilizza il sistema di GPS, la bussola digitale e l'accelerometro incorporati nel dispositivo per fornire dati basati sulla nostra posizione.
- AR basata sulla proiezione: utilizza una luce artificiale proiettata sulle superfici del mondo reale, queste consentono l'interazione umana inviando la luce su una superficie nella realtà e percependo poi l'interazione umana (ossia il tatto) di quella luce proiettata.
- AR basata sulla sovrapposizione: questa tecnologia sostituisce parzialmente o completamente la vista originale di un oggetto con una nuova vista aumentata dello stesso.

1.4.7 Simulazione: digital twin aggiornati in real-time

Una simulazione o digital twin è una copia digitale di un processo, prodotto o servizio, ottenuta grazie alle informazioni che inviano i sensori installati nei centri produttivi o logistici. Grazie all'IoT, cloud e Big Data, la simulazione di un processo è arrivata ad essere in grado di integrare le informazioni in tempo reale, mettendo le aziende nelle condizioni di testare i processi e riconfigurare le proprie strategie in tempi decisamente ridotti.



*Figura 11: Ciclo sviluppo DT
(fonte: Next Factory)*

2. Digital Twin

Tra le tecnologie abilitanti dell'industria 4.0, abbiamo introdotto il gemello digitale. Ma questa nuova tecnologia ha un significato più vasto e che può essere applicata in qualsiasi campo, partendo dalla medicina fino a diventare una tecnologia cardine nell'industria 4.0.

2.1 Cenni storici e definizione di Digital Twin

Il concetto di digital twin fu usato per la prima volta nel 2002 da Michael Grieves che, durante un corso di Product lifecycle Management (PLM), descriveva il gemello digitale come l'equivalente virtuale e digitale di un prodotto fisico.

Nell'approccio del PLM di Grieves viene evidenziato un Mirrored Spaces Model riferito a una rappresentazione estremamente dinamica in cui la dimensione reale e la dimensione virtuale rimangono collegate durante l'intero ciclo di vita del sistema attraversando le fasi di creazione, produzione, funzionamento e smaltimento.

La NASA fu la pioniera nell'utilizzo del DT, fin da quando iniziò la corsa allo spazio, prima ancora che il DT fosse ideato e teorizzato.[18]

La prima volta che la NASA utilizzò questo termine fu in una pubblicazione che definisce il DT come:

"Una simulazione ultra-realistica ad alta scalabilità, che utilizza i migliori modelli fisici disponibili, i dati dei sensori e quelli storici per il mirroring di uno o più sistemi reali"[19] e le funzioni di un DT, sempre secondo la NASA sono principalmente:

- **Predizione:** un DT fa analisi di tipo predittivo mentre si sta effettuando la simulazione.
- **Sicurezza:** il DT monitora costantemente l'intero sistema garantendo la sicurezza.
- **Diagnosi:** il DT è capace di analizzare delle perturbazioni che alterano il sistema, le quali non erano state previste.[19]

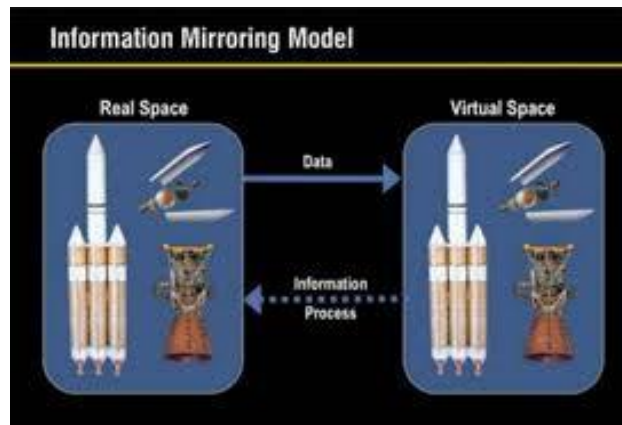


Figura 12: prima rappresentazione di un Digital Twin
(fonte: NASA)

Un digital twin si può definire in maniera generale come:

"la rappresentazione virtuale di un'entità fisica, vivente o non vivente, di una persona o di un sistema complesso"[20], e può evolversi fino a diventare una vera e propria replica di risorse fisiche potenziali ed effettive, di processi, persone, luoghi, infrastrutture e di sistemi e dispositivi.

Per Robert Plana, il digital twin è una sorta di modello in vivo di un impianto o di una linea di produzione, realizzato dall'incrocio tra dati reali di funzionamento e i disegni cad e digitali serviti per la progettazione. Quindi secondo lui il DT consente di costruire una copia virtuale dell'impianto reale o della singola macchina in grado di replicare o verificare il funzionamento.

Per Boschert e Rosen (2016) il DT non è una cosa associabile ad una simulazione, ma esso va oltre la simulazione e integrato con il sistema diventa uno strumento di supporto alle decisioni. Per arrivare al superamento della simulazione il DT deve disporre di un'architettura che connette dati ingegneristici e operativi attraverso diversi modelli di simulazione, che però, devono essere generati e inseriti manualmente e successivamente aggiornati da un sistema di gestione dei modelli.[21]

Secondo Carlo Gomarasca

"il Digital twin rappresenta un approccio realmente rivoluzionario, grazie al quale le aziende possono analizzare e ottimizzare le prestazioni dei prodotti in condizioni operative reali".

Stark et al (2017) definiscono il DT come un collegamento tra Digital Master, che rappresenta il modello di simulazione del sistema reale, e il Digital Shadow, che sono l'insieme dei dati operativi; il collegamento fra i due è rappresentato da algoritmi e modelli di simulazione[22].

Ancora, invece, per Kunath et al (2018) si focalizzano sui sistemi di manifattura e definiscono il DT come una rappresentazione orientata dei dati di tutti gli elementi di un sistema. Questa rappresentazione è connessa agli elementi fisici attraverso i sensori, gli attuatori e sistemi di comunicazione per supportare il sistema ciberfisico di produzione (CPPS)[23].

Da queste definizioni si possono, dunque, riassumere le caratteristiche principali di un DT, che sono:

- La disponibilità dei dati e delle informazioni riferite all'entità rappresentate dal gemello digitale.
- La costante connessione tra la componente fisica e quella virtuale.
- La possibilità di accesso ubiquitario ai dati e alle risorse informatiche attraverso internet.
- Lo scambio di dati e informazioni tra l'entità digitale e quella fisica grazie all'utilizzo di sensori e attuatori.

Mentre, le condizioni necessarie per la realizzazione di un DT sono l'esistenza di:

- Prodotti fisici nello spazio reale.
- Prodotti virtuali nello spazio digitale.
- Un layer di collegamento che unisca lo spazio fisico a quello virtuale.

il Digital twin fa parte delle tecnologie abilitanti dell'Industry 4.0, ma in realtà, si può definire come un paradigma a sé stante, che è in grado di sfruttare le tecnologie abilitanti dell'industria 4.0 per creare una copia virtuale di un oggetto fisico.

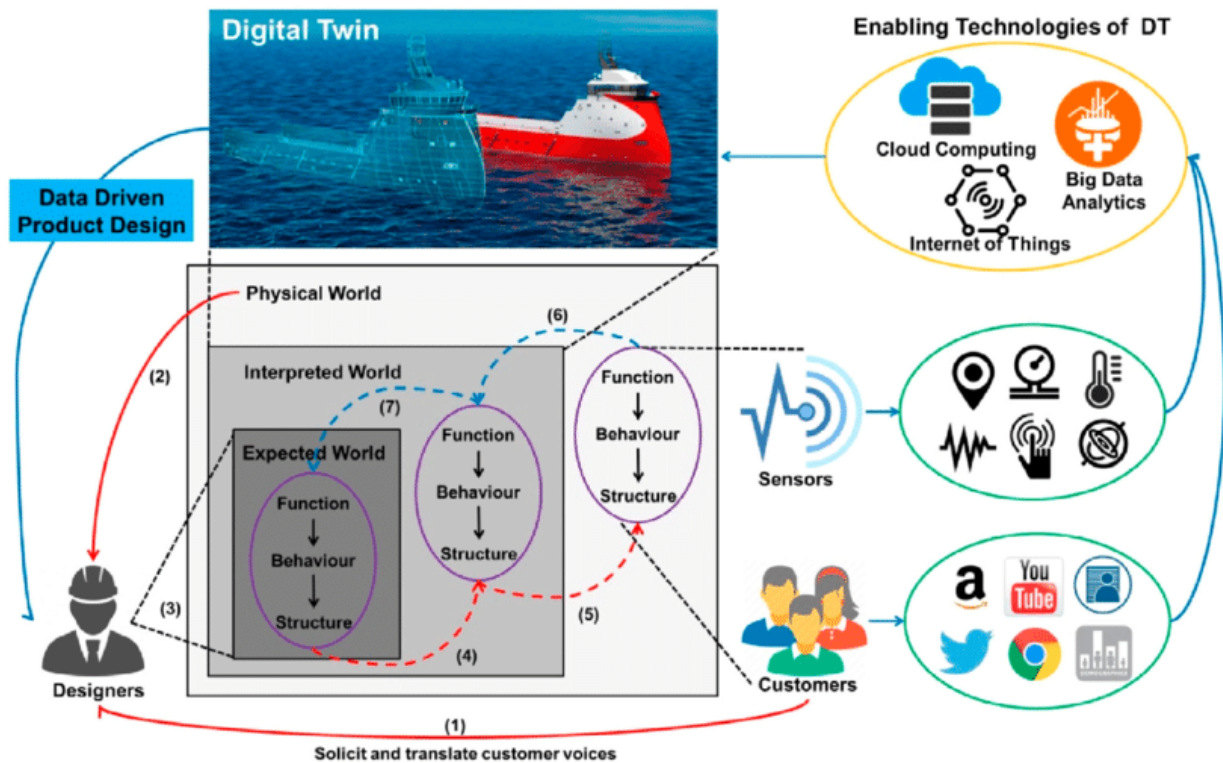


Figura 13: Passaggio da mondo reale e mondo digitale
(fonte: ResearchGate)

2.2 Tipologie di Digital Twin

In generale, le tipologie principali di digital twin sono: di Prototype e di Instance. Se si combinano tutti e due questi DT e si fanno evolvere insieme, si inizierà a parlare di Digitale Thread. Il termine Thread indica un percorso che si snoda attraverso tutte le fasi di ciclo di vita del prodotto, ricavando e aggregando dati. Il DTI e il DTP sono gestiti nel Digital Twin Environment, mentre se si aggregano i DTI si parlerà di Digital Twin Aggregate.[24]

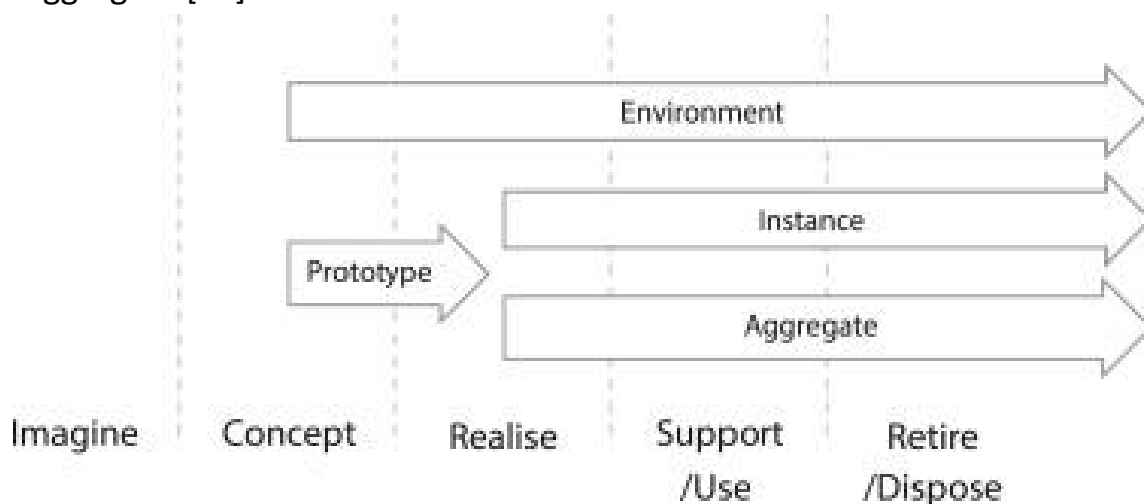


Figura 14: Lo scopo e le relazioni tra Digital Twin e il prodotto fisico
(fonte[25])

2.2.1 Digital Twin Instance

Si utilizza questa tipologia di gemello digitale per la progettazione efficiente dei nuovi prodotti, soprattutto in fase di progettazione.

Dunque, è possibile utilizzare il DT per accertare le prestazioni di un prodotto, riuscendo a mostrare nello stesso tempo il comportamento effettivo dei prodotti nel mondo reale. Questo DTI dà luogo alla connessione fra prodotto virtuale e prodotto fisico, che consente di analizzare come il prodotto si comporta in svariate condizioni e consente di apportare modifiche opportune nell'ambiente virtuale per accertare che il prodotto reale si comporterà effettivamente come previsto. Questo tipo di DT permette di replicare sistemi e materiali molto complessi con lo scopo di facilitare il processo decisionale.[25][26b]

I vantaggi nell'utilizzo del DTI sono:

- L'eliminazione della creazione di più prototipi per un solo prodotto.
- Riduce notevolmente il tempo complessivo di sviluppo.
- Migliora la qualità del prodotto finito.
- Accelera le iterazioni in risposta al feedback del cliente.

2.2.2 Digital Twin Prototype

Questo tipo di DT è impiegato nella pianificazione di fabbricazione e di produzione consentendo di verificare l'efficacia e l'efficienza di un processo di fabbricazione nel reparto di produzione, prima di iniziare la produzione vera e propria. Il DTP simula il processo di fabbricazione e analizza i dati dei vari eventi tramite il Digital Thread. In questo modo le aziende possono definire una strategia di produzione che massimizzi l'efficienza e che garantisca livelli qualitativi costanti.

Spesso se si utilizza questo DT si è già proceduto all'utilizzo del gemello digitale di prodotto garantendo così la massima ottimizzazione. Questi due gemelli collaborando all'unisono possono far prevenire costosi tempi di inattività delle attrezzature e prevedere quando sarà necessario svolgere operazioni di manutenzione preventiva.[26][26b]

2.2.3 Digital Twin Aggregate

Aggregazione dei DTI per acquistare, analizzare e strutturare i dati operativi. La necessità dell'implementazione di questo DTA nasce dal fatto che prodotti e impianti industriali intelligenti generano enormi quantità di dati, relativi all'utilizzo e all'efficienza degli stessi. Il DTA registra e immagazzina tali dati dai prodotti e dagli

impianti e li analizza con lo scopo di fornire dettagli e dati comprensivi che facilitino un processo decisionale. Sfruttando questa tecnologia, le aziende possono:

- Creare nuove opportunità di business.
- Ottenere informazioni dettagliate di prodotti o processi per migliorare i modelli virtuali.
- Acquistare, aggregare e analizzare i dati operativi.
- Migliorare l'efficienza di prodotti e sistemi di produzione.[26][26b]

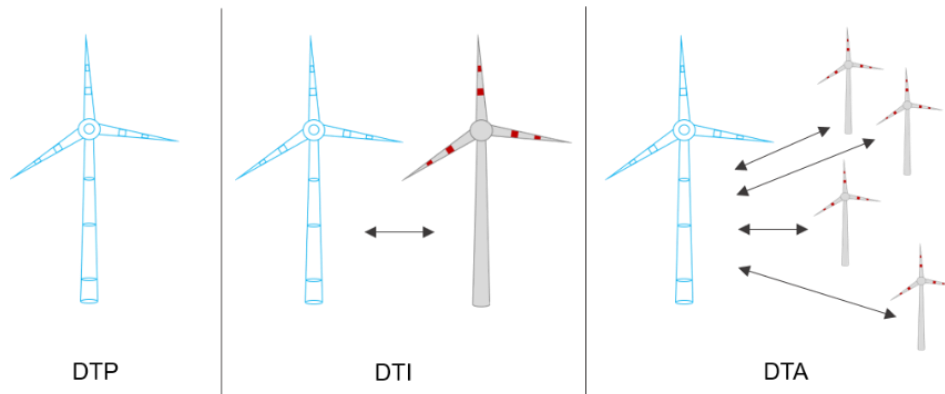


Figura 15: Tipologia di Digital Twin
(fonte[26b])

2.3 Applicazioni del Digital Twin

Negli ultimi dieci anni il concetto di fabbrica si è evoluto grazie alla quarta rivoluzione industriale. Si parla, oggi, di Smart Factory con l'obiettivo di creare una Smart Manufacturing. Questa evoluzione guidata dai paesi più evoluti, è stata creata a causa del confronto con i paesi in via di sviluppo, in quanto essi offrono prezzi vantaggiosi e competitivi grazie al costo molto basso della manodopera, spingendo le fabbriche a decentralizzare la loro produzione. Tutto questo ha creato una propulsione verso l'innovazione della produzione e l'Industry 4.0 con le sue tecnologie abilitanti, in particolar modo l'utilizzo dei Digital Twin, sta permettendo di realizzare l'obiettivo della Smart Manufacturing.

2.3.1 Digital Twin for Product Design

Il Digital Twin for Product design (DTPD) consente di progettare un prodotto basandosi sulle analisi dei Big Data. Questa applicazione della tecnologia del DT è nettamente superiore rispetto alle tecniche classiche come per esempio: QFD (Quality function Deployment), AHP (Analytic Hierarchy Process), FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), TRIZ (Problem-solving method) e Modello di Kano.

Il design e di un prodotto progettato e creato con un DTPD si differenzia da uno tradizionale perchè non dipenderà dall'esperienza del designer ma si basa sui dati rilevanti estratti e analizzati dai Big Data. Questo non sta a significare che l'intervento umano è del tutto inutile in quanto si devono creare dei prodotti di tipo tailor-made in base ai bisogni dei consumatori e servono i data scientist.

Come tutti i DT questa applicazione particolare ha bisogno delle tre caratteristiche fondamentali, ovvero le entità fisiche nello spazio fisico, le entità virtuale nello spazio virtuale, e il collegamento fra i due spazi.

Quando si parla di Digital Twin for Product Design, non ci si riferisce solo alle geometrie e all'aspetto del prodotto, ma anche alle regole, i comportamenti e le proprietà del materiale, oltre all'analisi meccaniche e di monitoraggio.

L'attività del DTPD non termina con l'invio in produzione del prodotto, ma segue anche tutte le fasi che si concludono con la vendita all'utente finale in modo tale che le informazioni fluiscano in modo circolare consentendo più facili gli sviluppi futuri del prodotto.[27]

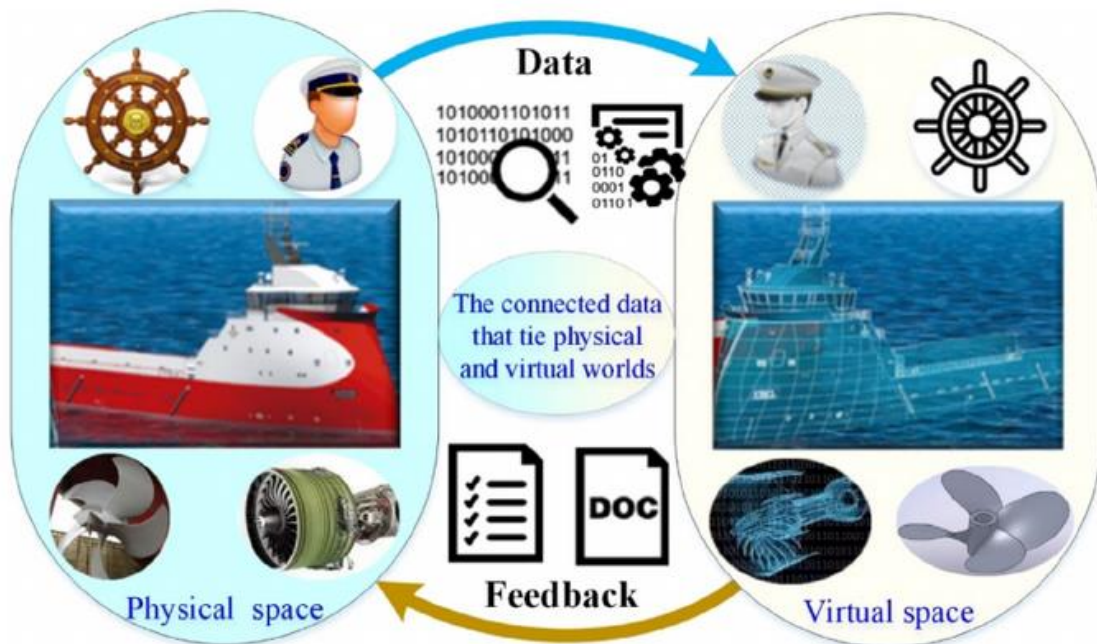


Figura 16: Modello generale di un digital twin per prodotto (fonte [27])

2.3.2 Digital Twin for Additive Manufacturing

Per ottimizzare il processo di produzione di Additive Manufacturing (AM), è nato il Digital Twin for Additive Manufacturing. La qualità di un prodotto finito è legata alla geometria del pezzo, dalla microstruttura dei materiali e dai difetti che essi hanno.

Tutti questi elementi sono caratterizzabili da numerose variabili di processo e di peculiarità del prodotto. In passato queste variabili potevano essere identificate solo al momento della produzione, ma con l'avvento del DT for AM si è reso possibile prevedere variabili rilevanti che riescono a condizionare la struttura e le proprietà metallurgiche del prodotto. Questo DT, una volta collaudato con dati sperimentali, è capace di ridurre o persino eliminare e sostituire gli esperimenti che rallentavano il processo produttivo[28].

2.3.3 Digital Twin Shop-floor

Il Digital Twin Shop-floor (DTS) è la vera e propria applicazione del paradigma ad una linea produttiva in ambito industriale. Il processo di produzione tradizionale è composto da innumerevoli passaggi: inizialmente si redige un piano di produzione basato sugli ordini e sullo storico, dopo di che ci si prepara alla preparazione della produzione vera e propria. Durante la produzione si monitora il processo constatando che segua quanto stipulato in precedenza. In molti casi nascono discrepanze, dunque si passa alla modifica e all'adeguamento del piano. Infine, c'è un controllo qualitativo che attesta o meno se la qualità del prodotto è conforme agli standard richiesti. In questo approccio tradizionale alla produzione, quindi, non vi è una sincronizzazione efficace dello spazio fisico con quello virtuale.

Per trovare una giusta sincronia tra mondo virtuale e reale vengono in aiuto le tecnologie dell'industry 4.0, nello specifico l'IoT e i CPS che massimizzano la produzione e che garantiscono che le risorse fisiche possano comunicare, controllare ed elaborare dati. Queste tecnologie permettono l'implementazione del Digital Twin all'interno di un shop-floor[29].



Figura 17: Modello di Digital Twin Shop-Floor
(fonte [29])

Dalla figura 17 possiamo vedere come un DTS si basa su un database centrale che ha la funzione di ricevere e instradare dati. Il Physical Shop-Floor è costantemente in comunicazione con il Virtuale Shop-Floor e ambedue comunicano con il Shop-Floor Service System dove sono situati tutti i sistemi informativi aziendali per la gestione.

2.3.4 Digital Twin for PLM

Il PLC di qualunque realtà aziendale può essere affetto di problemi di gestione di informazioni e dati. Per esempio i dati che vengono generati durante il ciclo di vita del prodotto spesso vengono duplicati e le interazioni tra Big Data e i dati derivanti dal PLC sono spesso inesistenti. Tutto ciò fa sì che non si riescono a controllare in parallelo i dati per trarre conclusioni in grado di ottimizzare il PLC.

Anche questa volta si può risolvere questo problema tramite un Digital Twin. Infatti, nell'ambiente virtuale creato dal DT è possibile simulare e monitorare il PLC in modo tale da verificare e ottimizzare i processi con il conseguente risultato di un PLM funzionale.[30][31]

2.3.4.1 Framework for PLM

Un framework del DT è caratterizzato da tre parti fondamentali: spazio fisico, spazio virtuale e spazio in cui vengono processati i dati.

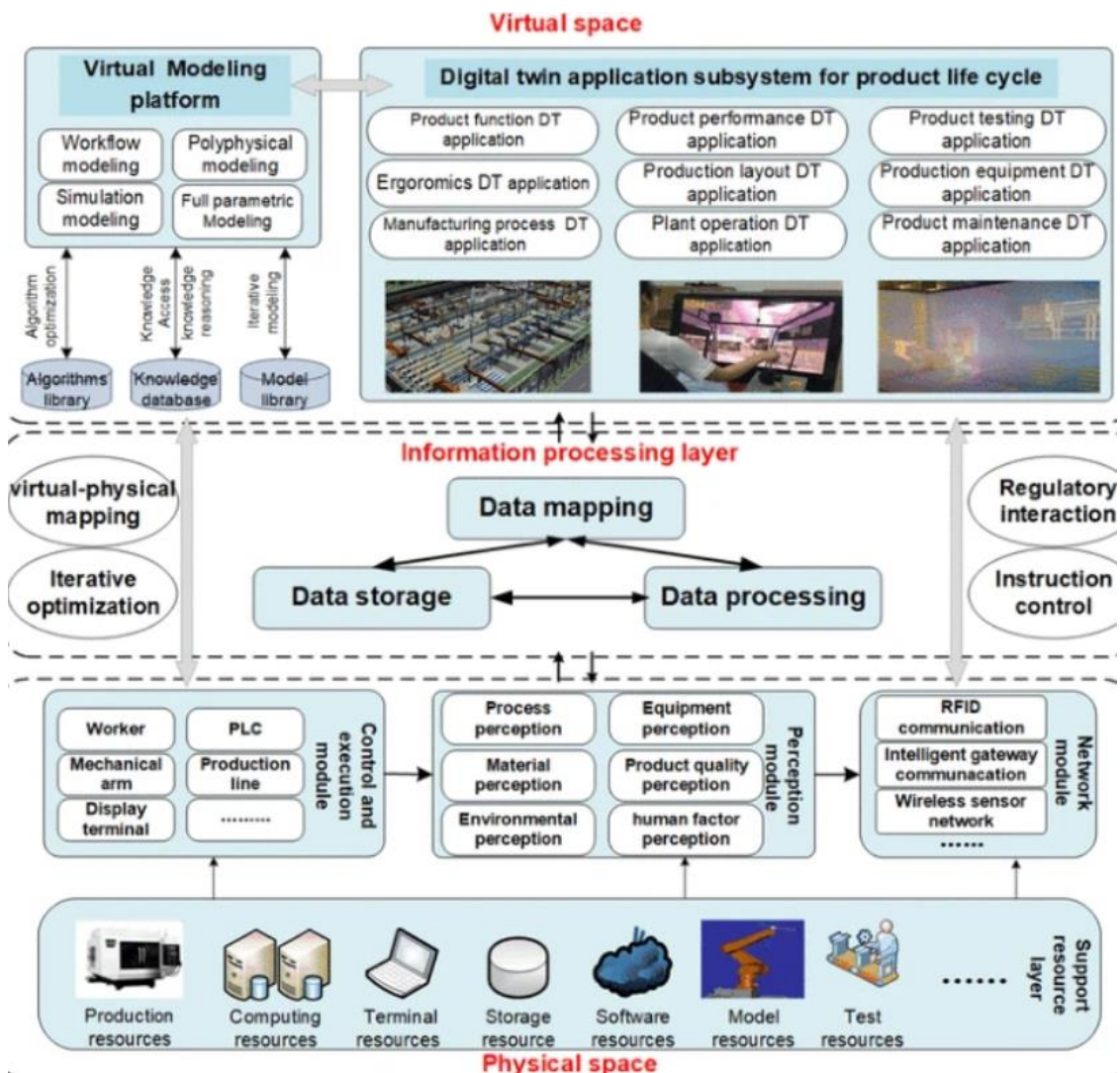


Figura 18: Framework del DT per un PLM
(fonte [31])

Nello spazio fisico del framework vi sono inserite: le persone, le macchine e i software. Questi elementi utilizzano l'IoT per comunicare e trasferire dati. Questi dati vengono raccolti e integrati con sistemi di gestione, tipo PDM, ERP e MES. Lo spazio virtuale è caratterizzato dal Virtual Environment Platform (VEP) e da un sottosistema del DT ideato appositamente per il PLM (DTs). Questo VEP elabora ed invia modelli virtuali per il DTs.

Il livello in cui si processano i dati è composto da: archivio dati, processo dati e mappatura dati. Quando le informazioni giungono in questo livello vengono analizzate e strutturate in modo tale da creare un data model a sequenza temporale.[31]

2.4 Tecnologie abilitanti dei Digital Twin

Per introdurre in una realtà aziendale un Digital Twin, secondo il White Paper pubblicato da Engineering, è necessario avere determinate condizioni, ossia bisogna avere a disposizione la giusta connettività, un adeguato livello di digitalizzazione e, anche se non in grande quantità, l'Intelligenza artificiale.

2.4.1 Connettività

Con il termine connettività ci si riferisce a tutte quelle tecnologie che rendono possibile lo scambio dei dati e la comunicazione con altri elementi. Andiamo a vedere nello specifico quali sono.

2.4.1.1 Sensori

Il sensore è un dispositivo che si trova in diretta interazione con il sistema misurato.[32]

A seconda del tipo di utilizzo, i sensori possono:

- Dare una lettura direttamente nell'unità ingegneristica d'interesse.
- Essere collegati ad un display che provvede a leggere il segnale inviato dal sensore e tradurlo nell'unità ingegneristica.
- Essere collegati ad uno strumento registratore che consente di memorizzare il segnale per una successiva lavorazione.

Una rivoluzione nel campo dei sensori è stata la tecnologia Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) riducendo il costo dei sensori causando un incremento del loro impiego.

2.4.1.2 Big Data

I dati operativi e ambientali raccolti dai sensori, vengono aggregati e combinati con dati già esistenti in azienda. Negli ultimi anni con l'incremento di nuove tecnologie si stanno producendo moli di dati quasi non quantificabili, questi prendono il nome di Big Data. Inizialmente i costi per la memorizzazione dei dati non era economico, ma oggi la capacità di immagazzinamento e di calcolo necessari per gestire i Big Data sono stati notevolmente ridotti rendendoli accessibili anche alle PMI, consentendo loro di essere un po' più competitive nel mercato.[9]

2.4.1.3 L'Internet of Things

I sensori comunicano dati al mondo digitale attraverso la tecnologia di integrazione, che include edge computing, interfacce di comunicazione e sicurezza, tra il mondo fisico e il mondo digitale, proprio grazie all'IoT.

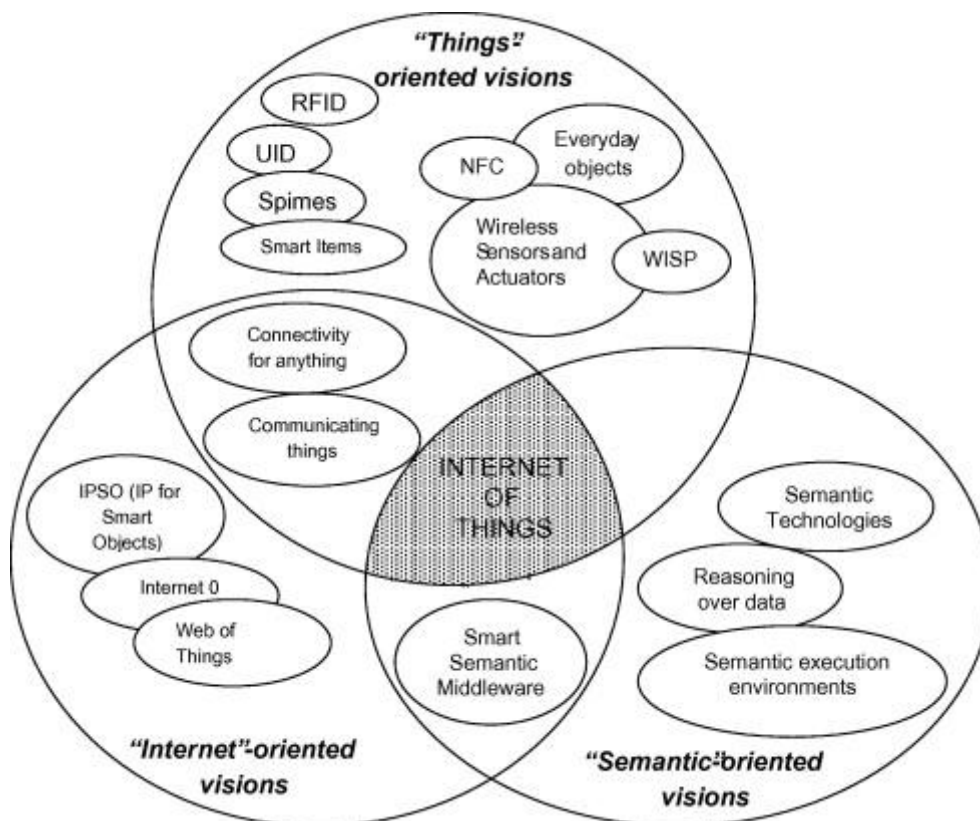


Figura 19: Com'è definito l'IoT
(fonte[33])

Come mostrato in figura 17, l'Internet of Things è il risultato della convergenza di differenti visioni, quali l'Internet oriented vision, semantic oriented visions e Things oriented visions[33].

2.4.2 Digitalizzazione

Quando nel DT si fa riferimento alla digitalizzazione, ci si riferisce alla necessità di applicazioni utili alla simulazione. Queste applicazioni sono:

- **Simulation modeling:** è un'applicazione che combina i componenti della connettività in un modello digitale, allineato in tempo reale con i sistemi che riproduce. Le tecnologie per realizzare questi modelli digitali dipendono dalla natura dei sistemi stessi: mentre un componente meccanico può essere simulato utilizzando tecniche basate su fisica e matematica (CFD e FEM), un

sistema più complesso può essere modellato utilizzando tecniche agent-based-modeling.

- Data-driven modeling: analogo ai modelli di simulazione, anche i modelli basati sui dati (DDM) concorrono a definire il lato "digitale" del DT. Con questa applicazione non si deve conoscere il funzionamento del sistema reale, ma essi utilizzano tecniche matematiche e statistiche avanzate per analizzare i dati che caratterizzano un sistema e riescono a trovare relazioni tra input e output.[34]

2.4.3 Intelligenza artificiale

Nell'immaginare un modello digitale non può mancare una parte legata all'intelligenza artificiale, utile all'apprendimento in autonomia, basato sull'esperienza da parte delle macchine che possono percepire l'ambiente circostante, analizzare le situazioni e identificare le decisioni migliori per raggiungere l'obiettivo prefissato.

L'AI consente alle macchine di imparare dall'esperienza, adattarsi a nuovi input ed eseguire attività simili a quelle umane. Inoltre l'intelligenza artificiale può essere impiegata a diversi livelli del DT per garantire migliori prestazioni in condizioni di incertezza.[35]

Oltre all'AI vi sono le tecniche di data analytics che vengono impiegate per analizzare e visualizzare, tramite adeguati algoritmi, le informazioni raccolte dai sensori. In questo modo si riescono a scoprire, interpretare e comunicare andamenti significativi nei dati, volti ad ottimizzare il processo decisionale. Grazie ai progressi del machine learning, sono emerse numerose applicazioni di analytics che consentono di acquisire informazioni quantitative e qualitative sui fattori che influenzano il business.

Infine, insieme all'AI, collaborano anche gli attuatori. Se nel sistema fisico è richiesta un'azione, l'AI sottostante al DT la riproduce mediante gli attuatori sottoposti al controllo umano, che innescano il processo reale. L'azione riguarda sia le decisioni operative che quelle di carattere strategico o organizzativo.

2.5 Benefici derivanti dall'uso dei Digital Twin

I principali vantaggi che derivano dall'utilizzo dei DT sono descritti dalla traduzione letterale del suo nome, ossia una copia digitale, un gemello digitale della realtà, dove è possibile vedere, pensare e agire senza correre alcun rischio.[34]

I vantaggi sono, dunque:

- Miglioramento continuo, dove l'implementazione di un DT coinvolge molte tecnologie e innovazioni che, a loro volta, possono configurarsi come fattori chiave per far scaturire miglioramenti aziendali.
- Previsione, il DT può essere usato per conoscere lo stato futuro di assets aziendali rilevanti.
- Analisi di scenario (what-if), il DT predispone interfacce utente con cui è facile interagire con il sistema e testare i diversi scenari per identificare le migliori decisioni da prendere nel sistema reale.
- Visibilità, il gemello digitale facilita la vista relativa al funzionamento di macchine o altri asset aziendali fino a poter visualizzare sistemi molto complessi e interconnessi fra di loro.
- Conoscenza, un suo tipico utilizzo è quello di far comprendere e spiegare i comportamenti dei sistemi.
- System integration, il Digital Twin ha la capacità di connettersi e comunicare con altre applicazioni aziendali per estrarre i dati necessari al suo funzionamento, soprattutto per le operazioni di una supply chain, tra cui: l'approvvigionamento, la gestione dei magazzini, il trasporto, la logistica e l'assistenza post vendita.
- Disruptive business models, il DT oltre che ha potenziare i classici modelli di business, ne crea di nuovi, come quelli basati su concetti di servitization, in cui la conoscenza dello stato di un asset e la corretta pianificazione delle attività di manutenzione sono fondamentali per garantire un servizio adeguato.

2.6 Digital Twin in Italia: come procede la digitalizzazione?

Le imprese italiane, sotto l'aspetto della trasformazione digitale che sta investendo tutto il mondo, sono molto indietro. Questo è spiegato dal fatto che in Italia vige ancora una visione in cui la robotica distrugge l'occupazione. Mentre in realtà sono diverse le analisi che misurano i benefici della digitalizzazione in termini di creazione di nuovi posti di lavoro con una migliore mansione, rimuovendo tutte le mansioni alienanti che in generale verrebbero svolte dalle macchine.

Oltre alla questione culturale, è anche una questione dimensionale, infatti il 90% delle imprese italiane ha meno di 10 dipendenti [36] e difficilmente possiede le risorse per investire nelle nuove tecnologie.

Se fino al 2019, anche se in minime quantità le imprese italiane si sforzavano per digitalizzare la propria fabbrica, ora la pandemia ha generato uno choc sulle catene del valore, che si sono rallentate sul fronte fisico, e fermate sul fronte digitale. Quando è emerso questo cambiamento è stata più che evidenziata l'arretratezza dell'industria italiana sul fronte della digitalizzazione.

Dall'inizio della pandemia si è registrato un brusco rallentamento delle vendite di hardware pari al -17%.

Per far fronte a questi dati negativi: il governo ha erogato incentivi come il piano Transazione 4.0.

Si ipotizza un possibile impiego del Recovery Fund attraverso le indicazioni del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza dove saranno rivisti anche i tetti e le aliquote di tutti gli incentivi per chi investe in beni correlati alle nuove tecnologie[37].

Inoltre, è in arrivo il piano europeo Next Generation EU.

2.6.1 Piano Transazione 4.0

La novità più importante del piano di Transazione 4.0 è che non si parla più di annualità, ma esso verrebbe rinnovato per due anni con una struttura diversa dalle precedenti: la transazione digitale 4.0 entrerà in vigore a gennaio 2021, ma avrà valore retroattivo anche per gli investimenti effettuati tra novembre e dicembre 2020. Nel dettaglio:

" Il provvedimento disciplina le numerose novità introdotte nella legge di bilancio 2020 per incentivare e supportare la competitività delle imprese e valorizzare il Made in Italy. Al fine di sostenere più efficacemente il processo di transizione digitale delle imprese, la spesa privata in ricerca e sviluppo e in innovazione tecnologica, anche nell'ambito dell'economia circolare e della sostenibilità ambientale, e l'accrescimento delle competenze nelle materie connesse alle tecnologie abilitanti il processo di transizione tecnologica e digitale, la legge di bilancio ha infatti previsto la ridefinizione della disciplina degli incentivi fiscali collegati al "Piano nazionale Impresa 4.0". Nell'ambito di tale ridefinizione, è stato introdotto, per il periodo d'imposta successivo a quello in corso al 31 dicembre 2019, un credito d'imposta per gli investimenti in ricerca e sviluppo, in transizione ecologica, in innovazione tecnologica 4.0 e in altre attività innovative. Possono accedere al nuovo incentivo, riconosciuto in via automatica nella forma di credito d'imposta utilizzabile esclusivamente in compensazione, tutte le imprese residenti nel territorio dello Stato, ivi incluse le stabili organizzazioni di soggetti non residenti, indipendentemente dalla

forma giuridica, settore economico, dimensione e regime fiscale. Con il decreto ministeriale sono dettati i criteri per la corretta classificazione sul piano tecnico delle attività di ricerca e sviluppo, di innovazione tecnologica e di design e innovazione estetica ammissibili al credito d'imposta nonché per l'individuazione, nell'ambito delle attività di innovazione tecnologica, degli obiettivi di innovazione digitale 4.0 e di transizione ecologica rilevanti per la maggiorazione dell'aliquota del credito d'imposta; sono inoltre individuati i criteri per la determinazione e l'imputazione temporale delle spese ammissibili e in materia di oneri documentali."[37]

2.6.2 Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

Il PNRR è il primo mattone su cui si fonda il Recovery Fund italiano. L'investimento prevede circa 24 miliardi di Euro per una misura che diventa strutturale e che vede il potenziamento di tutte le aliquote di detrazione e un importante anticipo dei tempi di fruizione.

Questo Piano si pone due obiettivi principali: stimolare gli investimenti nei settori privati e dare stabilità e certezze alle imprese.

Per quanto riguarda le aliquote di detrazione per beni materiali 4.0 si ha:

- Per spese inferiori a 2.5 milioni di euro l'aliquota sarà del 50% nel 2021 e del 40% nel 2022.
- Per spese superiori a 2.5 milioni di euro e fino a 10 milioni l'aliquota sarà del 30% nel 2021 e del 20% nel 2022.
- Per spese superiori a 10 milioni di euro e fino a 20 milioni è stata introdotta l'aliquota del 10% sia nel 2021 che nel 2022

Per quanto riguarda i beni immateriali 4.0 si avrà un incremento di aliquota che varia dal 15% al 20% con massimale da 700 mila a 1 milione di Euro.[38]

2.7 Alcuni esempi applicativi dei Digital Twin

Nei paragrafi precedenti abbiamo citato i Digital Twin come tecnologia applicata solo nell'ambito aziendale, ma in realtà i DT possono essere applicati potenzialmente a qualsiasi campo come la sanità, allo sport, all'entertainment fino ad arrivare alle smart city. Riportiamo ora alcuni esempi applicativi dei Digital Twin in delle realtà aziendali e non.

2.7.1 Fameccanica

Fameccanica è un'azienda leader nell'industria delle macchine per la produzione di pannolini e assorbenti igienici. Essa ha implementato una "stanza virtuale" in cui le proprie macchine, che sono strutture enormi e complesse, possono essere riprodotte in scala 1:1 e in tre dimensioni.

Questa virtual room serve, in anzi tutto, per migliorare lo sviluppo del prodotto, ma anche per la manutenzione degli impianti.

Infatti, i modelli digitali che hanno implementato vengono utilizzati tramite applicazioni dai manutentori dell'azienda. Essi avranno a disposizione un tablet, con al suo interno questa applicazione, che con l'utilizzo della telecamera farà interagire il manutentore con il DT, quest'ultimo, fornirà un tutorial, uno storico dei dati e istruzioni specifiche riguardanti il pezzo o il macchinario inquadrato.[39]

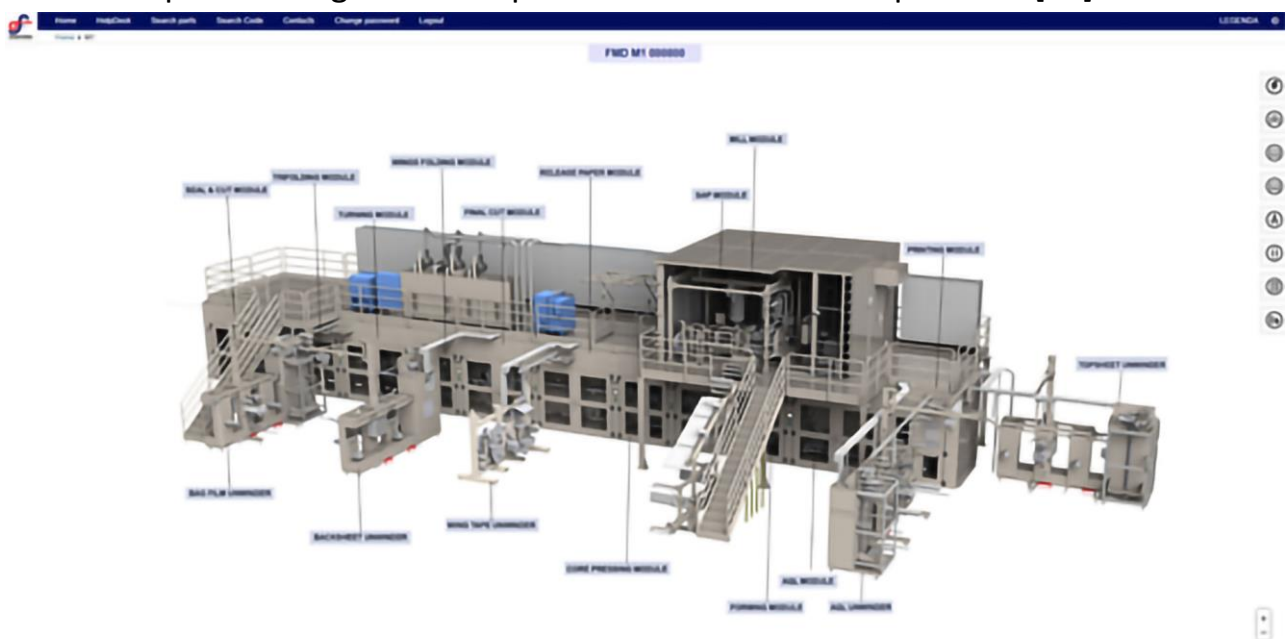


Figura 20: Digital Twin di un macchinario di Fameccanica
(fonte[39])

2.7.2 Eni

Eni è un'azienda Italiana che opera nel settore energetico. In Italia è stata la pioniera della digital transformation.

Il suo percorso di digitalizzazione è partito all'incirca negli anni Settanta e si è evoluto fino ad oggi.

Nel 2018 Eni creò la Digital Business Unit che definiva il processo di trasformazione che prevedeva l'innovazione tecnologica, dei flussi operativi e dei modelli organizzativi.[40]

Visti tutti questi profondi cambiamenti, l'azienda ha deciso di creare, tramite la Eni Corporate University, un programma di formazione interna sulla digitalizzazione che prevedeva, ad esempio, corsi di training operativo con l'utilizzo della virtual reality. Nel 2019 Eni decise di usare i modelli digitali in ambito di perforazione, però era stata preceduta in questo campo dalla Drilling&Completion. Quindi ha deciso di utilizzare eDrilling Digital Twin e Intelligenza Artificiale per supportare l'attività di perforazione.

eDrilling è un Digital Twin che simula, in tempo reale, una perforazione di un pozzo dalla pianificazione e la formazione fino al follow-up.

Inoltre, nel 2019, l'azienda ha scelto tre start-up, Fluxedo, Nuvap e Inglobe, per affiancarla nello sviluppo di soluzioni digitali all'avanguardia negli ambiti della salute e della sicurezza delle persone e dell'integrazione manualistica operativa con i DT.[41]

2.7.3 Singapore

Virtual Singapore è un modello dinamico di città tridimensionale (3D) e una piattaforma dati collaborativa, dove sono comprese le mappe tridimensionali di Singapore. Quando il progetto verrà ultimato, Virtual Singapore sarà l'autorevole piattaforma digitale 3D destinata all'uso da parte del settore pubblico, privato, delle persone e della ricerca. Consentirà agli utenti di diversi settori di sviluppare strumenti e applicazioni sofisticati per concetti e servizi di test bedding, pianificazione e processo decisionale e ricerca sulle tecnologie per risolvere sfide emergenti e complesse per Singapore.

Questo progetto è sostenuto dalla National Research Foundation (NRF), dall'ufficio del primo ministro, Singapore, dalla Singapore Land Authority (SLA) e dalla Government Technology Agency di Singapore (GovTech). NRF guiderà lo sviluppo del progetto, mentre SLA supporterà con i suoi dati di mappatura topografica 3D e diventerà l'operatore e il proprietario quando Virtual Singapore sarà completato. GovTech fornirà esperienza nella tecnologia dell'informazione e della comunicazione e nella sua gestione come richiesto nel progetto. Altre agenzie pubbliche parteciperanno a Virtual Singapore in varie fasi.

Virtual Singapore è un programma di ricerca e sviluppo avviato dalla NRF con un costo di 73 milioni di dollari per lo sviluppo della piattaforma e per la ricerca sulle ultime tecnologie e strumenti avanzati per un periodo di cinque anni. La piattaforma è stata ultimata nel 2018 e sarà distribuita progressivamente.[42]



*Figura 21: Virtual Singapore
(fonte [42])*

3. Software Digital Twin

Ogni realtà aziendale, per facilitare il ciclo decisionale e per ottimizzare i tempi di sviluppo e fabbricazione del prodotto, dovrebbe, dunque, implementare i Digital Twin.

Questi dovrebbero essere implementati in base agli obiettivi e alle esigenze aziendali.

Purtroppo, non tutte le realtà aziendali possiedono le risorse, sia finanziarie che materiali, necessarie alla digitalizzazione del processo produttivo e questo porta le aziende a non poter creare il loro Digital Twin.

A questa problematica vi è una soluzione semplice.

Alcune aziende che sono riuscite a digitalizzare il loro processo, hanno deciso di investire nei Digital Twin per creare dei software d'implementazione DT per qualsiasi macchina o processo produttivo, facendo sì che le altre aziende possono acquistare il software e implementare il proprio DT.

Oggi le maggiori piattaforme di analisi di dati che consentono la creazione di DT sono sviluppate da gruppi come Sap, Dassault Systèmes e Siemens.

3.1 Siemens

Siemens è considerata la multinazionale più attiva nell'ambito dello sviluppo software dei DT.

Siemens ha stanziato 5,6 miliardi di euro in Digital Twin, che le hanno permesso di sviluppare molti prodotti digitali che stanno contribuendo al vero e proprio sviluppo del paradigma.

Quello che propone l'azienda è una Suite virtuale in cui si possono sviluppare i diversi prodotti rivolti alle aree di necessità del business.[43]

Come dichiarato da Jan Mrosik, CEO della Digital Factory Division di Siemens, (2017) *"siamo l'unica azienda oggi in grado di coprire tutti gli aspetti che riguardano il prodotto: parte meccanica, parte elettronica e parte software. Conoscendo a fondo tutti e tre i campi siamo in grado di realizzare un Digital Twin per il product design, per la prototipazione, per la linea produzione e persino per la distribuzione, trasponendo nel mondo virtuale non solo le caratteristiche dell'oggetto, ma anche le sue performance."*

3.1.1 NX della Siemens

NX è un'applicazione per il disegno assistito dal calcolatore. Inizialmente il software si chiamava Unigraphics e si basava sulle librerie e sui modelli che aveva sviluppato in collaborazione con Parasolid. Questa applicazione fu sviluppata dall'omonima azienda, poi la società venne rilevata dalla Siemens AG che ha cambiato il nome in "Siemens PLM Software".

NX è un software che attualmente è il maggiore concorrente di altre applicazioni CAE come per esempio: CATIA, PTC Creo, Inventor e SOLIDWORKS.

NX utilizza ancora le librerie sviluppate con Parasolid, utilizzandole come kernel di modellazione geometrica e D-Cubed con motore associativo per i vincoli di sketch, per dati e Multi-CAD.[44]

Siemens PLM Software vede il concetto di gemello digitale come l'intersezione di quattro mondi diversi che si uniscono: progettazione del prodotto, pianificazione della produzione, progettazione della fabbrica e mondo reale, con un'enfasi sulla produzione. "Il gemello digitale fa qualcosa di veramente unico unendo il mondo reale e virtuale della produzione", afferma Aaron Frankel, direttore senior del marketing di prodotto per Siemens PLM Software. "Ora puoi prendere il modello come progettato e tutte le informazioni che stai raccogliendo dall'ambiente di produzione su prestazioni e qualità, sovrapporle a un modello digitale e confrontare i mondi come progettato e come costruito per vedere se esiste una differenza ", dice. Secondo Zvi Feuer, vicepresidente di Manufacturing Engineering Software di Siemens PLM, questo punto di vista fa avanzare il concetto di prototipazione digitale tenendo conto di tutto ciò che può accadere con i processi di produzione, verificando completamente la progettazione di un prodotto eliminando la possibilità di guasto. "Il gemello digitale è l'avatar del processo di prodotto e della fabbrica insieme", afferma. "Se riesci a togliere il fallimento dal tavolo, le aziende saranno disposte a essere più audaci e ad assumersi rischi maggiori".[45]

Il fondamento del concetto di gemello digitale di Siemens è la piattaforma di collaborazione e gestione dei dati di Teamcenter. Questa integrazione fornisce funzioni di gestione dei progetti che consentono di accedere in tempo reale alle informazioni sul prodotto in qualsiasi posto si trovi, accelerano i processi di modifica dei prodotti e garantiscono una gestione efficace della conoscenza del prodotto. Le funzionalità riportate per la gestione del ciclo di vita del prodotto, sono nettamente superiori a quelle dei tradizionali sistemi per la gestione dei file CAD, poiché acquisiscono tutte le informazioni relative a prodotti e processi CAD, CAM e CAE, inclusi requisiti e documentazione tecnica, in un singolo ambiente PLM.

3.1.1.1 NX for product Design

NX for Design vanta le caratteristiche, le prestazioni e le funzionalità necessarie per ridurre notevolmente l'inserimento del prodotto nel mercato.

Questo prodotto per la progettazione consente di distribuire il prodotto nel mercato utilizzando un maggior numero di modelli di prototipi virtuali e riducendo quasi a zero l'impiego dei prototipi fisici. L'impiego di questo software riduce i costi di sviluppo e garantisce una qualità maggiore dei prodotti.

NX for design si divide in 13 applicazioni fondamentali.

3.1.1.1.1 Design Interoperability

Questa applicazione offre una piattaforma unificata per la progettazione elettromeccanica. E' un processo di co-progettazione ECAD-MCAD efficiente e consente di eliminare le problematiche di tipo elettromeccaniche che sorgono nella fase di sviluppo dei nuovi prodotti.

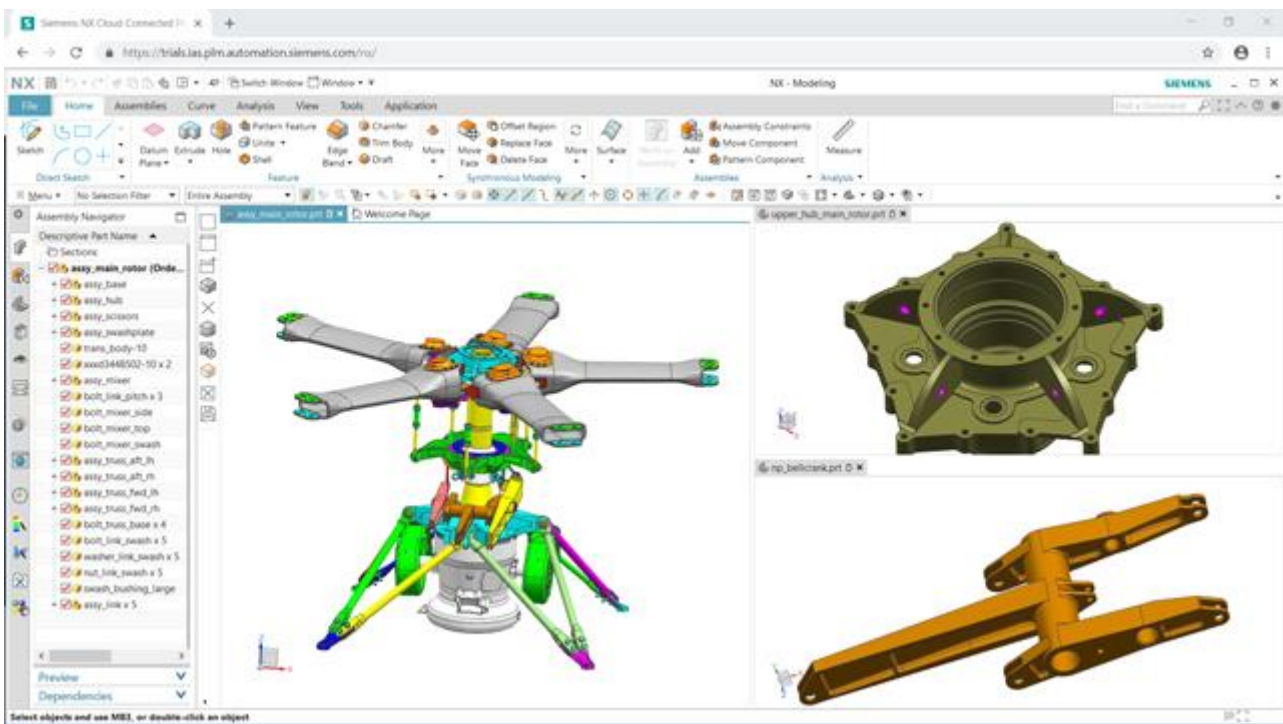


Figura 22: Design Interoperability
(fonte: Siemens)

L'interoperabilità di questo prodotto, è costituita da funzionalità che consentono di implementare una soluzione personalizzata e comprende la Mechanical and Electrical Design che consente di integrare le componenti meccaniche, elettriche e elettroniche nei prodotti.

3.1.1.1.2 Design Validation

L'applicazione nasce dall'esigenza di basare i DT sui dati aziendali molto recenti per consentire di monitorare i progressi, gestire i rischi, risolvere gli impatti e formulare decisioni. Design Validation offre strumenti visuali di analisi e convalida che consentono di sintetizzare rapidamente le informazioni e verificare la conformità ai requisiti richiesti. Gli strumenti offerti sono:

- Automated Design Validation Software, capace di automatizzare il controllo del progetto, rendendo la convalida un processo continuo e proattivo. Esso include delle librerie di controlli standard in modellazione, disegno, informazioni su prodotti e produzione, geometria e saldatura.
- Integrated Requirements Validation, consente di supportare l'ingegneria dei sistemi con strumenti di controllo automatizzati.
- Visually Rich Feedback, consente di visualizzare il feedback ottenuto in tre dimensioni e permette di identificare i problemi di progettazione.

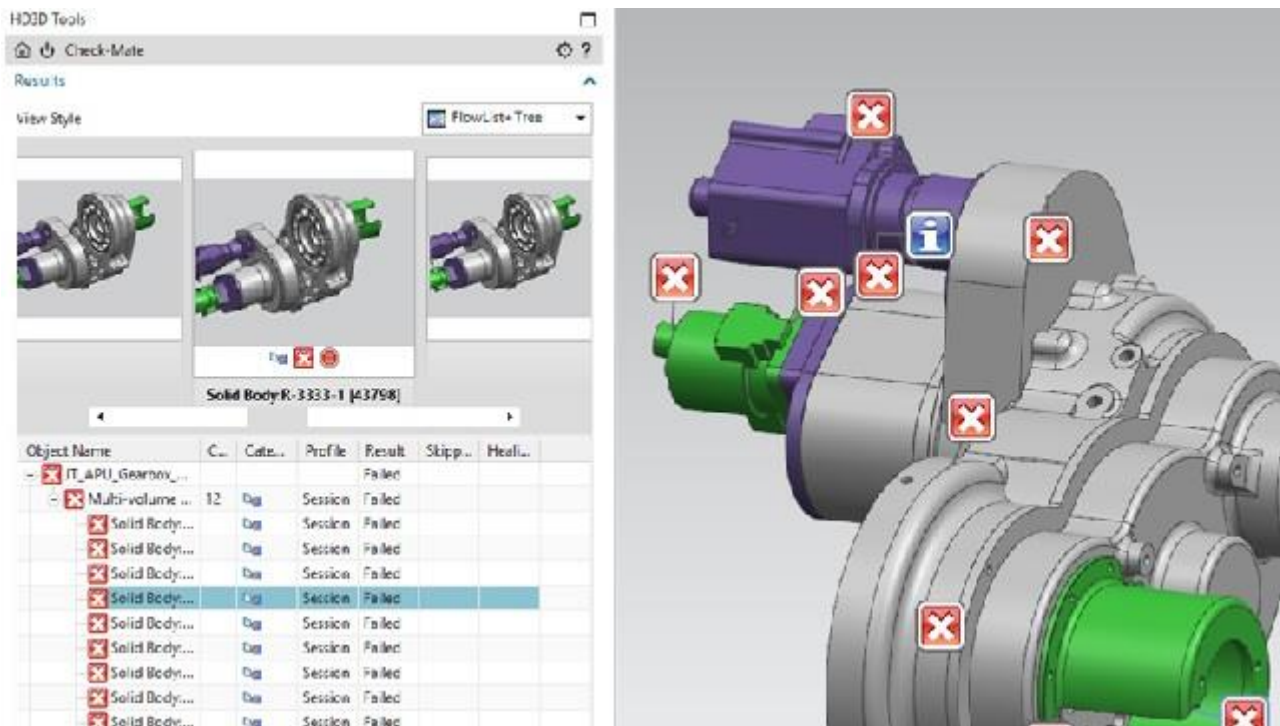


Figura 23: Visualizzazione del feedback
(fonte: Siemens)

3.1.1.1.3 Drafting and Documentation

Essenziale per la creazione di disegni tecnici da modelli tridimensionali per la messa in tavola. Questa applicazione crea automaticamente le viste di disegno da modelli di assiemi e parti in 3D, inoltre, consente di documentare i disegni insieme ai

requisiti di produzione. I principali vantaggi che si riscontrano sono la riduzione dei tempi di controllo dei disegni e l'eliminazione degli errori.

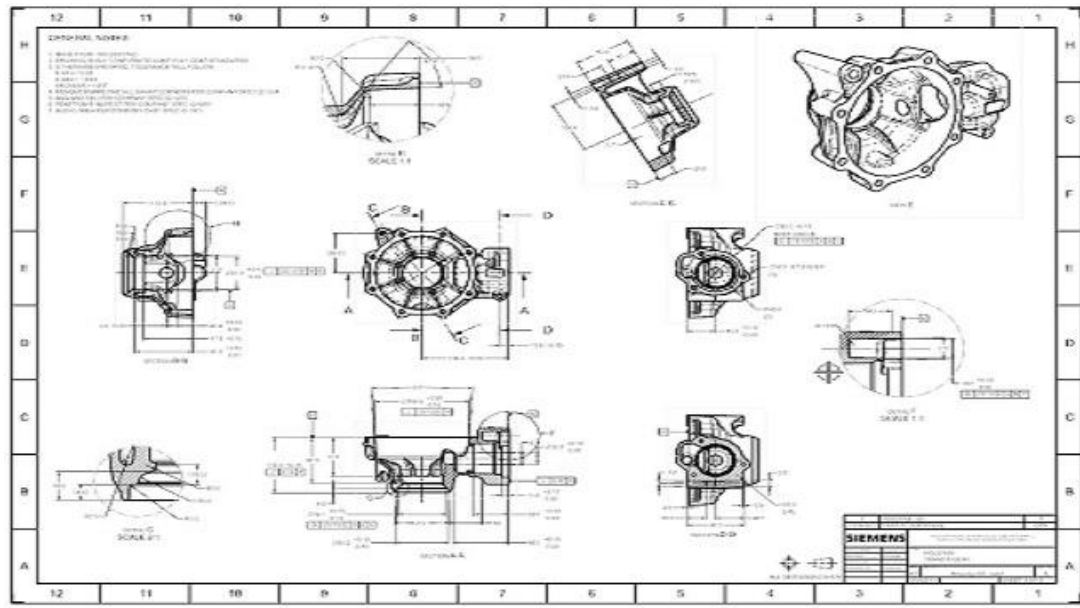


Figura 24: Realizzazione disegni tecnici da assiemi in 3D
(fonte: Siemens)

3.1.1.2 Knowledge Reuse

Questa applicazione massimizza il valore della conoscenza del prodotto consentendone il riutilizzo ripetuto. Per fare ciò si avvale di strumenti, quali:

- 3D Search Engine che grazie all'integrazione con Geolus Shape Search, riesce a trovare rapidamente parti simili ad un dato esempio in base alla geometria.
- Engineering Calculations che supporta i progetti ingegneristici con calcoli di matematica algebrica, calcolo differenziale e integrale, prima che venga creata qualsiasi geometria CAD.
- Reuse Library, offre un archivio comune per individuare la conoscenza riutilizzabile su base aziendale, fornendo una libreria volta al riutilizzo dei progetti, dei calcoli, dei disegni, ecc.

3.1.1.3 Model Based Definition

La model based definition (MBD) consente di realizzare una definizione digitale completa di un prodotto nell'ambito di un modello 3D, sostituendo il disegno tradizionale. Infatti, la MBD utilizza il modello 3D come unica fonte di dati

attendibili. Questa applicazione nasce dall'assunzione che un modello 3D è di più semplice comprensione rispetto a numerose tavole di disegni complessi in più viste.

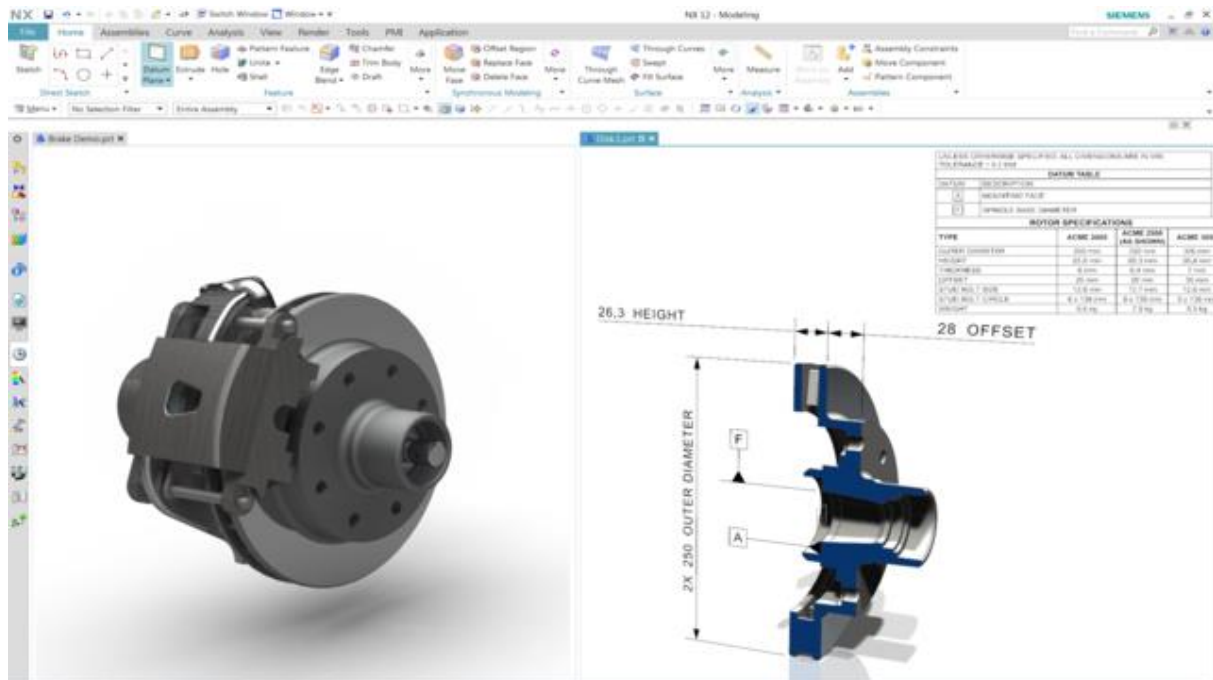


Figura 25: Digitalizzazione a partire da un modello 3D (fonte: Siemens)

3.1.1.4 NX for Manufacturing

Grazie alla digitalizzazione, è possibile gestire in modo efficiente le attività di produzione delle parti end-to-end e realizzare componenti ad elevata precisione. NX for Manufacturing consente di programmare le macchine utensili CNC, controllare le celle robotiche, pilotare le stampanti 3D e monitorare la qualità. Questo software, per svolgere tutte le attività menzionate sopra, collabora con altri software. Andiamo a vedere quali.

3.1.1.4.1 NX for Additive Manufacturing

NX for AM fornisce tutte le funzionalità necessarie per eseguire l'intero processo di produzione additiva, dalla progettazione, passando dalla stampa fino alla convalida del prodotto. Questo software comprende:

- AM Generative Engineering, consente di progettare parti e componenti con geometrie estremamente complesse tramite la produzione additiva, utilizzando strumenti come: la Design Space Exploration, che è un metodo automatico che genera e compara più cicli di prodotti per trovare una

soluzione ottimale; Fluid Flow Optimization, ottimizza la geometria della parte in cui passa il fluido; Strength Optimization, il progettista inserisce degli input, questa funzione li analizza e genera una geometria della parte ottimizzata.

- Additive Manufacturing Design
- Build Preparation, coadiuva a posizionare, orientare e supportare le parti sul piano di costruzione, nel miglior modo possibile.
- Build simulation, è la simulazione del processo di stampa in 3D su larga scala.
- Machine Connectivity, permette di collegare la stampante 3D dell'azienda che lo sta utilizzando, con la gamma di hardware di stampa 3D.
- Post Processing, è un software di post-elaborazione richiesto dopo la stampa 3D.
- Order Management, è una piattaforma di collaborazione online order-to-delivey per creare parti di AM con un ecosistema completo.
- Planning and Execution, questo software consente di programmare, eseguire e monitorare la produzione AM con una piena visibilità operativa.

3.1.1.4.2 NX CAM Software

Consente di utilizzare modelli 3D, dati e processi per connettere in modo trasparente la pianificazione e le operazioni della fabbrica con un thread digitale. E' possibile razionalizzare e automatizzare la programmazione NC, riducendo la durata del ciclo produttivo tramite strumenti specifici. Vediamo le funzionalità di programmazione NC integrate:

- Complex Parts Machining, crea dei percorsi utensili a 5 assi controllati per lavorare geometrie complesse.
- Mold, Die and Electrode Machining, sono metodi di lavorazione ad alta velocità con fresatura automatica del materiale residuo e levigatura consentono di ottenere stampi molto precisi e riduce il tempo di lead time.
- Postprocessing and Machining Simulation, crea programmi NC pronti per la macchina con un'ampia gamma di macchinari utensili e controlli con un post-processore incorporato del software CAM.
- Prismatic Parts Machining, minimizza l'input manuale e crea processi ottimizzati per lavorare parti in cui ci vuole una precisione massima.

3.1.1.4.3 Design Tools for Part Manufactures

Fornisce un CAD integrato che consente una produzione senza interruzioni, dalla progettazione dei modelli ai prodotti finiti. E' infatti possibile preparare modelli 3D per la programmazione a controllo numerico, verificare la fattibilità e migliorare la qualità dei dati. In questo caso il modello digitale collega tutte le fasi operative, consentendo una rapida implementazione delle modifiche di progettazione. Quindi, programmando e utilizzando il DT nell'intera configurazione si riescono ad eliminare gli errori di produzione e riduci i tempi di inattività delle macchine.

I software integrati sono:

- Accelerate Part Model Preparation, utilizza la tecnologia sincrona che consente di modificare direttamente qualsiasi progetto CAD indipendentemente dalla sua complessità o dal processo di creazione originario.
- Drive Manufacturing Processes Using Product and Manufacturing Information, consente di acquisire e associare i requisiti di una produzione direttamente dal modello 3D.
- Standardize Manufacturing whit a Master Model, sfrutta la tecnologia del modello master per facilitare la produzione simultanea collegando tutte le funzioni alla definizione del singolo modello della parte.

3.2 Dassault Systèmes

Per Dassault, il concetto di gemello digitale è un'estensione della sua strategia di ingegneria dei sistemi, che consente ai team di progettazione di concepire e progettare un prodotto interdisciplinare che combina meccanica, elettrica, capacità elettroniche, idrauliche e di controllo, tra le altre proprietà del dominio. Come parte della sua strategia 3DEXPERIENCE, che è un ambiente per l'ingegnerizzazione di un sistema o di un prodotto nel contesto della sua intera esperienza, il concetto di gemello virtuale consentirà ai team di progettazione di sperimentare un prodotto prima che esista. In questo modo, i team di ingegneri vedono non solo i mockup statici di un prodotto o sistema (il tradizionale mockup digitale 3D guidato da CAD), ma forniscono piuttosto approfondimenti sui comportamenti fisici come stress e vibrazioni, nonché sui comportamenti associati al software e ai sistemi di controllo, Fourgeau spiega "In un certo senso, pensala come creare un avatar che si comporta come farebbe qualcosa nella vita reale", dice.

Essenziali per la strategia di Dassault sono le capacità di progettazione basata su modellazione, simulazione e convalidazione di sistemi di ingegneristici complessi.

Come parte del suo portafoglio dei sistemi, la piattaforma 3DEXPERIENCE utilizza il linguaggio Modelica e lo standard Functional Mockup Interface (FMI) in modo che i sistemi multi-fisici possano essere modellati e assemblati facilmente, promuovendo il riutilizzo e lo scambio tra domini supportando un ecosistema aperto, afferma Fourgeau .[45]

Creare e sfruttare questo gemello virtuale all'inizio del processo, non più tardi nella fase di progettazione dettagliata, è una delle cose che secondo Dassault distingue la sua strategia dalla concorrenza. "Prendi l'esempio di un edificio efficiente dal punto di vista energetico: puoi aspettare fino a quando non lo costruisci, inserisci i sensori e un sistema IoT ti dice se è efficiente o meno, oppure puoi creare una rappresentazione virtuale di quell'edificio e sperimentare, mettendo il doppio vetro qui o cambiare l'esposizione dell'edificio rispetto al sole ", dice Fourgeau. "In questo modo, continui a giocare a scenari ipotetici fino a quando non sei soddisfatto, quindi inizi lo sviluppo dettagliato dell'edificio."

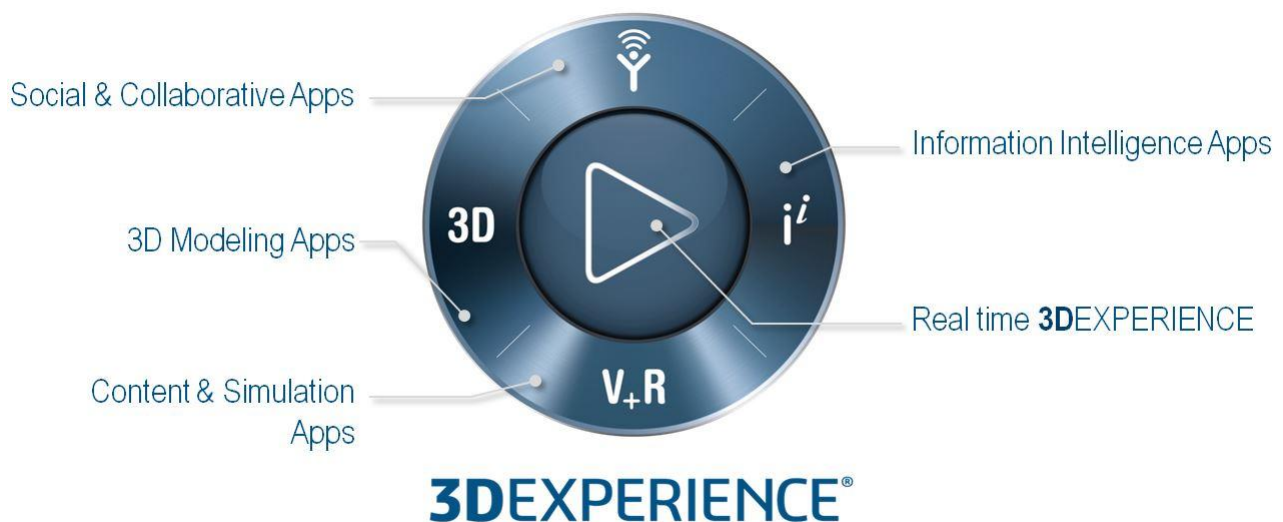


Figura 26: 3DEXPERIENCE
(fonte: Dassault Systèmes)

3.2.1 Processo di digitalizzazione di Dassault Systèmes

Il percorso evolutivo degli ultimi trent'anni della Dassault Systèmes parte dall'invenzione del 3D, con CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) che è una piattaforma commerciale di tipo CAD/CAE/CAM, che tutt'oggi è la principale Suite di Dassault per la gestione del ciclo di vita del prodotto e la sua ultima recentissima versione è 3DEXPERIENCER2021x.[46] Dopo CATIA venne il digital mockup nel 1989, che era un unico schema per creare sistemi complessi. Dopo di che nel 1999 è arrivato l'era del PLM. E alla fine nel 2012 la Dassault Systèmes annuncia l'implementazione della piattaforma 3DEXPERIENCE su scala aziendale da parte di Ericsson (uno dei principali fornitori mondiali di tecnologie e

servizi per le telecomunicazioni) con l'obiettivo di favorire il processo di digitalizzazione nella gestione del ciclo di vita dei prodotti e nei flussi di lavoro in ambito di ricerca e sviluppo.[47]



Figura 27: L'evoluzione digitale di Dassault (fonte: Dassault Systèmes)

3.2.2 CATIA

Questo software fu sviluppato nel 1997 per uso interno di Dassault Aviation. Inizialmente si chiamava CATI (Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive) e fu rinominato CATIA nel 1981 quando Dassault creò una sussidiaria per sviluppare e vendere il software in collaborazione con BMI.[48]

Nel 1988, CATIA 3 fu trasferito dai mainframe alla piattaforma UNIX e nel 1992 CAD/CAM fu acquistato da IBM e l'anno successivo fu distribuito CAD/CAM v4. Nel 1998 fu distribuita la versione CATIA v5 che era una versione completamente riscritta. Nel 2008 Dassault annunciò l'uscita di CATIA v6 supportato unicamente da Windows.

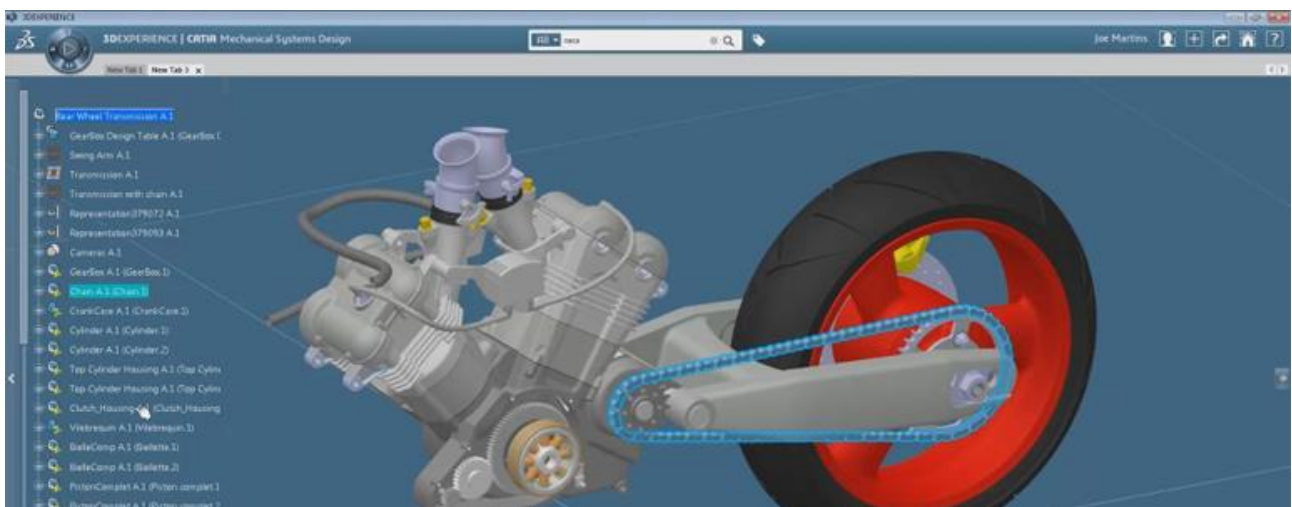


Figura 28: CATIA v6 (fonte: Technia addnode group)

Oggi CATIA offre la capacità di modellare prodotti tenendo in considerazione il comportamento del prodotto nel contesto di utilizzo.

La soluzione CATIA, basata sulla piattaforma di 3DEXPERIENCE mette a disposizione:

- Un ambiente di social design costruito su un'unica fonte di dati, a cui si accede tramite delle dashboard 3D che guidano la business intelligence, la progettazione simultanea in real-time e la collaborazione tra tutte le parti interessate, compresi gli utilizzatori di mobile devices.
- La 3DEXPERIENCE dispone di funzionalità di simulazione 3D avanzata in grado di ottimizzare l'efficienza.
- Una piattaforma completa di sviluppo prodotti, facilmente integrabile coi processi e negli strumenti esistenti, che consente a molteplici discipline di sfruttare applicazioni specialistiche e integrate, in tutte le sue fasi del processo di sviluppo prodotti.

Dunque, CATIA 3DEXPERIENCE fornisce un ambiente dinamico e intuitivo per tutte le attività di design e ingegneria.

3.2.3 3DEXPERIENCE

Le applicazioni software avanzate per lo sviluppo di prodotti, basate sulla piattaforma 3DEXPERIENCE, per progettazione e ingegneria 3D, CAD 3D, modellazione, simulazione, gestione dei dati e gestione dei processi. Vediamo quali sono.

3.2.3.1 CATIA

È il principale software di progettazione e ingegneria per la progettazione CAD 3D ed è rivolto a tutte le aziende manifatturiere, dagli OEM alle supply chain, fino ai piccoli produttori indipendenti.

3.2.3.2 BIOVIA

Crea un ambiente di gestione per l'ambito scientifico che consente alle aziende del settore di creare e connettere innovazioni chimiche, biologiche e materiali. BIOVIA è incentrato sull'integrazione completa delle diversità di scienza, processi sperimentali, requisiti di informazione in materia di ricerca, sviluppo e produzione.

3.2.3.3 GEOVIA

Questo software fornisce gli "universi" di 3DEXPERIENCE per modellare e simulare il pianeta Terra, dai grandi spazi della geosfera ai piccoli dettagli urbani. GEOVIA supporta l'acquisizione, l'uso e il riutilizzo sostenibile delle risorse naturali, dall'industria estrattiva all'urbanizzazione.

3.2.3.4 SOLIDWorks

SOLIDWorks è un software che integra diverse discipline come: il CAD 2D, con la soluzione DraftSight; CAD 3D, che consente di concettualizzare, creare, convalidare, comunicare e gestire i progetti; 3DEXPERIENCE WORKS, che offre una progettazione in un ambiente realmente connesso e collaborativo; Gestione dei dati del prodotto, offre un'ampia gamma di applicazioni per una gestione rapida ed efficiente di file e documenti per massimizzare la produttività e migliorare la qualità dei prodotti; Simulazioni, offre un portfolio di strumenti di analisi facili da usare per prevedere il comportamento fisico di un prodotto nel mondo reale collaudando i modelli CAD in ambiente virtuale.

3.2.3.5 3DVIA

3DVIA è sviluppato per i clienti. Esso supporta la decisione finale del cliente fornendo la simulazione del prodotto in un ambiente virtuale, coinvolgendoli nell'utilizzo del prodotto.

Questo software offre ai rivenditori al dettaglio una soluzione cloud di space planning omni-channel, capace di interessare i clienti, generare lead di vendita e abbreviare il ciclo di vendita del prodotto.

3.3 SAP Leonardo

Per l'azienda SAP il digital twin deve essere visto in un'ottica più ampia e non riguardanti solo alle macchine o al processo.

Quindi SAP ha deciso di lanciare una piattaforma IoT, aperta e flessibile che collega i dati di fabbrica con quelli di business. L'obiettivo della SAP è di far vedere il DT come un'opportunità per reinterpretare il valore dei dati. Nella sua visione sono tre gli elementi chiave abilitanti per creare un DT: intelligenza dell'edge, interoperabilità

tra applicazioni enterprise (MES, supply chain, ERP) e la definizione di un modello unificato che possa creare valore esteso.[49]

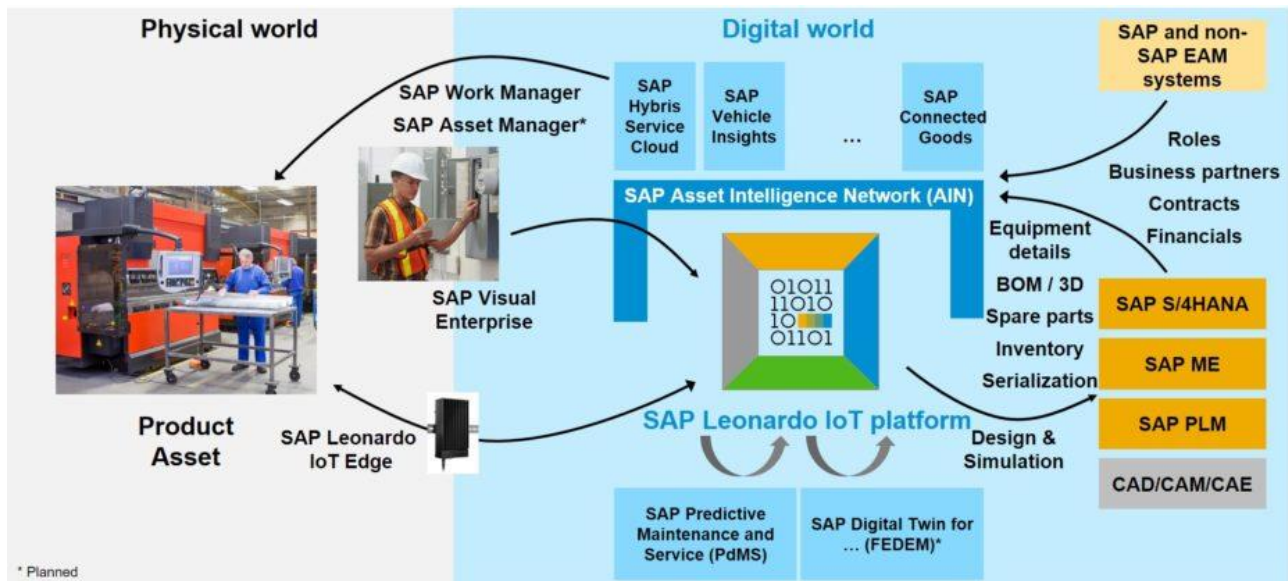


Figura 29: IoT di SAP
(fonte: SAP)

La figura 29 mostra le principali funzionalità SAP di un'architettura a soluzione ibrida con componenti edge, nel cloud e nei sistemi aziendali e di ingegneria.

3.3.1 Le soluzioni di SAP Leonardo

SAP ha lanciato un portfolio completo per consentire la visione del digital twin in un ecosistema di business. Le principali soluzioni fornite da SAP Leonardo sono:

- SAP Leonardo IoT platform and IoT Edge, con questa soluzione si estende il SAP cloud in una piattaforma IoT completa. I servizi della piattaforma SAP Leonardo IoT forniscono la modellazione di DT, la gestione dei dispositivi, connettività, messaggistica e importazione dati, archiviazione di serie temporali e di eventi API come fondamento dei DT. Mentre, SAP Leonardo IoT Edge offre funzionalità di gateway IoT e connettività locale, nonché presenza di edge, regole e analisi di streaming.
- SAP Predictive Maintenance and Services (PdMS), questa soluzione utilizza sofisticati modelli predittivi per rilevare anomalie, calcolare punteggi di integrità specifici degli asset e la durata residua, prevedere guasti e fornire una base di supporto decisionale per i manutentori.
- SAP Asset Intelligent Network (AIN), essa funge da archivio di risorse condivise e piattaforma di collaborazione per tutti i partner commerciali durante il ciclo di vita degli asset. AIN è completamente integrato nel digital twin e mantiene

aggiornati tutti i partecipanti alla rete da un'unica fonte e consente, anche, la gestione delle autorizzazioni per le modifiche dai progetti.

- SAP Asset Manager and SAP Work Manager, esse forniscono informazioni ai tecnici dell'assistenza e ai temi di riparazione per installare, ispezionare, mantenere e riparare in modo efficiente.
- SAP 3D Visual Enterprise. Questa soluzione combina informazioni visive sui prodotti, impianti e processi con contenuti aziendali testuali per fornire una combinazione di informazioni aziendali non più tradizionali ma con immagini interattive.
- SAP DT for structural dynamics, è un sistema di analisi strutturale che permette la valutazione degli asset digitale e degli asset fisici. Questa soluzione è integrata con tecnologie quali AR e Voice Assistant.[50]

4. Caso studio

Durante il tirocinio formativo, svolto presso la Biesse Group S.p.A., ho avuto l'enorme possibilità di implementare un Digital Twin finalizzato alla post-vendita, di un macchinario utensile per intaglio del legno. In questo modo mi sono trovata ad interagire faccia a faccia con la quarta rivoluzione industriale. E' stata un'esperienza che mi ha permesso di capire quanto sia complesso il processo di digitalizzazione di un oggetto fisico e mi ha aiutato a comprendere meglio tutti i passaggi e le fasi della creazione di un gemello digitale.

4.1 Biesse Group S.p.A.

Nel 1969 nasce Biesse a Pesaro, in Italia, per la progettazione, realizzazione e distribuzione di macchine per la lavorazione del legno.

Questa azienda è sempre stata una pioniera dell'innovazione tecnologica, tanto che nel 1978 lascia sul mercato Logic Controllo, che era una macchina foratrice per il legno a controllo numerico e, sempre grazie alla sua volontà di essere al passo con i tempi nel 1983 viene implementato Rover, che è il primo centro di lavoro del legno a controllo numerico. Non più soddisfatti di dedicarsi solo al legno, la Biesse sviluppa Intermac nel 1987 volta alla progettazione, realizzazione e distribuzione di macchine utensili per la lavorazione del vetro e della pietra, mentre nel 1991 nasce l'unità di business Mechatronics per progettazione, realizzazione e distribuzione di componenti elettromeccanici.

In questi anni la tecnologia rivolta alle imprese sta compiendo passi enormi e l'azienda non perde l'occasione di sfruttare l'innovazione tecnologica, così viene creata Biesse systems per la progettazione e realizzazione di linee e sistemi integrati. Mano a mano l'azienda comincia ad espandersi e aprire nuove sedi in Italia e all'estero e nel 2001 viene quotata in Borsa Italiana nel segmento STAR.

Avendo acquisito una posizione leader nel mercato Biesse inizia ad acquisire aziende come Bre.Ma, che realizza foratrici-inseritrici verticali a CN per il legno e nel 2007 acquisisce AGM Inc. negli Stati Uniti dando vita a Intermac America.

Con l'avvento della quarta rivoluzione digitale, Biesse lancia un software per creazione di Digital Twin chiamato bSolid e il pacchetto bSuite, che determinano nuovi standard nei settori di riferimento, continuando ad implementare e migliorare questi software si arriva al 2017 in cui viene lanciato SOPHIA e le macchine 4.0 ready per intaglio del legno.

Tra le principali innovazioni tecnologiche proposte da Biesse si trovano:

- Unità operatrice a 5 assi, con elettromandrino HSD che consente la lavorazione di pezzi con forme geometriche molto complesse.
- Air Force System, un dispositivo per l'applicazione del bordo su un pannello che garantisce una qualità di finitura ottimale.
- Twin Pusher, è un brevetto per tutte le sezionatrici di Biesse che permette una gestione ottimale dei picchi produttivi.
- L'asse C-rotativo infinito, è un brevetto applicato al taglio con getto d'acqua, capace di rendere più fluida la lavorazione.
- Il brevetto del sistema di automazione e troncaggio in sagoma del vetro laminato.
- Il pacchetto di software bSuite, che permette di ottenere una ottimizzazione delle macchine prodotte dall'azienda
- SOPHIA, la piattaforma IoT di Biesse che abilita i propri clienti ad una vasta gamma di servizi per semplificare e razionalizzare la gestione del lavoro.

4.2 bSuite

Per creare i digital twin, sia per la fase di progettazione, simulazione e ottimizzazione di nuovi prodotti, che per venderli in un processo di fidelizzazione del cliente nel ciclo di post-vendita di un prodotto, la Biesse ha creato il software di digital twin bSuite, che è una suite virtuale in cui si può programmare, realizzare e ottimizzare una qualsiasi tipologia di lavorazione. E' un insieme coordinato di software evoluti che permettono a qualsiasi utente di accedere alle tecnologie più all'avanguardia.

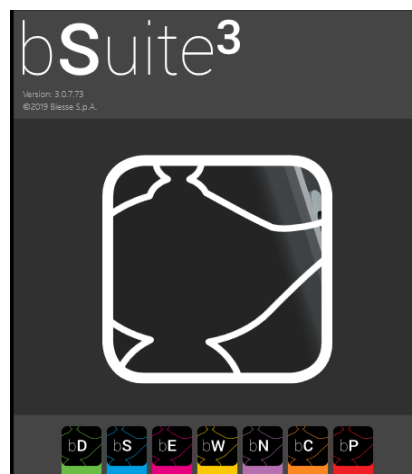


Figura 30: bSuite
(fonte: Biesse)

bSuite è, dunque, composto da sei plug-in principali che sono:

- b_Solid (bS), è un software CAD-CAM 3D che permette, con un'unica piattaforma, di progettare, simulare e vedere in anteprima il pezzo nella macchina virtuale.
- b_Edge (bE), è un plug-in capace di semplificare la programmazione del processo di bordatura. b_Edge propone la sequenzialità delle lavorazioni di bordatura (pre-bordatura, bordatura, post-bordatura) sulla base di calcoli che ottimizzano le lavorazioni evitando eventuali errori di programmazione. Il software fornisce, inoltre, un know how evoluto relativo al processo di bordatura che si integra con l'esperienza del cliente e delle sue aspettative in termini di velocità e qualità. Questo software è capace di elaborare automaticamente tutte le informazioni utili, generando il programma finale per realizzare il prodotto con estrema facilità.

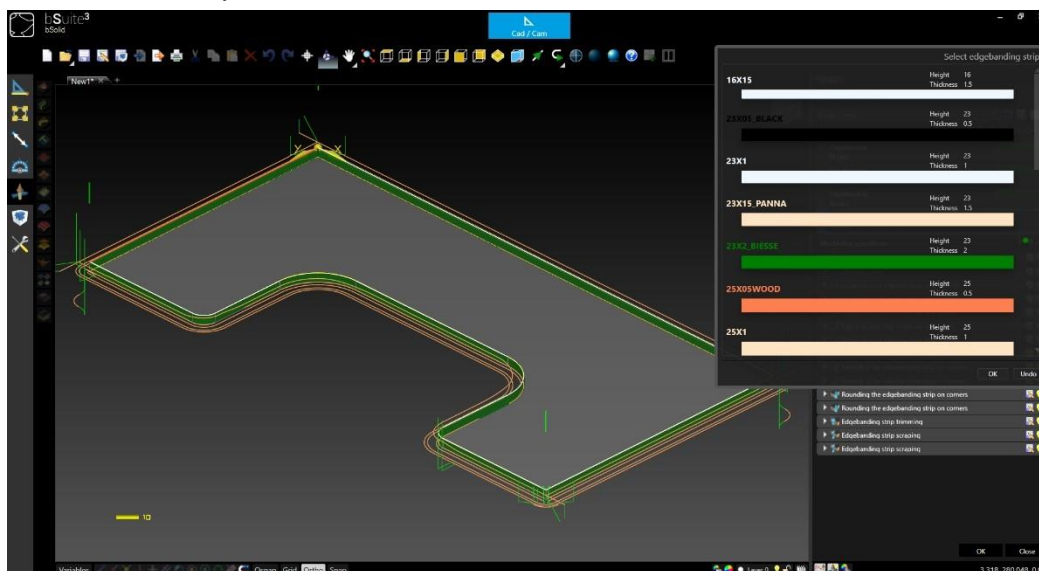


Figura 31: bEdge
(fonte: Biesse)

- b_Nest (bN), è un plug-in di bSuite dedicato alla lavorazione nesting. Permette di organizzare semplicemente e in modo efficiente i progetti di nesting riducendo il consumo di materiale ed i tempi di lavorazione. b_Nest consente di identificare la più efficiente disposizione e sequenza di produzione per elementi rettangolari o sagomati grazie ai diversi algoritmi presenti all'interno del software. I diversi algoritmi di nesting, quali, Algoritmo Sezionatura, Algoritmo Gigliottina e Algoritmo Tagli in comune, permettono di scegliere il miglior compromesso tra scarto, finitura e tempo di esecuzione. Le opzioni di calcolo, inoltre, generano schemi di nesting adeguati alla tipologia di produzione.

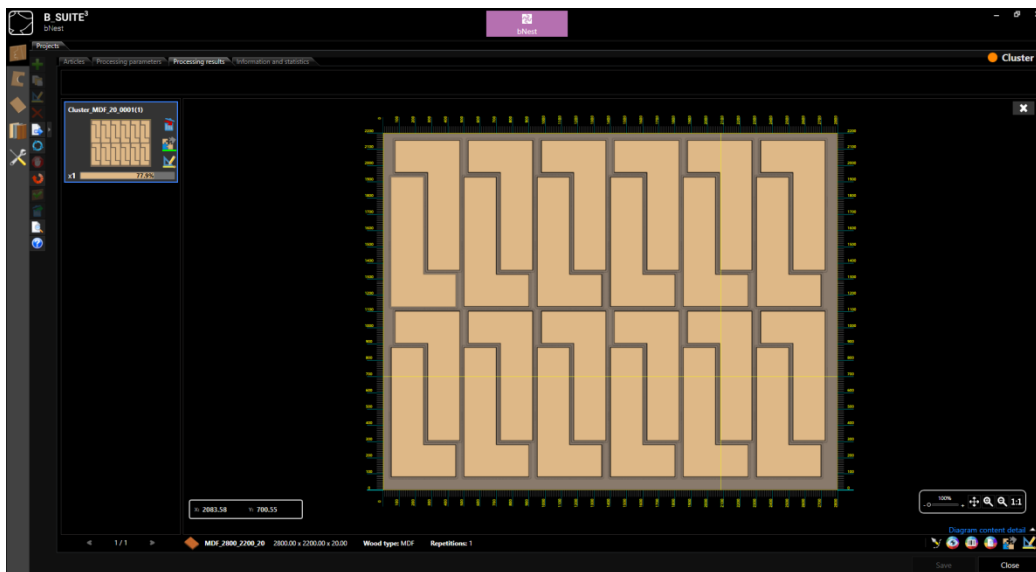


Figura 32: bNest
(fonte: Biesse)

- b_Cabinet (bC), unico plug-in non creato da Biesse ma sviluppato dall'integrazione con Blum, compagnia leader nel mercato del settore degli accessori per i mobili. Con questo software si possono progettare mobili con i componenti Blum in modo semplice ed efficiente, senza tralasciare il design.

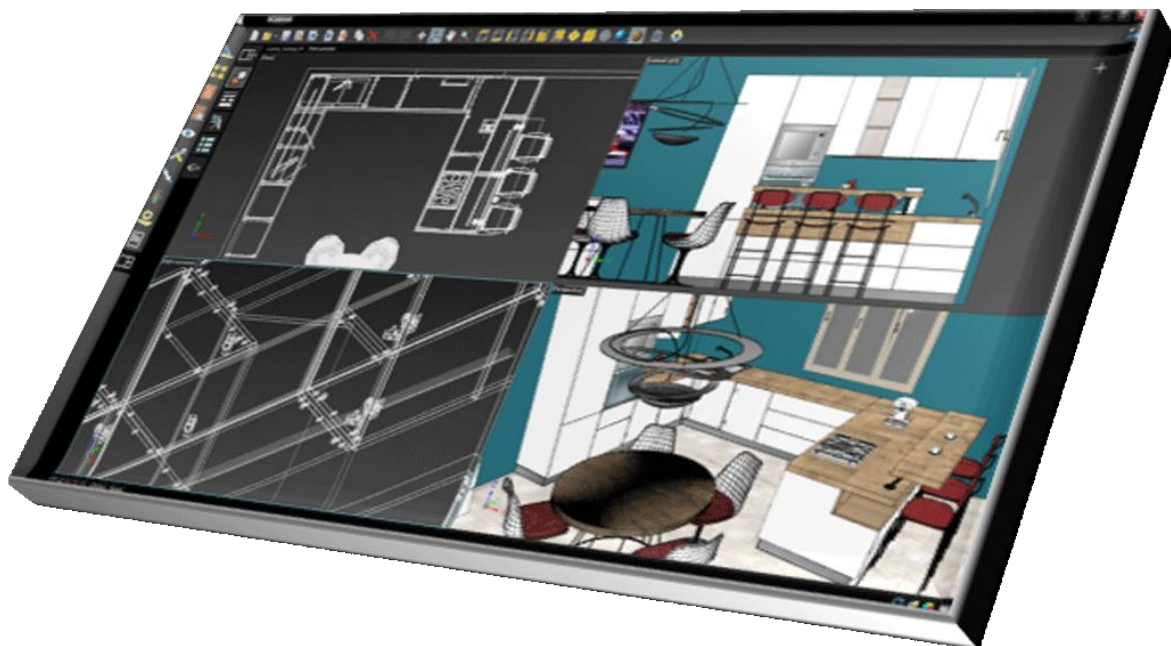


Figura 33: bCabinet
(fonte: Biesse)

- b_Avant (bA), è un software per la gestione integrata ed efficiente di tutti i flussi di produzione in funzione delle esigenze di lavorazione. Con questo plug-in ogni pezzo o lotto diventano facilmente rintracciabili in ogni momento. b_Avant è facilmente integrabile con i gestionali e i software di progettazione preesistenti, instaurando con essi un flusso di passaggio dati a

doppio senso: da gestionale CAD/CAM a produzione e viceversa. Nella fase di pre-produzione il supervisore importa i dati di produzione dal gestionale o dai software di progettazione per produrre la distinta di produzione. Nella fase di post-produzione il supervisore restituisce al gestionale una statistica sull'andamento della produzione cosa è stato prodotto e in che tempi. b_Avant, inoltre, è dotato di una serie di funzionalità, quali: vista sinottica, vista d'insieme della produzione, gestione delle distinte di produzione e importazione, modifica ed esecuzione della programmazione delle lavorazioni, che permettono di migliorare la produzione e raggiungere gli obiettivi prefissati. Oltre a queste funzioni, con questo plug-in si può ottenere:

- una disposizione ottimizzata del flusso di magazzino.
- la sincronizzazione del programma in casacata in funzione del pezzo da lavorare, evitando vuoti di linea.
- controllo della qualità e gestione delle informazioni derivante per ottimizzare la programmazione e ridurre al minimo gli scarti.
- tracciamento e riconoscimento del pezzo attraverso etichettatura e lettura di codice a barre.



*Figura 34: bAvant
(fonte: Biesse)*

- OptiPlanning (OP), è un software di ottimizzazione degli schemi di taglio, elaborati in modo da minimizzare il costo totale di lavorazione in funzione sia dell'effettivo costo del materiale che dal tempo di sezionatura.

In base alla lista dei pezzi da produrre ed ai pannelli disponibili, è in grado di calcolare la soluzione migliore, riducendo al massimo il consumo di materiali, i tempi di sezionatura ed i costi di produzione.

Inoltre è possibile avere una piena integrazione con gestionali, software di progettazione e supervisor di linee. L'import permette l'importazione di una o più liste di taglio generate da gestionali d'azienda o da software di progettazione del mobile, eliminando tutta la fase di inserimento dati manuale, mentre, in fase di lavorazione è possibile modificare manualmente parzialmente o totalmente uno o più schemi di taglio. Il software verifica la correttezza delle modifiche e aggiorna tutti i report con la rielaborazione di una nuova soluzione mantenendo anche la soluzione ottimizzata.

Questo ultimo plug-in è stato recentemente inserito nella nuova versione di bSuite. Nella versione precedente bSuite, integrava altri due plug-in che erano: b_Window, dedicato alle macchine utensili per la progettazione, simulazione e realizzazione degli infissi di porte e finestre; b_Process, che aveva l'abilità di ottimizzare e coordinare i processi di lavorazione per intaglio legno delle macchine in linea. Questo ultimo plug-in è stato sostituito con b-Avan, che ha reso migliore la qualità del servizio grazie a tutte le funzioni implementate.

Per creare un DT in bSuite, sono necessari degli input, che sono:

- Grammar Entities, sono le azioni che la macchina deve compiere per un determinato tipo di lavorazione. Queste possono essere di più tipi, come:
 - movimentazione di assi e pistoni
 - attivazione e disattivazione degli utensili
 - istruzioni di caricamento e scaricamento utensili
 - istruzioni di movimentazione del pannello
- Documenti, sono documenti di tipo ISO, in linguaggio macchina, sono necessari alla simulazione della lavorazione sul pezzo, per la giusta orientazione del pezzo da lavorare sul pannello e per l'attrezzaggio del piano.
- Modello cinematico in tre dimensioni, che è un insieme di componenti tridimensionali di una macchina collegati tra loro tramite giunti cinematici che possono essere rotativi oppure prismatici.
- Gli output che escono da bSuite sono gli statements, ossia il miglior modo di attrezzare e lavorare il pezzo per poter ottimizzare la resa del macchinario.

4.3 bSolid

b_Solid, come detto in precedenza, è il software CAD/CAM 3D di b_Suite.

Per la realizzazione del DT della macchina utensile ROVER A, che ho effettuato durante il tirocinio, ho lavorato solamente con questo plug-in.

b_Solid ti permette di importare o realizzare qualsiasi tipo di progetto 2D e 3D, dal più semplice al più complesso, grazie ad un unico sistema di progettazione. E' stato integrato un sistema di apprendimento, che facilita le operazioni di progettazione, anche a chi non è un esperto, perchè permette di accedere a funzionalità sofisticate in modo semplice ed intuitivo.

b_Solid consente di simulare il processo di lavorazione attraverso una simulazione in tre dimensioni, che permette di:

- Verificare l'effettiva correttezza del percorso utensile;
- Prevenire errori di programmazione, come la profondità di lavoro, approccio al materiale e sequenza degli utensili;
- Modificare e verificare il progetto prima di eseguirlo sulla macchina.
- Inoltre, questo plug-in, rende disponibile la macchina acquistata dal cliente in un ambiente virtuale, completa dei suoi componenti, della cinematica di movimentazione degli assi, della gestione dei magazzini e del controllo numerico. In questo ambiente è possibile intervenire in ogni momento su qualsiasi componente della macchina.

La caratteristica fondamentale di b_Solide è, senza dubbio, che ti permette di programmare la macchina reale direttamente sul software, senza la necessità di programmare il controllo numerico e il PLC. Quindi programmando la macchina nell'ambiente virtuale, una volta conclusa tutta l'operazione di revisione, si può far partire la lavorazione del pezzo in macchina reale, semplicemente avviando la lavorazione da b_Solid.

Questa funzione ha, tuttavia, dei limiti, in quanto per quanto riguarda alcune lavorazioni vi sono dei vincoli o specifiche di programmazione per le quali è necessario programmare il PLC e CN per far partire la lavorazione in macchina reale.

b_Solid è composto da quattro aree essenziali per mostrare graficamente da cosa è composta la macchina virtuale e come si comporta in simulazione.

4.3.1 Simulazione macchina

In quest'area di b_Solid è possibile simulare la lavorazione del pezzo nella macchina virtuale. Facendo partire la simulazione, essa mostrerà come si muove la macchina, quanti cambi di utensili effettua e in che sequenza lavora il pezzo. La simulazione si svolge in un determinato tempo che corrisponde a quello che la macchina reale impiegherà realmente lavorando il pezzo, infatti per lavorazioni molto elaborate la simulazione può durare anche ore e questo non è un bene, perchè il cliente non può permettersi di perdere tutto questo tempo per vedere se la simulazione va a buon fine. Dunque, per rimediare a questo inconveniente, si ha la possibilità di aumentare la velocità della simulazione in modo tale da avere una simulazione di una manciata di minuti, che però rimane sempre realistica ed accurata. Ovviamente non tutte le simulazioni vanno a buon fine e quando questo si verifica, in quest'area compaiono dei messaggi di errore in rosso, che evidenziano quali sono i problemi e le criticità nella lavorazione. Questo ti permette in modo rapido e veloce di andare a modificare la lavorazione o l'utensile errato, in modo da far ripartire la simulazione in poco tempo ed evitare inconvenienti nella macchina reale.

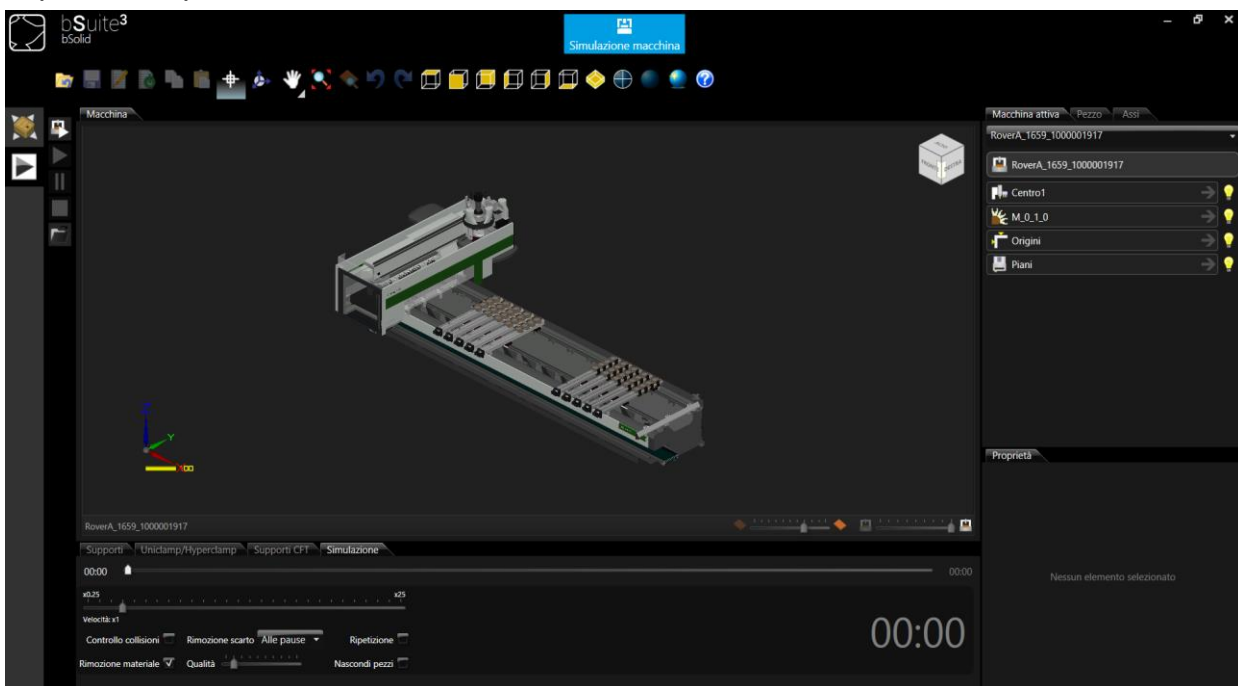


Figura 35: Simulazione macchina in b_solid
(fonte: software b_Suite)

4.3.2 Area CAD/CAM

Nell'area CAD/CAM è possibile importare o progettare il pezzo da lavorare in 2 o 3 dimensioni. Se si importa un pezzo già progettato e con le lavorazioni già effettuate

non bisogna far altro che caricarlo in macchina virtuale. Se si deve progettare il pezzo e le lavorazioni in b_Solid, esso ti consente di programmare tutte le forme e le lavorazioni più o meno complesse in modo veramente intuitivo. Per prima cosa si sceglie la geometria del pezzo grezzo, che solitamente è un rettangolo, quadrato o cerchio. Per riportare la misura in modo realistico, il plug-in, ti fa inserire le dimensioni del pezzo reale tramite una tendina apposita. Una volta digitalizzato il pezzo grezzo, si passa al disegno delle lavorazioni che si devono effettuare e b_Solid fornisce tutti gli strumenti utili a realizzare qualsiasi tipo di lavorazione, inoltre, sempre in quest'area, ti fa vedere che utensili ci sono attrezzati in macchina e se con quelli a disposizione riesci a realizzare la lavorazione programmata, oppure ti fa notare se un utensile non riesce a fare la lavorazione richiesta e ti da un consiglio su quale dovresti attrezzare in macchina per effettuare quella lavorazione o quello da utilizzare per ottimizzare gli scarti di quella lavorazione.

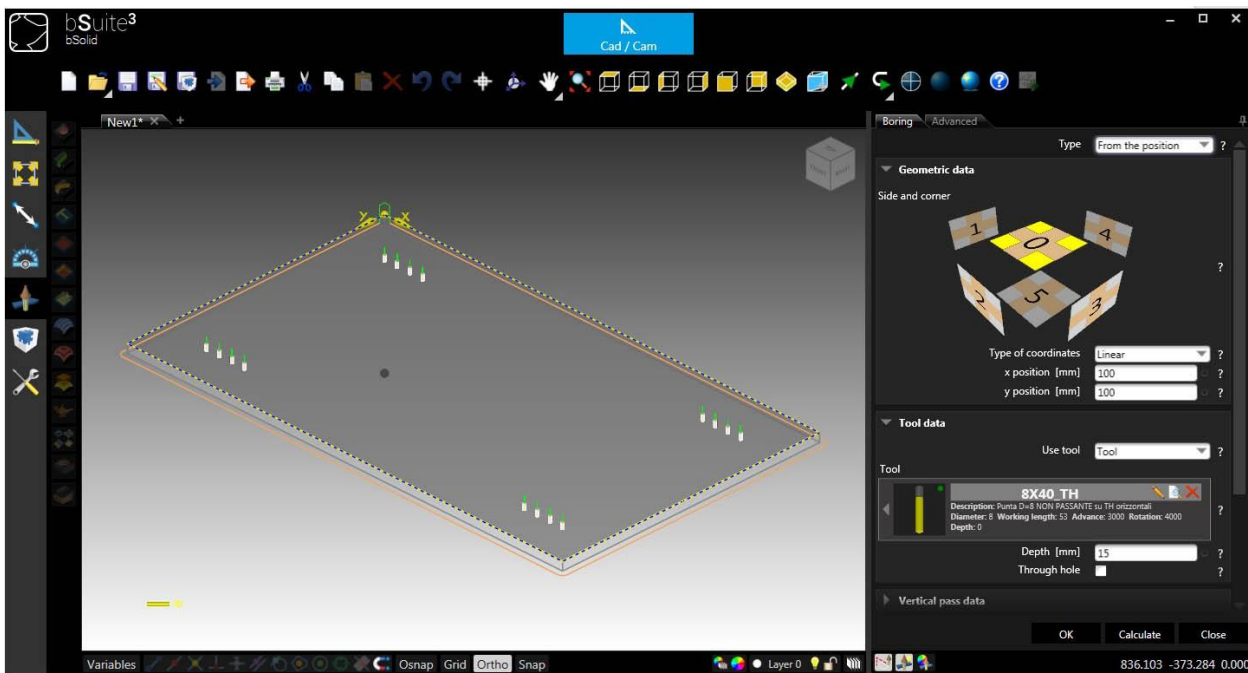


Figura 36: Area CAD/CAM in b_Solid
(fonte: software b_Suite)

4.3.3 Area dati macchina

In quest'area, si possono estrapolare tutti i dati inerenti alla macchina, come l'ingombro reale del macchinario, di che catena di attrezzaggio dispone la macchina e quanti utensili possono essere montati, la movimentazione delle ventose del pannello per garantire la miglior tenuta del pezzo. Oltre a i dati riguardanti il macchinario, si possono trovare i dati riguardanti il PLC e il CN.

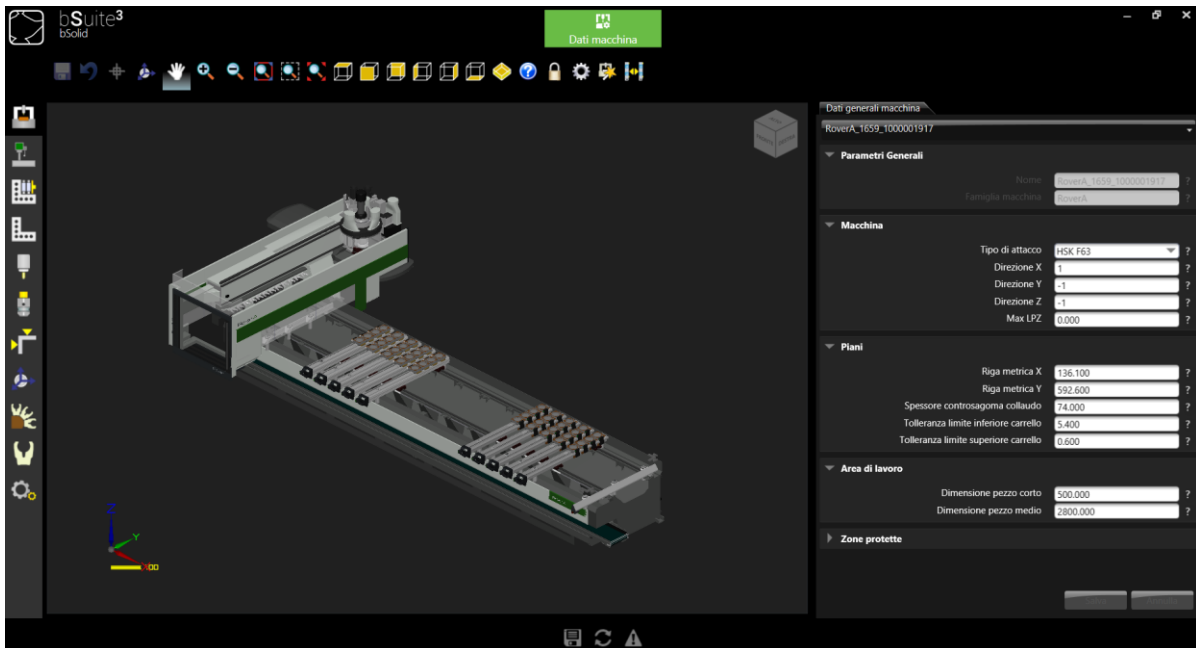


Figura 37: Area dati macchina
(fonte: software b_Suite)

4.3.4 Area attrezzaggio

In quest'area è possibile visionare i magazzini a catena in cui vengono montate gli utensili. Biesse offre un'ampissima gamma di utensili per le lavorazioni e, ovviamente, ogni cliente sceglie i più consoni alla lavorazione che deve andare ad effettuare, ma di solito questi sono maggiori a quanti ne può caricare la macchina, quindi è di fondamentale importanza attrezzare nel macchinario virtuale l'asset fisico che è realmente montato sul macchinario. Questa operazione è molto semplice, nel DT venduto insieme al macchinario vengono importati tutti gli utensili acquistati dal cliente e quest'ultimo per attrezzare il magazzino a catena deve semplicemente selezionare la forchetta su cui vuole posizionare l'utensile e selezionare l'utensile che deve essere posizionato lì. Gli utensili attrezzati in macchina sono contraddistinti da quelli non attrezzati mediante un cerchio verde vicino alla figura dell'utensile.



Figura 38: Area attrezzaggio
(fonte: software b_Suite)

4.4 Dove si acquisiscono i dati per realizzare il DT

Biesse segue una politica per la quale ad ogni macchinario utensile venduto, si deve vendere anche il software b_Suite con il plug-in di interesse e il digital twin del macchinario acquistato.

Il cliente quando acquista un macchinario è chiamato a scegliere il tipo di macchinario, la configurazione più inerente alle sue esigenze e gli utensili. La configurazione del macchinario viene scelta in base ad un catalogo a cui corrisponde una distinta aperta, dove ad ogni componente è assegnato un codice univoco.

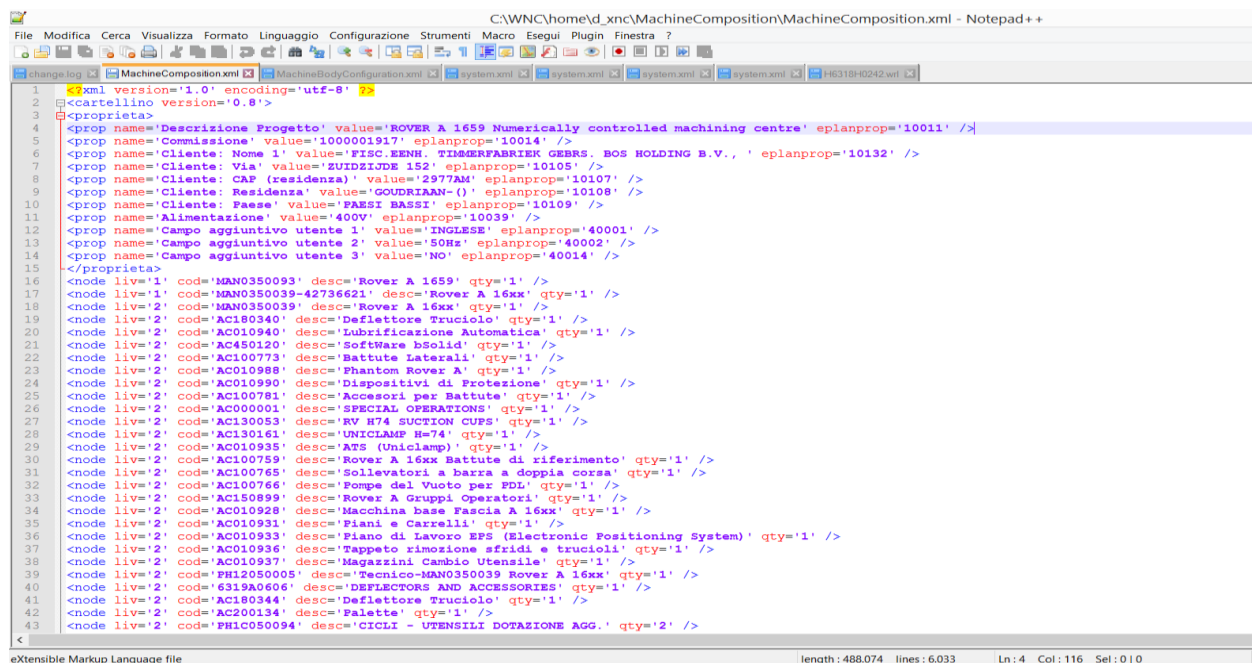


Figura 39: Distinta aperta
(fonte: Biesse)

Una volta che il cliente ha combinato la configurazione più adeguata al macchinario utensile da lui scelto, l'ufficio commerciale procede alla creazione di un file chiamato "machine body configuration", che è l'effettiva distinta base di tutti i componenti della macchina a cui vengono associati oltre al codice articolo univoco, anche i codici commerciali e tecnici per creare il digital twin.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <MachineBodyRange>
3 <RangeY MinValue="1000" MaxValue="1250" Size="12" CarriageYMin="188" CarriageYMax="1325">
4 <!--1224-->
5 <RangeX MinValue="2200" MaxValue="2800">
6 <BodyFileName Value="5513A0417_bPart" TagCoded="FNZ4101582" />
7 <BodyFileName Value="5513A0417_PL_bPart" TagCoded="FNZ4101588" />
8 <BodyFileName Value="MM00039557_PL_bPart" TagCoded="FNZ4102275" /> <!--Rover A FT SMART PLAST-->
9 <BodyFileName Value="MM00039557_bPart" TagCoded="FNZ4102274" /> <!--Rover A FT SMART WOOD-->
10 </RangeX>
11 <RangeX MinValue="2800" MaxValue="3600">
12 <BodyFileName Value="MM00036464_12_bPart" TagCoded="FNZ4050311" /> <!-- 1232 -->
13 </RangeX>
14 <RangeX MinValue="3600" MaxValue="4600">
15 <BodyFileName Value="MM00056879_12_bPart" TagCoded="FNZ4102354" /> <!-- 1242 -->
16 </RangeX>
17 <RangeX MinValue="4600" MaxValue="6600">
18 <BodyFileName Value="MM00066469_12_bPart" TagCoded="FNZ4102356" /> <!-- 1256 -->
19 </RangeX>
20 <CenterTemplateName Value="5510A2127" TagCoded="FNY8501397"/>
21 <CenterTemplateName Value="MM00055451" TagCoded="FNY8502112"/> <!--12xx step3 -->
22 <CenterTemplateName Value="MM00060605" TagCoded="FNY8502127"/> <!--Smart-->
23 </RangeY>
24 <RangeY MinValue="1250" MaxValue="1400" Size="13" CarriageYMin="188" CarriageYMax="1325">
25 <RangeX MinValue="2200" MaxValue="2800">
26 <BodyFileName Value="5513A0315_bPart"/>
27 <!--1325-->
28 </RangeX>
29 <RangeX MinValue="2800" MaxValue="3600">
30 <BodyFileName Value="5513A0290_bPart"/>
31 <!--1332-->
32 </RangeX>
33 <RangeX MinValue="4000" MaxValue="4600">
34 <BodyFileName Value="5513A0316_bPart"/>
35 <!--1343-->
36 </RangeX>
37 <RangeX MinValue="5600" MaxValue="6200">
38 <BodyFileName Value="5513A0336_bPart"/>
39 <!--1359-->
40 </RangeX>
41 <CenterTemplateName Value="5510A0766"/>
42 </RangeY>
43 <RangeY MinValue="1400" MaxValue="1500" Size="14" CarriageYMin="188" CarriageYMax="1325">
44 <RangeX MinValue="2600" MaxValue="2900">

```

Figura 40: Machine body configuration
(fonte Biesse)

Questo file, dall'ufficio commerciale, viene trasferito: all'ufficio tecnico, al reparto di automazione, al reparto di produzione e al reparto di progettazione per la creazione del modello cinematico in 3D del macchinario.

Una volta che il modello cinematico tridimensionale è completato, esso viene inviato al reparto progettazione digital twin.

4.5 Passaggio da modello cinematico 3D a Digital Twin

Il reparto di progettazione che crea il modello cinematico tridimensionale del macchinario, lo sviluppa con il software Solid Edge. Quindi il modello si presenterà così

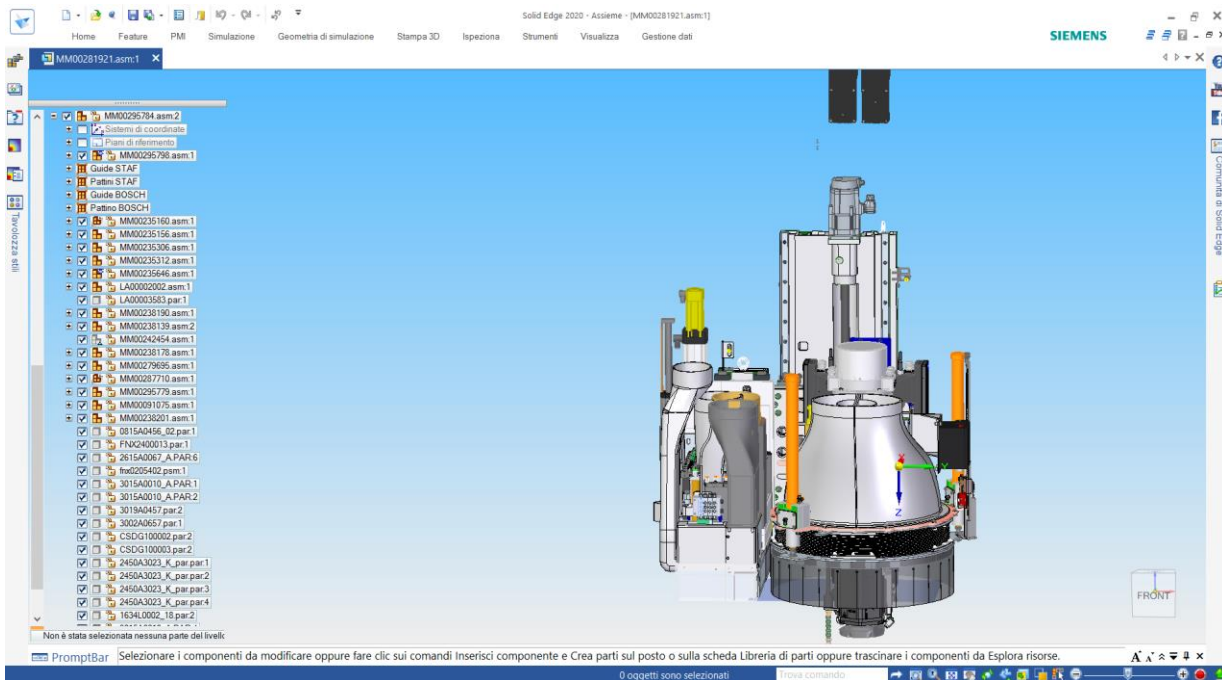


Figura 41: Modello 3D in Solid Edge
(fonte: Biesse)

Quello mostrato in figura, ovviamente non è tutto il modello del macchinario, ma solo un componente dell'insieme, in quanto per la creazione del DT si deve lavorare componente per componente. La rappresentazione in figura 41 è una testa a forare montata su un macchinario chiamato ROVER A.

Il modello cinematico in 3D, non si può importare direttamente in b_Solid, in quanto quest'ultimo per creare il gemello digitale, adopera un sistema di digitalizzazione per il quale ad ogni punto in Solid Edge corrisponde un mesh in b_Solid (per far capire meglio una vite in Solid Edge crea all'incirca 60 mesh in b_Solid). Quindi se si importasse il modello 3D direttamente in b_Solid, esso impiegherebbe moltissimo tempo sia nella digitalizzazione del modello che in simulazione della macchina sia a prevedere collisioni tra i vari elementi compresi dal macchinario, poichè dovrebbe elaborare ogni singolo movimento per ogni mesh e tanto più è elevato il numero di mesh tanto più b_Solid impiegherà ad elaborare.

Quindi, prima di essere importato in b_Solid, il modello tridimensionale ha bisogno di alcune modifiche, che vengono chiamate semplificazioni.

4.5.1 Semplificazioni del modello3D

Nell'operazione di semplificazioni delle parti del modello tridimensionale, è necessario mantenere gli ingombri effettivi del macchinario. Ciò è di fondamentale

importanza per la verifica delle parti collidibili, in quanto se vengono modificati gli ingombri effettivi dei componenti, si potrebbero verificare 2 casi:

- Gli elementi non collidono nel virtuale mentre collidono nella realtà. Ciò porterebbe a conseguenze dannose sia per il macchinario che rischia la rottura che delle risorse materiali che potrebbero andare rovinate.
- Gli elementi creano false collisioni nel virtuale, ma non collidono nella realtà. Questo fa nascere numerosi problemi nel virtuale, perchè finche la simulazione non rileva che nessun elemento collide, non si può far partire la lavorazione reale nel macchinario fisico.

4.5.1.1 Prima semplificazione

Nella fase di semplificazione per prima cosa, bisogna andare a togliere nel modello 3D tutti gli elementi di bulloneria, in quanto essi non rientrano nel gruppo degli elementi collidibili e dunque darebbero vita a moltissime ed inutili mesh in b_Solid, rendendo il digital twin molto pesante.

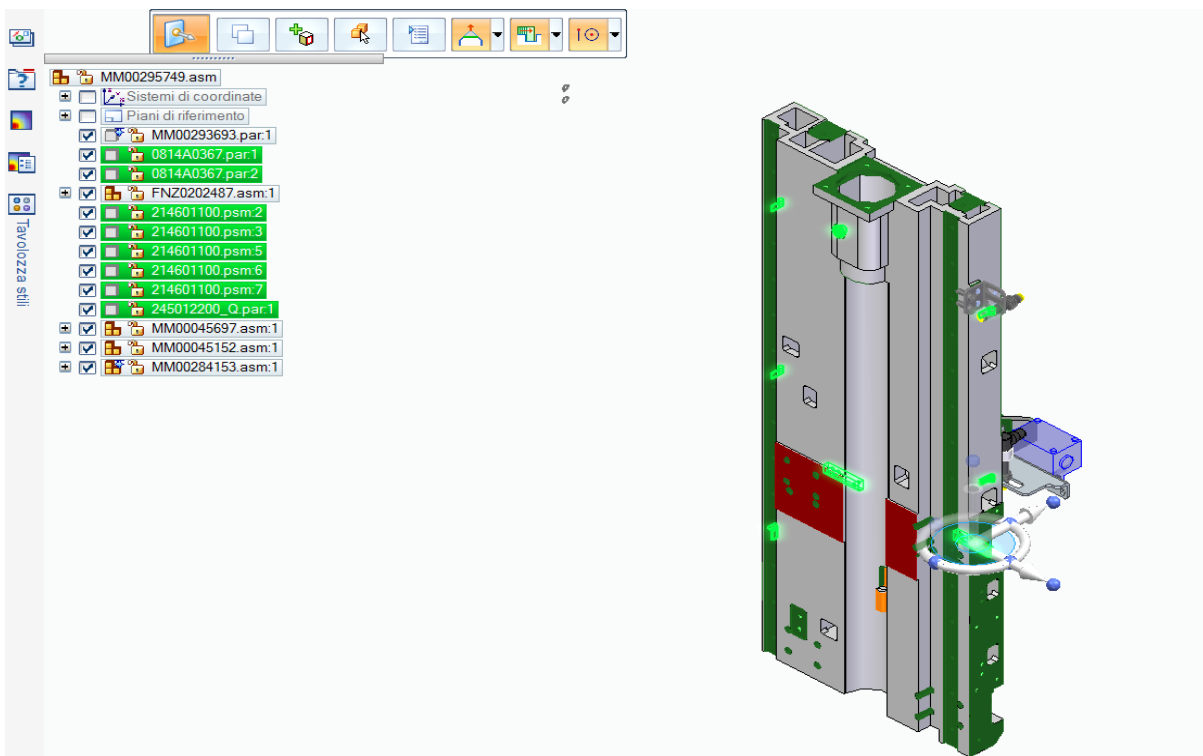


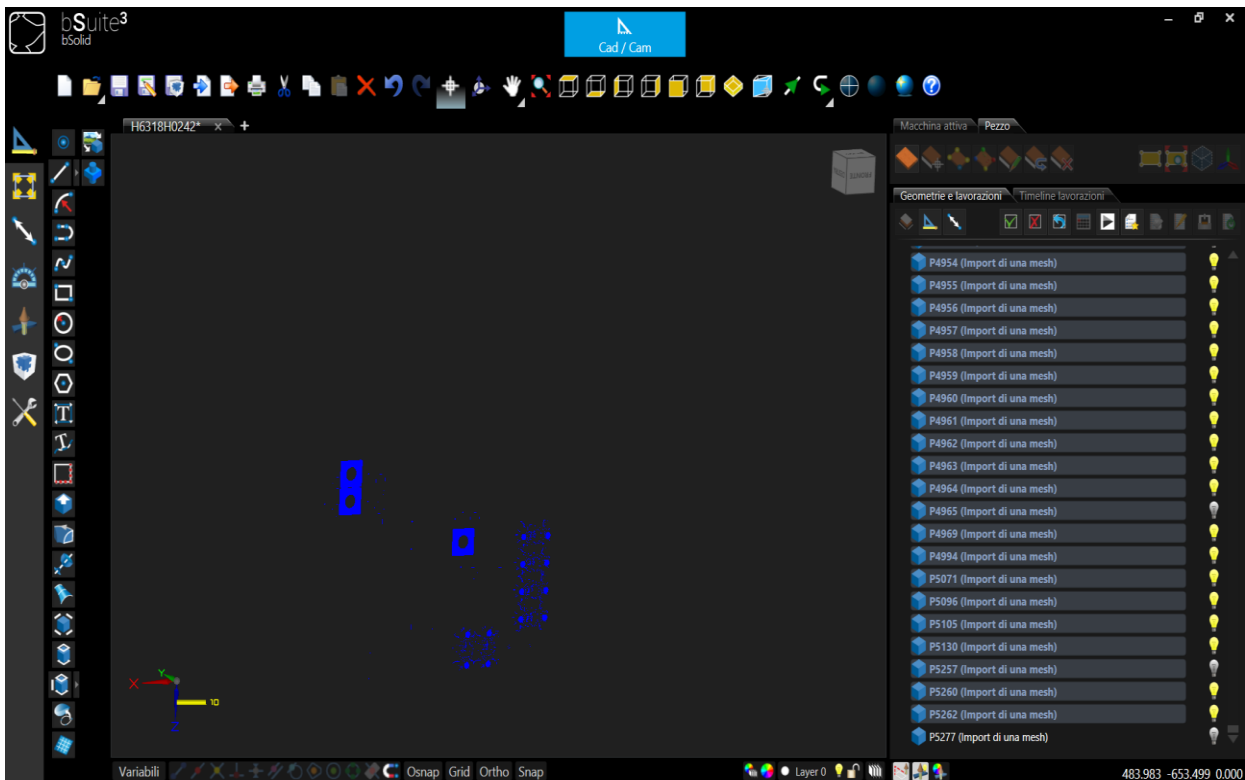
Figura 42: Semplificazione bulloneria
(fonte: Biesse)

Questa può sembrare un'operazione infinita, perchè un macchinario ha migliaia di viti e bulloni, ma in questo caso ci vengono in aiuto i codici tecnici univoci. Infatti ogni elemento di bulloneria ha un codice che inizia con dei numeri che normalmente sono : 08, 29,30, 21 e 24. La funzionalità sta nel fatto che solo gli elementi di

bulloneria iniziano con dei numeri, tutti gli altri elementi hanno un codice univoco che inizia con una lettera maiuscola.

Tuttavia, gli elementi di bulloneria non vengono eliminati del tutto dal modello cinematico tridimensionale, ma essi vengono soppressi, in modo tale che se sorge qualche problema e vi è la necessità di riprendere il modello cinematico 3D con un semplice passaggio in cui si reintegrano gli elementi soppressi si ritorna ad avere il modello 3D in tutte le sue parti.

Se il modello 3D non viene semplificato adeguatamente, b_Solid si presenterà così



*Figura 43: Elementi di bulloneria non semplificati
(fonte: Biesse)*

La figura 43, mostra la creazione di innumerevoli mesh per la creazione degli elementi di bulloneria in b_Solid. E per avere un'idea più chiara di quanto pesa un elemento non semplificato correttamente rispetto ad uno semplificato bene, basta guardare la figura 44.

Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
bhoriginale.bPart	29/07/2020 10:49	File BPART	1.468 KB
H6318H0242.bPart	29/07/2020 10:46	File BPART	424 KB
MM00033337.bPart	29/07/2020 10:59	File BPART	35 KB
roverA1659.bBack	30/07/2020 10:46	File BBACK	117.819 KB

Figura 44: Differenza dimensionale fra un elemento semplificato e uno non
(fonte: Biesse)

4.5.1.2 Seconda semplificazione

Una volta ultimata la soppressione di tutti gli elementi di bulloneria, si passa alla fase successiva. In questa fase si vanno a semplificare tutti i fori, gli smussi, i raccordi e gli scavi del pezzo, perchè anche questi se vengono importati andranno a creare delle mesh in b_Solid.

In questa particolare fase, bisogna essere molto attenti perchè se si va a sopprimere uno scavo piuttosto che un altro, si potrebbe perdere totalmente la geometria e l'ingombro del pezzo.

In questo caso si deve analizzare dove è posizionato il pezzo che si sta semplificando, che funzione svolge, con quali elementi potrebbe collidere e se è un pezzo esterno o interno del macchinario. Una volta analizzati questi fattori, si riescono ad individuare in modo abbastanza preciso quali sono gli elementi da sopprimere e quali no.

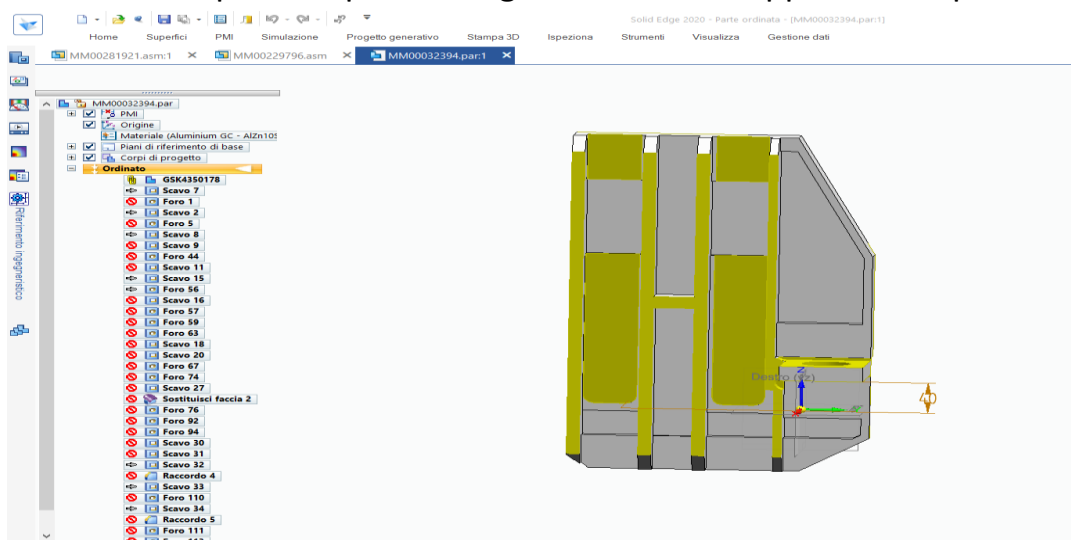


Figura 45: Soppressione scavi e fori
(fonte: Biesse)

4.5.1.3 Terza semplificazione

Nel modello cinematico tridimensionale, visto che è necessario a più reparti, deve comprendere tutti gli elementi interni ed esterni del macchinario, compresi tutti i componenti elettrici, quali fili, elettrovalvole e sensori. Però per creare il digital twin non si ha la necessità di mantenere questi componenti elettrici, ma in ogni caso, è necessario continuare a tener conto del loro ingombro aereo. Dunque, si dice che i componenti elettrici devono essere "svuotati" dal loro involucro lasciando intatto quest'ultimo.

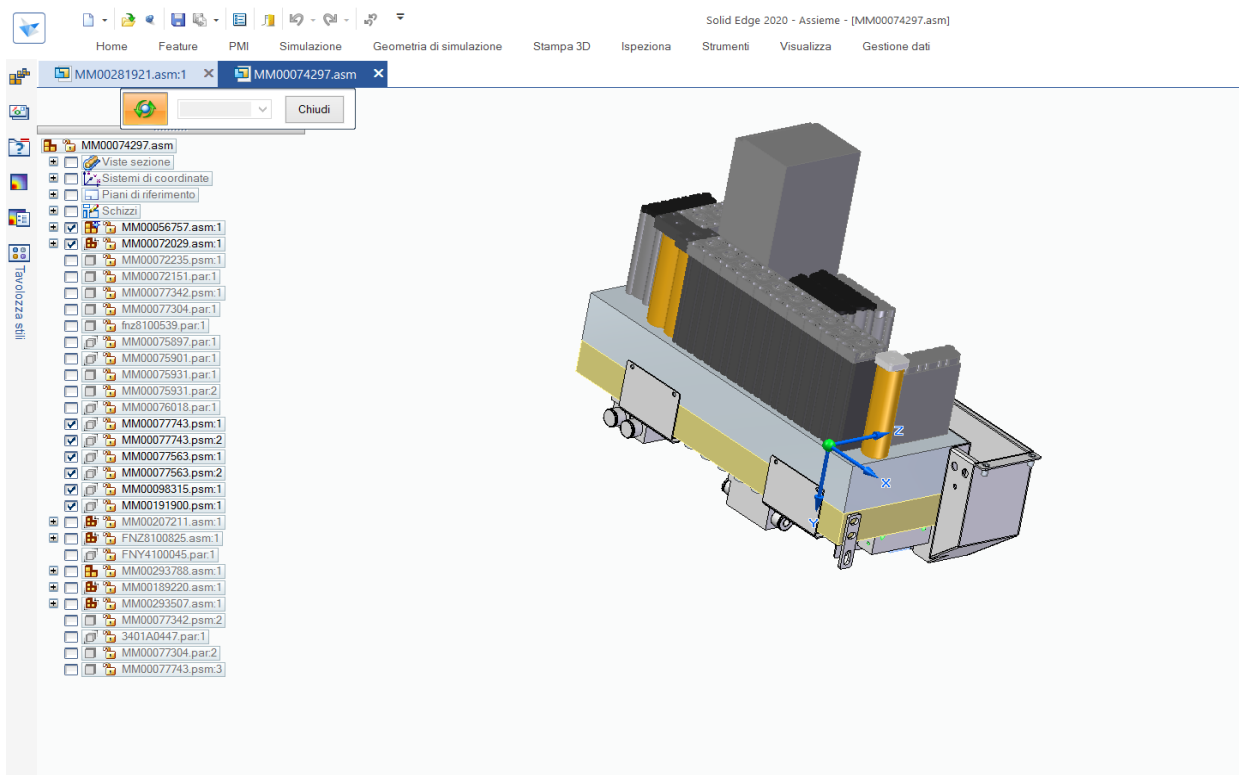


Figura 46: Ingombro aereo dei componenti elettrici
(fonte: Biesse)

4.5.1.4 Rifiniture

Una volta terminate tutte le semplificazioni per ogni pezzo che compone la macchina, bisogna fare un'ultima operazione: la "verniciatura".

Siccome stiamo creando un digital twin, esso deve essere una riproduzione reale e fedele del macchinario, dove anche l'estetica vuole la sua parte. Dunque, si passa a colorare tutti i componenti con i colori con cui viene realmente verniciata la macchina fisica.

Per compiere questa operazione, si deve importare in Solid Edge, una libreria creata appositamente da Biesse, che contiene il codice e il colore con cui viene verniciato il

macchinario. Dopo di che, si selezionano i pezzi e si colorano con l'apposito colore, seguendo una distinta specifica.

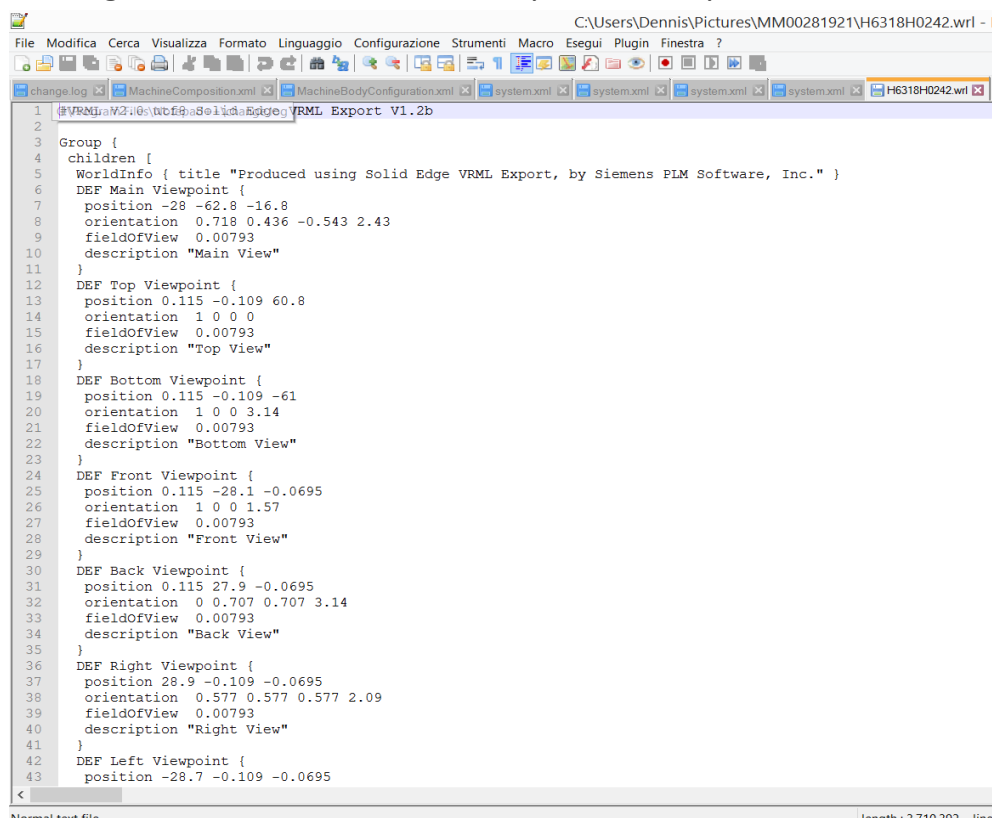
Oltre al colore dei pezzi, vi devono essere attaccati gli adesivi che corrispondono al nome della macchina, all'asset scelto dal cliente e al numero di serie del macchinario.

4.6 Creazione del file per l'importo del modello in b_Solid

Una volta ultimata tutta la fase di semplificazione e di rifinizione del macchinario, per importare il modello cinematico semplificato in b_Solid, bisogna necessariamente creare un file VRML.

Questo documento è paragonabile ad un'istantanea del macchinario nello spazio. Da questo file è possibile acquisire tutti i dati, le quote e le coordinate nello spazio del macchinario.

Il documento fa sì che una volta importato in b_Solid, il macchinario sarà virtualmente nelle coordinate dello spazio reale, che l'ingombro e le quote nell'ambiente digitale siano effettivamente quelle corrispondenti alla realtà.



```
1 2
3 Group {
4 children [
5 WorldInfo { title "Produced using Solid Edge VRML Export, by Siemens PLM Software, Inc." }
6 DEF Main Viewpoint {
7 position -28 -62.8 -16.8
8 orientation 0.718 0.436 -0.543 2.43
9 fieldOfView 0.00793
10 description "Main View"
11 }
12 DEF Top Viewpoint {
13 position 0.115 -0.109 60.8
14 orientation 1 0 0
15 fieldOfView 0.00793
16 description "Top View"
17 }
18 DEF Bottom Viewpoint {
19 position 0.115 -0.109 -61
20 orientation 1 0 0 3.14
21 fieldOfView 0.00793
22 description "Bottom View"
23 }
24 DEF Front Viewpoint {
25 position 0.115 -28.1 -0.0695
26 orientation 1 0 0 1.57
27 fieldOfView 0.00793
28 description "Front View"
29 }
30 DEF Back Viewpoint {
31 position 0.115 27.9 -0.0695
32 orientation 0 0.707 0.707 3.14
33 fieldOfView 0.00793
34 description "Back View"
35 }
36 DEF Right Viewpoint {
37 position 28.9 -0.109 -0.0695
38 orientation 0.577 0.577 0.577 2.09
39 fieldOfView 0.00793
40 description "Right View"
41 }
42 DEF Left Viewpoint {
43 position -28.7 -0.109 -0.0695
```

Figura 47: Documento VRML
(fonte: Biesse)

Una volta ultimata la creazione del file VRML, questo deve essere importato nell'area CAD/CAM di b_Solid, in modo da creare il digital twin del pezzo.

Il lavoro che svolge b_Solid, quando viene importato il documento VRML, è quello di leggere ed interpretare i dati col fine di realizzare le mesh riportando fedelmente le coordinate dei componenti nello spazio.

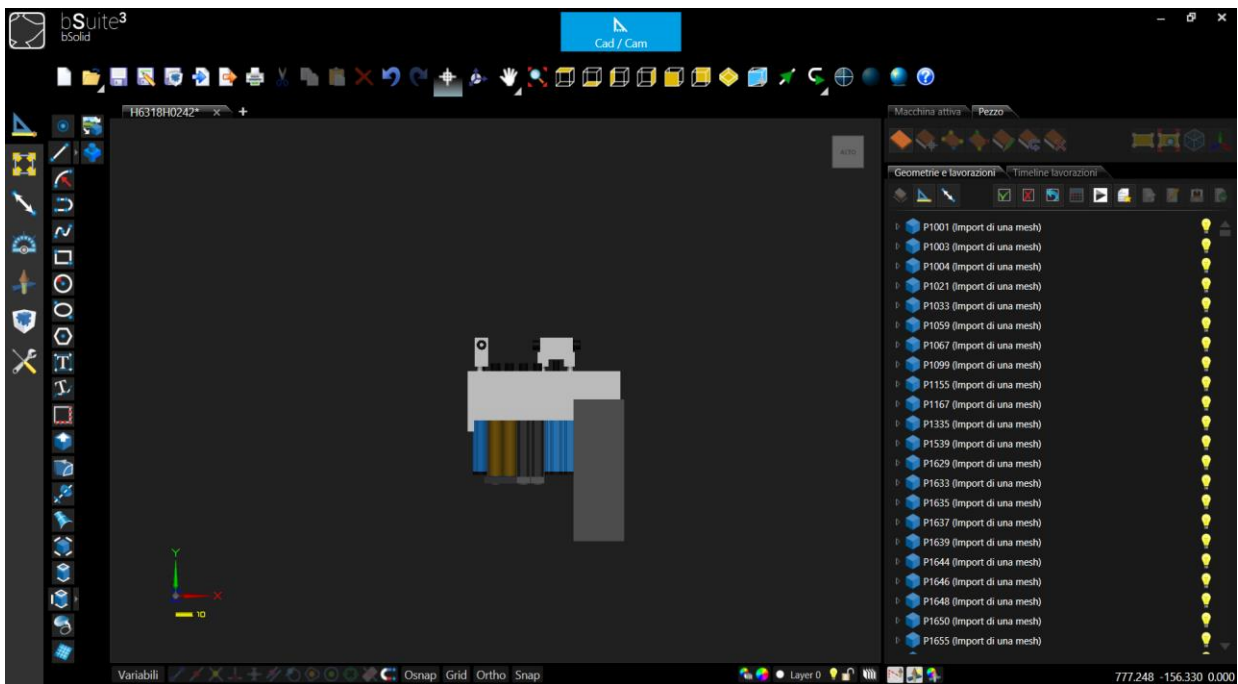


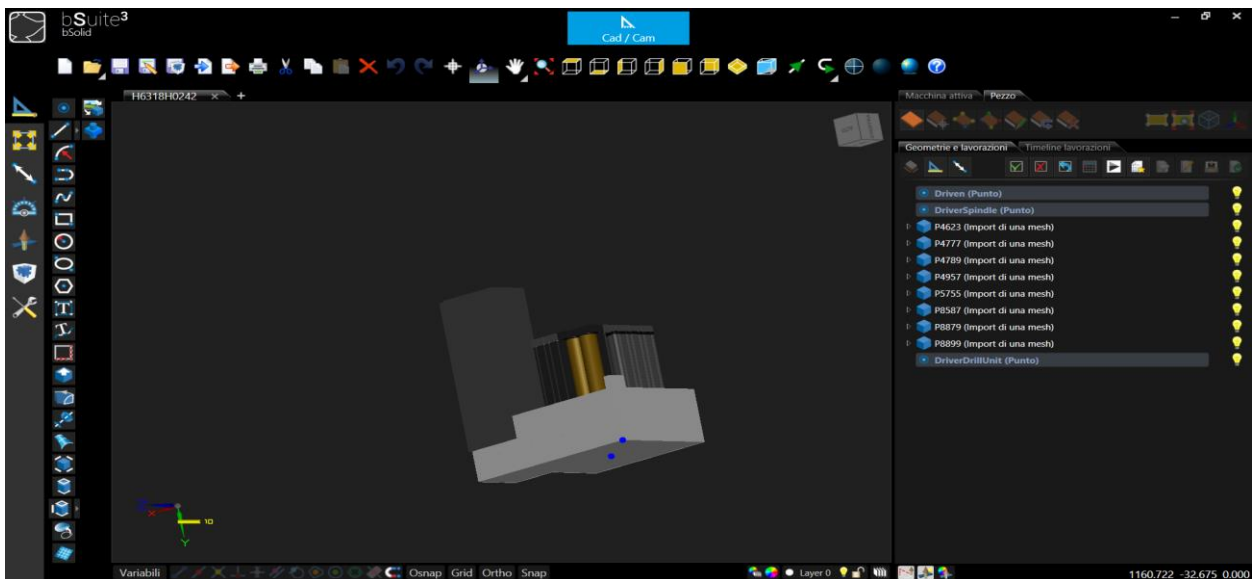
Figura 48: Digital Twin derivante dal VRML
(fonte: Biesse)

4.7 Assemblaggio macchinario digitale

Una volta aver importato tutti i componenti che costituiscono il macchinario utensile nell'area CAD/CAM di b_Solid, bisogna collegare i componenti, nella giusta sequenza, tramite relazioni padre-figlio.

Questo passaggio si svolge fissando dei punti su ogni componente. Questi punti sono chiamati punti driver e punti driven.

- Punto driven, è il punto che ogni "figlio" deve avere per essere collegato al padre. Letteralmente è il punto guidato, quindi che deve essere necessariamente collegato ad un altro componente chiamato padre.
- Punto driver, questo punto è l'output, ossia ti indica se quel componente ha dei figli oppure no. Un componente, può avere diversi figli a cui essere collegato, se questo accade bisogna denominare il punto driver in modo univoco.



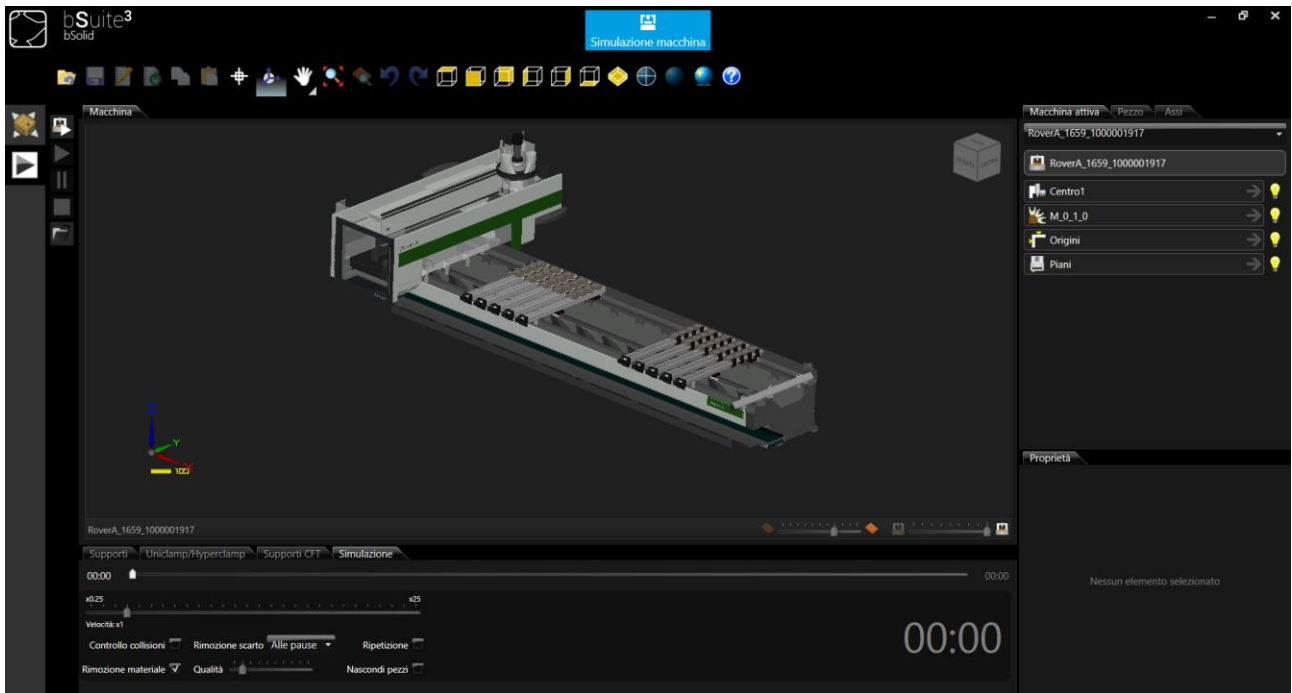
*Figura 49: Punto driver/driven
(fonte: Biesse)*

I punti driven e driver devono essere collocati in dei punti specifici che sono diversi da componente a componente. Posizionarli in modo corretto è la condizione necessaria per far sì che il digital twin non perda l'ingombro reale del macchinario. Quindi, ci sono delle regole ben precise per stabilire i punti driver e driven per ogni elemento che compone la macchina. Vi sono, infatti, delle convenzioni per le quali i punti driven e driver devono essere sempre posizionati con le stesse coordinate per consentire la giusta esecuzione di tutte le configurazioni possibili per il macchinario. Vi sarà poi una calibrazione in b_Solid che andrà a posizionare il punto di giunzione, in modo corretto e con le giuste coordinate, per la specifica configurazione dei componenti.

4.8 Il digital twin del macchinario

Una volta terminata l'operazione dell'assemblaggio del macchinario tramite la relazione padre-figlio, si ottiene il Digital Twin.

Nell'ambiente virtuale avremo una riproduzione fedele e realistica della macchina utensile, in cui sarà poi possibile progettare, programmare e ottimizzare le lavorazioni future che dovrà compiere.



*Figura 50: Digital Twin di una ROVER A
(fonte Biesse)*

4.9 Differenze tra modello 3D e Digital Twin

Grazie alla stretta collaborazione dei documenti VRML, del controllo numerico e del PLC, il modello digitale della macchina utensile ottenuto, risulta estremamente congruente al modello cinematico tridimensionale in Solid Edge e alla realtà.

Tuttavia, saltuariamente potrebbe capitare che il modello digitale differisca dal modello cinematico 3D. Si parla sempre di scostamento dell'ordine dei millimetri, ma siccome la caratteristica fondamentale di un DT è la riproduzione fedele di un oggetto fisico, bisogna trovare dei rimedi per far combaciare alla perfezione il DT al modello 3D e alla realtà.

Durante la creazione del digital twin di una ROVER A, su cui ho lavorato durante il tirocinio, mi sono imbattuta due volte in questi scostamenti fra DT e Solid Edge.

4.9.1 Magazzino a catena

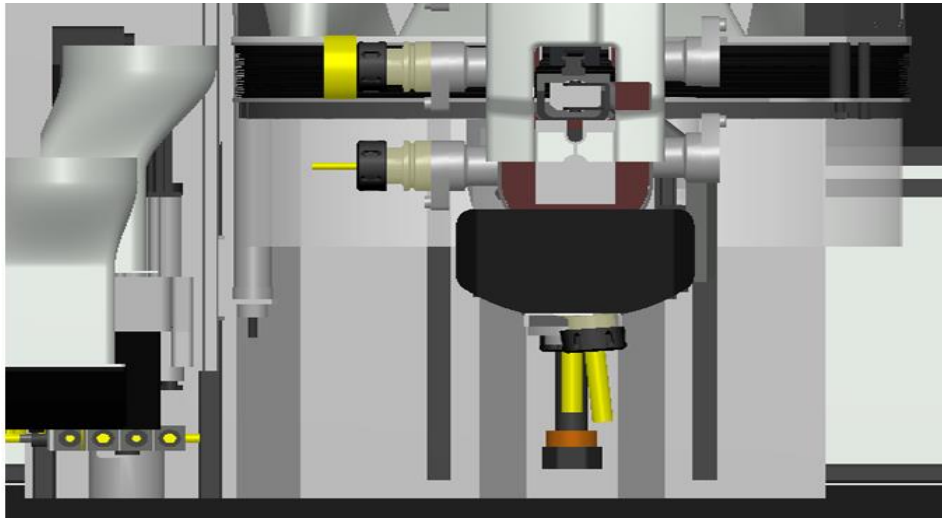


Figura 51: Scostamento utensile rispetto alla verticale
(fonte: Biesse)

Importando il magazzino a catena dal modello cinematico 3D in Solid Edge, in b_Solid mi sono imbattuta in questo scostamento della realtà.

In questo caso, la prima forchetta del magazzino che veniva selezionata per montare un utensile sulla testa a forare per la lavorazione, non si posizionava in maniera corretta, ma risultava spostata di qualche millimetro rispetto alla verticale.

Abbiamo corretto questo scostamento, riducendo di qualche millimetro l'arco di curvatura su cui girava la catena e abbiamo ridimensionato le maglie che formavano la catena.

4.9.2 Quote differenti per punti uguali

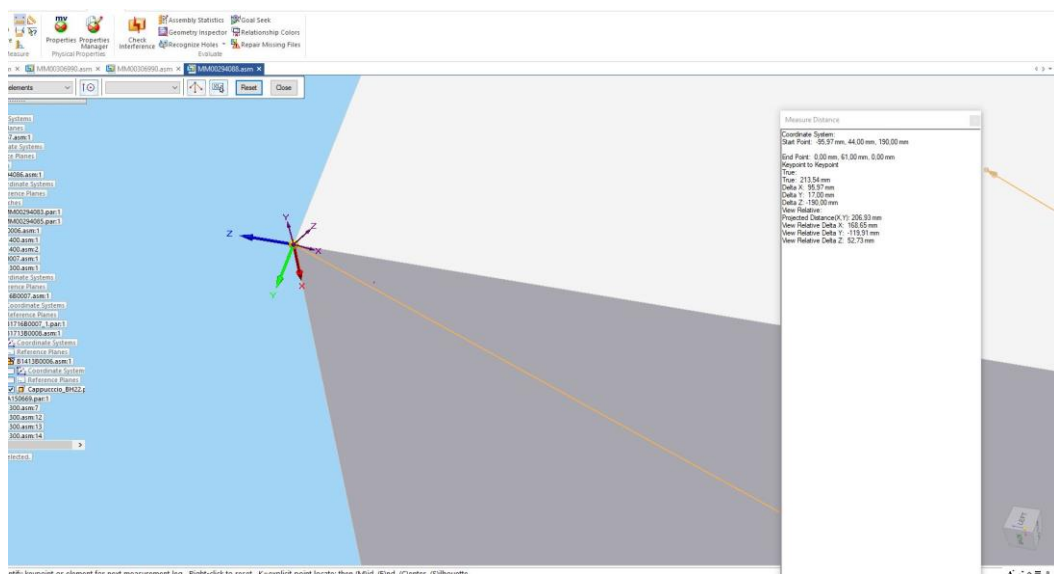


Figura 52: quota del punto in Solid Edge
(fonte: Biesse)

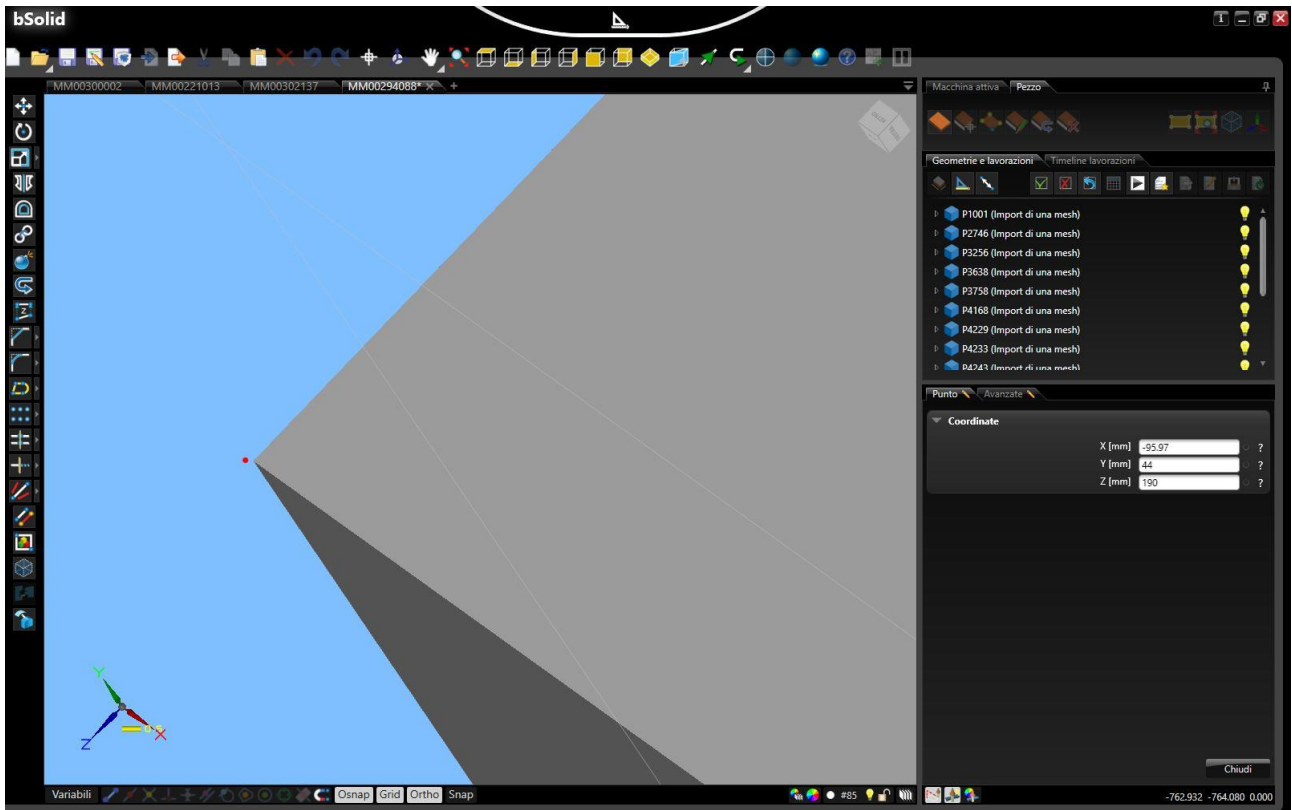


Figura 53: Quota punto in b_Solid
(fonte: Biesse)

In questo caso, invece, vi era uno scostamento tra la quota del punto dove c'era il vertice della ventosa, modellato in Solid Edge e la quota del punto dove c'era il vertice della ventosa in b_Solid.

In questo caso la soluzione era molto semplice, perchè b_Solid ti permette di inserire manualmente le quote dei punti che scostano tra il modello 3D e il DT. Quindi prendendo la quota del punto in Solid Edge, l'ho inserita in b_Solid e il DT si è calibrato automaticamente.

5. Conclusioni

La trasformazione digitale, iniziata con l'avvento dell'Industry 4.0, ha portato con sé una quantità elevata di tecnologie abilitanti capaci di favorire le aziende in ambito di digitalizzazione dei processi, oggetti e risorse.

Nel bel mezzo di questa rivoluzione industriale, si vede nascere un nuovo paradigma a sé stante, il Digital Twin, che si pone come strumento per rinnovare le fabbriche tradizionali portandole ad essere più vicine alla definizione di Smart Factory.

La ricerca scientifica, negli ultimi anni, ha studiato a fondo i DT mettendo in evidenza pregi e difetti.

Il maggior difetto che evidenzia la critica scientifica, è la mancanza di uno standard nello sviluppo, nella comunicazione e nell'implementazione di questa tecnologia. Quindi si lasciano le imprese in balia dell'implementazione del loro DT senza una precisa tecnica e costrette a sostenere la maggior parte dei costi, in quanto gli incentivi non sono così facilmente reperibili.

Se si fossero trovati delle fasi standard per implementare un DT, probabilmente oggi, la loro diffusione sarebbe molto maggiore di quella che registriamo attualmente.

Tuttavia, si è sempre più evoluta la tecnica per la quale ogni produttore di macchinari, crea anche il rispettivo digital twin da vendere o fornire al cliente. In questo modo i produttori stanno rinnovando il loro modello di business e aumentano il flusso dei ricavi, mentre per gli acquirenti si trovano ad implementare uno strumento pronto e facile da usare grazie al concetto "Plug and Simulate". Questa è esattamente la politica adottata da Biesse, quindi si può dire che grazie al suo implemento dei DT finalizzati alla post-vendita, ha reso tutti i clienti, che a loro volta sono delle aziende, un po' più digitalizzati, facendo scattare così un effetto "domino" nella corsa alla digitalizzazione, anche se in scala ridotta rispetto a quella che dovrebbe essere a livello nazionale.

Bibliografia

- [1] Badaraite Zivile, «Welcome to the future: industry 4.0», USA engineering, 24 agosto 2016. [online]. Available: <https://www.engusa.com/it/posts/welcome-to-the-future-industry-4-0>.
- [2] Acampora Carlotta, «Smart Factory: cos'è, caratteristiche e vantaggi», Internet4things, 8 ottobre 2020. [Online]. Available: <https://www.internet4things.it/smart-manufacturing/smart-factory-cose-caratteristiche-e-vantaggi/>.
- [3] Deloitte, «The smart factory. Responsive, adaptive, connected manufacturing», 2017. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/global/en/insights/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html>.
- [4] F. Boschi, A. De Carolis, M. Taisch, «cosa sono i CPS e in che modo abiliteranno/faciliteranno la trasformazione del fatturiero», Industria Italiana, 2017. [Online]. Available: <https://www.industriaitaliana.it/nel-cuore-dell-industry-4-0-i-cyber-physical-systems/>.
- [5] W. Jin, Z. Liu, Z. Shi, C. Jin e J. Lee, «CPS-enable worry-free industrial applications», IEEE, 2017.
- [6] D. Bandyopadhyay, J. Sen, «Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization», Wirel. Pers. Commun., vol.58, no.1, maggio 2011.
- [7] «Integrazione verticale e orizzontale: la quinta tecnologia abilitante dell'industria 4.0», Focus Industria 4.0, 2020. [Online]. Available: <https://www.focusindustria40.com/integrazione-verticale-e-orizzontale/>.
- [8] E. Blunck e H. Werthmann, «Industry 4.0 - An Opportunity To Realize Sustainable Manufacturing And Its Potential For A Circular Economy», DIEM, 2017.
- [9] N. Boldrini, «Big data e Data science nell'industry 4.0: servono infrastrutture storage focalizzate sul dato», BigData4innovation, dicembre 2017. [Online]. Available: <https://www.bigdata4innovation.it/big-data/big-data-data-science-storage/>.

- [10] A. Tomassi, «Nell'industria 4.0 il cloud computing è la vera rivoluzione», Key4biz, agosto 2019. [Online]. Available: <https://www.key4biz.it/nellindustria-4-0-il-cloud-computing-e-la-vera-rivoluzione/268824/>.
- [11] M. Onorato, «Industry 4.0: la nuova frontiera dei cyber criminali nell'anno del GDPR», Data Manager Online, giugno 2018. [Online]. Available: <https://www.datamanager.it/2018/06/industry-4-0-la-nuova-frontiera-dei-cyber-criminali-nellanno-del-gdpr/>.
- [12] A. Mallozzi «Proteggere Industria 4.0 dai rischi cyber, ecco le 3 aree chiave», Agenda Digitale, agosto 2019. [Online]. Available: https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/proteggere-industria-4-0-dal-rischio-cyber-ecco-le-3-aree-chiave/#Area_%E2%80%9Ctecnologia%E2%80%9D_interoperabilita_e_limiti.
- [13] Trend Micro, «How the industry 4.0 Era Will Change the Cybersecurity Landscape», 2018. [Online]. Available: <https://blog.trendmicro.com/how-the-industry-4-0-era-will-change-the-cybersecurity-landscape/>.
- [14] M.R. Carbone, «Big Data Analytics, tutte le prerogative di uno strumento di successo», BigData4innovation, 2020. [Online]. Available: <https://www.bigdata4innovation.it/big-data/big-data-analytics-tutte-le-prerogative-di-uno-strumento-di-successo/>.
- [15] Focus industria 4.0, «Robotica collaborativa: la prima tecnologia abilitante dell'industria 4.0», 2019. [Online]. Available: <https://www.focusindustria40.com/robotica-collaborativa/>.
- [16] F. Puzello, «Additive Manufacturing e stampa 3D: definizione ed esempi», 3D4growth, 2018. [Online]. Available: <https://3d4growth.com/additive-manufacturing>.
- [17] L. Montagna, «Realtà virtuale e realtà aumentata: nuovi media per nuovi scenari di business», Ulrico Hoepli Editore S.p.A., 2018.
- [18] A. Ballocchi, «Digital Twin: cos'è e perchè è utile agli smart building», Lumi4innovation, 2019. [Online]. Available: <https://www.lumi4innovation.it/digital-twin-cose-come-funziona-e-perche-e-utile-agli-smart-building/>.

- [19] M. Shafto, M. Conroy, R. Doyle, H. G. E., C. Kemp, J. LeMoigne, e L. Wang, «DRAFT Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap», NASA, 2010
- [20] A. El Saddik, «Digital Twins: the convergence of Multimedia Technologies», IEEE MultiMedia, vo. 25, no. 2, 2018.
- [21] S. Boschert e R. Rosen, «Digital Twin - The Simulation Aspect», in Mechatronic Futures, Springer, 2016.
- [22] R. Stark, S. Kind e S. Neumeyer, «Innovation in digital twin modeling for next generation manufacturing system design», CIRP Annals, 2017.
- [23] M. Kunath e H. Winkler, «Integrating the Digital Twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process», in CIRP Conference on Manufacturing Systems, 2018.
- [24] RedazioneMU, «Digital twin: tra gemello e copia», 2020. [Online]. Available: <https://www.meccanicanews.com/2020/03/05/digital-twin-tra-gemello-e-copia/>.
- [25] D. Jones, C. Snider, A. Nassehi, J. Yon, B. Hicks, «Characterising the Digital Twin: A systematic literature review», vo. 29, Elsevier, 2020.
- [26] L. Xu, G. Cabri, M. Aiello, M. Mecella, P. T. de Vrieze, «Twin Planning: Virtual and real factory planning», IM-IO, 2018.
- [26b] G. Hofbauer, A. Sangl, S. Engelhardt, «The Digital Transformation of the Product Management Process: Conception of Digital Twin Impacts for the Different Stages», vo. 5, International Journal of Innovation and Economic Development, 2019.
- [27] F. Tao, J. Cheng, Q. Qi, M. Zhang, F. Sui, «Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data», Springer, 2017.
- [28] G. L. Knapp et al., «Building blocks for a digital twin of additive manufacturing», Elsevier, 2017.
- [29] F. Tao e M. Zhang, «Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing», IEEE, 2017.

- [30] J. Leng, H. Zhang, D. Yan, Q. Liu, X. Chen e D. Zhang, «Digital Twin-driven manufacturing cyber-physical system for parallel controlling of smart workshop», Springer, 2018.
- [31] Y. Zheng, S. Yang e H. Cheng, «An application framework of digital twin and its case study», Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2018.
- [32] In base alla norma tecnica UNI4546, «Misure e misurazioni, Termini e definizioni fondamentali», in Internet Archive, 2014
- [33] I. Atzori, A. Iera, G. Morabito, «The Internet of Things: A survey», vo. 54, Elsevier, 2010.
- [34] L. Manca, «Digital twin, come e perchè creare una copia digitale della realtà», Industry4business, 2020. [Online]. Available: <https://www.industry4business.it/industria-4-0/digital-twin-come-e-perche-creare-una-copia-digitale-della-realta/>.
- [35] S. M. Dambrot, «Symbiotic Autonomus Systems, Digital Twin and Artificial Intelligence: Emergence and Evolution», Mondo Digitale, 2019.
- [36] ISTAT, «Censimento permanente imprese 2019: i primi risultati», 2020.
- [37] Ministero dello sviluppo economico, «Piano Transizione 4.0, il decreto attuativo», 2020.
- [38] Ministero dello sviluppo economico, «Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza», 2020.
- [39] Sito web: Fameccanica - non stop innovation.
- [40] EconomyUp, «Eni pioniera della digital transformation: dai "pozzi virtuali" all'impianto in Basilicata», 2019. [Online]. Available: <https://www.economyup.it/innovazione/eni-pioniera-della-digital-transformation-dai-pozzi-virtuali-allimpianto-in-basilicata/>.
- [41] Comunicati stampa Eni, «Eni: selezionate tre start up nell'ambito dell'iniziativa di open innovation CallForGrowth», 2019. [Online]. Available: <https://www.eni.com/it-IT/media/comunicati-stampa/2019/03/eni->

selezionate-tre-start-up-nellambito-delliniziativa-di-open-innovation-callforgrowth.html.

- [42] Prime Minister's Officer Singapore, «Virtual Singapore», National Research Foundation, 2018. [Online]. Available: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>.
- [43] CorCom, «Siemens, un "digital twin" per ogni processo industriale», 2017. [Online]. Available: <https://www.corrierecomunicazioni.it/cyber-security/siemens-un-digital-twin-processo-industriale/>.
- [44] J. Carrington, «Working with Multi-CAD in NX using JT», Siemens PLM Software, 2008.
- [45] B. Stackpole, «Digital Twins Land a Role In Product Design», DE247 Digital Engineering, 2015. [Online]. Available: <https://www.digitalengineering247.com/article/digital-twins-land-a-role-in-product-design/>.
- [46] Sito ufficiale di Dassault Systèmes, «Storia di CATIA».
- [47] Automazione Plus, «Ericsson e Dassault Systèmes insieme per la 3DEXPERIENCE Platform», 2020. [Online]. Available: http://automazione-plus.it/ericsson-e-dassault-systemes-insieme-per-la-3dexperience-platform_120344/.
- [48] Internet Archive, «Technological revolution», Dassault Aviation, 2011.
- [49] P. Macrì, «Tutto quello che avreste sempre voluto sapere sul digital twin ve lo dicono SAP, Saipem, Bouygues, Gkn Aerospace, EnginSoft», Industria Italiana, 2020. [Online]. Available: <https://www.industriaitaliana.it/digital-twin-simulazione-intelligenza-artificiale-iot-sap-saipem-enginsoft-bouygues-gkn-aerospace/>.
- [50] Sito ufficiale di SAP, «Digital Twin for Business».
- [51] G. Magnaghi, «Sistemi Ciberfisici e Digital Twin», Soiel International, 2020. [Online]. Available: <https://www.soiel.it/news/dettaglio/sistemi-ciberfisici-e-digital-twin/#>.

- [52] F. Tao, M. Zhang e A. Y. C. Nee, «Digital Twin Driven Smart Manufacturing», Academic Press, 2019.
- [53] G. Punzi, «Digital Twin e Cyber Physical System: qual è la relazione tra le due innovazioni più interessanti della quarta rivoluzione industriale?», Consorzio Nazionale Sicurezza, 2020.

Bibliografia consultata:

- J.W.Strandhagen, E.Alfanes, J.O. Strandhagen, L.R. Vallandingham, «The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study», Springer, 2017.
- G.Cervelli, S. Pira, L. Trivelli «Industria 4.0 senza slogan», Quaderni fondazione G. Brodolini, Gennaio 2017.
- G. Veneri, A. Capasso, «Hands-on Industrial Internet of Things», Packt Publishing, novembre 2018.
- L. Beltrametti, N. Guarnacci, N. Intini, C. La Forgia, «La fabbrica connessa. La manifattura italiana (attra)verso industria 4.0», goWare, Angelo Guerrini e Associati Srl, 2017.
- P.W. Singer, A. Friedman, «Cybersecurity: what Everyone Needs to Know», Oxford University Press, 2014.
- D. Nascimento, V. Alencastro, O. L. G. Quelhas, R. Caiado, «Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context - A business model proposal», Journal of manufacturing Technology Management, 2018.
- K. Kambatla, G. Kollias, V. Kumar, A. Grama, «Trends in big data analytics», Journal of Parallel and Distributed Computing, vo.70, 2014.
- V. Rajaraman, «Big data analytics», Springer, 2016.
- R. B. S. Consultants, «INDUSTY 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed», [Online]. Available: http://www.iberglobal.com/files/Roland_Berger_lindustry.pdf.
- M.A.K. Bahrin, M. F. Othman, N. H. N. Azli e M.F. Talib, «Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic», Jurnal Teknologi, 2016.
- A. Giaume, «Data scientist: Tra competitività e innovazione», Franco Angeli s.r.l., 2017.
- F. Tao, M. Zhang; A.Y.C. Nee,«Digital Twin Driven Smart Manufacturing», Academic Press, 2019.

- P. Delnevo, F. Scovenna, «Come implementare un PLM end-to-end con l'IoT», Next Factory. [Online]. Available: <https://www.thenextfactory.it/2020/11/come-implementare-plm-end-to-end-iot/>.
- F. Tao, F. Sui, A. Liu, Q. Qi, M. Zhang, B. Song, Z. Guo, S.C.-Y. LU & A.Y.C.Nee, «Digital twin-driven product design framework», International Journal of Production Research, 2018.
- B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, S. Wartzack, «Shaping the digital twin for design and production engineering», vo. 66, CIRP Elsevier, 2017.
- S. Haag, R. Anderl, «Digita Twin - Proof of Concept», Elsevier, 2018.
- T. Borangiu, E. Oltean, S. Raileanu, F. Anton, S. Anton, I. Iacob, «Embedded Digital Twin for ARTI-Type Control of Semi-continuous Production Processes», Springer, 2019.
- V. Ogewell, «Siemens PLM, NX 12.0 and the Road to the Digital Twin», Engineering, 2017. [Online]. Available: <https://www.engineering.com/story/siemens-plm-nx-120-and-the-road-to-the-digital-twin>.