

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Industry 4.0 e Digital Twin: grado di conoscenza e analisi di applicabilità alle PMI



Relatore

Prof. Guido Perboli

Co-relatore

Dr. Stefano Musso

Candidato

Simone Immediato

Ottobre 2018

Ringraziamenti

Vorrei dedicare questo lavoro ai miei genitori, alle persone che più hanno creduto in me, permettendomi di intraprendere questo percorso lontano da casa. A voi va la mia immensa gratitudine e il mio amore.

Ringrazio i miei fratelli che mi hanno sempre spronato a dare il meglio e a non arrendermi di fronte alle difficoltà.

Ringrazio la mia intera famiglia per essere stata, anche a distanza, un punto di riferimento e per avermi incoraggiato in ogni situazione.

Ringrazio i miei amici, quelli storici, quelli persi per strada e i tanti nuovi che Torino mi ha permesso di conoscere. È anche con il vostro supporto se finalmente ho raggiunto questo traguardo.

Ringrazio i miei coinquilini, dal primo all'ultimo, per avermi sopportato durante i momenti più duri e per aver gioito con me durante quelli più belli.

Ringrazio il mio relatore, il Prof. Guido Perboli e il mio co-relatore Dr. Stefano Musso per il continuo supporto e la disponibilità dimostrata fin dal primo istante.

Ringrazio il mio tutor aziendale, il Dr. Edoardo Calia, per la voglia e l'entusiasmo manifestato, per l'aiuto e l'infinita disponibilità.

Infine, ringrazio tutte le persone incontrate e conosciute durante questo percorso, abbiamo condiviso le gioie e i "dolori" senza mai arrenderci, ci siamo sostenuti a vicenda e ognuno di voi ha saputo fare la differenza.

Un sentito grazie a tutti!

Indice

Abstract	1
Introduzione	2
1. Industry 4.0 & Digital Twin	4
1.1 Industry 4.0, Overview	4
1.2 Cosa è Industry 4.0?	5
1.2.1 Cyber-Physical System, CPS.....	5
1.2.2 Internet of Things, IoT.....	6
1.2.3 Internet of Services, IoS	8
1.2.4 Smart Factory	8
1.3 Tecnologie Abilitanti.....	9
1.3.1 Cloud	9
1.3.2 Cybersecurity.....	10
1.3.3 Big Data analytics.....	12
1.3.4 Artificial Intelligence & Machine Learning	13
1.3.5 Robotics.....	13
1.3.6 Additive Manufacturing	15
1.3.7 Virtual Reality & Augmented Reality.....	17
1.4 Le principali caratteristiche dell'Industry 4.0.....	18
1.4.1 Integrazione Verticale.....	18
1.4.2 Integrazione Orizzontale.....	19
1.4.3 Progettazione End-to-End.....	20
1.4.4 Integrazione Tecnologica	20
1.5 Piano di incentivazione italiano per l'Industry 4.0.....	21
1.5.1 Risultati di medio periodo del piano Industria 4.0	22
1.6 Digital Twin, Overview	24
1.7 Alcune applicazioni del Digital Twin.....	27
1.7.1 Digital Twin Shop-floor	28
1.7.2 Digital Twin for Additive Manufacturing	29
1.7.3 Digital Twin for Product Design	30
1.7.4 Digital Twin for PLM.....	31
1.7.4.1 Framework for PLM	31
1.8 Caratteristiche e Innovazione	33

1.8.1	Sistema di supporto alle decisioni, dall'approccio What-If al Now-What...	33
1.8.2	Modularità del Digital Twin	34
1.8.3	Come il Digital Twin impatta i Business Model	35
1.9	Il Digital Twin e le grandi imprese.....	36
1.9.1	General Electric	36
1.9.2	Siemens.....	37
1.9.3	SAP.....	38
2.	Literature Review	40
2.1	State of Art Industry 4.0	40
2.1.1	Caso 1, Sicurezza negli stabilimenti produttivi.....	40
2.1.2	Caso 2, Catena del freddo.....	41
2.1.3	Caso 3, Monitoraggio di un allevamento di pesci	42
2.1.4	Caso 4, Interconnessione robot con la linea produttiva.....	43
2.1.5	Caso 5, Interconnessione nuova linea produttiva	44
2.1.6	Caso 6, Monitoraggio del processo produttivo di una cantina spagnola.....	46
2.1.7	Caso 7, Manutenzione intelligente	47
2.1.8	Caso 8, Manutenzione con tecnologie semantiche.....	48
2.1.9	Caso 9, Tracciabilità delle attrezzature in magazzino	49
2.1.10	Caso 10, Tracciabilità della merce nel settore fast fashion	50
2.1.11	Caso 11, Logistica di trasporto smart	51
2.1.12	Caso 12, Ottimizzazione della produzione attraverso la simulazione	52
2.1.13	Caso 13, Vetrina 4.0	53
2.1.14	Caso 14, Piattaforma web per le attività post-vendita.....	54
2.1.15	Caso 15, Monitorare il volume di traffico in una stazione di benzina.....	54
2.1.16	Caso 16, Smart Factory	55
2.1.17	Caso 17, Stampa 3D per velocizzare le fasi di R&D.....	56
2.2	Analisi delle tecnologie implementate nei casi di studio	58
2.3	Literature Review Digital Twin.....	60
2.3.1	Modello di analisi	60
2.3.1.1	Tecnologie di Industry 4.0	61
2.3.1.2	Stadio di sviluppo del Digital Twin.....	61
2.3.1.3	Metodi.....	62
2.3.1.4	Impatti.....	62
2.3.1.5	Problemi.....	63

2.3.1.6	Business Value e Obiettivi.....	64
2.3.1.7	Stakeholders.....	64
2.3.1.8	Contributi.....	65
2.3.2	Analisi dei risultati	65
2.3.2.1	Fonti della letteratura	65
2.3.2.2	Tecnologie di Industry 4.0	67
2.3.2.3	Stadio di sviluppo del Digital Twin.....	69
2.3.2.4	Metodi.....	70
2.3.2.5	Impatti.....	71
2.3.2.6	Problemi.....	72
2.3.2.7	Business Value e Obiettivi.....	72
2.3.2.8	Stakeholders.....	74
2.3.2.9	Contributi.....	75
2.3.3	Conclusioni.....	76
3.	Industry 4.0 & Digital Twin transformation assessment.....	78
3.1	Obiettivo	78
3.2	Modalità di indagine.....	78
3.3	Struttura	79
3.3.1	Identificazione dell'azienda rispondente	79
3.3.2	Livello di conoscenza dei concetti afferenti al paradigma Industry 4.0.....	80
3.3.3	Livello effettivo di implementazione dei concetti di Industry 4.0	80
3.3.4	Livello di conoscenza del paradigma Digital Twin per l'Industry 4.0	82
3.3.5	Suggerimenti e spunti al fine di migliorare le indagini future.....	83
3.3.6	Recapiti dell'Azienda rispondente	83
3.4	Scala	83
3.5	Selezione del Campione	83
3.5.1	Collezione dei contatti delle imprese.....	84
3.6	Risultati.....	84
3.6.1	Panoramica Aziende	84
3.6.2	Conoscenza dei concetti afferenti al paradigma Industry 4.0.....	90
3.6.3	Implementazioni effettive dei concetti di Industry 4.0.....	93
3.6.4	Digital Twin.....	96
3.6.5	Analisi settore Metalmeccanico e Automotive.....	100
3.6.5.1	Cross Analysis Attività Importanti – Benefici Attesi	100

3.6.5.2	Cross Analysis Digital Twin Ranking - Attività Importanti.....	101
3.6.5.3	Cross Analysis Digital Twin Ranking – Benefici attesi	102
3.6.5.4	Cross Analysis Digital Twin Ranking (Early Adopters) – Implementazione Industry 4.0	103
3.6.5.5	Chi ha scelto di non investire nel Digital Twin?	104
3.6.6	Cluster Analysis: Le PMI che innovano.....	105
3.6.6.1	Caso 1	105
3.6.6.2	Caso 2	106
3.6.6.3	Caso 3	107
4.	Conclusioni.....	111
	Bibliografia.....	116
	Allegati.....	123

Nomenclatura:

DT	Digital Twin	MES	Manufacturing Execution System
DTS	Digital Twin Shop-floor	ERP	Enterprise Resource Planning
DTAM	Digital Twin for Additive Manufacturing	AHP	Analytic Hierarchy Process
DTPD	Digital Twin for Product Design	FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
DTs	Digital Twin subsystem	SC	Supply Chain
CPS	Cyber-Physical System	PMI	Piccola e media impresa
MCPS	Manufacturing Cyber-Physical System	IIoT	Industrial Internet of Things
CPPS	Cyber-Physical Production System	CMfg	Cloud Manufacturing
ICT	Information and Communication Technologies	SaaS	Software as a Service
IoS	Internet-of-Services	PaaS	Platform as a Service
IoT	Internet-of-Things	IaaS	Infrastructure as a Service
PLM	Product Lifecycle Management	CaaS	Container as a Service
PLC	Product Life Cycle	AI	Artificial Intelligence
RFID	Radio Frequency Identification	ML	Machine Learning
CAD	Computer-Aided Design	VR	Virtual Reality
QFD	Quality Function Deployment	AR	Augmented Reality
DPI	Dispositivo di Protezione Individuale	FDM	Fused Deposition Modelling
		AM	Additive Manufacturing
		OEE	Overall Equipment Effectiveness
		TRIZ	Teoria per la Soluzione Inventiva dei Problemi

Indice delle figure

Figura 1: Evoluzione del settore industriale produttivo	4
Figura 2 : Architettura a 5 livelli per sistemi CPS.....	6
Figura 3 : Funzionamento infrastruttura IIoT	7
Figura 4 : Evoluzione delle tecnologie industriali e dei relativi rischi cibernetici	11
Figura 5 : Spesa globale robot industriali.....	15
Figura 6 : Integrazione verticale lungo la catena del valore.....	19
Figura 7 : Integrazione orizzontale della catena fornitori.....	19
Figura 8 : Confronto Integrazione verticale, orizzontale e end-to-end.....	20
Figura 9 : Dettaglio investimenti in tecnologie digitali	23
Figura 10 : Analisi rilevanza degli incentivi per le imprese	23
Figura 11 : "Conceptual Ideal for PLM"	24
Figura 12 : Evoluzione del Digital Twin	25
Figura 13 : Tecnologie abilitanti del Digital Twin.....	27
Figura 14 : Modello concettuale di un Digital Twin shop-floor	29
Figura 15 : Modello generale Digital Twin per un prodotto	31
Figura 16 : Framework applicativo del DT per il PLM.....	32
Figura 17 : Integrazione del Digital Twin all'interno di un sistema di supporto alle decisioni.....	34
Figura 18 : Proposta di due opzioni di soluzione da parte del Digital Twin	37
Figura 19 : Closed loop innovation by MindSphere	38
Figura 20 : Framework SAP Leonardo	39
Figura 21 : Elaborazione Caso 1	41
Figura 22 : Elaborazione Caso 2	42
Figura 23 : Elaborazione Caso 3	43
Figura 24 : Elaborazione Caso 4	44
Figura 25 : Elaborazione Caso 5	46
Figura 26 : Elaborazione Caso 7	48
Figura 27 : Elaborazione Caso 8	49
Figura 28 : Elaborazione Caso 9	50
Figura 29 : Elaborazione Caso 11	52
Figura 30 : Elaborazione Caso 12	53
Figura 31 : Elaborazione Caso 15	55
Figura 32 : Numero delle pubblicazioni per anno	66
Figura 33 : Raccolta fonti delle pubblicazioni.....	66
Figura 34 : Tipologia di documento	67
Figura 35 : Nazionalità delle università coinvolte nell'analisi.....	67
Figura 36 : Citazioni delle tecnologie di Industry 4.0	68
Figura 37 : Confronto delle Tecnologie Industry 4.0 per anno	69
Figura 38 : Stadio di sviluppo del Digital Twin	70
Figura 39 : Metodi per il Digital Twin	70
Figura 40 : Impatti del Digital Twin sulle attività.....	71
Figura 41 : Confronto impatti del DT per anno.....	71
Figura 42 : Problemi e ostacoli allo sviluppo del Digital Twin	72

Figura 43 : Business Value e Obiettivi.....	73
Figura 44 : Confronto Business Value e Obiettivi per anno	74
Figura 45 : Stakeholders	75
Figura 46 : Contributi tecnici della ricerca scientifica	75
Figura 47 : Contributi tecnici della ricerca scientifica per anno.....	76
Figura 48 : Settori di mercato dell'indagine	85
Figura 49 : Posizione nell'organigramma aziendale ricoperta dall'intervistato	85
Figura 50 : Fatturato delle imprese.....	86
Figura 51 : Dimensione dell'impresa espressa in numero dei dipendenti	87
Figura 52 : Anno di fondazione delle imprese	87
Figura 53 : Percentuale del fatturato dipendente dai clienti chiave.....	88
Figura 54 : Azioni dell'azienda ai fenomeni di picchi o stagionalità	89
Figura 55 : Elaborazione dati conoscenza Industry 4.0.....	89
Figura 56 : Conoscenza delle tecnologie di Industry 4.0	90
Figura 57 : Disponibilità alla condivisione di dati selezionati	91
Figura 58 : Motivazioni del diniego alla condivisione dati	91
Figura 59 : Adozione soluzioni Cloud.....	92
Figura 60 : Percezione sicurezza servizi In house vs Cloud.....	93
Figura 61 : Implementazione delle tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0.....	94
Figura 62 : Ranking attività importanti per le imprese.....	94
Figura 63 : Esistenza di un piano di azione strategica per l'innovazione	95
Figura 64 : Ranking benefici attesi dall'implementazione delle tecnologie Industry 4.0...	96
Figura 65 : Ranking proposte di implementazione Digital Twin	97
Figura 66 : Disponibilità ad investire nelle implementazioni del Digital Twin	98
Figura 67 : Miglioramenti a seguito di investimenti in Industry 4.0.....	99
Figura 68 : Periodo medio atteso per il rientro degli investimenti in Industry 4.0.....	99
Figura 69 : Analisi incrociata Attività Importanti-Benefici Attesi	100
Figura 70 : Ranking proposte di implementazione Digital Twin (Camp. selezionato)....	102
Figura 71 : Analisi incrociata Digital Twin - Implementazione Industry 4.0 (Camp. selezionato).....	103
Figura 72 : Implementazione delle tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0 (Camp. no DT)	104
Figura 73 : Dendogramma clustering (Caso 1)	106
Figura 74 : Dendogramma clustering (Caso 2)	107
Figura 75 : Riepilogo e qualità cluster (Caso 3).....	108
Figura 76 : Variabili importanti (Caso 3)	109
Figura 77 : Profilo delle imprese innovatrici.....	110
Figura 78 : Confronto tecnologie necessarie per il DT vs implementate dalle imprese...	112
Figura 79 : Confronto livello di sviluppo del DT in letteratura vs imprese campione.....	113
Figura 80 : Valutazione delle implementazioni del DT da parte delle imprese campione	114

Abstract

Questo lavoro di tesi ha l'obiettivo di analizzare il nuovo paradigma industriale Digital Twin e valutare la sua applicabilità al contesto delle piccole e medie imprese.

Per fare ciò, sono stati analizzati numerosi casi studio riguardanti l'Industry 4.0 ed è stata condotta una rigorosa literature review, riguardo il paradigma Digital Twin per il settore manifatturiero.

Durante l'attività di tirocinio, svolto presso Istituto Superiore Mario Boella (ISMB), grazie alla collaborazione tecnica di alcune start-up, sono state elaborate e proposte dieci implementazioni del Digital Twin. A seguito di tale fase, è stato costruito un questionario volto ad indagare lo stato di conoscenza ed adozione, da parte delle PMI piemontesi, dell'Industry 4.0, l'interesse economico verso il Digital Twin e le dieci implementazioni proposte. Successivamente, il questionario, sotto forma di intervista semistrutturata face-to-face, è stato sottoposto ad un campione selezionato di PMI manifatturiere del territorio.

In conclusione, i dati raccolti sono stati analizzati ed è stato tracciato il profilo delle imprese innovatrici. I risultati ottenuti sono stati confrontati con le evidenze della letteratura al fine di identificare le PMI adatte ad implementare il paradigma Digital Twin.

Introduzione

Il processo di trasformazione digitale sta coinvolgendo tutte le realtà aziendali, siano queste grandi, medie o piccole. Questa trasformazione rimodella profondamente le organizzazioni, che, chiamate a raccogliere la sfida legata alle nuove tecnologie, devono innovare i processi, la gestione dei flussi informativi e spesso, i modelli di business. A favorire tale evoluzione, hanno contribuito senza alcun dubbio la quarta rivoluzione industriale e le sue tecnologie. Queste sono state definite abilitanti, in quanto elemento imprescindibile per le nuove fabbriche o in generale per le imprese intelligenti.

Se il mantra dell'Industry 4.0 è l'innovazione, tuttavia, va posta particolare attenzione ad evitare di digitalizzare gli sprechi, in quanto la rincorsa all'ultimo strumento tecnologico, senza aver prima mappato i processi as-is, potrebbe determinare un ingente spreco di risorse.

D'altro canto, la transizione verso il paradigma Industry 4.0 sta determinando una nuova logica di fornitura del prodotto. Questo si trasforma in servizio o viene affiancato da servizi accessori; la manifattura non è più un mero processo per ottenere il prodotto, ma diventa un servizio fruibile da diversi attori. La fabbrica non più statica ed immutabile, diviene modulare e ricomponibile a seconda della commessa. L'attività di ricerca e sviluppo prodotto, prima lunga e laboriosa, ora si arricchisce di analisi Big Data e si riduce nei tempi, aumentando la qualità del prodotto e la customer satisfaction.

In questo contesto, si introduce un nuovo paradigma, il Digital Twin, che ha l'obiettivo di concretizzare quello che la quarta rivoluzione industriale cerca di raggiungere. La creazione di gemelli digitali o duplicati virtuali di macchinari, processi, attività e persone garantisce di interfacciarsi con la controparte digitale con estrema semplicità. Soprattutto accentra le informazioni in uno strumento unico, capace di analizzare tutti i flussi informativi e facilitare le attività di decisione del management.

Se con l'Industry 4.0 la digitalizzazione è un processo di tipo bottom-up, che parte dal fisico e arriva a quello virtuale, con il Digital Twin il processo diventa top-down: il prodotto prima nasce digitalmente e poi viene concretamente materializzato. È come immaginare una stampante che non stampa un oggetto fisico, ma il duale digitale. Possedere i dati, quelli giusti, è però una necessità imprescindibile, in quanto solo con questi si può sviluppare un Digital Twin capace di impattare positivamente nei processi di business. Infatti, il Digital Twin, in quanto insieme connesso di modelli e sistemi di simulazione, è capace di sfruttare i dati per fornire risposte efficaci alle richieste aziendali.

Introduzione

In questa tesi, dopo un approfondimento sui paradigmi Industry 4.0 e Digital Twin, viene effettuata un'analisi di casi applicativi reali di Industry 4.0, in piccole e medie imprese principalmente italiane. Successivamente, viene analizzata la letteratura scientifica riguardo il Digital Twin e viene mappato il grado di sviluppo del paradigma. Infine, in collaborazione con l'Istituto Superiore Mario Boella, viene condotta un'indagine su un campione di imprese selezionate, volta a valutare possibili implementazioni innovative del Digital Twin nelle PMI del territorio piemontese.

1. Industry 4.0 & Digital Twin

1.1 Industry 4.0, Overview

Il termine Industry 4.0 si riferisce ad un nuovo stadio di sviluppo dell'industria manifatturiera che coinvolge l'organizzazione delle imprese e l'intera catena del valore [1]. Questo processo dirompente è anche conosciuto come “quarta rivoluzione industriale”, che identifica un nuovo cambio di paradigma rispetto alle tre precedenti rivoluzioni industriali. Infatti, a seguito della meccanizzazione, grazie all'uso dell'energia elettrica (1784), si è passati alla produzione di massa nelle linee di assemblaggio (1870), successivamente all'automazione favorita dalle tecnologie informatiche (1969) e infine oggi alla fusione del mondo fisico con quello virtuale grazie ai sistemi ciberfisici di produzione (2011).

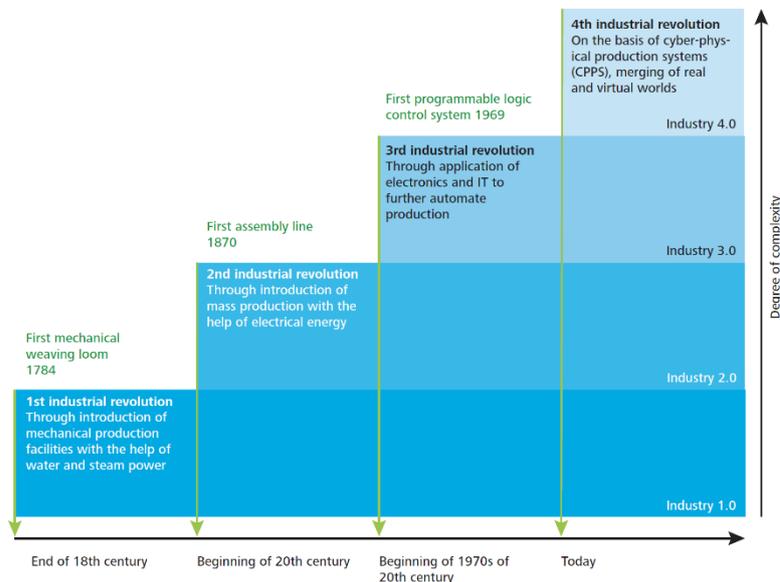


Figura 1: Evoluzione del settore industriale produttivo
(Fonte: Deloitte Digital Press)

Il concetto di Industry 4.0 nasce in Germania nel settore manifatturiero e si è poi diffuso in tutta Europa, Stati Uniti e Asia sotto la spinta propulsiva di governi, università e settori produttivi.

Questo nuovo paradigma industriale è basato su una produzione individuale customizzata, sull'integrazione orizzontale in reti collaborative e sull'integrazione digitale della supply chain. Il vero valore aggiunto è però legato alla diversa concezione di produzione e distribuzione dei prodotti e in modo particolare a come le aziende creano e distribuiscono il giusto valore. Il prodotto in quanto oggetto fisico, trova una nuova dimensione nell'ambito tecnologico, infatti è portatore di informazioni durante tutto il suo ciclo di vita e l'impresa

manifatturiera, per la prima volta, affianca al prodotto fisico, servizi personalizzati, fonte di ulteriore redditività. La manifattura passa dall'essere product-oriented a service-oriented, uno shift tecnologico non indifferente col quale tutte le imprese dovranno confrontarsi nei prossimi anni.

1.2 Cosa è Industry 4.0?

Numerose sono le definizioni tecniche che indentificano cosa realmente sia l'Industry 4.0; in questo caso si è scelto di fare riferimento a quella proposta da Hermann et al. (2015) a seguito di un'approfondita revisione della letteratura:

“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 ciberfisici (CPS) controllano i processi fisici, creano una copia virtuale del mondo 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), entrambi i servizi, interni e inter-organizzativi, sono offerti ed utilizzati dagli attori della catena del valore”

Dunque, sono stati individuati quattro concetti abilitanti per l'I4.0, ovvero: Smart Factory, Cyber-Physical System (CPS), Internet of Things (IoT) e Internet of Service (IoS).

1.2.1 Cyber-Physical System, CPS

I sistemi ciberfisici sono alla base della quarta rivoluzione industriale e forniscono un'integrazione end-to-end di processi fisici e computazionali. In particolare, i CPS sono caratterizzati da una rete di elementi che interagiscono con input e output fisici similmente ad una rete di sensori. Il mondo fisico si fonde con quello virtuale permettendo di monitorare l'ambiente fisico e modificare i relativi parametri [2].

Nelle imprese 4.0, sistemi ciberfisici e umani sono connessi grazie all'internet delle cose e dei servizi. I sistemi CPS comprendono macchine intelligenti, sistemi produttivi e di stoccaggio che sono stati sviluppati digitalmente, beneficiano dell'integrazione ICT end-to-end e incorporano tutti i processi aziendali, dalla logistica inbound, agli acquisti, alla produzione sino al marketing e alla logistica in outbound.

Lee et al. (2015) hanno sviluppato una struttura a 5 livelli per l'implementazione dei CPS nelle fabbriche. Attraverso questa è possibile creare un progressivo flusso di lavoro per applicare i CPS nei siti produttivi e valutare il livello di applicazione.

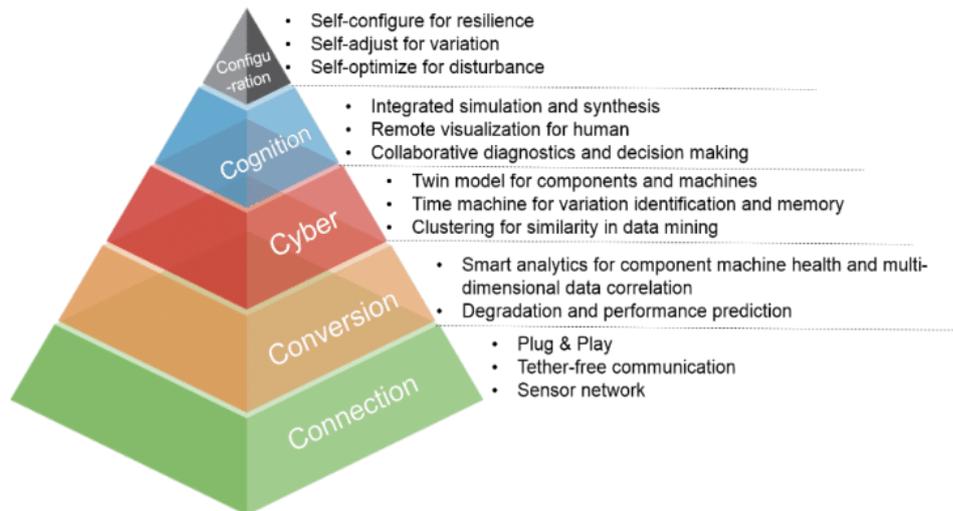


Figura 2 : Architettura a 5 livelli per sistemi CPS [3]

In Figura 2 è illustrata la struttura teorizzata, che identifica i livelli in ordine crescente, partendo dal basso (Livello 1) verso l'alto (Livello 5). Nel livello 1 vengono generati i dati dai differenti macchinari, sensori, componenti e software utilizzati. Al livello 2 i dati vengono analizzati e convertiti per essere utilizzati al livello superiore e garantire l'interoperabilità. Nel livello 3 i dati raccolti da tutti i nodi vengono analizzati e comparati tra loro con lo storico passato. Al livello 4, quello cognitivo, le indicazioni ottenute dalle analisi precedenti vengono raccolte in una dashboard, al fine di rendere l'attività di decisione del management quanto più semplice possibile. Nel livello 5 il CPS è capace di effettuare delle azioni correttive volte a ridurre gli scostamenti o ad effettuare scelte precauzionali per garantire la corretta produzione [3].

Analogamente invece, Hermann et al. (2015) hanno definito 3 fasi caratteristiche nello sviluppo dei CPS, che sono:

- Identificazione delle tecnologie (Es. RFID)
- Sensori e attuatori con un range limitato di funzioni
- Sensori e attuatori multipli, memorizzazione e analisi dei dati e compatibilità di rete

1.2.2 Internet of Things, IoT

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

Industry 4.0 & Digital Twin

Dunque, l'IoT è l'abilità di combinare oggetti fisici con componenti digitali col fine di creare prodotti con funzionalità evolute. Si immagina una termovalvola che permette di regolare la temperatura del termosifone in casa, direttamente dal proprio smartphone, in qualsiasi luogo del mondo, sfruttando semplicemente una connessione internet.

L'IoT è il fondamento delle infrastrutture intelligenti, quali le case, i trasporti, le città, le fabbriche e quanto altro. Proprio le Smart Factory fanno grande uso di tale tecnologia, che nel ramo industriale evolve in Industrial Internet of Things (IIoT), dove il funzionamento è analogo al classico IoT (Figura 3), mentre aumenta la sicurezza offerta da tali dispositivi, la durata della batteria, la resistenza a temperature e condizioni climatiche avverse, l'efficienza operativa e la qualità dei dati raccolti. Inoltre, molto spesso i dispositivi IoT incorporano algoritmi di machine learning e tecnologie big data per sfruttare i dati raccolti e compiere le operazioni deputate.

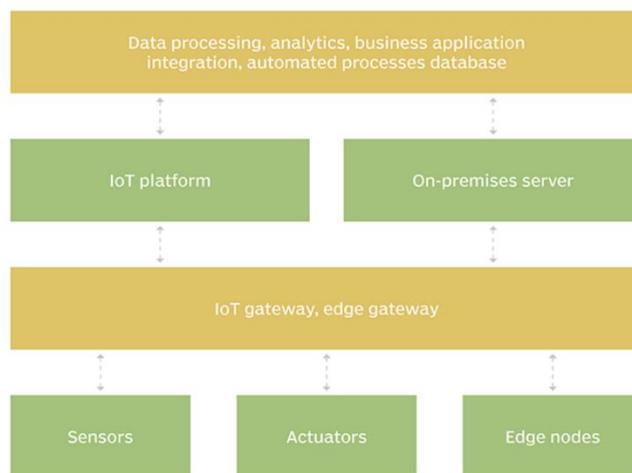


Figura 3 : Funzionamento infrastruttura IIoT (Fonte: TechTarget)

La società di consulenza Bain & Company ha stimato che le applicazioni industriali dell'IoT genereranno più di 300 miliardi di dollari entro il 2020, il doppio rispetto allo stesso mercato, ma lato consumer (IoT).

IDC Research riporta invece che già nel 2018 si sono registrati consistenti investimenti, che ammontano a 189 miliardi di dollari nel settore manifatturiero, 85 nel settore dei trasporti, 73 nel mercato delle utilities e 62 miliardi in quello consumer.

1.2.3 Internet of Services, IoS

Il termine IoS è legato al passaggio verso una manifattura orientata al servizio, un processo lento, graduale ma inarrestabile. La capacità di riconfigurare l'industria manifatturiera su questo nuovo "canale" passa attraverso l'innovazione del modello di business.

Lato cliente, questo cambio di prospettiva, crea maggior valore aggiunto al prodotto, permettendo un monitoraggio costante e un incremento della soddisfazione dello stesso. Lato produttore è possibile invece tenere sotto controllo l'intero ciclo di vita del prodotto, valutare i possibili malfunzionamenti e le fonti di problemi. L'informazione all'interno della supply chain può dunque fluire correttamente, permettendo di schedulare meglio la produzione, e migliorare la fase di R&D dei nuovi prodotti. Lungo le linee produttive i tempi di fermo macchina vengono ridotti in quanto i macchinari sono costantemente tenuti sotto controllo da remoto.

Dunque, con IoS si intende la tecnologia che monitora il ciclo di vita del prodotto al fine di prendere decisioni basate sulle informazioni raccolte ed analizzate con l'aiuto di tecnologie complementari. Infine, l'IoS permette di prevenire i fermi macchina improvvisi con l'obiettivo di mantenere il flusso produttivo costante e garantire l'affidabilità di prodotti e macchinari.

1.2.4 Smart Factory

Le Smart Factory sono fabbriche dove i CPS comunicano attraverso l'IoT assistendo persone e macchine nell'esecuzione delle attività. L'incremento dell'interoperabilità dei processi è tangibile, permettendo così di avere processi che cambiano e si adattano in modo dinamico [4].

Le Smart Factory presentano tre caratteristiche di rilievo:

- Integrazione verticale tra i sottosistemi gerarchici interni dei processi operativi, col fine di ottenere una manifattura adattiva.
- Integrazione orizzontale tra le imprese, volte a creare una rete collaborativa.
- Integrazione digitale end-to-end dell'ingegneria, lungo l'intera value chain, per assistere la personalizzazione del prodotto.

Mentre, i cinque fattori chiave che descrivono una Smart Factory [5] sono:

- Connessione di processi e materiali, al fine di generare i dati necessari per prendere decisioni in tempo reale.
- Ottimizzazione della fabbrica, per ridurre al minimo gli interventi manuali e aumentare l'affidabilità dei processi.
- Trasparenza dei dati raccolti.
- Proattività dei sistemi e degli impiegati, gli attori coinvolti possono anticipare ed agire prima che si manifesti un problema.
- Agilità della fabbrica, si adatta e modifica le schedulazioni produttive con interventi minimi. La fabbrica è capace di auto-configurarsi, aumentare il tempo di attività e migliorare la resa se necessario.

A differenza della produzione tradizionale di massa, all'interno delle Smart Factory si producono piccoli lotti customizzati di diversi prodotti. Lo stesso percorso produttivo del prodotto all'interno di una linea smart è dinamico e cambia automaticamente a seguito della riconfigurazione del sistema. Il CPS è capace di valutare lo stato delle macchine e la numerosità delle risorse e modificare anche in corso d'opera l'avanzamento produttivo schedulato.

Nella produzione tradizionale le attività sono sequenziate in modo tale che ognuna dipenda dal completamento delle precedenti su determinate workstation; così che la rottura di una macchina interrompe il flusso produttivo. In una Smart Factory questo non accade, in quanto ogni macchinario conosce il proprio stato di funzionamento ed è in grado di segnalare preventivamente la necessità di modifiche al piano produttivo. Anche in questo caso è il CPS a raccogliere ed analizzare tutte le informazioni dei vari macchinari e inviarle ad altri attori, o decidere autonomamente sulla base di regole di decisione impostate.

1.3 Tecnologie Abilitanti

1.3.1 Cloud

Il Cloud Computing è sostanzialmente un modello di architettura IT dove i servizi computazionali (Software e hardware) vengono forniti al cliente in tempo reale, indipendentemente da luogo e device, e attraverso internet [4].

Esistono diverse forme di Cloud Computing che definiscono modelli di business differenti:

- SaaS, sta per Software as a Service e corrisponde ad un'applicazione eseguita sull'infrastruttura di un fornitore e viene riconosciuta come un servizio. Il consumatore non ha necessariamente consapevolezza dell'infrastruttura e della sua complessità, ma paga per utilizzare un servizio in base al suo uso.
- PaaS, sta per Platform as a Service, funge da facilitatore per lo sviluppo di applicazioni senza la necessità di dover acquistare e gestire server e software interni. La piattaforma fornisce linguaggi di programmazione, librerie e servizi dedicati sviluppati dal provider, in questo modo il cliente può abbattere i costi fissi, mentre il provider fa scala.
- IaaS, sta per Infrastructure as a Service, un vero e proprio outsourcing delle risorse in termini di spazio, rete e potenza computazionale.
- CaaS, sta per Container as a Service, ovvero un servizio online di virtualizzazione a container. Il fornitore del servizio cloud permette all'utente di sviluppare i software in container di applicazioni, per poi successivamente eseguirli, testarli e distribuirli sfruttando infrastrutture informatiche ad hoc.

L'estensione di questa tecnologia alla produzione, consente di avviare la transizione verso un'industria manifatturiera basata sui servizi e conosciuta come Cloud Manufacturing (CMfg), in cui risorse e capacità produttive delle aziende possono essere legate attraverso il cloud ai potenziali clienti.

I vantaggi per le imprese, anche senza abbracciare il CMfg, sono tangibili e permettono di abbattere i costi fissi e di manutenzione. Gli sprechi vengono ridotti, in quanto si paga il servizio solo per il suo reale uso. Le PMI possono rendersi più competitive verso le grandi imprese e la scalabilità è garantita.

Secondo Gartner il tasso di crescita annuo del mercato cloud globale dovrebbe attestarsi sul +13,5% fino al 2020, con un valore di 411,4 miliardi di dollari. A crescere maggiormente saranno i servizi IaaS e PaaS rispetto a SaaS.

1.3.2 Cybersecurity

L'industry 4.0 porta con sé numerose innovazioni, l'interconnessione dei macchinari, la raccolta dei dati, la digitalizzazione di processi prima svolti da operatori. Ma queste innovazioni necessitano di essere governate, soprattutto lato sicurezza, in quanto aumenta l'esposizione a possibili attacchi informatici. Per tale motivo il livello di sicurezza adottato deve essere sempre alto e adeguato alla tipologia di processo che si intende proteggere [6].

Industry 4.0 & Digital Twin

A differenza del settore IT in generale, dove il focus degli attacchi sono le informazioni confidenziali; all'interno di una smart factory il focus è la disponibilità e l'integrità del processo fisico.

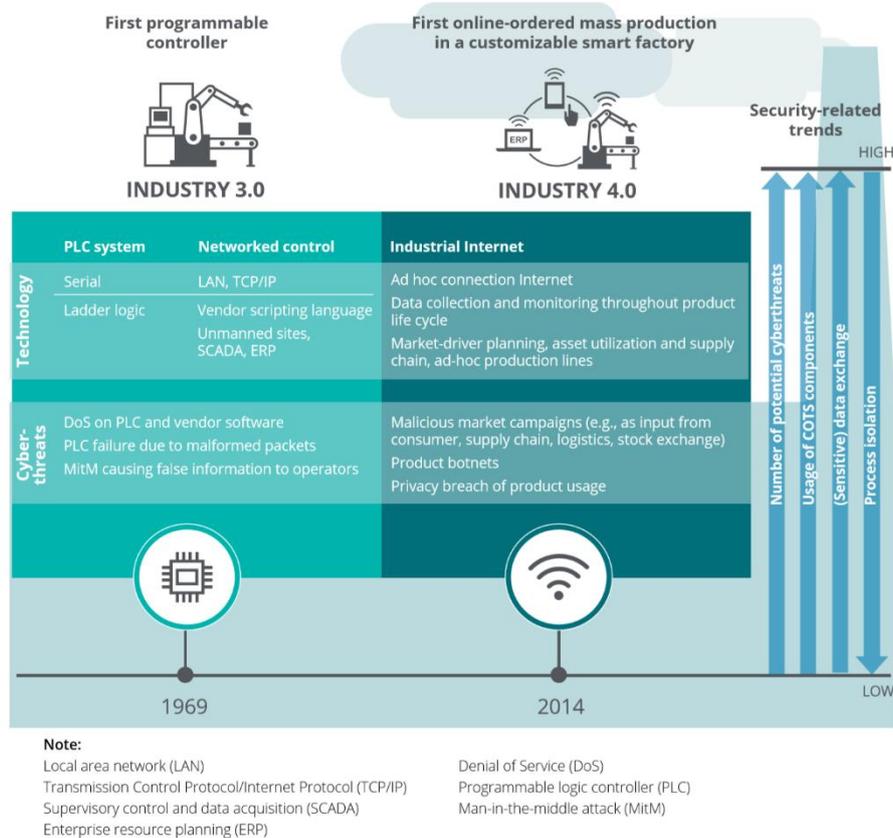


Figura 4 : Evoluzione delle tecnologie industriali e dei relativi rischi cibernetici (Fonte: Deloitte Press)

Un altro elemento di estremo interesse è che nell'era Industry 4.0 i rischi informatici non si estendono solo alla produzione e non si esauriscono con la vendita del prodotto. Gli oggetti, ora connessi nel mondo di internet sono essi stessi una possibile porta di ingresso per attacchi informatici. I dispositivi IoT, se compromessi, potrebbero provocare fermi macchina, danni agli impianti, rischi per la salute dei dipendenti, danni d'immagine e perdite monetarie.

Dunque, le imprese dovrebbero prevedere un approccio integrato alla sicurezza che parta dalla definizione di un framework per la cybersecurity. Inoltre, dovrebbero adottare tecnologie di rilevamento e prevenzione dalle intrusioni di ultima generazione, quali: monitoraggio dell'integrità, chiusura delle porte TCP/IP non necessarie, patching virtuale, analisi sandbox avanzata, machine learning, rilevamento malware, protezione antispam, firewall e varie altre [7].

Con l'industria manifatturiera e dei servizi in uno stadio di trasformazione avanzato si è assistito al rapido sviluppo del mercato della cybersecurity, che è passato da asset di investimento secondario, all'essere di vitale importanza per tutte le imprese moderne. Economicamente parlando, nel 2015 Gartner ha stimato la dimensione del mercato della cybersecurity in 75,4 miliardi di dollari con una previsione di raddoppio entro il 2020.

1.3.3 Big Data analytics

L'APICS (Associazione per la gestione della supply chain) definisce i big data come:

“Una raccolta di dati e tecnologie che accedono, integrano e segnalano tutti i dati disponibili filtrando, correlando e segnalando intuizioni non raggiungibili con le tecnologie di analisi dato del passato”

Il costante processo di digitalizzazione dell'industria manifatturiera, ha portato alla raccolta di un numero sempre crescente di informazioni; dati che non sono però facilmente gestibili dai database tradizionali, sia per la complessità, che per il peso in termini di spazio occupato.

La raccolta e l'analisi dei dati rilevanti di produzione sono la chiave di volta per un processo decisionale efficiente, questi vengono analizzati al fine di migliorare la capacità produttiva, l'efficienza, la sicurezza e la continuità operativa, ma soprattutto permettono ai manager di prendere decisioni, basandosi sulle evidenze, piuttosto che sulle intuizioni [4]. I grandi dati industriali hanno le caratteristiche delle "5V", ovvero volume, velocità, varietà, veridicità e valore, che hanno messo a dura prova l'utilizzo delle tecniche tradizionali di elaborazione del segnale per analizzare i grandi dati industriali. L'elaborazione di questi dati comporta la necessità di formattazione, di riduzione della dimensione, l'identificazione di modelli nascosti, la valutazione e la previsione delle prestazioni. Il tutto considerando che il dato può presentarsi in forma strutturata, semi-strutturata o non strutturata [8].

Si comprende quindi la necessità di utilizzare strumenti adeguati, che implementino algoritmi di Machine Learning e concetti di Artificial Intelligence per velocizzare il processo di estrapolazione delle informazioni.

Bain & Company riporta che solo il 4% delle imprese al mondo fanno un buon uso dell'analisi dei dati, eppure uno studio dell'Università del Texas effettuato sul database di imprese della classifica Fortune 1000 evidenzia, come un incremento del 10% nell'uso dei dati raccolti, potrebbe aumentare i ricavi di queste imprese di 2 miliardi di dollari,

incrementare il ritorno sul capitale del 16% e incrementare il ritorno sugli investimenti dello 0,7% [9].

1.3.4 Artificial Intelligence & Machine Learning

Il termine Artificial Intelligence (AI) descrive l'abilità di una macchina o di un sistema software di emulare le capacità cognitive della mente umana [10]. I componenti fondamentali per creare un'intelligenza artificiale sono: una macchina o generalmente un robot; il software, fondamentale per l'apprendimento; l'IoT, in quanto i sensori interagiscono col sistema e l'uso del cloud, indispensabile per la mole di dati/comandi da scambiare.

Il Machine Learning (ML) è un sottoinsieme dell'Artificial Intelligence, questa tecnologia riproduce il funzionamento della mente umana che per apprendere prima imita, poi prova e commette errori (euristica) e infine ripete e memorizza. Il punto di forza del ML sono gli input, l'analisi basata sui dati e il processo decisionale informato. A differenza delle classiche istruzioni per l'uso del computer, il ML è specializzato in previsioni nell'ambito della statistica computazionale e della probabilità [10].

In una fabbrica intelligente in cui macchine, componenti e interfacce comunicano tra loro, è possibile raccogliere dati preziosi per ottimizzare il processo di produzione. Questi dati facilitano l'ottimizzazione dei processi grazie alle intelligenze artificiali, ad esempio utilizzando algoritmi di riconoscimento delle immagini per smistare gli oggetti sui nastri trasportatori, oppure monitorando il consumo energetico dei macchinari per valutare lo stato e la necessità di manutenzione [10]. Altre applicazioni riguardano la possibilità di utilizzare bracci robotici (COBOT) capaci di collaborare con gli umani e svolgere attività pesanti, senza mai mettere a rischio la vita delle persone, questo perché grazie all' AI e al ML riconoscono determinate situazioni e apprendono, dagli eventi nuovi, come comportarsi in futuro.

Da un'analisi condotta da BCG [11] è emerso che l'uso di AI può ridurre i costi di conversione dei produttori fino al 20% e fino al 70% di riduzione costi derivanti da una maggiore produttività della manodopera.

1.3.5 Robotics

L'uso dei robot nell'industria manifatturiera moderna, gioca un ruolo estremamente importante. Negli ultimi anni, il numero di robot industriali sviluppati si è raddoppiato [12],

segno che il mercato sta recependo le possibili applicazioni, anche grazie ad una costante diminuzione dei prezzi.

Aspetto essenziale dell'Industry 4.0 sono i metodi di produzione autonoma grazie a robot che svolgono le attività previste in modo intelligente, con particolare attenzione a sicurezza, flessibilità, versatilità e collaborazione. La possibilità di integrare i robot negli spazi di lavoro umano apre a diverse possibili applicazioni di tipo collaborativo, dall'area produttiva, a quella logistica, alla distribuzione dei documenti negli uffici [13].

Nei casi di sistemi di assemblaggio, le parti del processo possono essere automatizzate solo parzialmente e spesso l'automazione non è economicamente conveniente. Questi compiti complessi, che cambiano rapidamente, richiedono gli occhi e le mani di operatori specializzati. Tuttavia, al fine di soddisfare entrambe le esigenze, si possono implementare linee ibride con bracci robotici che possono lavorare fianco a fianco con i lavoratori (COBOT) [14].

Tra i produttori più famosi di robot si ricordano Kuka, ABB, Bosch, Kawada Industries e molti altri. Tutti questi hanno però un elemento comune di criticità, ovvero usano un linguaggio di programmazione proprietario, e spesso, è difficile integrare questi robot in una linea composta da macchinari estremamente diversi. A riguardo esiste un sistema operativo dedicato ai robot (ROS) che permette la gestione di sensori, navigazione, simulazione e tutte le funzioni base per effettuare i movimenti. Questo sistema operativo potrebbe sicuramente semplificare il processo di integrazione, ma non tutti i produttori sviluppano robot "Ros-compliant".

La società di consulenza BCG ha stimato che la spesa globale per robot industriali crescerà rapidamente nei prossimi anni. Le statistiche in Figura 5 mostrano una previsione di spesa di 16,7 miliardi di dollari nel 2020 e circa 24 miliardi di dollari nel 2025.

Industry 4.0 & Digital Twin

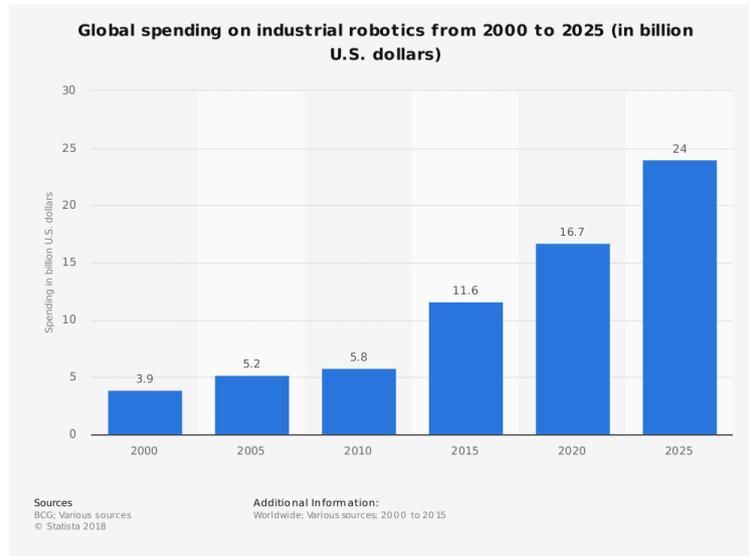


Figura 5 : Spesa globale robot industriali

1.3.6 Additive Manufacturing

Con il termine Additive Manufacturing si intende:

“Il processo di giunzione dei materiali, strato per strato, in contrapposizione ai metodi di produzione sottrattiva” (ISO 2017)

Più comunemente si parla di stampa 3D, ovvero di una stampante capace di stampare un oggetto tridimensionale partendo da un semplice file CAD. I materiali industriali attualmente stampabili, vanno dai polimeri alla ceramica, compresi i metalli.

Esistono 7 tipologie di Additive Manufacturing, che si differenziano per materiali e tecnica di stampaggio [15]:

- **Material Extrusion:** conosciuta come FDM, usa un ugello che costruisce i modelli sovrapponendo il materiale fuso in piccole corde appiattite.
- **Binder Jetting:** questa tecnologia usa una testina di stampa che lega selettivamente il materiale in polvere. La polvere in eccesso viene eliminata successivamente.
- **Material Jetting:** utilizza una testina per depositare gocce di cera o altro materiale, metallo compreso. Quando il materiale si raffredda e solidifica, viene aggiunto un nuovo strato per formare il modello completo.
- **Powder bed fusion:** comprende diverse tecniche, come la sinterizzazione laser a metallo diretto e la sinterizzazione laser selettiva. Utilizza un laser per fondere insieme la polvere del materiale.

- Direct Energy Deposition: un ugello montato su un braccio multiasse che utilizza un filo metallico o della polvere. La polvere o il filo vengono fusi e saldati sullo strato precedente da un laser.
- Vat Photopolymerization: una vasca piena di resina fotopolimerica liquida, viene polimerizzata attraverso l'esposizione selettiva a luce di diverse frequenze. Le aree esposte si solidificano, permettendo di ottenere l'oggetto finale.
- Sheet Lamination: una serie di fogli di materiale metallico/plastico vengono impilati e laminati. Le parti non necessarie vengono ritagliate strato per strato e rimosse a seguito della creazione dell'oggetto.

In origine la produzione additiva era utilizzata soltanto per le fasi di prototipazione, mentre oggi è sempre più applicata ai prodotti finali. In molti casi può considerarsi un'integrazione delle tecnologie di produzione tradizionali, ma in altri è l'unico modo col quale fabbricare prodotti dalla complessa geometria; a riguardo si pensi al settore aeronautico.

I vantaggi offerti dall'Additive Manufacturing sono vari [16]:

- Nessun vincolo di complessità, il prodotto non deve essere modificato per renderlo conforme alla produzione tradizionale.
- Dimensione minima del lotto pari ad uno, il costo di ogni unità prodotta non è direttamente dipendente dalla dimensione del lotto.
- Nessun vincolo di tempo e luogo per la produzione, un prodotto può essere stampato quando necessario e non necessariamente presso gli stabilimenti del produttore.
- Riduzione degli sprechi, si risparmia sui costi del materiale, in quanto la produzione è additiva e non sottrattiva.

Questi vantaggi sono tali per prodotti o componenti tecnicamente complessi, in lotti di dimensione limitata e per prodotti piccoli.

Dunque, l'AM apporta numerosi benefici nell'industria manifatturiera. Sicuramente la riduzione del time-to-market grazie ad una velocizzata fase di prototipazione, ma anche un miglioramento dell'attività di manutenzione macchinari, tempi di assemblaggio e costi di attrezzaggio, in quanto le parti necessarie possono essere stampate direttamente in loco.

Secondo un report di IDC, la dimensione del mercato della stampa 3D, a fine 2018, sarà di 14 miliardi di dollari ed entro il 2022 è prevista una crescita fino a 22 miliardi. Stampanti

e materiali 3D rappresenteranno quasi la metà delle entrate totali, mentre il mercato dei software CAD e dei servizi di fornitura parti su richiesta, dovrebbero quasi triplicare [17].

1.3.7 Virtual Reality & Augmented Reality

Molto spesso i termini VR e AR vengono utilizzati come sinonimi, ma questo è sbagliato, in quanto seppur condividono molti aspetti in comune, a cambiare è la tipologia di interazione col mondo circostante.

Nel contesto produttivo e di prototipazione, col termine VR si intende una simulazione digitale di un prodotto o un ambiente, spesso con la possibilità per l'utente di interagire ed immergersi in esso. Con il termine AR si identifica la tecnologia che proietta il prodotto o l'informazione digitale su uno sfondo reale, ovvero l'ambiente fisico circostante, piuttosto che uno simulato digitalmente come il VR.

Lato sviluppo del prodotto, realtà virtuale e aumentata contribuiscono a perfezionare i progetti in fase iniziale. Le bozze o concept possono essere rivisti velocemente e modificati se necessario, inoltre i modelli digitali possono essere testati virtualmente e simulati con strumenti ad hoc. Lato produzione, le aziende possono pianificare i loro processi di produzione e assemblaggio in modo completamente virtuale. In particolare, grazie alla tecnologia AR, che non estrania il lavoratore dal contesto produttivo, è possibile aumentare le capacità del dipendente che può effettuare assemblaggi complessi, senza dover necessariamente ricordare ogni singolo passaggio. Anche gli addetti alla manutenzione, se dotati di visori AR, possono effettuare agevolmente la manutenzione su un macchinario nuovo senza averne una conoscenza approfondita. Inoltre, in caso di necessaria assistenza di un tecnico esperto, questo può intervenire in modo digitale direttamente da remoto [18].

I possibili altri campi di applicazioni, di tali tecnologie, sono però numerosi. Si pensi alla qualità dei prodotti, all'automazione produttiva, all'apprendimento condiviso, alla gestione del magazzino, alla valutazione dei rischi ecc.. Nonostante ciò, secondo un'analisi di IDC, nel 2017 il segmento maggiormente interessato a queste tecnologie è stato quello consumer e questo nonostante i numerosi problemi di privacy legati all'uso in pubblico [19].

Sempre più aziende manifatturiere e di ingegneria si rendono conto delle potenzialità di VR e AR. Tra i settori che ne traggono maggiori vantaggi vi sono quelli aerospaziale, automobilistico, energetico, difesa e medico. Inoltre, le grandi aziende stanno spingendo per integrare le PMI della loro supply chain all'interno del mondo VR/AR, che permette di

lavorare utilizzando modelli digitali e interagire con team multifunzionali in diversi luoghi del globo [20].

1.4 Le principali caratteristiche dell'Industry 4.0

L'industria manifatturiera tradizionale ha un potenziale tutt'oggi inespresso. L'accelerazione imposta dalla quarta rivoluzione industriale, permetterà di colmare il gap tra PMI e grandi imprese, proprio grazie all'innovazione tecnologica.

Un'impresa 4.0 presenta quindi 4 caratteristiche fondamentali:

- Integrazione verticale tra tutti i livelli gerarchici della catena del valore
- Integrazione orizzontale tra tutti gli attori della supply chain
- Progettazione end-to-end che lega tutte le fasi di ideazione, produzione e distribuzione di un prodotto
- Integrazione tecnologica

1.4.1 Integrazione Verticale

Si parla di integrazione verticale in riferimento al collegamento e alla digitalizzazione tra i diversi livelli gerarchici della catena del valore. A partire da un processo di ordine digitale, allo sviluppo del prodotto fino al trasferimento delle informazioni di produzione all'interno di un sistema gestionale integrato. Tutti i processi sono possibili grazie all'uso dei CPS che permettono di gestire e organizzare in modo autonomo la produzione, ma anche di reagire rapidamente ai cambiamenti di domanda, livelli di stock, difetti. Tutte le attività produttive, vengono monitorate e le performance registrate, così da permettere che tutta l'organizzazione aziendale sia attenta e vigile sull'andamento produttivo.

Le Smart Factory, si distinguono per la possibilità di una produzione individuale e fortemente customizzata in base alle richieste del cliente. Così per poter garantire l'espletamento di un numero di ordini variabili e un numero di personalizzazioni elevato, l'integrazione verticale, diventa elemento distintivo permettendo il mantenimento di una struttura produttiva snella, flessibile e riconfigurabile [1] [21].

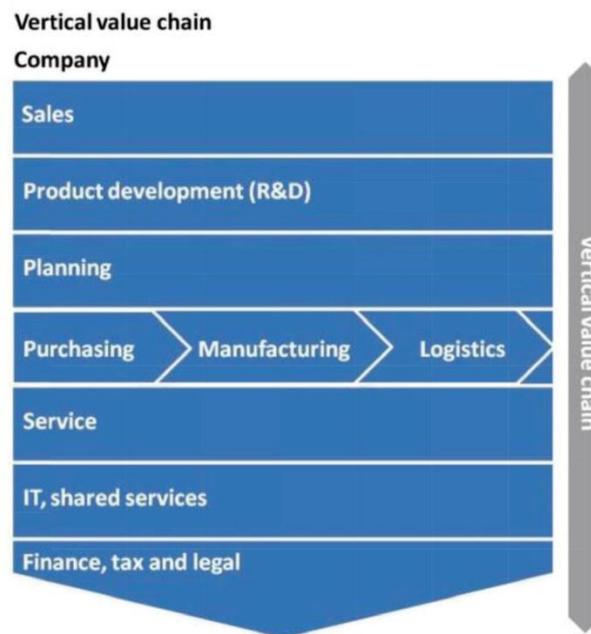


Figura 6 : Integrazione verticale lungo la catena del valore

1.4.2 Integrazione Orizzontale

Per integrazione orizzontale si intende la rete per la creazione del valore che include sia funzioni interne che esterne della catena fornitori.

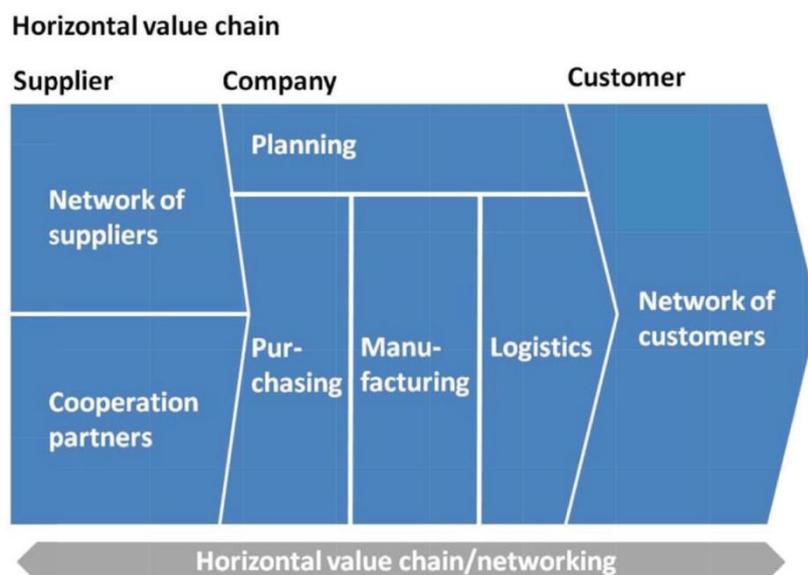


Figura 7 : Integrazione orizzontale della catena fornitori

L'integrazione orizzontale, permette dunque di ottimizzare l'intero flusso di informazioni e beni che attraversano la catena, dal fornitore passando per l'impresa, fino al cliente finale. Anche in questo caso il protagonista è il CPS che garantisce integrità, alto livello di

flessibilità e ottimizzazione globale, oltre ad assicurare che l'interconnessione tra le aree/funzioni interne sia sincronizzato con quelle esterne.

La trasparenza all'interno della catena risulta in questo caso fondamentale, tutti gli attori hanno libero accesso all'informazione, garantendo così l'assenza dell'effetto bullwip. Ovviamente sorgono numerose questioni di tipo legale legate alla protezione del dato e alla proprietà dello stesso, dunque la necessità di un elevato livello di sicurezza e un framework di gestione rischi, sono essenziali [1] [21].

1.4.3 Progettazione End-to-End

Nell'Industry 4.0 anche il processo di ingegnerizzazione muta, passando così da un'attenzione mirata al solo processo di produzione, al considerare anche il prodotto finale. Il focus dell'ingegneria end-to-end è l'intero PLC¹, tutte le fasi vengono seguite attentamente, monitorate e se necessario modificate. Sviluppo e produzione lavorano sinergicamente insieme, garantendo il miglioramento continuo di tutte le fasi del PLC.

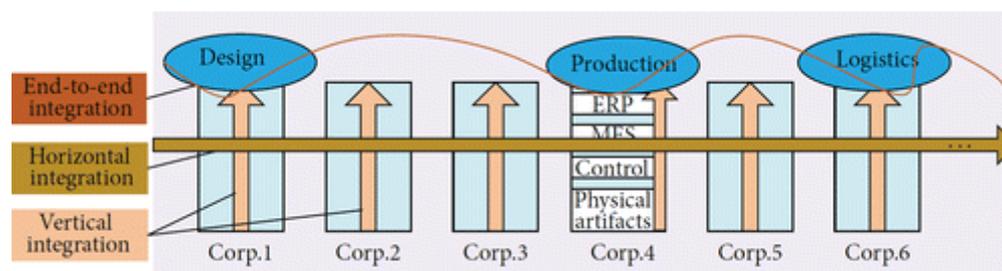


Figura 8 : Confronto Integrazione verticale, orizzontale e end-to-end

In Figura 8 è possibile osservare graficamente come solo a seguito di un'integrazione orizzontale e verticale, si possa procedere attraverso un'integrazione end-to-end volta a garantire l'integrità e l'ottimizzazione del ciclo di vita del prodotto [1] [21] [22].

1.4.4 Integrazione Tecnologica

Una Smart Factory utilizza diversi componenti, macchinari, interfacce e dunque integra in modo coerente diverse tecnologie. L'utilizzo dei CPS facilita tale compito, spostando la comunicazione sul piano digitale piuttosto che su quello fisico.

I sistemi informativi, dei vari attori all'interno della catena del valore, elaborano informazioni preziose che sono recepite automaticamente dai sistemi produttivi a monte e a valle e utilizzate per modificare le quantità da produrre.

¹ Product Life Cycle

Ad oggi la maggior parte di queste informazioni vengono raccolte, ma non esistono sistemi automatici in grado di elaborarle e modificare autonomamente il flusso produttivo. La vera sfida in questo caso si rivolge alle PMI, capaci di garantire la flessibilità necessaria per poter automatizzare determinati processi.

1.5 Piano di incentivazione italiano per l'Industry 4.0

A seguito di un approfondimento tecnico normativo, avviato nel 2016 dal governo italiano, nel settembre dello stesso anno è stato varato il piano “Industria 4.0” poi rivisto nel 2018 e rinominato “Impresa 4.0”. Il piano si pone come un'articolata raccolta di forme di incentivazione rivolte alle imprese di qualsiasi dimensione, che vogliono innovare i propri processi produttivi sia di servizi che di beni.

Alcune forme di incentivazione preesistenti che si erano dimostrate efficaci, sono state potenziate ed orientate verso le necessità dell'Industria 4.0, mentre altre sono state create ad-hoc.

Gli incentivi inclusi nel piano [23]:

- Iper e Super Ammortamento: prevede la supervalutazione rispettivamente del 250% e 140% degli investimenti effettuati in beni materiali e immateriali nuovi necessari per la trasformazione tecnologica dei processi produttivi. Tutti i soggetti titolari di reddito d'impresa possono accedere all'incentivo.
- Nuova legge Sabatini: conosciuta anche come “Misura Beni Strumentali” è una forma di sostegno degli investimenti effettuati dalle PMI in acquisti o, acquisizioni a mezzo leasing, di macchinari, impianti, attrezzature, software, hardware e altre tecnologie digitali. A seguito della richiesta di finanziamento ad un istituto di credito o società di leasing convenzionato, si può beneficiare del contributo in conto interessi, che prevede il rimborso di buona parte degli interessi pagati.
- Fondo di Garanzia: ha la finalità di garantire l'accesso alle fonti finanziarie, da parte delle PMI, senza la necessità di presentare garanzie aggiuntive sugli importi garantiti dal fondo.
- Credito d'imposta per la Ricerca e Sviluppo: prevede un credito d'imposta del 50% sulle spese di R&S fondamentale, industriale e sperimentale. Ad ogni beneficiario sono riconosciuti fino ad un massimo annuale di 20 milioni di euro. L'incentivo si rivolge a tutti i soggetti titolari di reddito d'imposta.

- Patent box: prevede un regime di tassazione agevolato per tutti i redditi da utilizzo software protetti, brevetti industriali, formule e invenzioni industriali, disegni e modelli di processi. L'obiettivo è favorire le attività di ricerca e sviluppo sul mercato italiano.
- Incentivi Start up e PMI innovative: sgravi fiscali per i soggetti che hanno investito in startup e PMI innovative con lo strumento dell'equity crowdfunding.
- Credito d'imposta per la formazione: prevede un credito d'imposta del 40% sulle spese relative alla formazione dei dipendenti riguardo l'apprendimento di competenze connesse alle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0. Ad ogni soggetto beneficiario sono riconosciuti fino ad un massimale di 300000 euro l'anno. L'incentivo si rivolge ad imprese presenti sul territorio italiano o residenti all'estero con organizzazione stabile in Italia.
- Accordi per l'innovazione: le imprese che presentano progetti di ricerca e sviluppo sperimentali anche in modo congiunto con centri di ricerca o altre imprese, possono beneficiare di agevolazioni nella forma di, contributo diretto alla spesa o finanziamento agevolato.
- Contratti di sviluppo: si rivolge a programmi strategici e di sviluppo di grandi dimensioni. Sono finanziabili programmi di sviluppo industriali, per la tutela ambientale e di sviluppo per le attività turistiche. Le agevolazioni fiscali sono concesse per importi di spesa non inferiori a 20 milioni di euro.

Sicuramente, tra i tanti incentivi, quelli più appetibili per le imprese sono l'iper e il super ammortamento. A riguardo però viene richiesto il rispetto di precisi vincoli, quali l'interconnessione ai sistemi informativi della fabbrica, l'integrazione automatizzata col gestionale logistico, controllo del macchinario a mezzo CNC e PLC, monitoraggio continuo, telemanutenzione e altre caratteristiche di minore rilievo.

1.5.1 Risultati di medio periodo del piano Industria 4.0

L'8 Febbraio 2018 sono stati illustrati i risultati del piano Industria 4.0 ottenuti nel biennio 2016-2017 e in contemporanea è stata annunciata la sua evoluzione nel piano Impresa 4.0, aggiungendo alcune forme di incentivo non presenti precedentemente.

Nel gennaio-giugno 2017 si è verificato un aumento degli investimenti fissi lordi del 9% rispetto allo stesso periodo del 2016. Nel dettaglio (Figura 9) gli investimenti principali nel 2017 si sono concentrati su Software, IoT e Cloud e ad effettuarli maggiormente sono stati

le grandi imprese. La previsione per il 2018 vede un aumento generale di investimenti e l'assottigliamento del gap tra grandi e medie imprese.

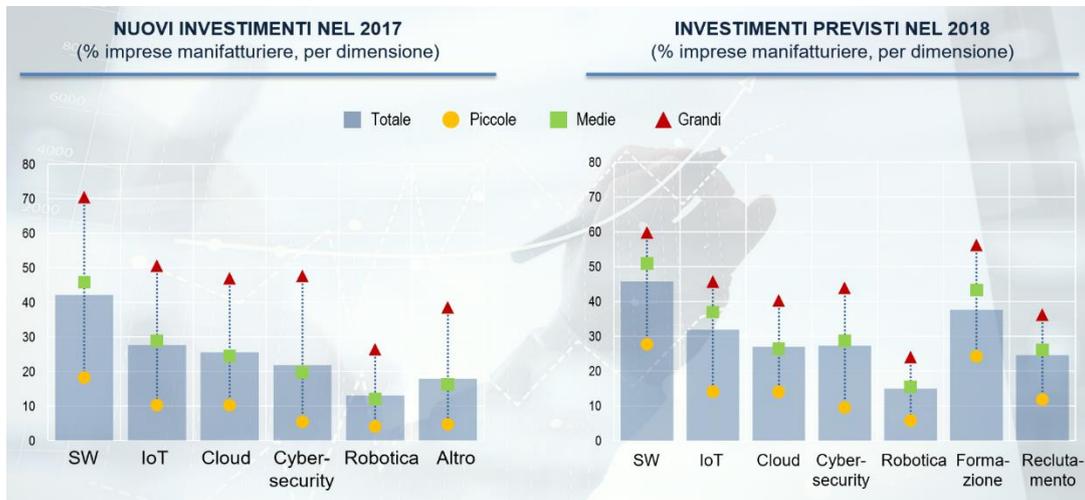


Figura 9 : Dettaglio investimenti in tecnologie digitali (Fonte: ISTAT)

Tra i numerosi incentivi messi in campo, quelli ritenuti più interessanti, sono stati super ammortamento, iper-ammortamento e credito d'imposta. Si veda Figura 10.

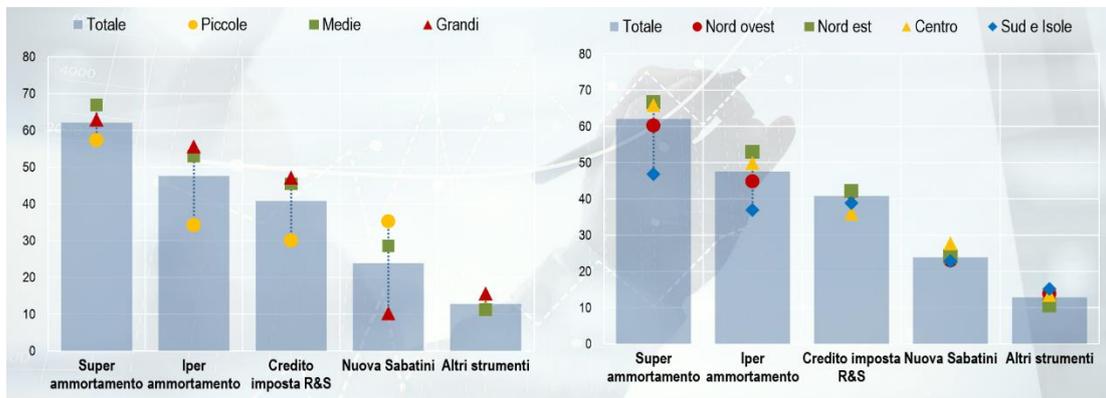


Figura 10 : Analisi rilevanza degli incentivi per le imprese (Fonte: ISTAT)

Inoltre, le imprese maggiormente interessate al super e iper-ammortamento sono localizzate nel nord e centro Italia; mentre per credito d'imposta e legge Sabatini la preferenza è pressoché uguale in tutta Italia.

Lato ordinativi, l'Italia ha registrato nel 2017 un fatturato di 10 punti percentuali superiore a quello della Germania (Macchinari ed altri apparecchi), mentre ha recuperato la differenza con la stessa per quanto riguarda le apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Tutto ciò, unito all'aumento delle esportazioni di beni e degli investimenti in R&S, dimostra la buona riuscita del primo piano di incentivi italiano volto a sostenere la quarta rivoluzione industriale. Nella nuova revisione del piano, l'introduzione del credito

d'imposta per la formazione, probabilmente aiuterà a colmare il gap di competenze dei dipendenti italiani rispetto a quelli europei. Inoltre, l'avvio dei Competence Center, sarà sicuramente cruciale, per indirizzare le piccole e medio imprese verso gli investimenti nelle tecnologie più adatte al loro business [24] [25].

1.6 Digital Twin, Overview

A fine 2016 e ad ottobre 2017, Gartner inserisce il Digital Twin (DT) nella top 10 delle tendenze tecnologiche strategiche per l'anno successivo. Anche IDC fa lo stesso per la sua top 10 delle previsioni per il 2018 (IDC FutureScape: Worldwide IoT 2018 Predictions) [26] [27].

Ma, cos'è un Digital Twin?

La prima definizione concettuale del DT è stata data nel lontano 2002 dal dr. Grieves in una presentazione sul Product Lifecycle Management (PLM). Di seguito una slide tratta dalla presentazione.

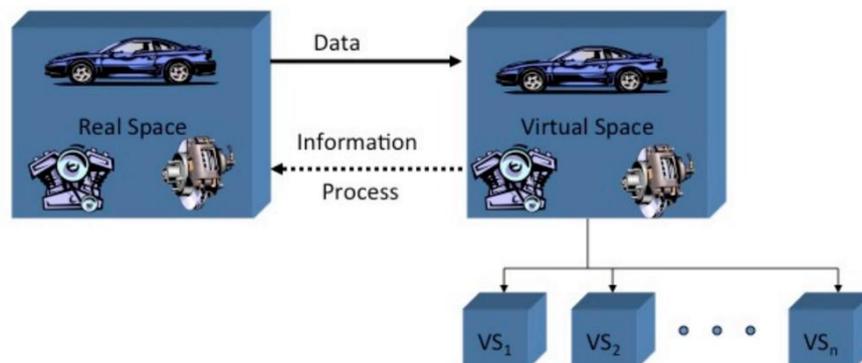


Figura 11 : "Conceptual Ideal for PLM" [28]

Come si può vedere in Figura 11 sono presenti, uno spazio reale, uno virtuale, il collegamento per il flusso di dati tra lo spazio reale e virtuale e viceversa dallo spazio virtuale a quello reale e ai sottospazi [28]. Questa rappresentazione seppur semplificata, descrive un gemello digitale.

Il termine Digital Twin appare però per la prima volta in una pubblicazione della National Aeronautics and Space Administration (NASA) nel 2010. Questa lo definisce 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” [29]

Attraverso due dimensioni principali, tempo e livello di dettaglio, i dati rilevanti vengono raccolti continuamente e poi trasferiti in tempo reale al DT del sistema. Secondo la NASA, le principali funzioni del DT possono essere riassunte in [29]:

- **Predizione:** vengono effettuate analisi di tipo predittivo mentre il sistema è in funzione.
- **Sicurezza:** il monitoraggio e controllo costante del sistema garantisce la sicurezza dello stesso.
- **Diagnosi:** il sistema analizza eventuali perturbazioni non predette.

Per Boschert e Rosen (2016) il DT è lo step successivo della simulazione. Quando il DT è totalmente integrato nel sistema, questo è il principale strumento di supporto alle decisioni.

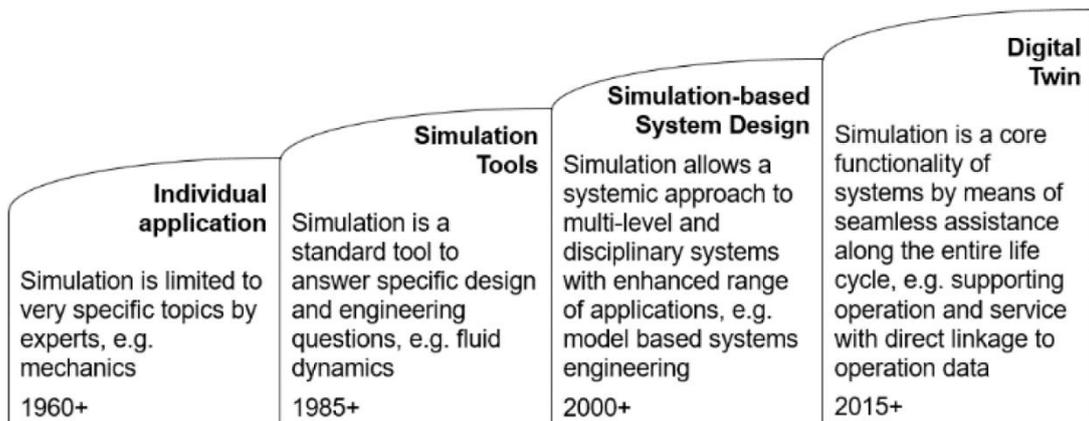


Figura 12 : Evoluzione del Digital Twin [30]

Ma affinché si arrivi a ciò, il DT dovrà avere un’architettura che connette dati ingegneristici e operativi attraverso differenti modelli di simulazione. Questi, devono essere prima generati manualmente e dopo aggiornati da un sistema intelligente di gestione dei modelli, capace di scegliere il giusto modello per il problema specifico [30].

Schluse and Rossmann (2016) considerano il Digital Twin come la rappresentazione virtuale di un oggetto (ma teoricamente anche un soggetto) basato su: modelli dei suoi dati, funzionalità e interfacce di comunicazione. Viene introdotto un database capace di integrare

diverse fonti di dati e sistemi di simulazione, permettendo così di eseguire ogni possibile tipologia di simulazione [31].

Stark et al (2017) si focalizzano sui sistemi di produzione e definiscono il DT come, un collegamento tra il Digital Master, rappresentante il modello universale di simulazione del sistema fisico, e il Digital Shadow, ovvero tutti i dati operativi. Il collegamento è rappresentato da algoritmi, modelli di simulazione e altre tipologie di relazioni [32].

Negri et al. (2017) considerano il DT come una rappresentazione di un oggetto fisico. Questa rappresentazione è basata su un modello semantico dei dati che permette di effettuare simulazioni in diversi scenari. In questo caso, il modello semantico aggiorna continuamente la rappresentazione virtuale grazie ai dati in tempo reale, mentre la simulazione aiuta a predire il comportamento futuro dell'oggetto [33].

Kunath et al (2018) focalizzando l'attenzione sui sistemi di manifattura, definiscono il Digital Twin come una rappresentazione orientata di dati di tutti gli elementi di un sistema produttivo, del flusso di materiale, del flusso di valore e delle risorse umane. Questa rappresentazione è connessa ai rispettivi elementi fisici attraverso sensori, attuatori e sistemi di comunicazione, al fine di supportare il concetto di sistema ciberfisico di produzione (CPPS) [34].

Dunque, riassumendo, il DT in senso stretto assolve al problema di come simulare l'oggetto fisico in modo realistico, mentre in senso ampio è un sistema integrato che può simulare, monitorare, calcolare, regolare e controllare lo stato e i processi del sistema. I componenti principali di un DT sono:

- Spazio fisico
- Spazio digitale
- Layer di processamento che connette i due spazi

Il DT in senso ampio potrebbe essere considerato una sorta di CPS, in quanto realizza la fusione tra spazio fisico e virtuale. Questa affermazione è però sbagliata, in quanto il DT si focalizza maggiormente su dati e modelli di simulazione ultra-realistica [35].

Il DT va considerato un paradigma a sé stante, che sfrutta le tecnologie abilitanti di Industry 4.0 per creare un duplicato digitale di un oggetto fisico (Figura 13).

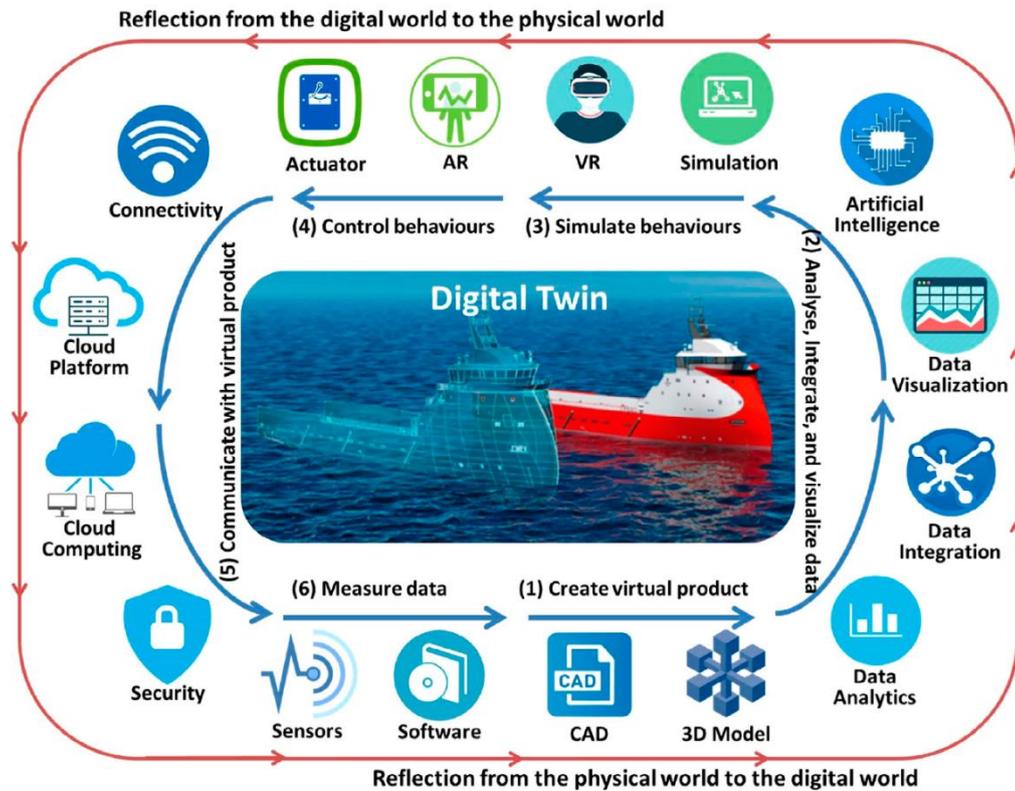


Figura 13 : Tecnologie abilitanti del Digital Twin [36]

Questo include un modello fisico, un modello virtuale e una connessione tra modello fisico e virtuale. Per permettere l'interazione, la comunicazione e la collaborazione tra spazio fisico e cibernazio, l'utilizzo dei CPS è fondamentale. La raccolta dei dati, avviene attraverso sensori e attuatori (IoT) che inviano le informazioni al DT in cloud. Le informazioni vengono elaborate applicando tecniche di Big Data Analytics e ove possibile i risultati vengono confrontati da una AI per mezzo di algoritmi di ML. Parallelamente il DT simula il suo funzionamento sulla base delle informazioni raccolte e sfrutta queste simulazioni o come benchmark di confronto con l'andamento reale o per modificare il funzionamento/settaggio dell'oggetto fisico duplicato.

1.7 Alcune applicazioni del Digital Twin

Negli ultimi anni le strategie nazionali riguardo la manifattura sono cambiate. Il confronto serrato con i paesi in via di sviluppo, che offrono prezzi bassi grazie a manodopera a basso costo, ha spinto i paesi più evoluti ad innovare il concetto di fabbrica. E così dall'idea di

una Smart Factory l'obiettivo è quello di una Smart Manufacturing. L'Industry 4.0 ha permesso di accelerare questo processo e in questo contesto il Digital Twin può aiutare a raggiungere l'obiettivo.

1.7.1 Digital Twin Shop-floor

Il Digital Twin Shop-floor (DTS) è l'applicazione dell'omonimo paradigma ad una linea produttiva nell'ambito industriale. Il processo tradizionale di produzione consta di numerosi passaggi. Prima della produzione viene redatto il piano di produzione sulla base degli ordini e dello storico. Una volta che il piano è validato, si passa alla preparazione per la produzione vera e propria. Durante la produzione il processo viene monitorato, assicurandosi che segua quanto schedato. Nel caso emergano discrepanze, il piano viene modificato e adattato alla situazione. A fine produzione, vengono effettuati i controlli qualitativi e valutate le performance. Tutte queste operazioni generano una serie di documenti che sono archiviati sotto forma di file. Dunque, nella produzione tradizionale, lo spazio virtuale è limitato e tende a sovrapporsi a quello fisico. Il focus è raccogliere i dati e collezionarli, mentre vengono ignorate tutta una serie di possibilità come, effettuare simulazioni, ottimizzare, predire ecc... La mancanza di una sincronizzazione efficace, tra spazio virtuale e fisico, è il problema principale.

Le tecnologie abilitanti di Industry 4.0, attraverso l'IoT e i CPS, efficientano la produzione e garantiscono che le risorse fisiche possano comunicare, controllare ed elaborare. Queste tecnologie, permettono di abilitare il Digital Twin all'interno di uno shop-floor [37].

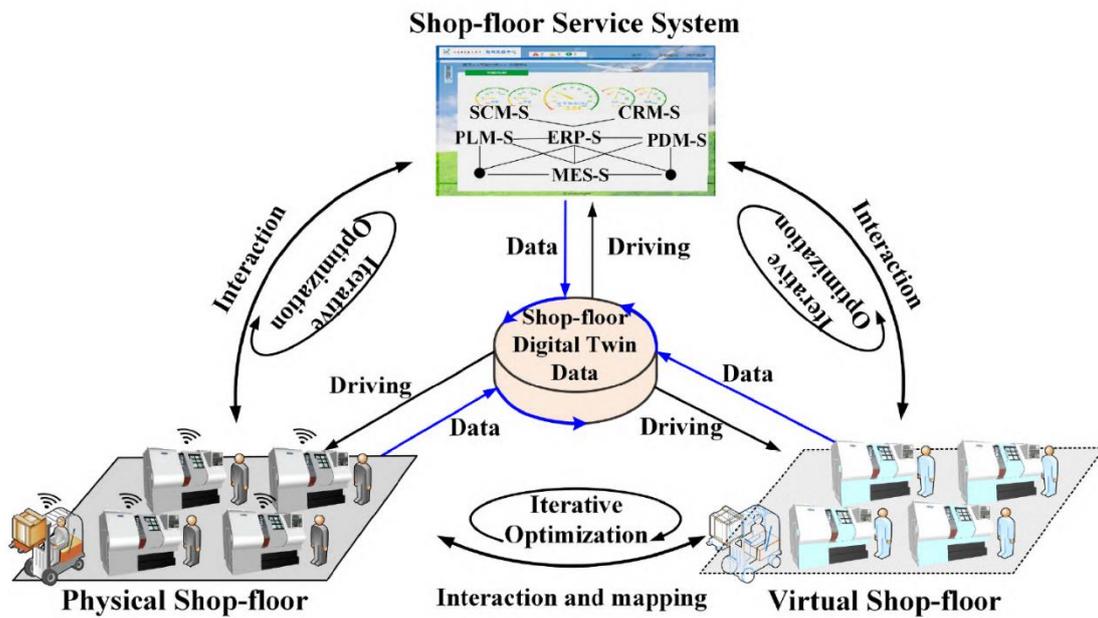


Figura 14 : Modello concettuale di un Digital Twin shop-floor [38]

Il modello concettuale di un DTS (Figura 14) si basa su un database centrale che ha la duplice funzione di accentrare e instradare le informazioni. Il Physical Shop-floor interagisce continuamente con il Virtual Shop-floor, in quanto la replica digitale deve costantemente mantenersi aggiornata. Questi dati vengono inviati al database centrale, che scambia le informazioni con lo Shop-Floor Service System ove risiedono tutti i sistemi informativi aziendali per il controllo, gestione e programmazione della produzione e supply chain. Infine, l'informazione, sotto forma di comandi arriva nuovamente al livello fisico. Questo modello concettuale permette di garantire sincronizzazione, consistenza e interoperabilità dei dati [37].

1.7.2 Digital Twin for Additive Manufacturing

Il Digital Twin for Additive Manufacturing (DTAM) nasce dalla necessità di ottimizzare il processo di produzione di Additive Manufacturing (AM) di tipo laser-assisted. La qualità del prodotto finito e del processo produttivo dipende dalla geometria, dalla microstruttura e dai difetti. Tutte queste caratteristiche sono legate da numerose variabili di processo e peculiarità del metallo. Spesso non possono essere identificate se non durante la produzione. Ma vi sono alcune variabili non correlate, la cui selezione ottimale, può garantire un processo produttivo efficiente. Ed è proprio su questa selezione efficiente che si basa l'idea del DTAM, ovvero di uno strumento capace di prevedere le variabili rilevanti, che possono

condizionare la struttura e le proprietà metallurgiche dei componenti. Il Digital Twin per l'AM, una volta validato con dati sperimentali, potrebbe ridurre o addirittura sostituire i costosi esperimenti che sottraggono tempo prezioso alla fase produttiva [39].

1.7.3 Digital Twin for Product Design

Il Digital Twin for Product Design (DTPD) è un'applicazione relativamente recente del paradigma generale. Questo permette di creare un prodotto basandosi sulle analisi dei Big Data raccolti. Quando si parla di Big Data, bisogna pensare che tali dati sono numerosi e spesso non strutturati. Capire quali informazioni siano realmente importanti per lo sviluppo del prodotto non è semplice. Immaginare un modo per incrociare i dati provenienti da prodotti, clienti e ambiente è poi una sfida che solo i data scientist possono vincere. Una volta identificate però le correlazioni ed effettuate le predizioni future sulle necessità del cliente, ci si accorge della potenza dello strumento DTPD, rispetto a tecniche classiche quali QFD², AHP³, FMEA⁴, TRIZ⁵ e Modello di Kano.

Il design di prodotto data-driven si differenzia da quello tradizionale, in quanto non dipende fortemente dall'esperienza del designer nell'identificare i dati rilevanti. Questo non vuol dire che l'attività umana viene sostituita da quella di un algoritmo, in quanto per identificare pattern consistenti, nei big data, servono dei data scientist, ma piuttosto si riescono a creare dei prodotti tailor-made sui bisogni dei clienti.

Le caratteristiche necessarie per DTPD sono 3, ovvero le entità fisiche nello spazio fisico, il modello virtuale nello spazio virtuale e il collegamento dei dati tra mondo fisico e virtuale. Il modello virtuale include non solo la geometria del modello, ma anche regole, comportamenti e proprietà del materiale, oltre ad analisi meccaniche di monitoraggio. L'attività di product design non si esaurisce con l'invio dell'oggetto in produzione, ma grazie all'IoT segue il prodotto dal cliente e l'informazione fluisce in modo circolare permettendo di ottimizzare i futuri sviluppi del prodotto (Figura 15) [36].

² Quality Function Deployment

³ Analytic Hierarchy Process

⁴ Failure Mode and Effects Analysis

⁵ Problem-solving method

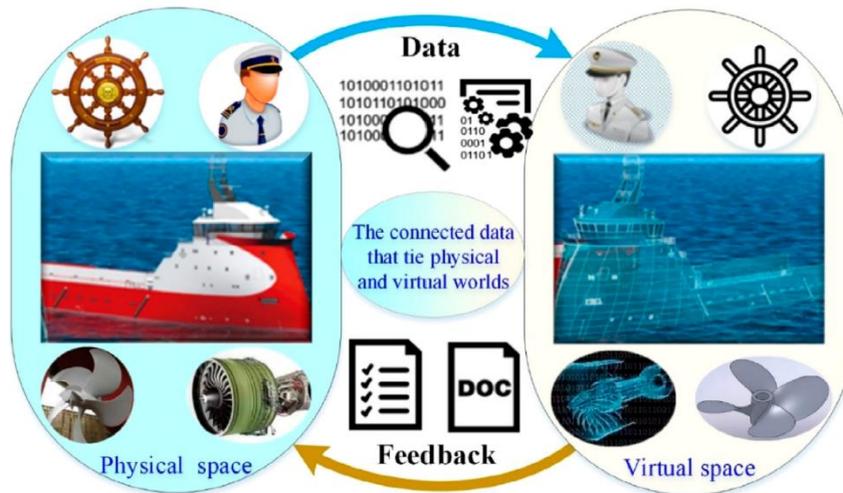


Figura 15 : Modello generale Digital Twin per un prodotto [36]

1.7.4 Digital Twin for PLM

Oggi la manifattura intelligente è guidata dall'analisi dei Big Data attraverso 3 fasi, associazione, previsione e controllo. Ciononostante, il PLC è affetto da alcuni problemi legati alla gestione delle informazioni. In particolare, i dati generati durante l'intero ciclo di vita del prodotto sono spesso duplicati, causando in questo modo uno spreco di risorse. Le interazioni tra le analisi dei Big data e le varie attività durante il PLC sono spesso assenti. Tutto ciò determina l'impossibilità di confrontare in parallelo le analisi effettuate e il processo di manifattura in corso.

In risposta ai problemi evidenziati, il Digital Twin si pone come possibile soluzione. La visione olistica del paradigma, abbraccia perfettamente l'obiettivo del PLM. Il DT permette di focalizzarsi sul modello virtuale, mantenendo una connessione tra spazio fisico e virtuale. In questo modo è possibile comparare, analizzare e interpretare i valori teorici dei Big Data con quelli delle attività reali. Nell'ambiente virtuale del DT è possibile simulare diverse attività del PLC così come monitorare, verificare e ottimizzare i processi. Il risultato è la realizzazione efficace del PLM e la valorizzazione dei dati, che non vengono più duplicati [40].

1.7.4.1 Framework for PLM

Un possibile framework applicativo del DT è caratterizzato da 3 parti, spazio fisico, virtuale e livello di processamento delle informazioni. La mappatura bidirezionale dello spazio fisico e virtuale è possibile grazie al canale di scambio, che garantisce anche l'interoperabilità.

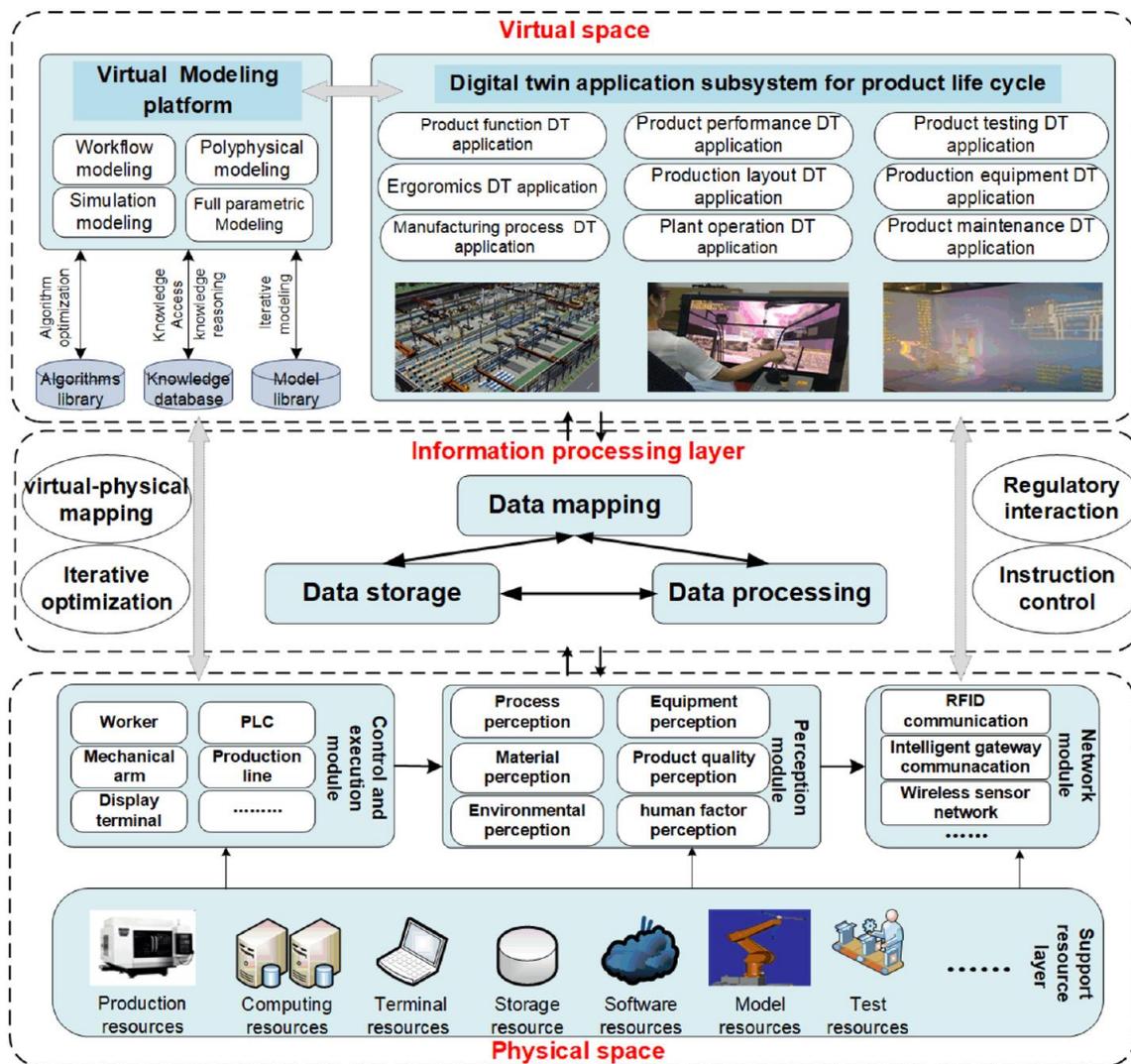


Figura 16 : Framework applicativo del DT per il PLM [35])

All'interno dello spazio fisico coesistono persone, macchine, materiali, regole, software e molto altro. Tutte queste tipologie di oggetti sono separate e necessitano della tecnologia IoT per connettersi e scambiare informazioni. I dati così raccolti, necessitano poi di essere integrati con i sistemi informativi di gestione, quali PDM, ERP e MES. In questo modo tutti i dati provenienti dal mondo fisico, non vengono solo collezionati, ma utilizzati per gestire, controllare e ottimizzare i processi.

Il livello di processamento delle informazioni è il canale bidirezionale di collegamento tra lo spazio fisico e virtuale. Questo è caratterizzato da tre elementi: archiviazione dati, processamento dati e mappatura dati. In questo livello vengono immagazzinate le informazioni tecniche e di processo provenienti dallo spazio fisico e quelle di simulazione, valutazione e previsioni provenienti dallo spazio virtuale. Le informazioni transanti

vengono prima ripulite ed analizzate, poi strutturate e clusterizzate. La mappatura delle informazioni garantisce la sincronizzazione tra il livello superiore e inferiore. Di estrema importanza è quindi l'operazione di costruzione di un data model a sequenza temporale, per i dati multidimensionali ed eterogenei. Questa operazione garantisce l'identificazione di regole di evoluzione dei dati di produzione e informazioni estremamente utili per le operazioni decisionali del livello virtuale.

Lo spazio virtuale è caratterizzato da un Virtual Environment Platform (VMP) e da un sottosistema del DT per il PLM (DTs). In sostanza il VMP elabora e restituisce diversi modelli virtuali per il DTs, quest'ultimo poi confronta i modelli con i metodi e dati storici e smista le informazioni alle diverse applicazioni che compongono il PLM [35].

1.8 Caratteristiche e Innovazione

Quando ci si riferisce al Digital Twin, molto spesso, si pensa ad uno strumento tecnologico che permette solo di simulare. Ciò non è del tutto vero.

Il DT funge da cambio di paradigma, incorporando i processi di manifattura all'interno di un CPS (MCPS) e collegando più viste e operazioni in un modello completo. Il DT non si limita a mostrare visivamente una simulazione di eventi casuali o a fornire la documentazione dei risultati. A differenza della simulazione tradizionale, il gemello digitale viene utilizzato come strumento di validazione per la soluzione di ottimizzazione generale del ciclo di vita [41].

1.8.1 Sistema di supporto alle decisioni, dall'approccio What-If al Now-What

La simulazione tradizionale permette di testare gli effetti di una scelta di design (Tipologia di macchinari, quantità di workstation, numero dipendenti, presenza buffer ecc...) attraverso uno scenario di decisione del tipo What-If. Il tutto senza la necessità di coinvolgere una linea produttiva reale e valutando le performance teoriche ancora prima della messa in funzione della linea.

Con il Digital Twin, grazie all'utilizzo dei CPS nelle fabbriche, è possibile raccogliere i dati in tempo reale e valutare il delta tra simulazione (In run-time) e andamento produttivo reale. Questo permette di passare da uno scenario What-If ad uno Now-What di decisione. Dunque, l'informazione è disponibile in tempo reale ed è immediatamente fruibile a coloro che devono decidere.

Un altro modo di vedere il DT è quello illustrato in Figura 17.

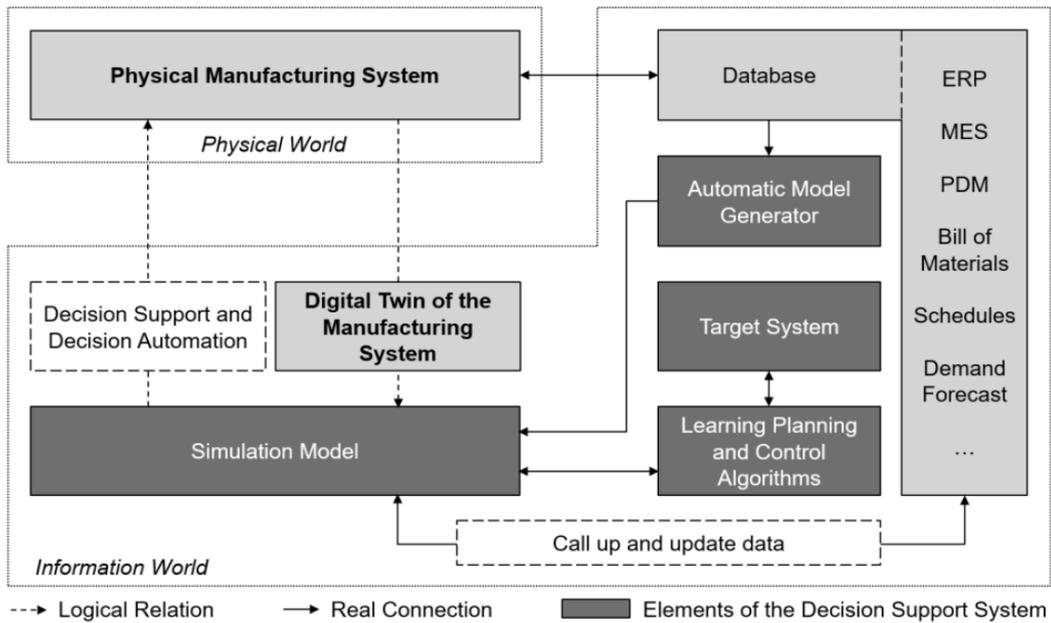


Figura 17 : Integrazione del Digital Twin all'interno di un sistema di supporto alle decisioni [34]

In questo caso il DT è utilizzato come un modello di simulazione per il supporto alle decisioni. Il mondo fisico è connesso col mondo informativo, che consta di database e applicativi vari. Un generatore automatico di modelli, costantemente aggiorna, sceglie o crea il proprio modello di simulazione, usando i dati provenienti dal database. Durante la simulazione, un algoritmo ricerca la migliore soluzione per il problema di decisione sottoposto. Quando viene identificata una soluzione, questa viene sottoposta al decisore [42] [34].

1.8.2 Modularità del Digital Twin

Una delle caratteristiche più importanti del Digital Twin è la sua modularità, ovvero la capacità di creare un duplicato di una linea produttiva, componendo più moduli, ognuno corrispondente al gemello digitale di un oggetto fisico (Es. Macchinari).

Per perseguire l'obiettivo di questo approccio è però necessario che esista uno standard di comunicazione, che potrebbe essere identificato nel livello centrale che interconnette il mondo fisico con quello virtuale. Ad oggi questo standard non esiste e dunque la ricerca scientifica si sta concentrando verso l'idea di un DT del tipo Plug and Simulate.

Un'altra caratteristica legata alla modularità del DT è la possibile integrazione con la tecnologia Blockchain (BC). Infatti, una Blockchain è caratterizzata da una serie di blocchi concatenati tra loro, volti a creare una catena più o meno lunga. Le informazioni all'interno di una BC sono criptate e inviolabili, in quanto tutti i nodi che la compongono hanno un

duplicato della BC intera. Questa integrazione permetterebbe di garantire la sicurezza delle informazioni elaborate dal DT e abiliterebbe la fabbrica ai numerosi servizi basati su tecnologia Blockchain (Es. Smart contract, tracciabilità ecc..) [43].

1.8.3 Come il Digital Twin impatta i Business Model

Il Digital Twin, così come l'Industry 4.0, ha un impatto importante nei modelli di business.

La Value Proposition del DT è caratterizzata da un'offerta del tipo Product as a Service, ovvero non viene più venduto solo il prodotto fisico, ma questo è accompagnato da servizi accessori a valore aggiunto per il cliente.

Per quanto riguarda la Value Creation, è il possesso dei dati a creare il vero valore. La raccolta, l'uso, l'efficienza dei dati e la scalabilità dei modelli basati su di essi, garantiscono il funzionamento del DT e permettono di moltiplicare le opportunità di business. Focalizzando l'attenzione poi sugli attori di una supply chain, è l'interoperabilità del DT a creare valore, garantendo efficienza generale e riduzione del time-to-market.

Infine, il Value Capture è ottenuto grazie all'impiego della tecnologia IoT, che rende possibile la raccolta di informazioni sul prodotto anche successivamente alla vendita. Questo permette da un lato di aumentare le entrate ricorrenti e dall'altro di incrementare i profitti per le vendite di nuovi prodotti sviluppati, grazie all'analisi dei Big Data. Inoltre, anche l'applicazione dell'approccio As-a-Service garantisce un nuovo flusso di ricavi con un modello di business tutto basato sui dati.

Secondo Gartner, entro il 2021, circa la metà delle grandi imprese utilizzeranno il DT, con una riduzione effettiva del tempo ciclo del 30% [44]. Queste previsioni pongono l'attenzione verso la necessità di accompagnare tale evoluzione tecnologica, che permetterà di efficientare le operation, con business model in grado di garantire nuovi flussi di ricavi. A titolo esemplificativo [45]:

- Ottimizzazione degli asset: il DT permette di ottenere informazioni in tempo reale sull'asset oggetto di replica, garantendo il controllo delle performance e della vita residua. Si pensi ad una produzione gestita in remoto. Il DT monitora i macchinari in funzione ed effettua le correzioni necessarie, senza la necessità della presenza fisica sul luogo.
- Manutenzione predittiva: la manutenzione predittiva, come evoluzione di quella preventiva, garantisce per il cliente una riduzione dei costi e dei fermi macchina e

per il fornitore dei macchinari un aumento dei ricavi, grazie alla fornitura di un servizio sul quale è possibile fare scala, perché svolto in remoto.

- Assicurazione degli asset: le compagnie assicurative potrebbero promuovere l'adozione di DT, creando prodotti finanziari competitivi ad hoc. In questo caso, la raccolta delle informazioni in tempo reale, garantisce che gli asset siano stati monitorati e mantenuti secondo le prescrizioni di contratto.

1.9 Il Digital Twin e le grandi imprese

Per comprendere le potenzialità del Digital Twin può essere utile dare uno sguardo ad alcuni casi applicativi di grandi imprese, che hanno costruito un modello di business su di questo.

1.9.1 General Electric

GE è uno dei primi player a livello mondiale ad avere impiegato il Digital Twin per l'attività di sviluppo prodotto delle turbine di aerei e centrali elettriche. Ha poi successivamente esteso l'impiego dei gemelli digitali all'intero PLC per ottenere uno strumento di previsione e di decisione affidabile.

Secondo GE il Digital Twin è:

“Un modello vivente che guida un risultato di business”

Il modello di business di GE si basa sullo sviluppo delle capacità offerte dall' Industrial Internet of Things (IIoT) in diversi settori industriali. La divisione Intelligent Platforms si è occupata di creare soluzioni a valore aggiunto basate sui Big Data. Lo ha fatto costruendo gemelli digitali per tutti i propri processi di manifattura e gli asset industriali. Questo ha permesso di incrementare l'efficienza dei prodotti e fornire un servizio migliore ai clienti. A fine 2016, l'azienda ha lanciato sul mercato la piattaforma Predix, capace di rendere ogni macchina un asset intelligente. Predix è una suite di software e servizi capace di dare visibilità e controllo degli asset industriali, grazie ad una serie di indicatori di sintesi costantemente aggiornati. Inoltre, permette di ottimizzare i costi di manutenzione, i rischi operativi e di ridurre i costi totali di possesso [46].



Figura 18 : Proposta di due opzioni di soluzione da parte del Digital Twin (Fonte: GE)

Il cliente finale può interrogare agevolmente il twin da remoto, anche utilizzando i comandi vocali o indossando un visore AR. Il sistema restituisce risultati di ricerca coerenti e in caso di identificazione problemi o scostamenti dall'andamento simulato, suggerisce più scenari di soluzione (Figura 18).

1.9.2 Siemens

Nell'ambito del Digital Twin, la multinazionale più attiva è sicuramente Siemens. I suoi investimenti in questo settore sono ingenti, ma le hanno permesso di sviluppare una serie di prodotti capaci di supportare realmente lo sviluppo del paradigma.

Siemens è probabilmente l'unica azienda capace di coprire tutta la catena del prodotto, dalla parte meccanica a quella elettronica sino al software. Per questi motivi fornisce soluzioni DT per il design e la prototipazione, ma anche per la produzione e la gestione logistica [47].

La proposta della multinazionale è quella di una suite di prodotti rivolti alle diverse aree e necessità di business. Questa suite, dedicata al PLM, permette di digitalizzare intere linee produttive e ridefinire le fasi di prototipazione e testing prodotti. Grazie al sistema operativo MindShere, dedicato all'IoT e basato sul cloud, è possibile connettere prodotti, impianti,

sistemi e macchine con i propri duplicati digitali, archiviando i dati raccolti e utilizzandoli per analisi capaci di chiudere il loop informativo [48].

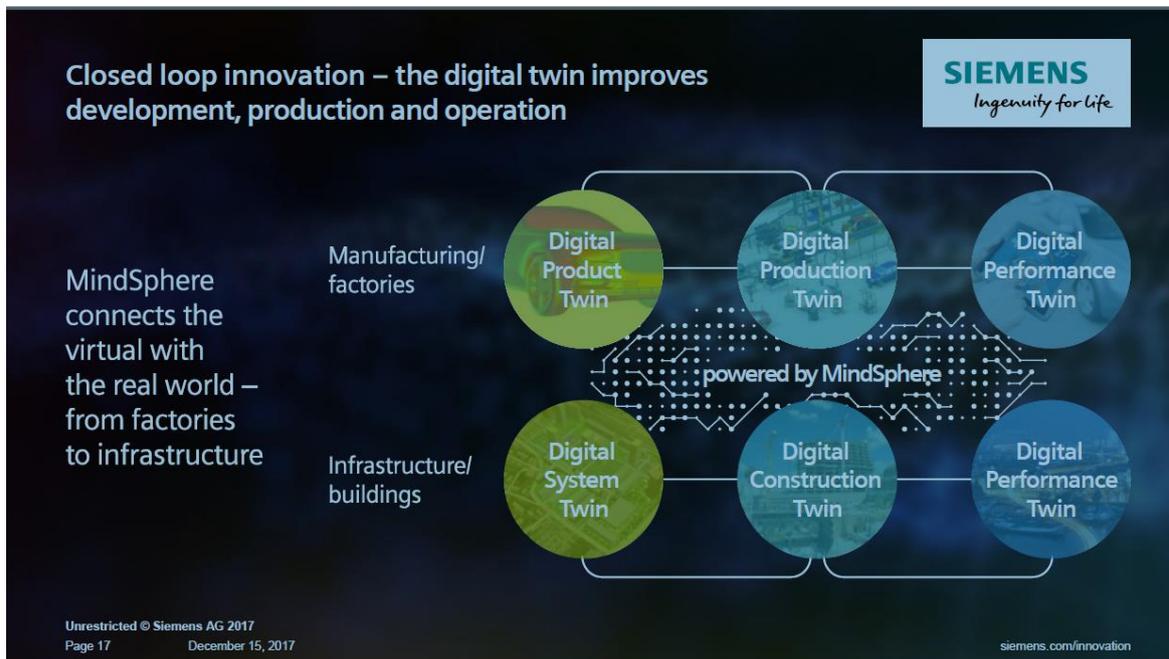


Figura 19 : Closed loop innovation by MindSphere (Fonte: Siemens)

L'uso di intelligenze artificiali (AI) e algoritmi di ML garantisce un supporto del processo di testing più semplice e robusto, una migliorata capacità nell'individuare informazioni rilevanti e quindi anomalie e infine, la capacità di autoapprendimento dei modelli utilizzati dai twin. A riguardo, Industry Knowledge Graph è la soluzione che Siemens propone per sopperire alla mancanza di dati per i suoi algoritmi predittivi. Questa tipologia di conoscenza è di tipo semantica, dunque non necessita di istruzioni e viene incontro nelle situazioni in cui un robot o una macchina si trovano ad affrontare un evento inatteso. Affinché tutto ciò funzioni, è necessario processare una quantità elevata di dati, raccolti precedentemente dal DT [49].

1.9.3 SAP

Anche SAP ha lanciato sul mercato la sua soluzione di business, capace di gestire gli asset connessi attraverso l'IoT. Il nome, SAP Leonardo, allude ad un prodotto che ha l'obiettivo di rivoluzionare il futuro, in realtà l'aspettativa è quella di gestire l'innovazione portata dal Digital Twin.

SAP Leonardo fornisce un sistema di modellazione del DT e gestione dei dispositivi, oltre a servizi di connettività, messaggistica, archiviazione e API per l'implementazione del DT.

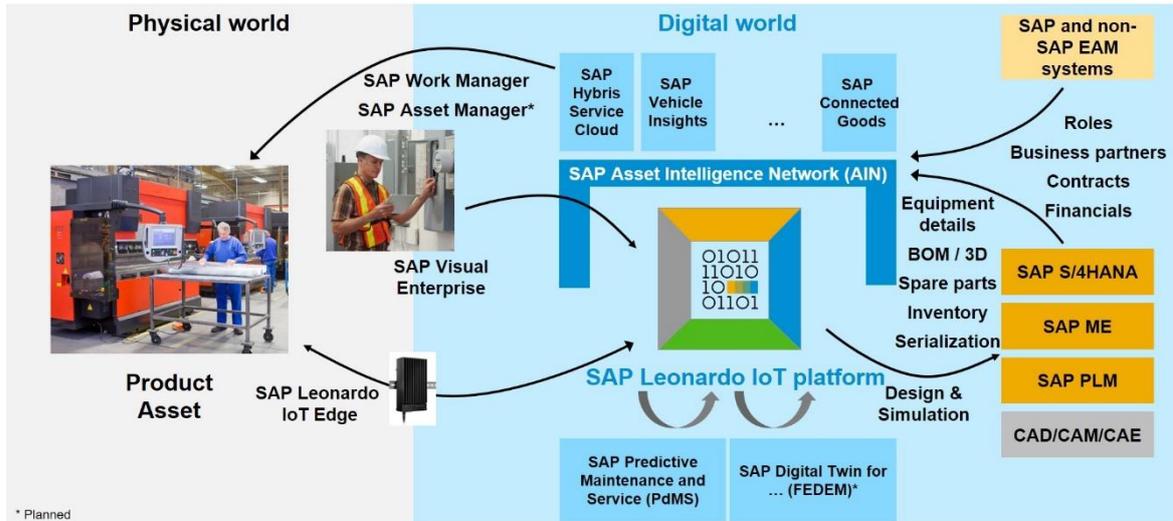


Figura 20 : Framework SAP Leonardo (Fonte: SAP)

Le principali soluzioni di SAP Leonardo sono:

- SAP Predictive Maintenance and Services (PdMS): questa utilizza modelli complessi per identificare anomalie, valutare lo stato degli asset e la loro vita residua, predire gli errori e fornire supporto alle decisioni per la manutenzione schedulata.
- SAP Asset Intelligent Network (AIN): funge da repository di asset condivisi e da sistema di collaborazione per tutti i partner commerciali afferenti al ciclo di vita degli asset. AIN inoltre, permette di implementare scenari collaborativi legati al Digital Twin.
- SAP Digital Twin for structural dynamics: sistema di analisi strutturale che permette di valutare lo stato degli asset digitali e quindi dei corrispettivi fisici. Sono integrate le tecnologie AR e Voice Assistant.

Vi sono poi tutta una serie di applicazioni che, gestendo le notifiche del DT, agevolano il lavoro di tecnici e manager grazie ad app per smartphone e garantiscono le interconnessioni con i sistemi esterni [50].

2. Literature Review

2.1 State of Art Industry 4.0

Questo capitolo è dedicato alla raccolta di casi reali o in corso di realizzazione, di applicazioni del paradigma Industry 4.0 nelle PMI. L'obiettivo è quello di mostrare l'attuale stato dell'arte, cercando di coprire il maggior numero di settori industriali.

In considerazione del fatto che, il piano italiano Industria 4.0 si è evoluto in Impresa 4.0, sono stati inseriti alcuni casi esemplari riferiti al settore del commercio, come prova delle potenzialità e della pervasività della quarta rivoluzione industriale.

I casi di seguito raccolti, sono tratti da: Industria 4.0 senza Slogan [50] [51], T4SM [52], Libelium [53], Tenenga [54], B810Group (Digicom) [55].

2.1.1 Caso 1, Sicurezza negli stabilimenti produttivi

Secondo il report annuale 2015 dell'INAIL, gli infortuni sul lavoro sono stati oltre 600 mila con circa 600 morti. Seppur le tendenze negli ultimi anni vedono un calo del numero di infortuni, questi rimangono comunque un fattore da contrastare, in particolare la diffusa abitudine dei lavoratori di non indossare l'attrezzatura adeguata e dei datori di lavoro che spesso non impongono le regole nel modo giusto.

Secondo l'art. 18, comma 1, del decreto legislativo 81, il datore di lavoro ha l'obbligo di assicurarsi che i propri dipendenti indossino i Dispositivi di Protezione Individuali (DPI) richiesti per l'ambito lavorativo. Più volte la Cassazione ha ribadito che il mancato uso dei DPI è colpa del datore di lavoro, anche se questo ha fornito al lavoratore tutti i dispositivi previsti.

Per questi motivi, una PMI del settore manifatturiero, ha deciso di sfruttare la tecnologia RFID, mediante l'applicazione di tag RFID su tutti i DPI e sul badge di riconoscimento dei dipendenti. Grazie all'utilizzo di lettori RFID sparsi per lo stabilimento è possibile capire se uno specifico dipendente indossa l'opportuno DPI per la zona lavorativa in cui si trova. Nel caso in cui vi sia una trasgressione delle norme di sicurezza, immediatamente viene inviata una notifica al responsabile di sicurezza, al fine di procedere con le opportune segnalazioni al dipendente.

Tecnologie:

- RFID
- Lettore RFID

Vantaggi:

- Controllo automatico dell'utilizzo dei DPI
- Localizzazione dei lavoratori in situazioni di emergenza



Figura 21 : Elaborazione Caso 1 (Fonte: Industria 4.0 senza Slogan)

2.1.2 Caso 2, Catena del freddo

Mantenere la catena del freddo per dei prodotti surgelati è essenziale, in quanto permette di assicurare la qualità del prodotto, ne evita il deperimento e le possibili alterazioni a causa di un inaspettato innalzamento di temperatura.

Per questi motivi Zerynth, società attiva nell'ambito IoT e Industry 4.0, ha sviluppato un dispositivo capace di monitorare lo stato di un frigorifero mantenendo sotto controllo tutti i parametri caratteristici (Es. Temperatura e umidità) e di gestire l'accensione del sistema refrigerante in base all'andamento dei valori tenuti sotto controllo. In questo modo è possibile garantire una maggiore efficienza energetica e quindi risparmi monetari. Il dispositivo (Refrigeration on Internet, ROI) invia i dati raccolti al sistema cloud che esegue l'algoritmo di gestione dei dispositivi.

ROI permette dunque di risparmiare sui consumi di energia elettrica grazie all'algoritmo intelligente di gestione dei motori ed invia notifiche personalizzate riguardo la manutenzione necessaria. L'analisi dei dati attraverso un algoritmo di Machine Learning permette di capire quando potrebbe verificarsi un possibile guasto, per procedere con la necessaria sostituzione.

L'accesso ai dati archiviati in cloud è possibile da computer, tramite browser web e da smartphone, tramite app mobile dedicata.

Tecnologie:

- Sensori di temperatura, luminosità, umidità
- Microcontrollori
- Sistema di archiviazione Cloud
- App mobile e software Zerynth

Vantaggi:

- Registrazione automatica della temperatura per assolvere alla normativa HACCP
- Monitoraggio live dei parametri caratteristici
- Diminuzione ed efficienza dei consumi energetici
- Manutenzione predittiva
- Mantenimento della catena del freddo



Figura 22 : Elaborazione Caso 2 (Fonte Zerynth)

2.1.3 Caso 3, Monitoraggio di un allevamento di pesci

Gli impianti di itticoltura permettono di allevare pesci al fine di farne aumentare il peso anche di 15 volte. Una volta che questi hanno raggiunto il peso desiderato, vengono venduti e l'impianto riutilizzato per una nuova batteria di pesci.

I parametri fondamentali che devono essere tenuti sotto controllo, al fine di garantire la salute dei pesci, sono la temperatura dell'acqua, la conducibilità, il pH, la quantità di ossigeno disciolto, il potenziale redox e la concentrazione di Ammonio, NO₃ e NO₂.

Il sistema sviluppato in collaborazione da Libelium e PHA Distribution, raccoglie i dati e li invia grazie al protocollo 3G/GPRS e allo standard IEEE 802.15.4 al gateway centrale che incamera i dati e li salva in cloud. In questo modo tutto il processo di raccolta dati viene

automatizzato e il responsabile di allevamento può monitorare i dati anche sotto forma di semplici grafici.

Il monitoraggio costante dei parametri garantisce la qualità dell'acqua e permette di valutare preventivamente l'eventuale insorgenza di problemi e la quantità di pesci morti.

Tecnologie:

- Sensori per il monitoraggio di temperatura, ph, ossigeno disciolto, conducibilità, potenziale di ossido riduzione, concentrazione di NH₄, NO₃ e NO₂.
- Standard di comunicazione 3G/GPRS
- Standard IEEE 802.15.4

Vantaggi:

- Monitoraggio live dei parametri che influenzano il ciclo di vita del pesce
- Incremento della produttività e riduzione della mortalità
- Automazione della registrazione dei dati raccolti
- Predizione degli eventi legati al PLC del pesce

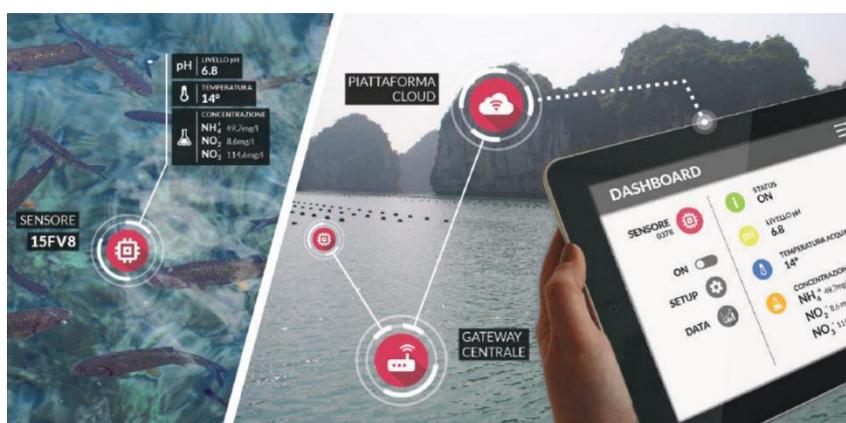


Figura 23 : Elaborazione Caso 3 (Fonte Industria 4.0 senza Slogan)

2.1.4 Caso 4, Interconnessione robot con la linea produttiva

Fratelli Carminati è una PMI manifatturiera che ha l'esigenza di interconnettere il robot di carico broccatura con il gestionale e il MES dell'azienda. L'obiettivo è automatizzare la raccolta delle segnalazioni riguardo allarmi, stato del robot, numero fermi, numero dei pezzi prodotti e identificare il costo associato alla commessa. La difficoltà dovuta all'interconnessione di entità hardware e software differenti è stata superata grazie alle soluzioni sviluppate dal partner tecnologico T4SM.

La piattaforma di acquisizione dati iDaq si interfaccia con il robot ed elabora i segnali in tempo reale, poi il software Fabbrica Digitale 4.0 monitora in tempo reale la produzione e la piattaforma di elaborazione dati Liliium estrapola le informazioni, identifica i pattern ed effettua una conversione di formato per poi trasferire i dati verso il database di storage ed il MES aziendale. Attraverso questa soluzione vi è uno scambio di informazione tra il robot e il MES in entrambi i sensi.

Tecnologie:

- Soluzioni software di raccolta dati, elaborazione, invio, sviluppati da T4SM (iDaq, Fabbrica Digitale 4.0 Lite, Liliium)

Vantaggi:

- Riduzione dei tempi di avvio commessa, l'operatore apre la commessa dal MES e i dati di configurazione sono automaticamente inviati al robot
- Tracciabilità dell'intero PLC
- Raccolta dei dati della commessa
- Determinazione dei costi e addebitamento di questi alla specifica commessa



Figura 24 : Elaborazione Caso 4 (Fonte T4SM)

2.1.5 Caso 5, Interconnessione nuova linea produttiva

Una PMI lombarda si è trovata di fronte la sfida di realizzare una nuova linea produttiva e di dover interconnettere i vari macchinari implementando il paradigma Industry 4.0. Il fine è stato quello di minimizzare i tempi di setup e di configurazione, automatizzando il più possibile le attività di linea. In particolare, si è scelto di programmare i parametri di tutte le macchine in funzione degli item da produrre, storicizzare le variazioni dei parametri di processo, eliminare l'uso della carta e quindi i conseguenti errori umani, disporre dello stato di ogni macchina della linea. Questa può considerarsi una prima implementazione del

Digital Twin, ovvero un duplicato digitale dell'intera linea con informazioni sui parametri in tempo reale.

La nuova linea è composta da 6 aree: un'area di alimentazione, una linea di preparazione, un forno, una pressa a bilanciata, un impianto di raffreddamento ed una linea automatica robotizzata deputata al calibraggio.

Al fine di raggiungere gli obiettivi preposti, T4SM, il partner tecnologico scelto, ha progettato una soluzione capace di comunicare con i vari PLC e computer delle macchine di linea. È stato sviluppato un modulo di scambio dati con il gestionale interno, al fine di dare il totale controllo della produzione al responsabile di linea. In questo modo si è assicurata la qualità del prodotto, il corretto funzionamento e settaggio dei macchinari, e si è ridotto drasticamente il numero degli scarti.

Tecnologie:

- Soluzioni software di raccolta dati, elaborazione, invio, sviluppati da T4SM (iDaq, Fabbrica Digitale 4.0, Liliun)
- Pc con monitor touchscreen

Vantaggi:

- Interconnessione del gestionale con i macchinari della linea
- Monitoraggio real-time della linea di produzione attraverso un'interfaccia semplice e chiara
- Riduzione di errori e tempi di produzione e incremento di produttività
- Tracciamento automatico di tutti i dati di processo
- Possibilità di avviare la produzione (tipologia e numero pezzi) direttamente dal gestionale

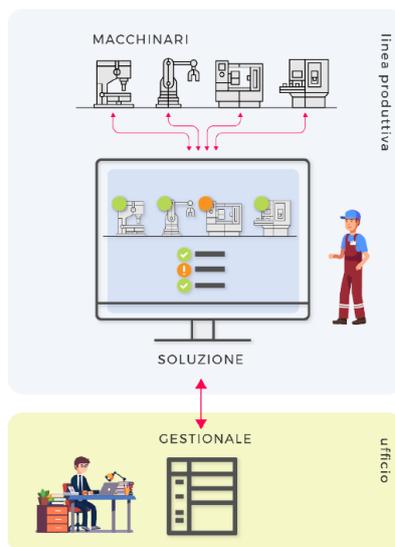


Figura 25 : Elaborazione Caso 5 (Fonte T4SM)

2.1.6 Caso 6, Monitoraggio del processo produttivo di una cantina spagnola

Lo sviluppo del progetto, rientrante nell'ambito dell'agricoltura di precisione è stato affidato a Libelium, società leader nell'abilitazione di servizi e prodotti all'IoT. Il vino pago, prodotto dalla cantina Pago Ayles, è un particolare prodotto di elevata qualità che viene coltivato nella comunità autonoma di Aragona; motivo per cui si è resa necessaria la collaborazione con RemOT, una società con esperienza in sistemi di interpretazione e mappatura geografica. Si è proceduto all'installazione di oltre 100 punti di misurazione in vigna su circa 25 parametri di misurazione. Il posizionamento è stato effettuato in modo strategico al fine di poter raccogliere le misurazioni dei parametri ambientali ed elaborare modelli di comportamento e modelli predittivi. In particolare, i modelli predittivi sono stati utilizzati per valutare l'andamento della produzione e i possibili problemi legati alle condizioni climatiche. Il progetto ha quindi fornito molti dati quantitativi permettendo di valutare meglio i rischi e ridurre i costi di manutenzione.

Tecnologie:

- Sensoristica per la misurazione di temperatura, umidità e pressione ambientale; temperatura del suolo; umidità del terreno; pioggia; velocità del vento e direzione.
- Pannelli solari con batterie di accumulo per l'autoalimentazione dei sensori
- Standard di comunicazione 4G/3G
- Sistema Cloud Microsoft Azure
- Agrimes (Applicazione web per il monitoraggio dei dati)

Vantaggi:

- Monitoraggio real-time dei parametri che influenzano il vigneto
- Conoscenza della pianta da irrigare e della quantità di acqua da erogare
- Conoscenza delle fili di viti che necessitano di cure specifiche
- Aumento della qualità del vino del 25%
- Riduzione del 10-50% dei costi di produzione a seconda dell'annata

2.1.7 Caso 7, Manutenzione intelligente

Nel settore manifatturiero, i fermi macchina richiedono interventi in emergenza per il ripristino delle macchine nel più breve tempo possibile. Tale periodo di inattività determina spesso dei ritardi nelle commesse e talvolta dei costi da sostenere a causa dello sforamento dei tempi. Per tale motivo, una PMI del settore converting ha deciso di rivolgersi a Liberologico s.r.l, in qualità di partner tecnologico, al fine di implementare sui propri macchinari tutta una serie di sensori deputati a raccogliere i dati di funzionamento e concentrarli verso un database in cloud. Questi dati sono poi oggetto di analisi statistiche di tipo predittivo. In questo modo, il cliente che utilizza il macchinario, viene avvisato preventivamente della necessità di manutenzione e il produttore, con i dati raccolti, può schedulare la produzione dei pezzi di ricambio e indicare la disponibilità dei tecnici per l'attività di manutenzione.

Tecnologie:

- Sensori per la raccolta dei dati dai macchinari
- Software di concentrazione dati
- Software di collezione dati su piattaforma proprietaria
- Database in cloud

Vantaggi:

- Riduzione dei fermi macchina e incremento della produttività
- Allungamento della vita utile del macchinario
- Efficienza dei costi di formazione del personale manutentivo
- Abbattimento dei costi di magazzino
- Miglioramento dell'efficienza dell'impianto OEE



Figura 26 : Elaborazione Caso 7 (Fonte: Industria 4.0 senza Slogan)

2.1.8 Caso 8, Manutenzione con tecnologie semantiche

Una PMI cliente di Hyperborea s.r.l. produce e installa in tutto il mondo macchinari estremamente complessi. Questa complessità condiziona le attività manutentive, in quanto la mole di dati ed informazioni legate sono numerose. Inoltre, la disponibilità di tecnici esperti è esigua e la dislocazione in tutto il mondo dei clienti non aiuta. Per questo motivo, l'azienda ha deciso di sfruttare le tecniche di analisi semantica che permettono di estrarre informazioni da qualsiasi genere di documento. L'operatore addetto alla manutenzione inquadra il macchinario di interesse e scattare una foto procedendo alla ricerca delle istruzioni di dettaglio. Può anche effettuare foto ai singoli componenti ed inserire tag di riferimento, il sistema procederà alla ricerca e a restituire le procedure manutentive necessarie. In questo modo determinate riparazioni possono essere effettuate direttamente dai dipendenti del cliente, lasciando al produttore solo la manutenzione che necessita di know-how specifico.

La soluzione è stata implementata sfruttando Alfresco (Software open source), capace di archiviare le informazioni in modo organizzato per materiali e macchinari specifici. Tutte le informazioni sono disponibili all'operatore tramite browser web.

Tecnologie:

- Alfresco open source software
- Semantic Web

Vantaggi:

- Velocizzazione dei tempi di accesso alla documentazione
- Riduzione degli errori dell'addetto manutenzione

- Riduzione del carico di lavoro dei tecnici della PMI



Figura 27 : Elaborazione Caso 8 (Fonte Industria 4.0 senza Slogan)

2.1.9 Caso 9, Tracciabilità delle attrezzature in magazzino

Una piccola impresa toscana necessitava di un sistema capace di tracciare le attrezzature da lavoro prelevate dai propri dipendenti dal magazzino. Per questo motivo si è rivolta a 3Logic MK per sviluppare un sistema economicamente compatibile con le proprie disponibilità. I problemi principali sono stati sostanzialmente due, automatizzare il processo di registrazione entrata/uscita delle attrezzature utilizzate dai dipendenti ed evitare la perdita delle stesse.

Per fare ciò si è scelto di dotare ogni dipendente di un badge con tag RFID UHF passivo, inoltre tutte le attrezzature a magazzino sono state dotate dello stesso tag adesivo. Infine, è stato installato un varco di controllo all'ingresso del magazzino, dotato di antenne a radiofrequenza. Quando il dipendente attraversa il varco di ingresso viene registrata la sua presenza e quando esce, viene registrato il materiale che questo ha prelevato o eventualmente restituito. In questo modo è stato possibile ridurre il tempo impiegato nella ricerca di attrezzature già prelevate da altri addetti e azzerare gli errori di inventario.

Tecnologie:

- Tag RFID UHF passivo
- Antenne per il rilevamento RFID
- SignalIR
- Server SQL (Database)
- ERP

Vantaggi:

- Riduzione del tempo non a valore aggiunto speso per la ricerca delle attrezzature
- Monitoraggio e registrazione dei prelievi delle attrezzature
- Incremento del livello di responsabilizzazione dei dipendenti



Figura 28 : Elaborazione Caso 9 (Fonte Industria 4.0 senza Slogan)

2.1.10 Caso 10, Tracciabilità della merce nel settore fast fashion

Kaos è una PMI del settore dell'abbigliamento fast fashion, che per rimanere competitiva in un mercato monopolizzato da big player quali ZARA, H&M, Primark ed altri necessitava di dover centralizzare la gestione delle informazioni dei capi disponibili alla vendita. Per questo motivo si è rivolta a Tenega, che ha sviluppato una soluzione basata sull'uso di etichette RFID UHF applicate su tutti i capi di abbigliamento e di una serie di antenne capaci di ricevere il segnale dei tag e procedere alle attività di registrazione lungo tutta la filiera produttiva. Anche i punti vendita sono stati dotati di varchi con antenne a radiofrequenza, al fine di registrare l'ingresso, l'uscita di merce e di automatizzare il processo di verifica delle bolle di consegna. Questa soluzione, con smart label, ha permesso di controllare le etichette generate dai fornitori e di velocizzare le fasi di ingresso e uscita dei capi, mantenendo l'inventario dei magazzini e dei punti vendita sempre aggiornati.

Tecnologie:

- Tag RFID UHF passivo (70x25mm)
- Applicativo di gestione magazzino in cloud
- Varchi con antenne a radiofrequenza
- Lettori portatili RFID

Vantaggi:

- Maggiore velocità ed efficienza delle attività di movimentazione magazzino
- Centralizzazione e supervisione
- Semplificazione della Supply Chain
- Interfaccia intuitiva per l'aggiornamento delle disponibilità magazzini/pos accessibile da web

2.1.11 Caso 11, Logistica di trasporto smart

Zerynth, società di consulenza informatica, ha sviluppato una soluzione capace di mitigare gli effetti dei ritardi nella consegna dei materiali. All'interno di una supply chain l'informazione ha un grande valore e sapere quando un fornitore sta ritardando la sua consegna, è di grande utilità per poter schedulare in modo ottimale le attività di produzione.

Il progetto prevede l'installazione di trasmettitori GPS sull'intera flotta di trasporto, in modo da conoscere l'esatta posizione della merce in consegna e la velocità di movimento del mezzo. Queste informazioni, unite a quelle riguardanti il traffico o le condizioni climatiche vengono rielaborate da una piattaforma in cloud sviluppata da Zerynth e in caso di incongruenza con l'orario schedulato di consegna, viene inviata una notifica diretta al responsabile di produzione. L'analisi, effettuata in modo preventivo, permette eventualmente di rischedulare la produzione, così da evitare inutili e costosi fermi macchina.

Tecnologie utilizzate:

- Modulo GPS
- Piattaforma di archiviazione dati in Cloud
- Software di analisi Zerynth

Vantaggi Ottenuti:

- Riduzione dei tempi di fermo macchina a causa di ritardi della merce
- Schedulazione del processo di produzione smart
- Miglioramento del processo di ricevimento merci



Figura 29 : Elaborazione Caso 11 (Fonte Industria 4.0 senza Slogan)

2.1.12 Caso 12, Ottimizzazione della produzione attraverso la simulazione

Una PMI produttrice di metalli, a causa dei numerosi guasti e dei tempi di setup lunghi, ha deciso di implementare un sistema di simulazione del processo produttivo. L'obiettivo è valutare la situazione AS IS e determinare una proposta TO BE capace di rendere più efficiente la produzione. Si è proceduto raccogliendo i dati di input, provenienti da un monitoraggio continuo del processo ed il software ha permesso di rilevare l'esistenza di un collo di bottiglia riconducibile ad uno specifico macchinario. Successivamente si è valutata la necessità di riorganizzare il flusso.

I risultati della simulazione, hanno permesso di ridurre il tempo di setup dei macchinari applicando la metodologia integrata Single Minute Exchange or Die e tutte le operazioni di setup interessate dal collo di bottiglia sono state rese parallele.

Tecnologie:

- Software evoluto di simulazione

Vantaggi:

- Riduzione dei costi di produzione e di stoccaggio
- Possibilità di applicare il modello di simulazione a più aree produttive con leggere modifiche



Figura 30 : Elaborazione Caso 12 (Fonte Industria 4.0 senza Slogan)

2.1.13 Caso 13, Vetrina 4.0

Zerynth ha sviluppato, per una prestigiosa gioielleria, l'idea della vetrina 4.0. Questa vetrina ha 12 tavole rotanti, ognuna comandata da un microcontrollore, in grado di alternarsi nella vetrina di esposizione mostrando il doppio delle collezioni che una normale gioielleria propone solitamente ai suoi clienti. Il sistema si controlla da remoto grazie ad un app mobile. L'app a disposizione del gioielliere permette di mostrare una collezione specifica ed eventualmente bloccare la rotazione, per procedere col prelievo dell'oggetto.

Grazie ad alcuni sensori posti di fronte la vetrina, è possibile raccogliere informazioni su quante persone passano davanti ad essa e quante invece si fermano ad osservare. Gli strumenti di analisi, elaborano i dati raccolti e valutano la correlazione tra prodotti, clienti che hanno richiesto di vedere una specifica collezione, orario della richiesta e vendite effettive dei prodotti. In questo modo è possibile capire quali sono i prodotti di maggiore interesse e sui quali investire in acquisti, ma anche definire dei target di clienti e mostrare loro determinati prodotti in determinati orari.

Tecnologie:

- 12 Microcontrollori a 32bit
- Standard di trasmissione dati Wifi
- Mobile App
- Software proprietario Zerynth

Vantaggi:

- Duplicazione delle collezioni esponibili
- Acquisizione dati di mercato

- Vetrina dinamica paragonabile ad un banner interattivo

2.1.14 Caso 14, Piattaforma web per le attività post-vendita

Un produttore di macchinari complessi si è rivolto alla società Net7, col fine di ideare una soluzione capace di sfruttare il rapporto dell'impresa con la propria clientela, fornendo, attraverso un portale web, manuali, informazioni sui macchinari installati, situazione contabile e proponendo informazioni di marketing mirato, quali l'acquisto di accessori, pacchetti di formazione o servizi di assistenza.

In questo modo l'azienda ha ridotto l'invio dei propri tecnici presso i clienti, fornendo loro una soluzione personalizzata, in quanto gran parte di tale attività viene effettuata tramite il portale che unisce informazioni sul macchinario con proposte di marketing volte ad incrementare il fatturato aziendale. Questa scelta di business rafforza il rapporto cliente-fornitore e abbatta i costi di personale.

Tecnologie:

- Piattaforma open source (Drupal)

Vantaggi:

- Riduzione dei costi di assistenza, formazione e attività di marketing
- Riduzione dei tempi di assistenza
- Erogazione di servizi post-vendita ad-hoc
- Incremento della fidelizzazione del cliente

2.1.15 Caso 15, Monitorare il volume di traffico in una stazione di benzina

Negli ultimi anni le stazioni di servizio si sono trasformate in esercizi commerciali, aumentando il portafoglio di servizi. Un gestore di circa 10 stazioni di servizio spagnole ha deciso di sfruttare al meglio tale situazione.

Il progetto ha visto la collaborazione di Libelium (Partner tecnologico) che si è occupata di implementare la propria tecnologia IoT col fine di customizzare l'attività commerciale della stazione di benzina. Sono stati installati una serie di gateway capaci di rilevare la presenza di smartphone Android e iPhone ed in generale qualsiasi dispositivo con connettività wifi o bluetooth. L'obiettivo è stato quello di conoscere il numero di macchine che si rifornivano presso la stazione e la densità di traffico sulla strada ove è ubicata la stazione. Le informazioni sulla densità di traffico permettono di elaborare una strategia di pricing personalizzata, volta a stimare l'elasticità dei prezzi a seconda del comportamento dei

clienti. Le analisi sui dati, vengono effettuate in modo centralizzato su un database in cloud, grazie all'uso di un ERP.

Tecnologie:

- 3 Gateway Wifi/BT
- Database MySQL locale
- Microsoft Dynamics NAV ERP

Vantaggi:

- Conoscenza del tasso di veicoli che accedono all'area di servizio e non effettuano rifornimento
- Conoscenza della durata media di soggiorno dei veicoli allo scopo di contrastarla con il tempo medio di rifornimento che registra il proprio sistema di controllo
- Determinazione del prezzo migliore sulla base dell'elasticità rilevata
- Valutazione dell'impatto delle promozioni nei servizi richiesti



Figura 31 : Elaborazione Caso 15 (Fonte Libelium)

2.1.16 Caso 16, Smart Factory

Polibol è una media impresa, con una reputazione mondiale per l'innovazione tecnologica come stampante per imballaggi flessibili. Data la presenza di una serie di processi critici, l'azienda deve garantire dei parametri ambientali estremamente rigidi durante tutto il processo produttivo.

Il processo di produzione delle bobine di imballaggi flessibili è molto delicato e durante tutte le fasi produttive la temperatura ha un ruolo cruciale, in quanto se troppo alta può rendere il pigmento secco o influire sull'elasticità dei materiali, ma anche determinare la delaminazione del prodotto finale. Per questi motivi, l'azienda si è rivolta a Libelium, per dotare lo stabilimento di sensori IoT per il rilevamento di temperatura, umidità, luce e composti organici volatili. Questi sensori raccolgono i dati e li inviano ad un gateway multiprotocollo, per poi essere archiviati su un database locale ed essere trasferiti ogni 60 secondi al cloud Azure di Microsoft. Le informazioni seppur con un ritardo di un minuto, possono considerarsi quasi real-time. Il responsabile della qualità, può intervenire immediatamente in caso di problemi con i valori rilevati.

Tecnologie:

- Sensoristica per la misurazione di temperatura, luce, umidità e VOC
- Gateway Meshlium Wifi/Ethernet/802.15.4
- Interfaccia web Meshlium proprietaria di Libelium per lo storage dei dati
- Cloud Microsoft Azure

Vantaggi:

- Riduzione dei costi di produzione
- Qualità del prodotto garantita
- Monitoraggio delle condizioni di lavoro
- Controllo di temperatura, umidità, luce e composti organici volatili

2.1.17 Caso 17, Stampa 3D per velocizzare le fasi di R&D

B810 s.r.l. è una società specializzata nella progettazione e produzione di sistemi elettronici e nello sviluppo di tecnologie innovative per il mondo IoT. Per B810 la fase di prototipazione è cruciale, in quanto sviluppa prodotti innovativi, motivo per cui ha valutato la possibilità di utilizzare la stampa 3D per velocizzare ed economizzare la fase di R&D.

Il caso in oggetto riguarda un apparecchio chiamato KILO e dedicato al monitoraggio dei consumi elettrici. Le fasi di sviluppo di questo sistema di monitoraggio normalmente prevedevano 8 step, partendo dal design attraverso un modello 3D CAD, l'invio del disegno ad un fornitore esterno per la stampa del prototipo, le verifiche di funzionalità sul prototipo e le necessarie richieste di modifica, la consegna del nuovo prototipo ed eventualmente in assenza di errori lo sviluppo della supply chain del prodotto finito. Tutte queste fasi

richiedono tempi lunghi e costi elevati. Con l'uso della stampa 3D è stato possibile velocizzare tutti gli step di sviluppo, dimezzare i costi e mantenere l'intero processo sotto controllo, evitando numerosi costi di transazione dovuti alla dipendenza da fornitori esterni.

Tecnologie:

- FDM - GIMAX 3D MATY, Stampante 3D per lo sviluppo dei tool di produzione
- STL – Formlabs FORM 2, Stampante 3D per la produzione dei campioni dedicati ai test meccanici
- MJP – PJ 2500 Plus, Stampante 3D per la produzione secondo la prototipazione rapida

Vantaggi:

- Riduzione del tempo di sviluppo, da 59 a 16 giorni
- Riduzione dei costi di sviluppo, da 5600€ a 2550€
- Processo totalmente sotto controllo durante tutte le fasi di R&D

2.2 Analisi delle tecnologie implementate nei casi di studio

Qui di seguito vengono riportate le diverse tecnologie utilizzate nei casi sopra discussi:

CASI	TECNOLOGIA UTILIZZATA	SETTORE	CASI	TECNOLOGIA UTILIZZATA	SETTORE
CASO 1	Tag RFID Lettori RFID	Manifattura (Produzione)	CASO 9	Tag RFID UHF passivo Antenne a radiofrequenza SignalIR Server SQL ERP	Logistica
CASO 2	Sensori temperatura Microcontrollori Sistema Archiviazione Cloud Software e App Mobile di gestione	Food	CASO 10	Tag RFID UHF passivo Gestionale in cloud Antenne a radiofrequenza Lettori portatili RFID	Fast Fashion, Supply Chain Management
CASO 3	Sensori vari Standard di comunicazione 3G/GPRS/ IEEE 802.15.4	Allevamento	CASO 11	Modulo GPS Database archiviazione in Cloud Software di analisi	Logistica e Produzione
CASO 4	Soluzione software di raccolta dati, elaborazione e invio	Manifattura (Produzione)	CASO 12	Software evoluto di simulazione	Manifattura (Produzione)
CASO 5	Soluzione software di raccolta dati, elaborazione e invio Pc con monitor touchscreen	Manifattura (Produzione)	CASO 13	Microcontrollore a 32bit Standard di comunicazione Wifi Mobile App Software di analisi dati	Commercio
CASO 6	Sensori vari Pannelli solari con batterie di accumulo Standard di comunicazione 4G/3G Sistema Cloud MS Azure Agrimes, applicazione web per monitoraggio dati	Food	CASO 14	Drupal CMS open source	Post Vendita
CASO 7	Sensori vari Software di raccolta dati Database in cloud Algoritmi predittivi	Manifattura (Manutenzione)	CASO 15	Gateway Wifi/BT Server MySQL Microsoft Dynamics NAV ERP	Commercio
CASO 8	Semantic Web Sistema di archiviazione Alfresco	Manifattura (Manutenzione)	CASO 16	Sensori vari Gateway Wifi/Ethernet/802.15.4 Cloud MS Azure Web App per la visualizzazione dati	Manifattura (Produzione)
			CASO 17	Stampante 3D	R&D

I casi studio sopra riportati sono una rappresentazione abbastanza eterogenea di applicazioni di concetti di Industry 4.0 in diversi ambiti di business. Il campione raccolto riguarda per il 93% PMI europee e di queste il 70% sono italiane. Il 71% dei casi è riconducibile ad attività riguardanti la supply chain di aziende manifatturiere. Si evidenzia inoltre che tutte le imprese analizzate, tranne una, hanno sviluppato i loro progetti con l'aiuto e il supporto di un partner tecnologico con lunga esperienza in ambito IoT e Industrial Manufacturing. È quindi del tutto evidente la funzione delle società informatiche per l'evoluzione del business delle imprese, in quanto le PMI italiane ed europee presentano sì

caratteristiche di estrema flessibilità produttiva, ma anche di impreparazione e mancanza di competenze interne nel settore ICT.

L'analisi dei casi evidenzia che nell'ambito Logistica e Supply Chain Management la tecnologia più utilizzata è l'RFID, dato ormai il costo esiguo dei tag e il risparmio di tempi e capitale umano in termini di gestione inventario e registrazione/movimentazione merci.

L'utilizzo di sistemi di archiviazione dati in cloud è un elemento imprescindibile per l'Industry 4.0, ed infatti in tutti i casi analizzati ne viene fatto uso, spesso in accoppiamento con un sistema ERP per la gestione delle varie attività di business.

Nell'ambito manifattura si rileva invece l'uso di sensoristica per la misurazione di parametri da tenere sotto controllo, uniti all'uso di software personalizzati e deputati ad interpretare i dati, trasferirli su un database cloud ed eventualmente effettuare analisi di tipo predittivo. Nei casi in cui una linea produttiva presenti macchinari incapaci di comunicare tra loro, a causa di scelte di protocollo differenti, vengono utilizzati i tag RFID per scambiare le informazioni di processo. Si rileva, che attualmente, gli algoritmi predittivi sono implementati principalmente per l'ambito della manutenzione, come evoluzione del concetto lean di manutenzione preventiva. Il fine principale è quello di evitare i fermi macchina e schedare meglio le attività di chi effettua la manutenzione e fornisce i ricambi.

L'uso di strumenti di data analytics risulta limitato alle applicazioni di processo, solo nel caso 14 i dati raccolti vengono utilizzati per sviluppare attività di marketing personalizzate.

In un caso esaminato, viene utilizzata la simulazione software per ottimizzare i processi produttivi, seppur limitandosi a simulazioni ad eventi discreti e senza implementare il paradigma Digital Twin per creare un gemello digitale della linea produttiva.

Per quanto riguarda l'ambito delle cose connesse (IoT), in numerosi casi vengono utilizzati sensori che comunicano con gateway wireless connessi ad una rete internet, l'uso è legato però prettamente alla raccolta dei dati per lo storage e le analisi su di essi.

Le stampanti 3D sono oggetto di approfondimento in un caso dedicato all'ambito R&D, in quanto ad oggi, i vantaggi derivanti da tale tecnologia, non sono sempre compatibili con i costi di acquisto delle stampanti per produzioni in quantità limitate.

2.3 Literature Review Digital Twin

In questo capitolo viene presentata un'analisi della letteratura riguardo il paradigma Digital Twin, in particolare la review si focalizza sulle applicazioni e ricerche documentate nel settore manifatturiero.

L'obiettivo è quello di mappare le attuali ricerche effettuate, identificare il grado di sviluppo del paradigma e valutare il grado di applicabilità al settore delle PMI. Per fare ciò si è utilizzata la base dati bibliografica offerta da Scopus. La ricerca degli articoli è stata effettuata per la keyword specifica "Digital Twin", successivamente per limiti linguistici sono stati selezionati solo gli articoli in lingua inglese e sono stati valutati gli ultimi tre anni (2018, 2017, 2016), in quanto negli anni precedenti la letteratura è risultata scarsa. Questa ricerca ha restituito 82 paper, che a seguito di un'attenta analisi riguardo gli argomenti trattati e a causa di limitazioni legate alla fruibilità di accesso delle piattaforme ospitanti, si sono ridotti a 51.

2.3.1 Modello di analisi

Il modello utilizzato si basa su uno schema analitico che indaga quattro aree principali e otto sottogruppi così suddivisi:

- 1) Area Tecnologica
 - a) Tecnologie di Industry 4.0
 - b) Stadio di sviluppo del Digital Twin
 - c) Metodo
- 2) Area Operativa
 - a) Impatti
 - b) Problemi
- 3) Area di Business
 - a) Business Value e Obiettivi
- 4) Area di Ricerca
 - a) Stakeholder
 - b) Contributi

Inoltre, la prima parte è dedicata all'analisi delle fonti della letteratura. Nel dettaglio vengono raccolte le informazioni riguardo la distribuzione delle pubblicazioni negli anni d'indagine, le fonti degli articoli, la tipologia di documento e infine il numero delle pubblicazioni per nazione. Queste informazioni permettono di effettuare delle

considerazioni di carattere generale, su quali università siano maggiormente attive nella ricerca e quali metodi e modi utilizzino per pubblicare i propri elaborati.

Di seguito vengono illustrati nel dettaglio i sottogruppi, identificando per ciascuno di essi il livello di approfondimento che si vuole raggiungere.

2.3.1.1 Tecnologie di Industry 4.0

Il paradigma Digital Twin presenta numerosi elementi in comune con quello dell'Industry 4.0, in particolare con le tecnologie abilitanti di quest'ultimo. Motivo per cui si è scelto di valutare le possibili tecnologie I4.0 impiegate, al fine di comprendere se vi siano legami o grosse differenze tra i due paradigmi.

Le tecnologie abilitanti indagate sono:

- Cloud
- IoT
- CPS
- Cybersecurity
- 3D Print & Additive Manufacturing
- Smart Sensor
- Big Data Analytics
- VR & AR
- Robotics
- Automation
- Wearable
- Artificial Intelligence
- Machine Learning

2.3.1.2 Stadio di sviluppo del Digital Twin

Il Digital Twin è un paradigma che presenta un diverso grado di applicazione, molto spesso legato al settore industriale, alla tipologia di macchinari, processi produttivi e non meno importante all'investimento economico impiegato.

Per tale motivo, a seguito di approfondimenti bibliografici e confronti con esperti del settore, sono stati identificati quattro gradi di sviluppo del DT, così suddivisi:

Livello Zero – Interconnessione e Raccolta dati

Le macchine e i sistemi informativi (Gestionale, MES, PLC...) sono interconnessi e tutti i dati rilevanti di produzione vengono raccolti. I sistemi informativi, sulla base dei dati, elaborano KPI personalizzati. Le analisi sui Big Data sono assenti o scarse.

Livello Uno – Simulazione per lo sviluppo prodotto

Vengono utilizzati software di simulazione reference standard, per effettuare simulazioni esclusivamente nella fase di design del nuovo prodotto.

Livello Due – Simulazione che coinvolge una o più aree della supply chain

Grazie allo sviluppo di un data model specifico per le esigenze di business, viene effettuata una simulazione che coinvolge una o più aree operative aziendali.

Livello Tre – Simulazione avanzata che coinvolge l'intero PLC

Simulazione avanzata che integra un data model strutturato. La simulazione si estende all'intero ciclo di vita del prodotto, toccando tutte le aree operative. Viene utilizzata l'analisi dei Big Data per garantire l'affidabilità della simulazione e ove possibile sono integrati AI e ML.

Nell'analisi della letteratura è stato valutato il grado di approfondimento teorico e pratico del DT e quindi identificato il rispettivo livello di sviluppo associato.

2.3.1.3 Metodi

Come specificato del paragrafo precedente, non sempre viene effettuata una simulazione quando si parla di Digital Twin. Inoltre, simulare non vuol dire necessariamente ottimizzare, motivo per cui, soprattutto nei casi di Digital Twin poco evoluti potrebbe non esistere un metodo o essere presente solo la Simulazione. Diversamente per DT più evoluti i metodi utilizzati sono:

- Simulazione
- Ottimizzazione

2.3.1.4 Impatti

In questa sezione vengono analizzate le aree di business interessate dall'applicazione del paradigma DT e l'eventuale impatto sull'intero ciclo di vita del prodotto. Nei casi in cui non

sia possibile ricondurre nessuna delle suddette conclusioni sull'articolo in esame, viene considerato soltanto l'impatto teorico a favore della conoscenza generale.

- Design
- Produzione
- Logistica
- Manutenzione
- Business Service
- PLC
- Conoscenza/Teorico

2.3.1.5 Problemi

L'identificazione dei problemi che emergono dall'impiego di una tecnologia è fondamentale, soprattutto nel caso di un paradigma così complesso. In questo caso, si è cercato di individuare dei macro-problemi riconducibili all'implementazione del DT.

- Sincronizzazione, Coordinazione, Interoperabilità: sono problematiche spesso connesse tra loro, riconducibili alla difficoltà di sincronizzare le informazioni e interconnettere macchinari di produttori diversi e tecnologie differenti.
- Standard di riferimento per la comunicazione e l'implementazione: è sicuramente uno dei principali problemi, in quanto ad oggi non esiste uno standard di riferimento per far comunicare i DT dei macchinari.
- Sicurezza: la digitalizzazione porta con sé numerosi benefici, ma anche un annoso problema, ovvero quello di garantire che le informazioni scambiate e che i processi previsti siano sicuri.
- Scalabilità: sviluppare il DT del singolo processo è molto spesso un'attività dispendiosa, in termini di tempi e costi, va quindi valutata la possibile estensione a tutti gli altri processi aziendali e quindi la sua scalabilità.
- Costi: il DT in quanto paradigma recente, può comportare sicuramente un costo maggiore rispetto ad altri strumenti. In questo caso un'analisi costi benefici può indirizzare verso l'implementazione corretta.
- Complessità di realizzazione o gestione: è un fattore sicuramente non trascurabile, in quanto per realizzare un DT è richiesta una competenza a tutto tondo, nel ramo industriale ed informatico

- Regolamentazione legislativa: questo problema seppur poco affrontato è presente e nei prossimi anni diventerà sempre più influente. Si pensi alla GDPR che impatta in tutti i processi aziendali legati alla gestione dei dati.
- Integrazione dei dati: la capacità di mappare il flusso delle informazioni, identificare i dati necessari e integrali in modo efficiente nel DT aziendale.
- Trasparenza dell'informazione nella Supply Chain: un DT aziendale evoluto, presuppone che tutti gli attori della supply chain condividano le informazioni in modo trasparente. Questo non vuol dire però essere a conoscenza di tutte le informazioni, ma solo di quelle che sono utili a migliorare il business dell'intera SC.

2.3.1.6 Business Value e Obiettivi

Qui vengono valutati gli obiettivi espliciti e meno espliciti degli articoli analizzati, inoltre viene identificato il possibile valore di business ottenibile dal DT.

- Qualità
- Garanzia e reclami
- Efficienza costi operativi
- Riduzione del Time to Market
- Tracciabilità del prodotto o della attività produttive
- Life Cycle Management
- Manutenzione
- Gestione delle risorse umane
- Manufacturing Services

Vale la pena ricordare che per “Life Cycle Management” si intende una migliorata gestione del ciclo di vita del prodotto e delle risorse connesse ad esso; per “Manufacturing Services” si intende la possibilità di offrire alcuni dei servizi tipici del paradigma Manufacturing as a Service e infine, per “Gestione delle risorse umane”, si intende la possibilità di efficientare il carico di lavoro dei dipendenti e garantire un maggiore livello di sicurezza sul luogo del lavoro.

2.3.1.7 Stakeholders

Questa sottocategoria indaga tutti i possibili “portatori di interesse” dell'argomento affrontato nell'articolo analizzato. Molto spesso gli stakeholder non sono chiaramente definiti, motivo per cui tali deduzioni sono frutto dell'analista.

- Grandi Imprese
- PMI
- Università/Studenti
- Fornitori
- Clienti
- Impiegati

2.3.1.8 Contributi

L'ultima sottocategoria, valuta il contributo tecnico effettivo dei ricercatori nell'articolo. Quindi viene considerato rilevante la presenza di un Data Model o di un Framework di implementazione della tecnologia. La presenza di uno o più casi d'uso o casi di studio identificano anche il livello di approfondimento della ricerca e dunque, se presenti, permettono di avvalorare le tesi proposte. Nel caso di literature review o di paper troppo brevi, viene considerato solo il contributo teorico alla ricerca.

- Data Model
- Caso d'uso/Caso di studio
- Framework
- Generale/Teorico

2.3.2 Analisi dei risultati

Di seguito viene illustrata l'analisi dettagliata dell'attività di literature review. Dopo un breve excursus sulle fonti della letteratura, vengono indagati i risultati nelle 8 sottocategorie individuate. A riguardo si precisa che i confronti anno per anno, sono stati possibili solo per il 2018 e 2017, in quanto l'esiguità di articoli nel 2016 non avrebbe garantito una comparazione affidabile. In conclusione, le considerazioni di carattere generale.

2.3.2.1 Fonti della letteratura

I 51 paper raccolti sono suddivisi su tre anni (2018, 2017, 2016). In particolare, il 2018, seppur non concluso, è l'anno che presenta il maggior numero di pubblicazioni (32), questo valore si dimezza nell'anno 2017, mentre nel 2016 tocca il valore minimo di 3 pubblicazioni.

Literature Review

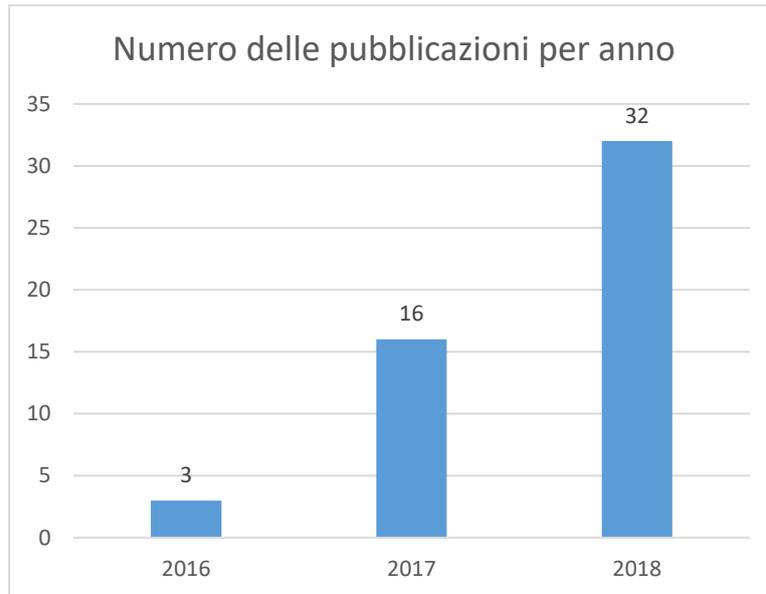


Figura 32: Numero delle pubblicazioni per anno

Per quanto riguarda le fonti, in Figura 33, viene mostrata la distribuzione di queste. Ad esclusione di *Procedia CIRP* che totalizza il picco massimo di 10 pubblicazioni, e di *Others* che raggruppa tutte le fonti con una pubblicazione unica, in tutti gli altri casi si evidenzia una media di 3 pubblicazioni per fonte.

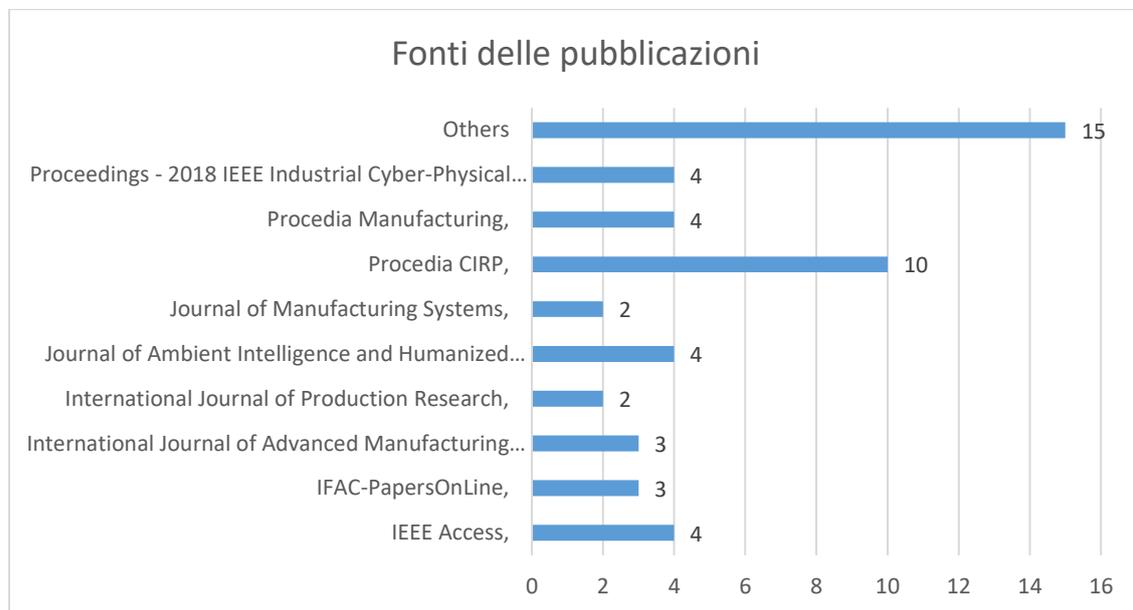


Figura 33 : Raccolta fonti delle pubblicazioni

Nel dettaglio, la tipologia di documento maggiormente utilizzato è il *Conference Paper* (45%), a cui segue l'articolo classico (41%) e l'articolo in press (14%).

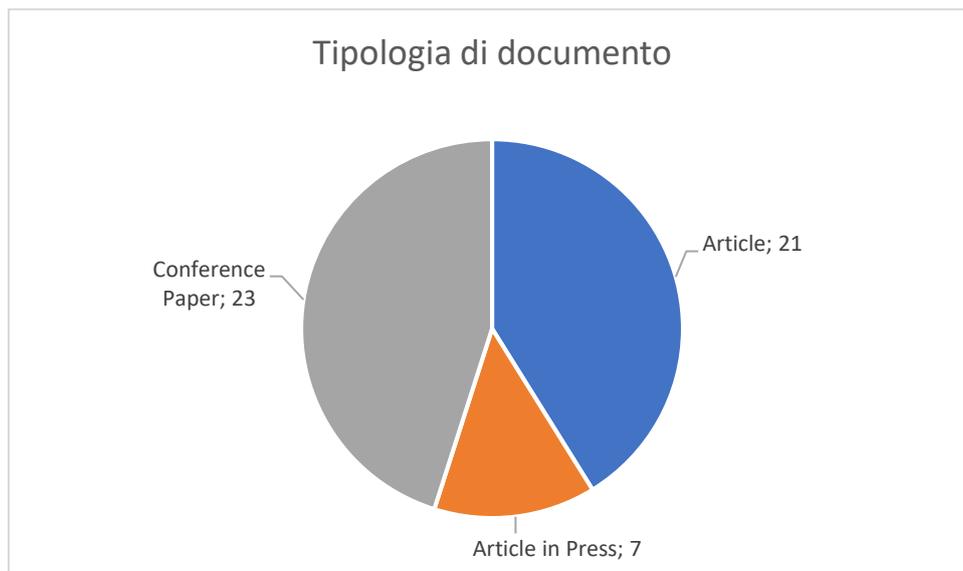


Figura 34 : Tipologia di documento

La top 5 delle università maggiormente attive nella ricerca del Digital Twin applicato al settore manifatturiero, vede in testa le università tedesche, a cui seguono quelle cinesi, le svedesi, le americane e in coda le università italiane. Il dato va letto in modo attento e per quanto riguarda l'Italia, restituisce un risultato in linea con i ranking che la vedono in seconda posizione, per fatturato delle imprese manifatturiere in Europa e settima al mondo.



Figura 35 : Nazionalità delle università coinvolte nell'analisi

2.3.2.2 Tecnologie di Industry 4.0

Prima della quarta rivoluzione industriale, il Digital Twin era considerato soltanto una tecnologia a supporto delle attività di design e sviluppo prodotto. Solo successivamente si è

andato imponendo come nuovo paradigma che sfrutta alcune tecnologie di Industry 4.0 per facilitare la digitalizzazione delle imprese e dei processi di gestione.

La tecnologia maggiormente citata risulta essere il CPS nell'80% degli articoli, i Big Data (78%), l'Internet of Thing (71%), Cloud (57%) e Smart Sensor (51%). I risultati ottenuti sono in linea con le aspettative, in quanto queste sono proprio le tecnologie abilitanti maggiormente utilizzate nello sviluppo dei Digital Twins.

Le restanti tecnologie si mantengono su percentuali basse e probabilmente dato il settore d'indagine, ci si sarebbe attesi più citazioni per Robotics (8%) e Automation (12%). Anche in questo caso va considerato che attualmente le ricerche scientifiche si focalizzano su come sviluppare un Digital Twin piuttosto che su come integrare tutte le possibili tecnologie esistenti.

Va invece posta attenzione sull'assoluta assenza di citazioni di tecnologie volte a garantire la cybersecurity.

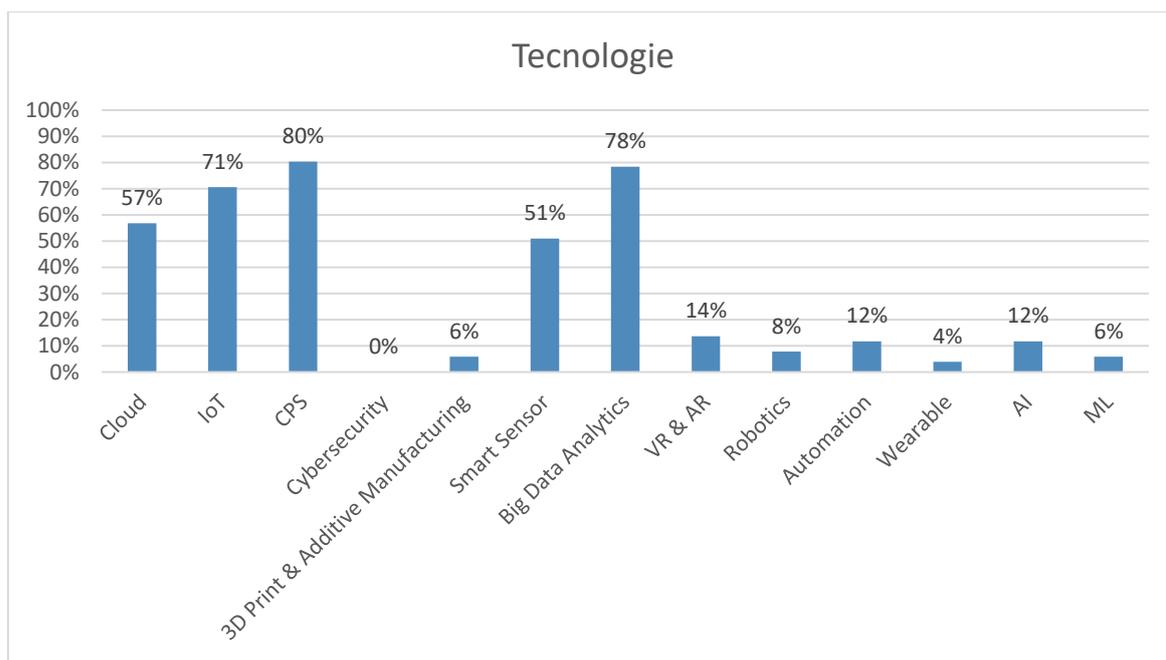


Figura 36 : Citazioni delle tecnologie di Industry 4.0

In Figura 37 viene mostrato il confronto negli anni 2018 e 2017 delle tecnologie abilitanti. A riguardo si evidenziano percentuali sostanzialmente simili per CPS e Cloud, mentre è evidente l'incremento del 10% circa della tecnologia IoT e inversamente il decremento del 13% per Smart Sensor. Nel 2018 si registra inoltre, per la prima volta, la citazione di 3D Print & Additive Manufacturing (9%), dei Wearable (6%) e del Machine Learning (9%). L'Artificial Intelligence nel 2018 segna un delta positivo del 10%, confermando il trend che

vede tale tecnologia sempre più importante, sia a livello industriale che consumer. Tutte le altre tecnologie mantengono delle fluttuazioni inferiori al 10%.

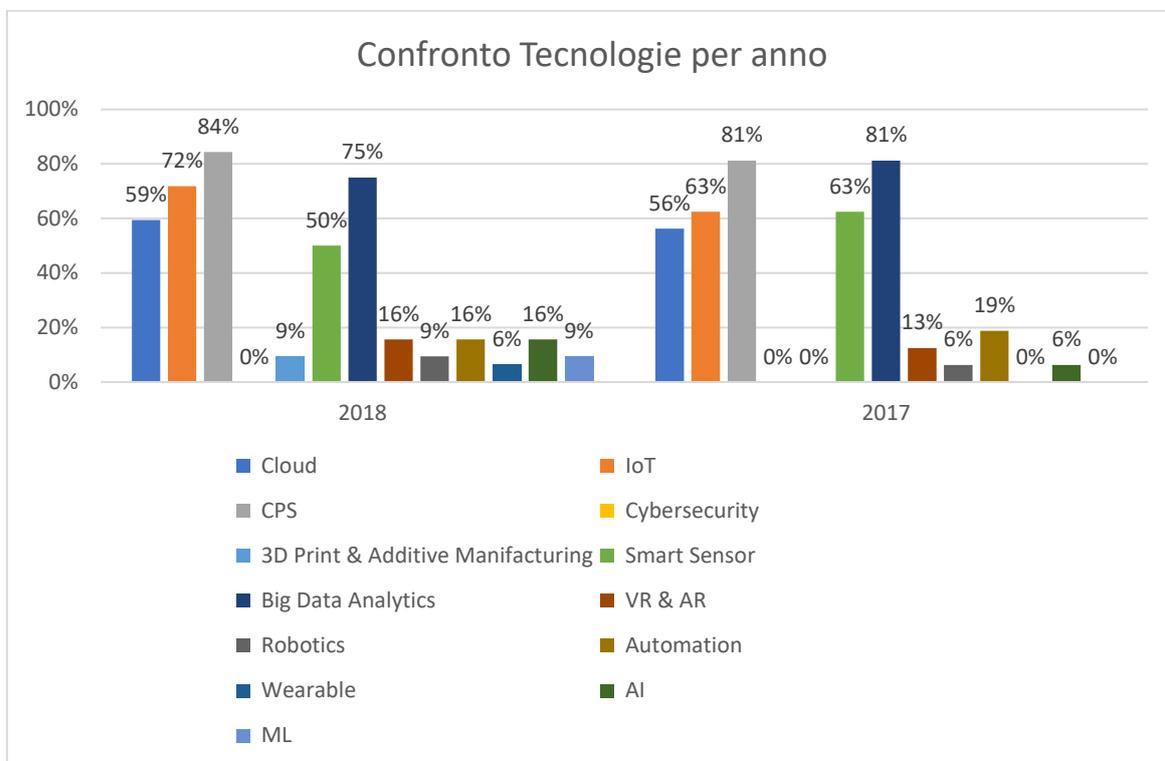


Figura 37 : Confronto delle Tecnologie Industry 4.0 per anno

2.3.2.3 Stadio di sviluppo del Digital Twin

Sulla base dello schema illustrato nel paragrafo 2.3.1.2, la maggior parte degli articoli tratta solo del livello zero, ovvero Interconnessione e Raccolta dati, infatti la percentuale di citazione è del 73%. Valori più bassi si riscontrano per la simulazione di primo livello (25%), di secondo livello (43%) e di terzo livello (12%). Data la complessità della simulazione di livello tre, la percentuale è giustificata e analogamente per la simulazione di livello due, sulla quale invece si stanno concentrando maggiormente i ricercatori a livello internazionale.

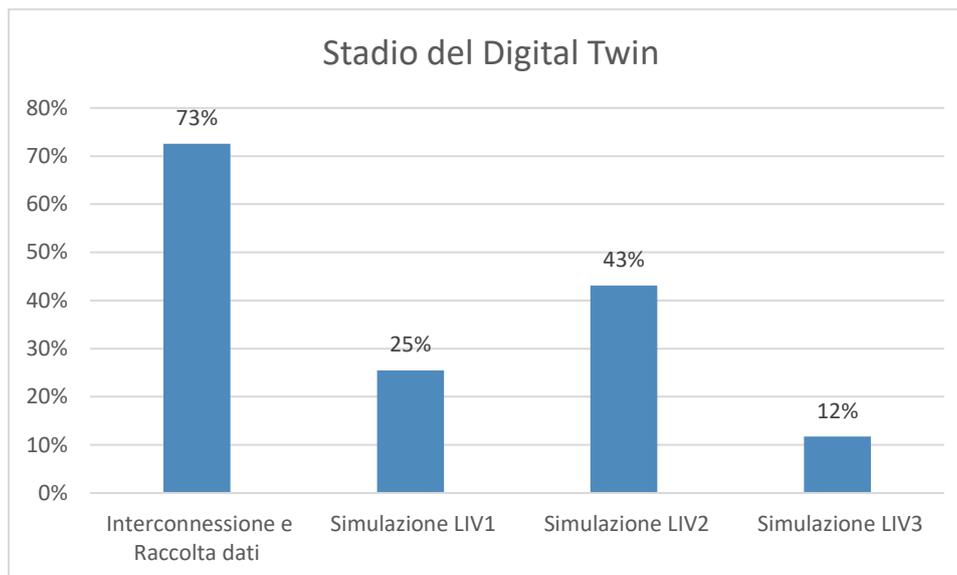


Figura 38 : Stadio di sviluppo del Digital Twin

2.3.2.4 Metodi

I risultati riguardo i metodi utilizzati, evidenziano la netta prevalenza della simulazione (75%) rispetto l'ottimizzazione (37%). A riguardo si evidenzia che in tutti gli articoli analizzati la presenza dell'ottimizzazione è sempre correlata alla simulazione e dunque la percentuale del 37% va letta come impiego di entrambi i metodi. Questa considerazione non è ovvia, in quanto la teoria classica della simulazione non prevede automaticamente anche l'ottimizzazione. Nel caso però del Digital Twin l'ottimizzazione è l'obiettivo principale da perseguire.

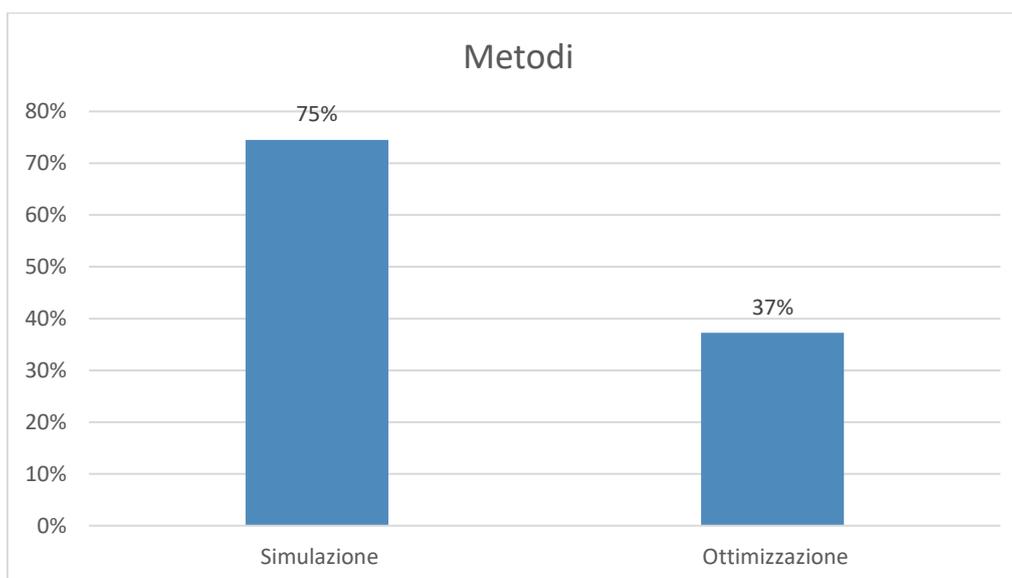


Figura 39 : Metodi per il Digital Twin

2.3.2.5 Impatti

L'analisi aggregata sui tre anni mostra che l'impatto principale del Digital Twin è indirizzato alla Produzione, al PLC e alla Conoscenza teorica nel 35% dei casi analizzati. Segue l'attività di Design con il 29%, la Logistica con il 16% e Manutenzione e Business Service con il 4%.

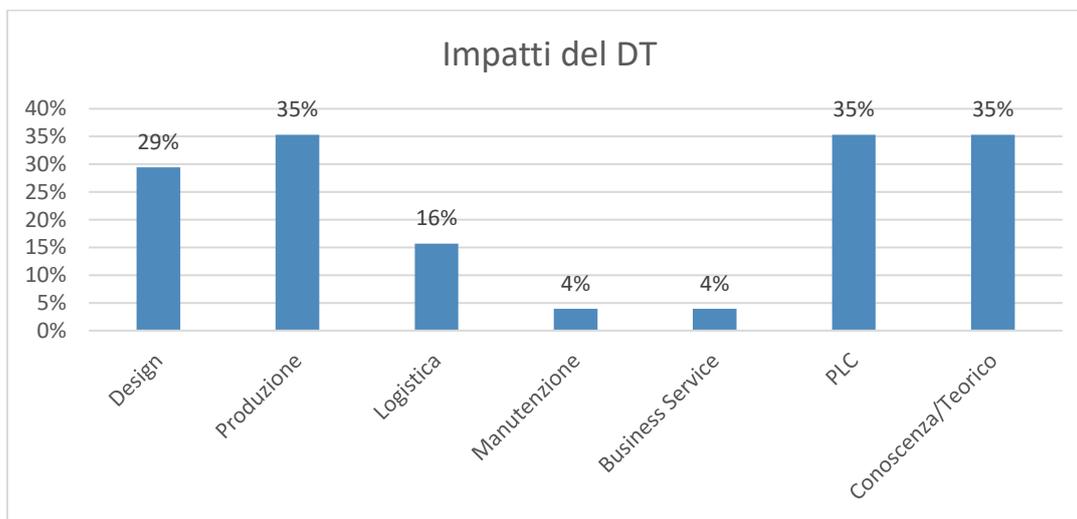


Figura 40 : Impatti del Digital Twin sulle attività

Il confronto (Figura 41) tra gli ultimi due anni mostra un netto decremento dell'impatto sull'attività di Design (-57%), un valore però in accordo con l'analogo decremento del livello uno di sviluppo del Digital Twin. Anche la Logistica vede un sostanziale decremento del 37%, mentre la Produzione e il PLC crescono.

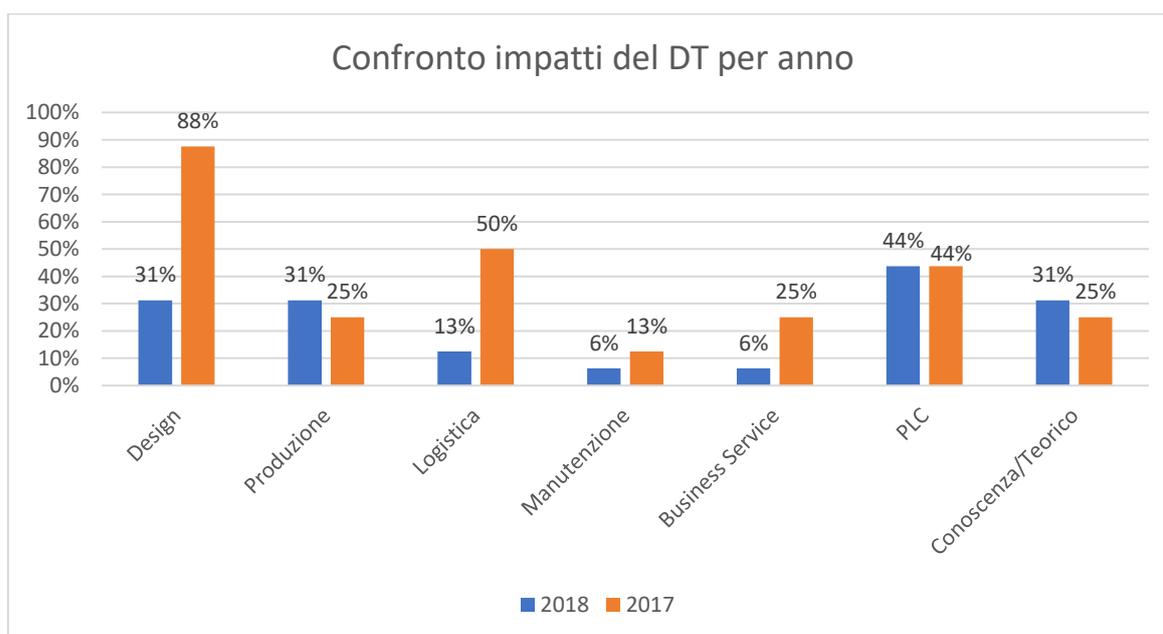


Figura 41 : Confronto impatti del DT per anno

2.3.2.6 Problemi

Tra le possibili problematiche legate all'implementazione del DT, emerge che l'Integrazione dati è quella maggiormente temuta nel 71% dei casi. Segue la Sincronizzazione-Coordination-Interoperabilità (61%) e la Complessità (53%). La necessità di non avere uno Standard definito preoccupa nel 24% dei casi, analogamente la Scalabilità nel 25%. I costi invece non vengono considerati un problema così rilevante (18%), va però tenuto conto che la ricerca scientifica si è concentrata più sulla soluzione tecnica che sul costo per la sua implementazione.

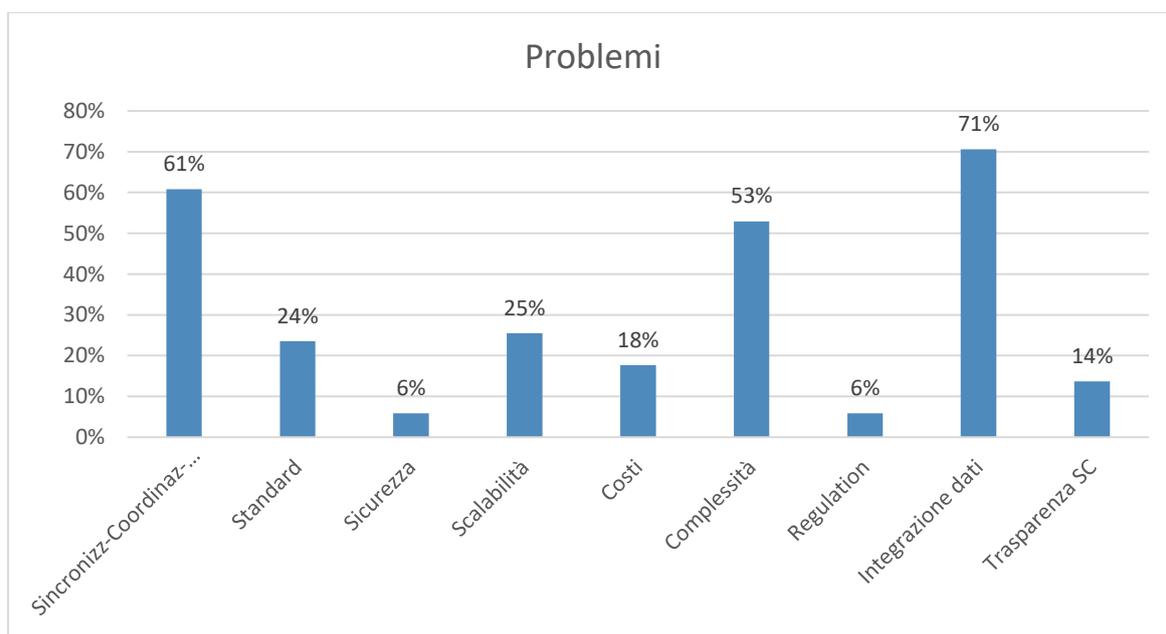


Figura 42 : Problemi e ostacoli allo sviluppo del Digital Twin

La Trasparenza della Supply Chain anche in questo caso è considerata poco importante (14%), ma il dato in questo caso è positivo, in quanto evidenzia che il DT favorisce la risoluzione di tale problema. Sicurezza e Regulation sono irrilevanti col loro 6%.

2.3.2.7 Business Value e Obiettivi

Il principale obiettivo delle pubblicazioni analizzate è una migliorata gestione del Life Cycle Management (61%) a cui segue l'Efficienza dei costi operativi (47%) e la Qualità di prodotti e processi (31%). Questi risultati evidenziano il focus verso la gestione dell'intero ciclo di vita del prodotto e l'efficienza dei processi con ricadute sull'abbattimento dei costi vivi operativi.

In posizione intermedia invece Manutenzione e Riduzione del Time to Market con un 25% e Manufacturing Services e Tracciabilità con il 20%. Il risultato riguardo la Manutenzione

potrebbe risultare inatteso, ma va tenuto conto che questo è un obiettivo più del paradigma di Industry 4.0 che del Digital Twin, almeno secondo le evidenze della letteratura scientifica.

Percentuale irrisoria del 2% per Garanzia e Reclami.

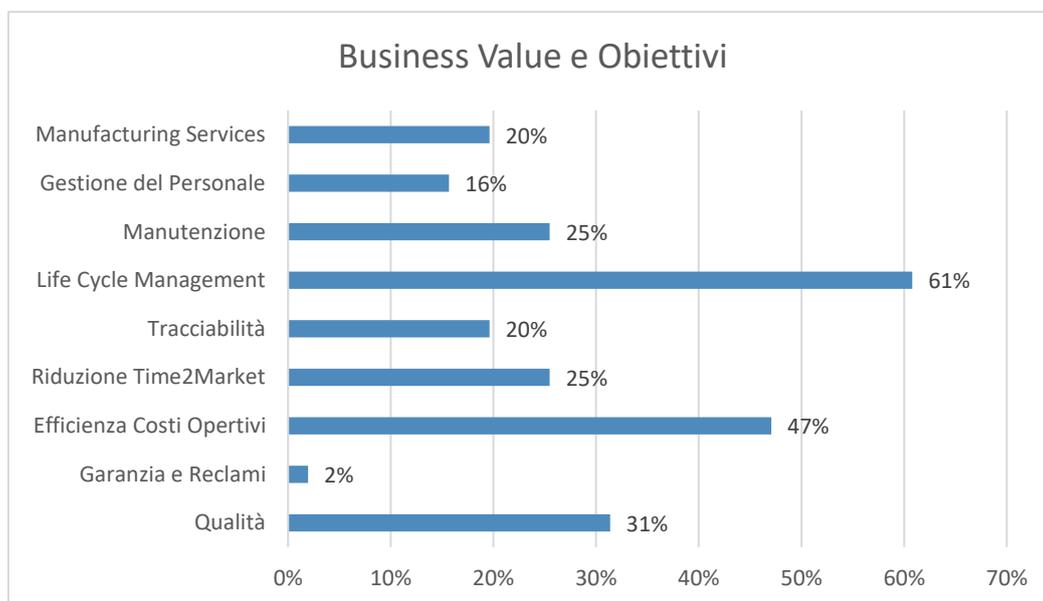


Figura 43 : Business Value e Obiettivi

Il confronto tra 2018 e 2017 (Figura 44) non mostra particolari evidenze, se non un incremento degli obiettivi di Riduzione Time to Market, miglioramento del Life Cycle Management, Manutenzione, Gestione del Personale, Manufacturing Services e Garanzia e Reclami. In tutti gli altri casi si registra una diminuzione di interesse verso business value e obiettivi dell'anno precedente.

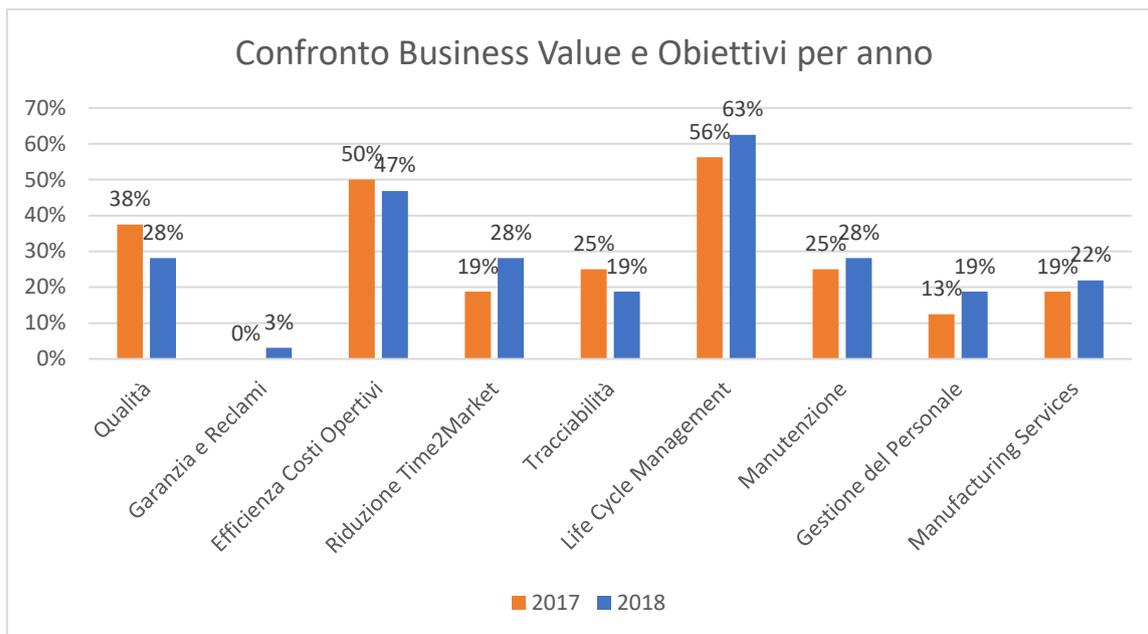


Figura 44 : Confronto Business Value e Obiettivi per anno

2.3.2.8 Stakeholders

L'analisi degli Stakeholder è probabilmente quella maggiormente influenzata dall'interpretazione dell'analista, in quanto non sempre sono riportati in modo esplicito i soggetti interessati da una determinata ricerca.

La Grande impresa è sicuramente l'attore principale (69%) in quanto ha la possibilità di implementare a pieno la tecnologia DT. Segue la PMI che per determinate applicazioni, non estremamente complesse, potrebbe avvantaggiarsi dell'impiego dei gemelli digitali (45%). Università e Studenti sono stati considerati stakeholder solo nei casi di ricerche prettamente teoriche e poco applicative, motivo per cui totalizza il 27% delle citazioni.

Fornitori, Clienti e Impiegati, si posizionano come ultimi con una percentuale al di sotto del 20%.

Literature Review

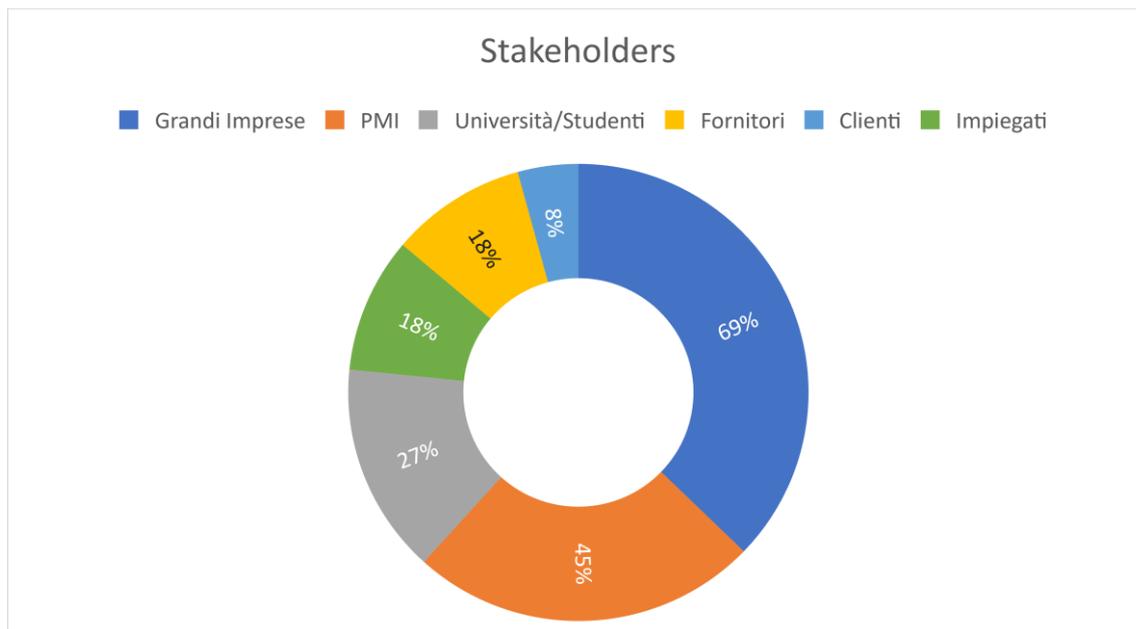


Figura 45 : Stakeholders

2.3.2.9 Contributi

Nonostante il Digital Twin sia un paradigma relativamente giovane, la ricerca scientifica contribuisce con una percentuale decisamente elevata (Figura 46) di Casi d'uso/Casi di studio e Framework di applicazione. Data Model e Generale totalizzano invece rispettivamente il 22% e il 27%.

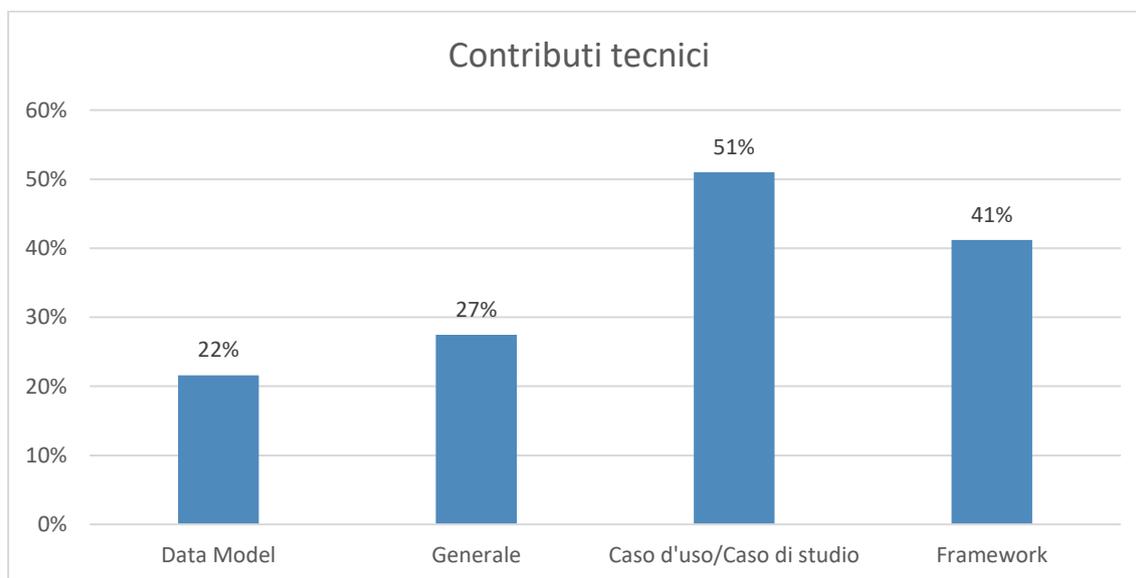


Figura 46 : Contributi tecnici della ricerca scientifica

Negli anni invece (Figura 47), tutti i contributi, ad esclusione di quello Generale/Teorico hanno visto aumentare la loro percentuale; chiaro segno del sempre maggiore focus verso la ricerca applicata piuttosto che puramente teorica.

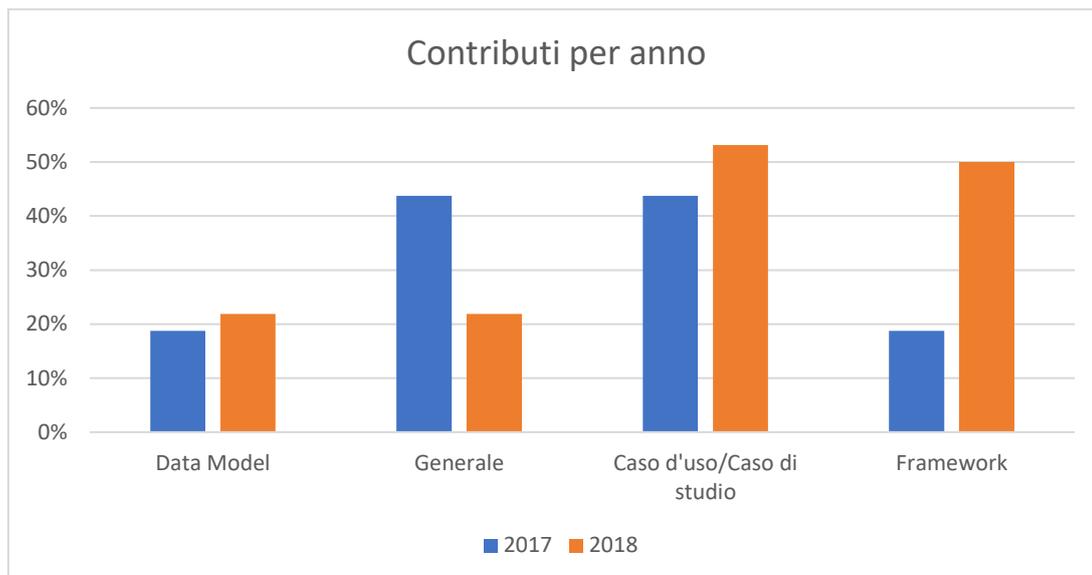


Figura 47 : Contributi tecnici della ricerca scientifica per anno

2.3.3 Conclusioni

L'analisi della letteratura si è focalizzata sul settore manifatturiero, cercando di cogliere come il Digital Twin possa impattare le operation e più in generale l'intera supply chain.

La prima considerazione interessante è legata al termine Digital Twin, in quanto in letteratura alcuni autori lo considerano un nuovo paradigma tecnologico, altri una mera tecnologia e altri ancora un sinonimo dei CPS. In questa tesi si è scelto di seguire la prima impostazione, ovvero quello di considerare il DT come un paradigma a sé stante. In questa ottica, dall'analisi emerge che le tecnologie abilitanti maggiormente utilizzate sono: CPS, Big Data Analytics, IoT e Cloud. Ovvero le tecnologie indispensabili per creare un Digital Twin.

Svariati ricercatori hanno espresso la loro perplessità nello sviluppare un sistema di replica digitale così esteso e per questo hanno proposto un'integrazione dei CPS con i vari applicativi informatici quali SOA, MES, ERP ed altri. Tutte queste considerazioni sono state mappate e i risultati analitici evidenziano che, ad oggi, l'idea di un DT per la fabbrica si ferma sostanzialmente al livello zero o in ogni caso non si spinge oltre il livello 2.

Risultati incoraggianti per quanto riguarda il focus della ricerca verso la produzione e l'intero PLC, piuttosto che unicamente sul design. A riguardo i problemi da risolvere sono molti, soprattutto quelli legati all'integrazione dei dati dai vari macchinari con i sistemi informativi, la sincronizzazione e interoperabilità, la complessità del progetto DT, senza dimenticare la scalabilità e la mancanza di un reference standard per lo sviluppo.

Gli obiettivi della ricerca sembrano però essere chiari, ovvero attenzione alla gestione del ciclo di vita del prodotto, efficienza dei costi operativi e incremento della qualità dei prodotti e dei processi.

Si conferma inoltre un trend degli ultimi anni, già visto con l'analisi del paradigma Industry 4.0, ovvero la ricerca scientifica tende ad essere sempre più applicativa, presentando casi d'uso/studio e framework di applicazione. Va invece evidenziata la scarsa presenza in letteratura di modelli di business, motivo per cui nel capitolo 3 verranno proposte alcune implementazioni innovative del Digital Twin.

In conclusione, si osserva l'esiguità di articoli rivolti alle PMI, probabilmente a causa del fatto che il DT è un paradigma relativamente giovane. Il focus attuale è lo sviluppo di un sistema modulare, che possa essere facilmente impiegato in diversi tipi di aziende, il tutto secondo un approccio "Plug and Simulate" ovvero senza la necessità di grosse competenze tecniche.

3. Industry 4.0 & Digital Twin transformation assessment

3.1 Obiettivo

L'obiettivo principale dell'indagine è stato quello di definire i requisiti fondamentali, per lo sviluppo futuro di un Digital Twin aziendale nelle PMI manifatturiere italiane. L'attività di ricerca applicata è stata richiesta dall'Istituto Superiore Mario Boella ed è stata svolta durante un periodo di Stage presso l'istituto, con la collaborazione dei ricercatori dell'ICE@Lab del Politecnico di Torino.

È stato necessario valutare attentamente la readiness delle imprese, riguardo gli strumenti e le possibilità offerte dall'Industry 4.0. Particolare attenzione è stata posta alla valutazione delle conoscenze delle tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0, allo stato di effettiva implementazione, all'individuazione delle attività importanti per il proprio business e ai benefici attesi.

Il Digital Twin è un paradigma, che come si è potuto osservare nei capitoli precedenti, sfrutta le potenzialità del cloud sia per archiviare i dati sia per effettuare analisi e renderle fruibili dal maggior numero dei dispositivi. Per tale ragione una sezione importante dell'indagine è stata dedicata ad indagare il grado di implementazione di soluzioni cloud, ma soprattutto la disponibilità delle imprese alla condivisione dei dati su server non direttamente gestibili in azienda.

Alla fine della fase di inquadramento dell'impresa, si è proceduto a determinare la conoscenza della tecnologia Digital Twin, proporre una serie di implementazioni possibili sulla base, sia dello stato dell'arte attuale sia delle analisi della letteratura a riguardo e infine valutare la disponibilità ad effettuare questi investimenti assieme al payback period atteso degli stessi.

3.2 Modalità di indagine

La modalità di indagine utilizzata è stata quella delle interviste semistrutturate face-to-face svolte da due stagisti, di cui uno solo deputato alla raccolta delle risposte ricevute. Questa scelta è dovuta alla volontà di ottenere risposte basate su un metro di giudizio uniforme, rispetto ai classici questionari online. Nei casi in cui gli imprenditori hanno espresso la loro disponibilità ad essere intervistati, si è scelto di raccogliere direttamente le loro risposte, con

il supporto di altre funzioni tecniche di staff, al fine di poter ottenere delle risposte quanto più veritiere possibili.

3.3 Struttura

Le interviste si sono basate su un questionario costruito ad hoc da utilizzare come traccia per le domande poste dall'intervistatore. Il questionario, ospitato dalla piattaforma LimeSurvey del Politecnico di Torino, è caratterizzato da una parte introduttiva dove vengono illustrati i soggetti coinvolti nell'indagine e da una descrizione delle sezioni di cui questo è composto:

1. Identificazione dell'Azienda rispondente;
2. Livello di conoscenza dei concetti afferenti al paradigma Industria 4.0;
3. Livello effettivo di implementazione dei concetti di Industria 4.0 in Azienda;
4. Livello di conoscenza del paradigma Digital Twin per l'Industria 4.0;
5. Suggerimenti e spunti al fine di migliorare le indagini future;
6. Recapiti dell'Azienda rispondente nel caso si desiderasse essere ricontattati per ulteriori indagini o per la condivisione di informazioni.

3.3.1 Identificazione dell'azienda rispondente

Nella prima sezione vengono raccolti una serie di dati generici riguardanti l'impresa e il mercato in cui opera, in particolare:

- Nome dell'azienda
- Posizione del rispondente
- Settore di appartenenza dell'Azienda
- Attività dell'azienda
- Numero dei dipendenti
- Mercati serviti
- Anno di fondazione
- Fatturato
- Quota di Mercato

Queste informazioni permettono di settorializzare l'analisi e focalizzarsi nel seguito solo sui segmenti di mercato di interesse.

Successivamente vengono poste domande riguardanti la gestione della Supply Chain sia lato cliente che fornitore. Le domande sono volte a comprendere se l'impresa ha uno o più

fornitori principali e se si quanti, ugualmente se ha uno o più clienti principali e se si quanta percentuale del fatturato dipende da questi.

La sezione si conclude con alcune domande indirizzate all'area produttiva, al fine di capire se si verificano fenomeni di picchi e/o stagionalità e come questi vengono gestiti quando presenti.

3.3.2 Livello di conoscenza dei concetti afferenti al paradigma Industry 4.0

In questa seconda sezione viene valutato se le imprese conoscono il paradigma Industry 4.0 e le tecnologie connesse ad esso. Viene inoltre chiesto se sono a conoscenza di bandi o finanziamenti per lo sviluppo tecnologico e del recente Piano Calenda.

Successivamente vengono poste una serie di domande volte ad indagare il rapporto dell'impresa con i dati che coinvolgono le proprie attività produttive o quelli legati ai fornitori/clienti. Viene chiesto se conoscono la recente normativa europea GDPR e quali azioni sono state messe in atto per adeguarsi. Alcune domande focalizzano l'attenzione sul capire quali dati le imprese sarebbero disposti a condividere, qual è il grado di conoscenza in ambito cybersecurity e quali tecniche di protezione vengono adottate in azienda.

Infine, le ultime domande indagano sulla conoscenza e l'effettivo utilizzo di soluzioni Cloud e sulla percezione di sicurezza di un servizio storage in cloud rispetto ad uno in-house.

3.3.3 Livello effettivo di implementazione dei concetti di Industry 4.0

La terza sezione ha l'obiettivo di indagare riguardo le attività che le imprese ritengono importanti per il proprio business, nel dettaglio viene proposto un elenco a scelta multipla:

- Produzione di piccoli lotti fortemente customizzati
- Automatizzazione dei processi produttivi
- Sostenibilità ambientale e risparmio energetico
- Manutenzione preventiva e predittiva
- Integrazione verticale
- Integrazione orizzontale
- Flessibilità organizzativa e predisposizione al cambiamento
- Uso di Robot collaborativi (COBOT)
- Raccolta e analisi di dati sulle attività in essere
- Attrarre risorse esperte

- Offerta di servizi in supporto ai prodotti fisici
- Allocazione di risorse ad attività di ricerca e sviluppo
- Formazione sul campo dei dipendenti su utilizzo e gestione dei nuovi strumenti digitali
- Progettazione dei prodotti assistita da calcolatore/strumenti di simulazione
- Formalizzazione di un approccio strategico per incentivare l'innovazione
- Attrarre manager per governare innovazione e digitalizzazione

Segue una domanda volta a valutare il grado di effettiva implementazione delle tecnologie afferenti all'Industry 4.0. Il posizionamento di questa non è casuale, ma è volto ad ottenere una risposta pertinente nella successiva domanda, che chiede quali sono i benefici attesi dalle tecnologie adottate o che si è disposti ad adottare in futuro. Anche in questo caso le risposte vengono selezionate sulla base di un elenco a scelta multipla:

- Aumento di efficienza
- Aumento di produttività
- Riduzione dei costi
- Aumento della trasparenza nelle attività svolte dai vari attori della filiera
- Interoperabilità tra i vari attori, sincronizzazione e scambio di informazioni
- Miglioramento del processo decisionale
- Riduzione delle tempistiche (es. time-to-market, set-up)
- Aumento dei profitti
- Aumento della qualità dei prodotti/processi
- Aumento di affidabilità dei prodotti/processi
- Realizzazione di prodotti customizzati in piccoli lotti
- Aumento della sicurezza dei lavoratori
- Livellamento dei carichi energetici e riduzione utilizzo di energia
- Maggiore soddisfazione dei consumatori
- Miglioramento del processo di controllo del ciclo di vita del prodotto

Infine, viene inserita un'ultima domanda che ha una duplice funzione, ovvero accertarsi se esiste un piano strategico volto a favorire l'innovazione e fungere da controllo sulle risposte precedenti.

3.3.4 Livello di conoscenza del paradigma Digital Twin per l'Industry 4.0

La quarta sezione, ospita le domande più importanti di tutta l'indagine, ovvero la valutazione dei requisiti di sviluppo del Digital Twin. In questo caso è prevista una introduzione teorica-descrittiva della tecnologia DT, segue una domanda che indaga sulla conoscenza pregressa di questa e una successiva, che senza citare la tecnologia specifica, domanda se le principali implementazioni del DT possano essere utili per il business dell'impresa.

In caso di risposta affermativa viene sottoposto un elenco di implementazioni possibili per le PMI, al fine di valutare il grado di utilità per l'imprenditore:

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

Le domande successive sono volte a valutare la disponibilità dell'imprenditore ad investire nella tecnologia Digital Twin, identificare eventuali benefici ottenuti da coloro che hanno effettuato in passato investimenti in Industry 4.0 e identificare qual è il periodo medio di ritorno atteso di tali investimenti.

3.3.5 Suggerimenti e spunti al fine di migliorare le indagini future

Questa sezione è volta a raccogliere i suggerimenti degli imprenditori riguardo le domande poste, al fine di migliorare le indagini future. Eventuali argomenti tralasciati o poco approfonditi, come anche la lunghezza delle domande o del questionario in sé, sono oggetto di osservazioni utili per rendere le interviste future più interattive e coerenti con l'argomento trattato.

3.3.6 Recapiti dell'Azienda rispondente

L'ultima sezione è dedicata alla raccolta dei recapiti degli imprenditori, per eventuali interviste future, per l'invio dell'analisi effettuata e per la notifica di eventi riguardanti l'Industry 4.0.

3.4 Scala

Il questionario presenta quattro diverse tipologie di domande: domande a risposta singola tra le quali anche le classiche si-no, domande a risposte multiple, domande a risposte aperte e domande basate su scale Likert. Riguardo le scale Likert queste sono state utilizzate in 4 domande (multi-item) ed in generale lì dove era interessante valutare successivamente la distribuzione media delle risposte sulla base dell'argomento indagato.

Per quanto riguarda i livelli della scala, nella domanda sulla conoscenza delle tecnologie di Industry 4.0, la scelta è ricaduta su 5 livelli (Molto basso, Basso, Medio, Alto, Molto Alto) con la possibilità di esprimere una posizione neutrale dato l'argomento estremamente innovativo e tecnico trattato. Scelta analoga è stata effettuata per la valutazione dei requisiti di sviluppo del Digital Twin. La domanda riguardo le implementazioni di Industry 4.0 ha utilizzato invece una scala su 4 livelli (Non di interesse, Di interesse ma non ancora implementata, È nei piani, Implementata) al fine di spingere l'intervistato a dare una risposta non neutrale e coerente con quanto effettivamente applicato in azienda. Si precisa che per permettere l'elaborazione dei dati tramite gli opportuni software statistici, le scale a 4 e 5 livelli sono state convertite rispettivamente con punteggi 1-2-3-4 e 1-2-3-4-5.

3.5 Selezione del Campione

La selezione del campione è stata oggetto di una riunione preliminare tra ISMB e direttore e ricercatori dell'ICELab. Sono stati valutati attentamente le connotazioni e il tessuto produttivo del territorio piemontese, la tecnologia oggetto di indagine, le possibili applicazioni industriali e si è scelto di indagare nel settore manifatturiero delle piccole e

medie imprese, ovvero in ambiti produttivi nei quali l'attività prevalente fosse quella di produzione e trasformazione di prodotti fisici. Particolare attenzione, pur senza tralasciare alcun settore, è stata posta nel preferire aziende metalmeccaniche, data la vocazione del territorio verso l'automotive e l'aerospace. Si è cercato di replicare un campione d'interviste che rispecchiasse nel modo più fedele possibile il tessuto delle PMI piemontesi.

Data la tipologia di indagine face-to-face e il tempo limitato di tirocinio si è stabilito in 20 la numerosità del campione di imprese da intervistare.

3.5.1 Collezione dei contatti delle imprese

La ricerca dei contatti delle imprese è stato un meticoloso lavoro che ha impiegato circa la metà del tempo di tirocinio. Sono state utilizzate diverse banche dati, tra cui la raccolta delle aziende che hanno ospitato negli anni passati tirocinanti di ingegneria gestionale, l'elenco di aziende che hanno esposto presso la fiera A&T di Torino, la raccolta delle PMI innovative fornita dalla camera di commercio, l'elenco degli associati MESAP e i contatti provenienti da CDO e CNA Torino.

Per ognuna delle aziende individuate, prima di essere contattate, è stato verificato il settore di appartenenza, il fatturato e il numero di dipendenti, al fine di rientrare correttamente nel campione d'indagine.

Successivamente sono state inviate circa 150 mail con un tasso di risposta del 15% di cui il 90% si è concluso positivamente con delle interviste. Per raggiungere l'obiettivo delle 20 interviste, nel tempo si è dovuto più volte modificare il testo della mail, fin quando non si è arrivati alla versione definitiva che ha garantito in 2-3 casi su 10 una risposta positiva.

3.6 Risultati

3.6.1 Panoramica Aziende

Dall'analisi dei dati è emerso che il settore maggiormente rappresentato nell'indagine è quello metalmeccanico, con il 75% delle risposte a cui si aggiunge un 5% dell'automotive sempre nell'ambito delle lavorazioni meccaniche. Il restante 20% è costituito dal settore chimico ed elettronico come si può ben osservare nella Figura 48.

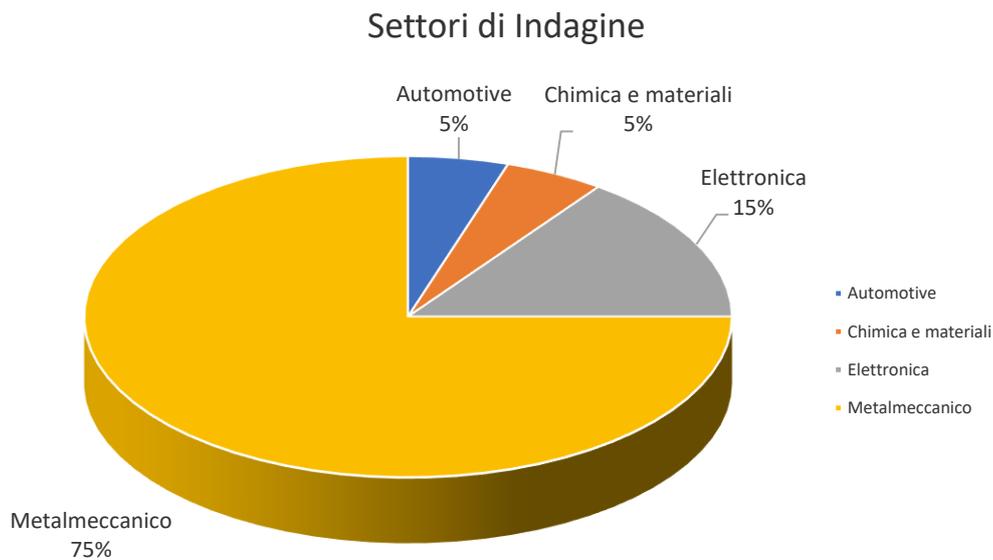


Figura 48: Settori di mercato dell'indagine

Nell' 80% del campione, la persona intervistata è il proprietario dell'impresa, sia in quota unica che maggioritaria nei casi di forme societarie condivise. Se si considerano anche le figure dirigenziali di alto livello si arriva ad una quota dell'85%, un valore considerevole ma soprattutto rappresentativo degli interessi effettivi degli imprenditori verso gli investimenti in innovazione.

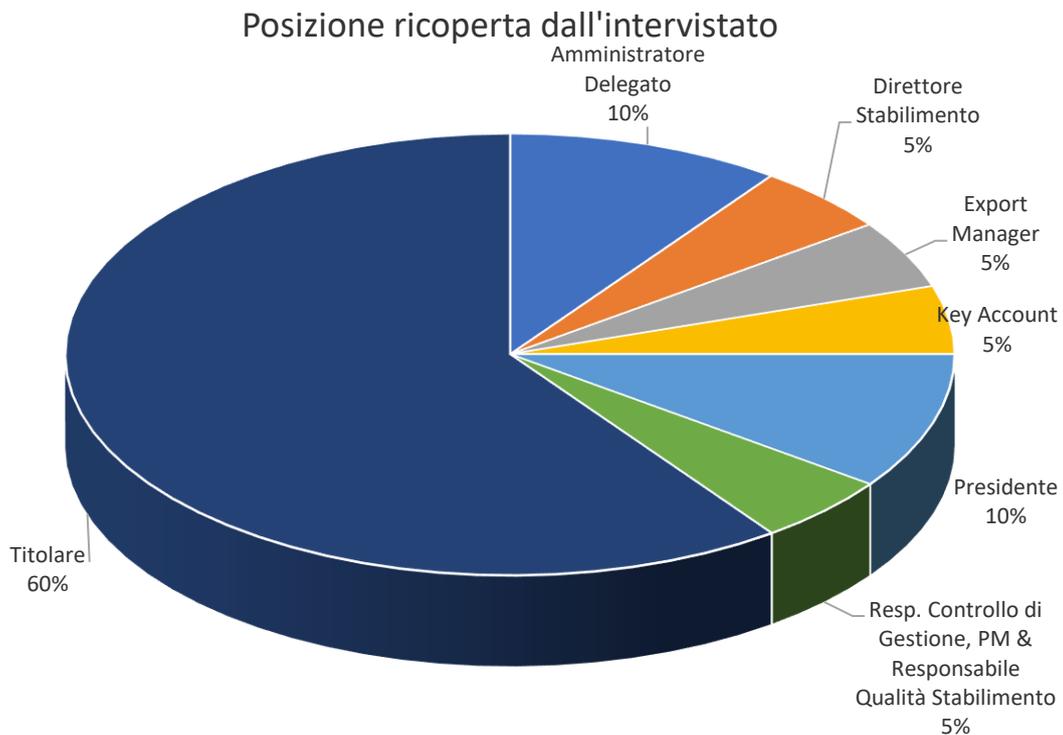


Figura 49 : Posizione nell'organigramma aziendale ricoperta dall'intervistato

I mercati in cui le imprese operano, nel 30% dei casi sono solo nazionali, mentre nel 70% sono sia nazionali che internazionali. A riguardo si sottolinea come la maggior parte degli imprenditori hanno espresso la loro netta preferenza verso i mercati esteri, in quanto più stabili dal punto di vista delle richieste di commesse, della certezza dei pagamenti e spesso anche più redditizi rispetto a quello nazionale.

Nel 99% dei casi le attività commerciali riguardano richieste su commessa, un dato in linea con la scelta di selezione del campione.

I dati riguardanti il fatturato e il numero dei dipendenti permettono di identificare le varie categorie di imprese sottoposte all'intervista, in particolare il 90% circa del campione sono piccole imprese con un fatturato minore di 10 milioni di euro e un numero di dipendenti minore di 50 persone; mentre il 10% circa risultano medie imprese con un fatturato minore di 50 milioni di euro e un numero dipendenti minore di 250 persone.

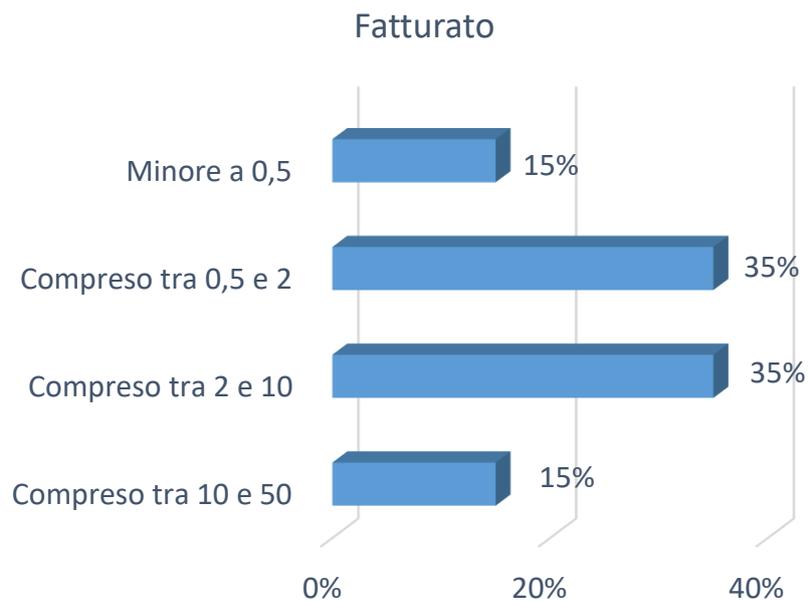


Figura 50 : Fatturato delle imprese

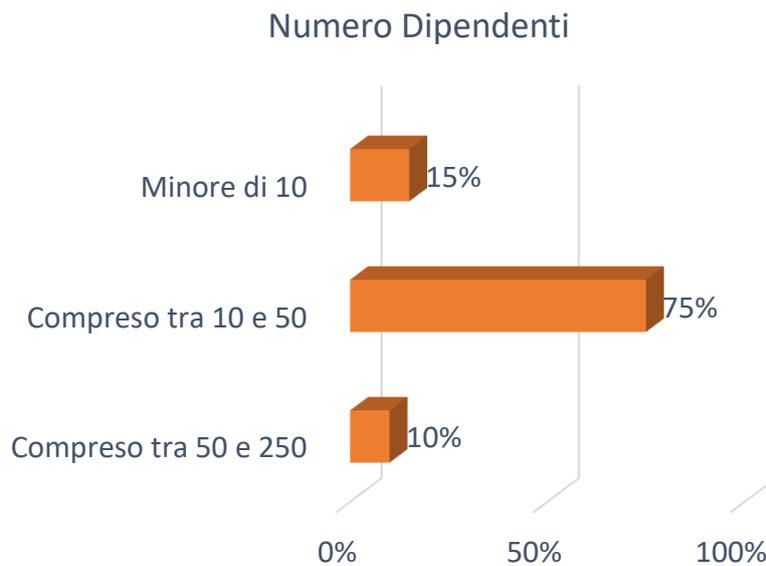


Figura 51 : Dimensione dell'impresa espressa in numero dei dipendenti

L'anno di fondazione delle imprese può essere identificato in tre gruppi principali: il gruppo delle imprese storiche che va dal 1938 al 1959 e riunisce 6 imprese; il gruppo delle imprese intermedie che va dal 1971 al 1988 ed è composto da 7 imprese; infine il gruppo delle imprese giovani che va dal 1994 al 2016, costituito da 7 imprese.

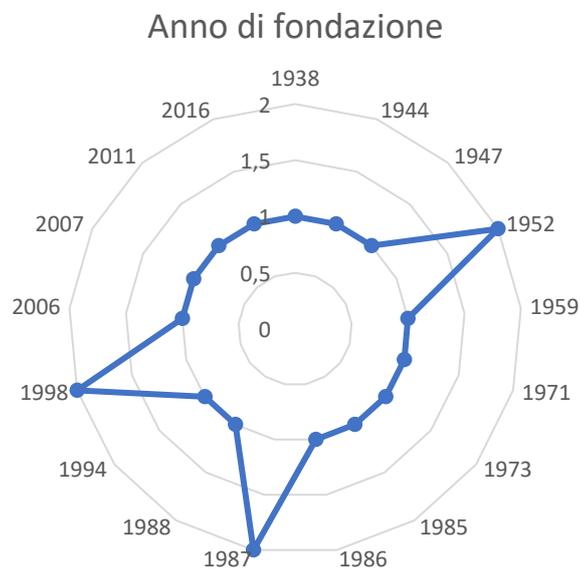


Figura 52: Anno di fondazione delle imprese

Per gli aspetti riguardanti la gestione della supply chain, il 55% delle imprese intervistate ha uno o più fornitori principali che garantiscono almeno il 30% delle materie prime e/o semilavorati. Il valore non è alto, in quanto in alcuni casi sono gli stessi clienti ad imporre i fornitori da cui approvvigionarsi per le specifiche commesse. Questo avviene

principalmente nel settore dell'aerospazio e del petrolchimico, dove gli standard qualitativi elevati impongono maggiore attenzione nella scelta delle materie prime.

Di questo 55% di imprese, il 46% presenta un numero di fornitori che oscilla tra 3 e 10.

Lato clienti, l'80% delle imprese si interfaccia con grandi imprese, mentre il 70% con piccole imprese. Inoltre, la percentuale di fatturato dipendente dai clienti chiave ammonta al 75% nel 45% dei casi, un valore sicuramente importante, ma che evidenzia un trend decrescente, in quanto negli anni le imprese hanno puntato a diversificarsi ed esplorare nuovi settori di mercato.

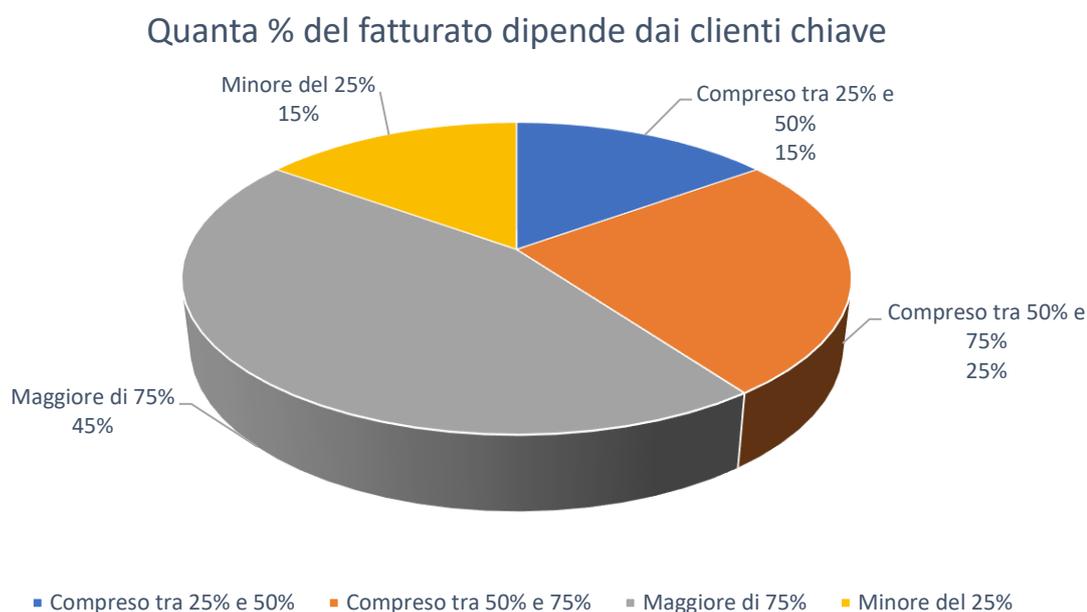


Figura 53 : Percentuale del fatturato dipendente dai clienti chiave

Riguardo gli aspetti produttivi, si è indagato sulla presenza o meno di fenomeni di picchi o stagionalità negli ordini. Il risultato dell'indagine ha messo in evidenza che nel 30% dei casi si verificano fenomeni di stagionalità, mentre nel 40%, di picchi produttivi. Quando avviene ciò nella maggioranza dei casi si sfrutta la capacità produttiva interna, nei restanti si incrementa la capacità produttiva aumentando i turni di lavoro (36%) o si esternalizza la produzione per evitare in ogni caso di perdere la commessa (14%).

In che modo l'azienda affronta i picchi o la stagionalità degli ordini?

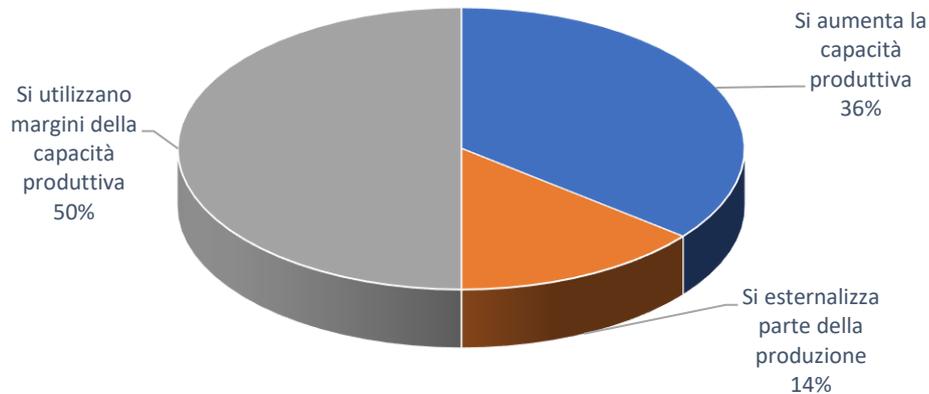


Figura 54 : Azioni dell'azienda ai fenomeni di picchi o stagionalità

Un risultato interessante, rispetto a precedenti indagini effettuate dai ricercatori dell'ICE@Lab, è che il 100% del campione ha sentito parlare di Industry 4.0, principalmente attraverso il passaparola di settore o i seminari/conferenze organizzate dalle associazioni di categoria e solo marginalmente attraverso il web e le riviste scientifiche.

Più in generale il 95% degli intervistati ha affermato di essere a conoscenza di bandi/finanziamenti per lo sviluppo tecnologico e l'implementazione delle tecnologie Industry 4.0, mentre solo il 75% ha dichiarato di aver partecipato ad iniziative sullo sviluppo tecnologico ed innovazione, e infine solo il 45% del campione è riuscito ad usufruire dell'iperammortamento e superammortamento previsti dal Piano Calenda.



Figura 55 : Elaborazione dati conoscenza Industry 4.0

Tra le varie forme di incentivo conosciute dagli imprenditori, si ricorda la Legge Sabatini, il Credito D'imposta, la legge regionale per i giovani imprenditori, il Voucher Digitalizzazione e il sopra citato Piano Calenda.

3.6.2 Conoscenza dei concetti afferenti al paradigma Industry 4.0

Per quanto concerne il livello di conoscenza delle tecnologie legate all'Industry 4.0 si evidenzia che il Cloud è quella maggiormente conosciuta insieme alla stampa 3D e ai Sensori Smart. Segue Internet of Things, Robotica e AI, Big Data Analysis, Realtà Virtuale e Cybersecurity. Fanalino di coda i Sistemi Ciberfisici e i dispositivi Wearable.

Livello di conoscenza delle tecnologie Industry 4.0:

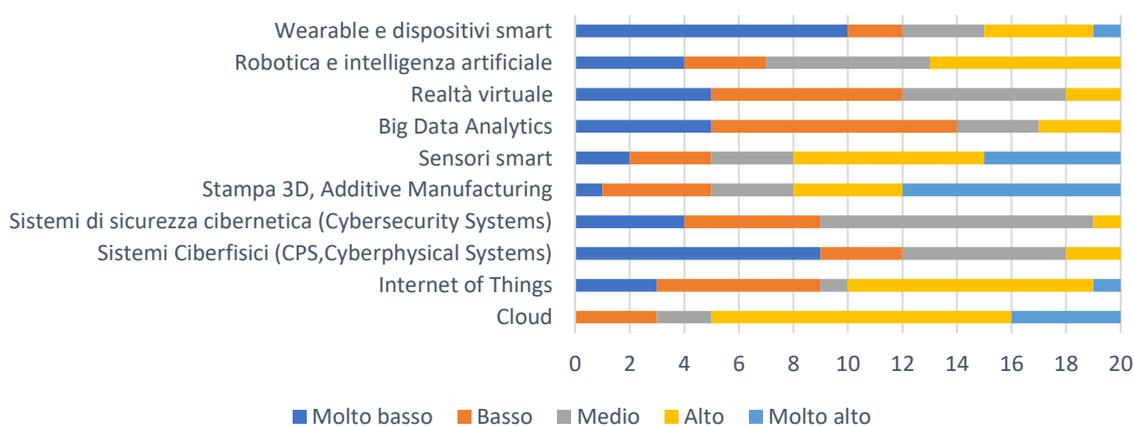


Figura 56 : Conoscenza delle tecnologie di Industry 4.0

Data la concomitanza di periodo tra l'indagine svolta e la scadenza per l'adeguamento alla normativa europea sulla gestione dati (GDPR), si è scelto di effettuare alcune domande a riguardo per valutare la percezione degli imprenditori sull'annosa questione dei dati sensibili. Il 90% degli intervistati ha dichiarato di conoscere la GDPR e di aver messo in atto almeno una misura volta a fornire strumenti di consenso aggiornati ed informare il cliente riguardo la finalità dei dati trattati.

Alla domanda se l'impresa sarebbe disposta alla condivisione di alcuni dei propri dati da servizi esterni, il 45% si è espresso negativamente e solo il 25% positivamente, mentre permane un 30% che sarebbe disposto ad una selezione parziale dei dati.

Disponibilità alla condivisione di dati selezionati dell'azienda. Considera la possibilità di permettere l'accesso a questi dati?

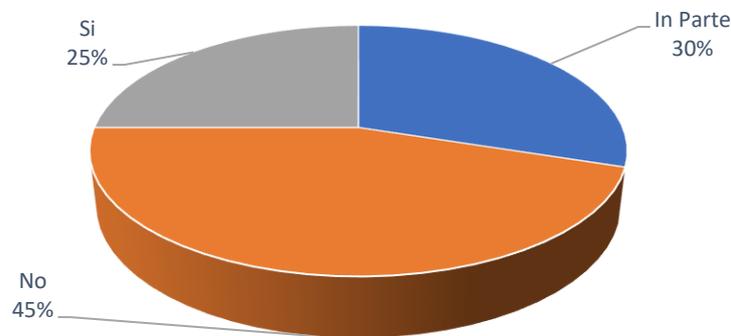


Figura 57 : Disponibilità alla condivisione di dati selezionati

Per coloro che hanno risposto negativamente, il principale motivo del diniego è dovuto alla convinzione che i dati sono personali dell'azienda e nessun'altro deve potervi accedere, mentre il 25% è diffidente o non vede un effettivo vantaggio economico.

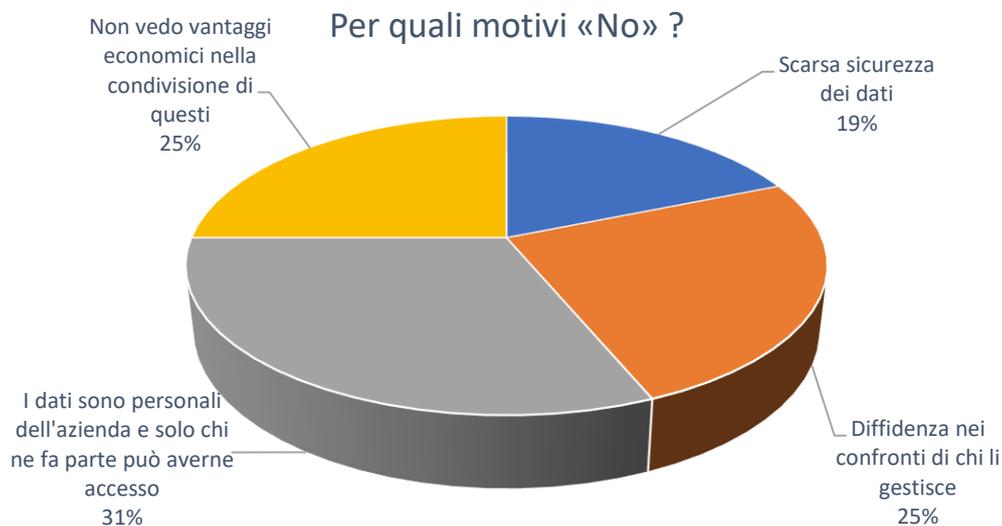


Figura 58 : Motivazioni del diniego alla condivisione dati

Gli imprenditori che hanno risposto “In Parte” valutano positivamente la possibilità di condividere le informazioni riguardo la logistica e lo stato di produzione, ma negativamente le informazioni sulle specifiche di produzione e i dati sensibili dei clienti.

Alla domanda se le imprese fossero a conoscenza di criteri di sicurezza informatica, la maggioranza ha risposto positivamente spiegando che la pratica del doppio backup sia

interno che esterno è la più diffusa. Di queste però solo una impresa ha ammesso di aver effettuato formazione dei propri dipendenti riguardo la Cybersecurity.

Un dato molto confortante che totalizza il 99% è il tasso di conoscenza di almeno una soluzione Cloud come ad esempio i servizi Software as a Service. Di questo 99% però solo il 50% adotta una soluzione nella propria impresa.

Adotta soluzioni Cloud attualmente per le attività che coinvolgono l'azienda?

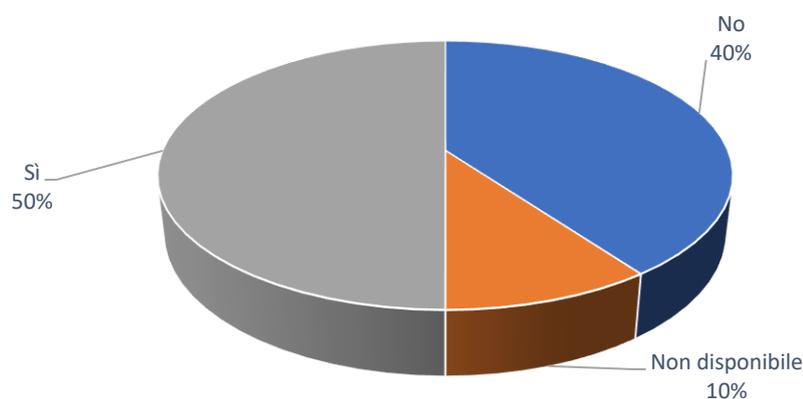


Figura 59 : Adozione soluzioni Cloud

La disponibilità degli imprenditori nella condivisione dei dati per creare servizi cloud aziendali sfiora il 65%, anche se il 47% del campione considera ancora un server in house più sicuro di uno in cloud, il tutto a causa di una scarsa conoscenza della sicurezza offerta dalle soluzioni cloud.

Considera la sicurezza informatica offerta dai gestori di Servizi Cloud più vulnerabile rispetto ai sistemi di protezione implementati in azienda?

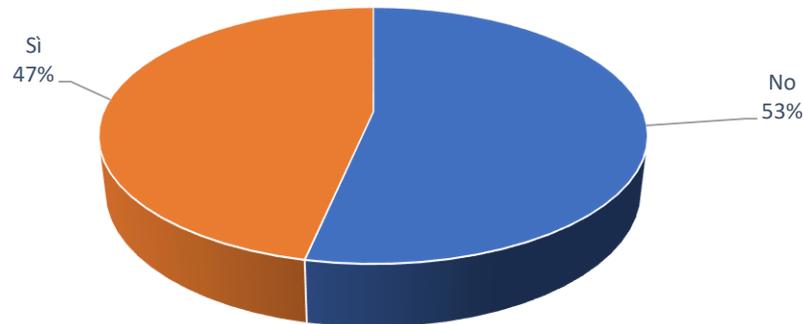


Figura 60 : Percezione sicurezza servizi In House vs Cloud

L'imprenditore medio della PMI su questo tema specifico è risultato decisamente influenzato dal sentire comune dell'opinione pubblica, soprattutto riguardo i recenti scandali che hanno coinvolto Facebook sulla gestione dati.

3.6.3 Implementazioni effettive dei concetti di Industry 4.0

La valutazione delle tecnologie Industry 4.0 effettivamente implementate, vede al primo posto i Sensori smart a cui segue Cloud e Stampa 3D. I sistemi di sicurezza cibernetica e i sistemi ciberfisici si piazzano a metà della classifica, un risultato in netto contrasto con il livello di conoscenza di tali tecnologie, ma a riguardo si rimanda ad un approfondimento successivo con focus sul settore metalmeccanico. Wearable, Realtà Virtuale e Big Data Analysis risultano essere le tecnologie meno interessanti per i piani futuri delle imprese. Tra le tecnologie di interesse ma non ancora implementate spiccano la Robotica e l'IoT. Infine, per quanto riguarda i piani delle imprese, sono i sistemi ciberfisici ad essere quelli in attesa di implementazione. Questo dato risulta confortante in quanto è proprio l'unione del mondo fisico con quello informatico, ad essere l'elemento cardine della rivoluzione di Industry 4.0. In questo caso il campione intervistato, seppur ignorante riguardo i dettagli della tecnologia CPS, sembra aver colto i possibili benefici.

Grado di effettiva implementazione delle tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0

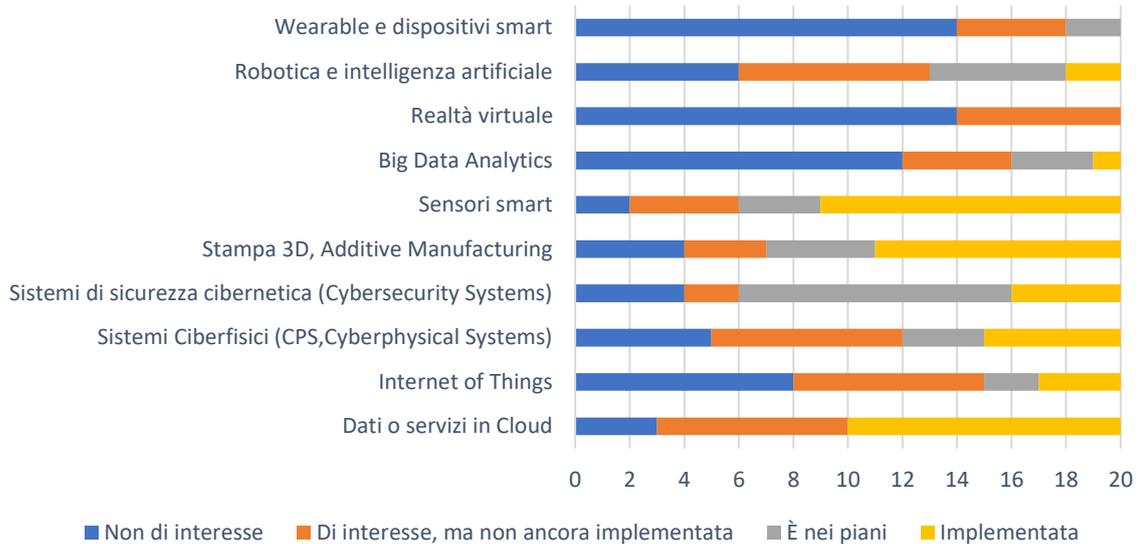


Figura 61 : Implementazione delle tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0

Di seguito si elencano le attività importanti per il business delle imprese intervistate:

Quali, tra le seguenti attività, ritiene importanti per il suo business?	
Produzione di piccoli lotti fortemente customizzati	1°
Automatizzazione dei processi produttivi	2°
Sostenibilità ambientale e risparmio energetico	3°
Manutenzione preventiva e predittiva	4°
Flessibilità organizzativa e predisposizione al cambiamento	4°
Uso di Robot collaborativi (COBOT)	5°
Formazione sul campo dei dipendenti su utilizzo e gestione dei nuovi strumenti digitali	6°
Progettazione dei prodotti assistita da calcolatore/strumenti di simulazione	6°
Raccolta e analisi di dati sulle attività in essere	7°
Attrarre risorse esperte di meccatronica integrante meccanica, elettronica, informatica e controlli automatici	8°
Offerta di servizi in supporto ai prodotti fisici	9°
Allocazione di risorse ad attività di ricerca e sviluppo	10°
Formalizzazione di un approccio strategico per incentivare l'innovazione	11°
Attrarre manager per governare innovazione e digitalizzazione	12°
Integrazione verticale	13°
Integrazione orizzontale	14°

Figura 62 : Ranking attività importanti per le imprese

Al primo posto risulta prevalere la produzione di piccoli lotti fortemente customizzati, un chiaro segno che le imprese hanno colto le potenzialità nel mercato della produzione di lotti piccoli ad alto margine di guadagno. Segue l'automazione dei processi produttivi e la sostenibilità ambientale, mentre a pari merito manutenzione preventiva e predittiva e flessibilità organizzativa. L'investimento in risorse esperte di meccatronica, elettronica ed informatica non sembrano essere una priorità, così come la formalizzazione di un approccio

strategico per incentivare l'innovazione. Ad una domanda più specifica riguardo l'esistenza di un piano strategico aziendale, il 40% ha risposto che è attualmente in atto e il 30% in fase di sviluppo.

Esiste in Azienda un piano di azione strategica formalizzato al fine di favorire l'innovazione?

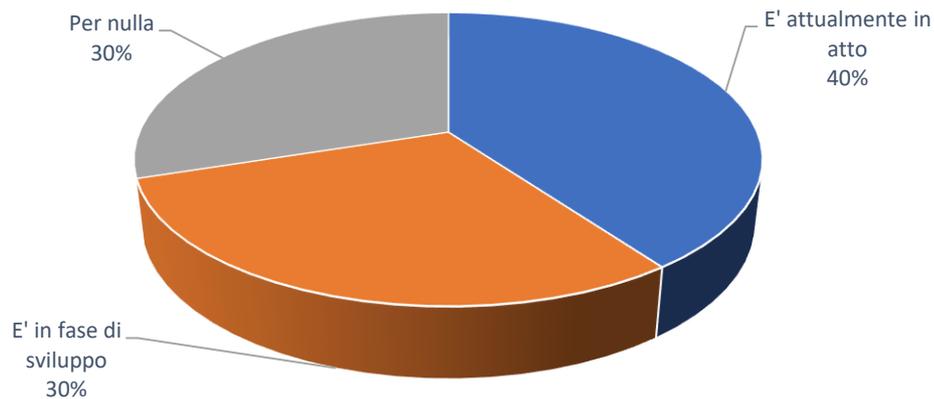


Figura 63 : Esistenza di un piano di azione strategica per l'innovazione

Durante l'intervista tale domanda ha spesso suscitato l'ilarità degli intervistati, in quanto secondo loro senza alcun piano le stesse aziende cesserebbero di esistere nel breve. Viene qui però rimarcata la contraddizione evidenziata in Figura 62, in quanto la formalizzazione di un approccio strategico occupa gli ultimi posti della classifica.

La domanda riguardo i benefici attesi dall'implementazione delle tecnologie in uso e di quelle che si è disposti ad adottare, vede nella Top 3, l'aumento di efficienza, l'aumento di produttività e l'aumento della qualità. Maggiore affidabilità e riduzione dei costi sono in quarta posizione. È interessante notare come la realizzazione di prodotti customizzati in piccoli lotti passi in quinta posizione mentre era in prima tra le attività importanti. Le ultime posizioni in classifica sono occupate da aumento della trasparenza nelle attività svolte, interoperabilità tra i vari attori e miglioramento decisionale. Queste tre voci sono alcuni dei principali benefici di una Supply Chain 4.0, è evidente che gli imprenditori non hanno ben chiaro i benefici possibili della rivoluzione industriale 4.0.

Benefici attesi dall'implementazione delle tecnologie in uso e di quelle che si è disposti ad adottare	
Aumento di efficienza	1°
Aumento di produttività	2°
Aumento della qualità dei prodotti/processi	3°
Aumento di affidabilità dei prodotti/processi	4°
Riduzione dei costi	4°
Riduzione delle tempistiche (es. time-to-market, set-up)	5°
Aumento dei profitti	5°
Realizzazione di prodotti customizzati in piccoli lotti	5°
Aumento della sicurezza dei lavoratori	6°
Maggiore soddisfazione dei consumatori	6°
Miglioramento del processo di controllo del ciclo di vita del prodotto	7°
Livellamento dei carichi energetici e riduzione utilizzo di energia	8°
Aumento della trasparenza nelle attività svolte dai vari attori della filiera	9°
Interoperabilità tra i vari attori, sincronizzazione e scambio di informazioni	10°
Miglioramento del processo decisionale	11°

Figura 64 : Ranking benefici attesi dall'implementazione delle tecnologie Industry 4.0

3.6.4 Digital Twin

Dopo una breve descrizione tecnica della tecnologia Digital Twin, è stato chiesto agli imprenditori se conoscessero quanto meno il termine e il 55% di questi ha risposto di no. Ovviamente tale percentuale era più che attesa a causa di una diffusa scarsa conoscenza di cosa possa fare un gemello digitale in azienda. Infatti, la successiva domanda, che chiedeva se la possibilità di avere le informazioni in tempo reale sullo stato dei macchinari, dell'intera linea produttiva e dei dipendenti fosse utile, ha ricevuto l'80% di risposte affermativo. Dunque, 16 imprese su 20 hanno ritenuto interessante tale tecnologia e hanno valutato le 10 implementazioni proposte sulla base della propria attività di business.

Queste 10 implementazioni sono state frutto di un'attenta analisi della letteratura a riguardo, della ricerca di use case utilizzati e del colloquio con esperti di settore, in particolare start up e PMI innovative che si pongono l'obiettivo di portare l'Industrial IoT nelle piccole e medie imprese. Delle dieci proposte, due spiccano per innovazioni vere e proprie; la prima riguarda la possibilità di registrare e certificare in modo automatico/semiautomatico tutte le lavorazioni o attività necessarie alla produzione ed eventualmente previste dal contratto. In questo caso si prevede l'integrazione del Digital Twin con la tecnologia Blockchain al fine di certificare le lavorazioni ed operazioni effettuate in modo veloce, sicuro ed inviolabile. La seconda proposta prevede la possibilità di ricevere suggerimenti e indicazioni automatici riguardo la conformità dei processi/lavorazioni rispetto alle norme ISO di settore; in questo scenario potrebbe venire meno la necessità di certificare l'impresa secondo una determinata norma, in quanto il Digital Twin si occuperebbe di verificare in modo automatico il rispetto di tutte le specifiche. Si immagina uno scenario in cui un cliente richiede di seguire un nuovo

protocollo, basterebbe scaricare il modulo in questione, integrarlo nel Digital Twin e automaticamente si verrebbe a conoscenza della conformità o meno dell'attuale produzione e delle eventuali azioni da mettere in atto per adeguarsi. Le altre 8 proposte sono elencate in modo dettagliato in Figura 65.

Gli intervistati hanno risposto positivamente riguardo le analisi predittive volte a segnalare la potenzialità futura di guasto di un macchinario e l'impossibilità di consegnare una commessa in tempo. Analogamente, come si può osservare dalla figura in basso, la possibilità di avere le informazioni in tempo reale sullo stato dei macchinari e dell'intera linea produttiva è stata valutata positivamente, mentre non altrettanto è accaduto per lo storage di tali dati su di un server cloud, in questo caso è forte il dubbio che il non possesso in house di dati sensibili sia un possibile rischio. Terzo posto ex-equo per le due implementazioni innovative che sfruttano la blockchain e la sensoristica IoT per semplificare le operazioni di controllo e certificazione. Quarto posto per la controversa proposta di monitorare l'attività dei singoli dipendenti, in questo caso l'idea era quella di migliorare la sicurezza sul lavoro verificando il corretto uso dei dispositivi di protezione imposti per legge. Per quanto riguarda la condivisione delle informazioni tra gli attori della supply chain, per diminuire l'effetto bullwip, solo la condivisione lato cliente è risultata mediamente interessante, mentre quella lato fornitore no, ed infatti si è aggiudicata l'ultimo posto in classifica. Anche la possibilità di effettuare simulazioni matematico-statistiche non ha riscosso un notevole interesse, la proposta è in penultima posizione. In questo caso la motivazione è dovuta principalmente alle perplessità espresse dagli imprenditori riguardo la difficoltà di simulare tutte le possibili lavorazioni in modo corretto ed affidabile.

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

Figura 65 : Ranking proposte di implementazione Digital Twin

L'indagine si conclude con 4 domande volte a conoscere la propensione delle imprese ad investire nelle nuove tecnologie. La prima riguarda la disponibilità ad investire nelle implementazioni del Digital Twin, le risposte evidenziano l'interesse generale degli imprenditori che nella maggioranza dei casi (40%) è condizionato alla visione di casi d'uso reali e nel 30% dei casi senza alcun vincolo.

Sarebbe disposto ad investire sulle implementazioni del Digital Twin?

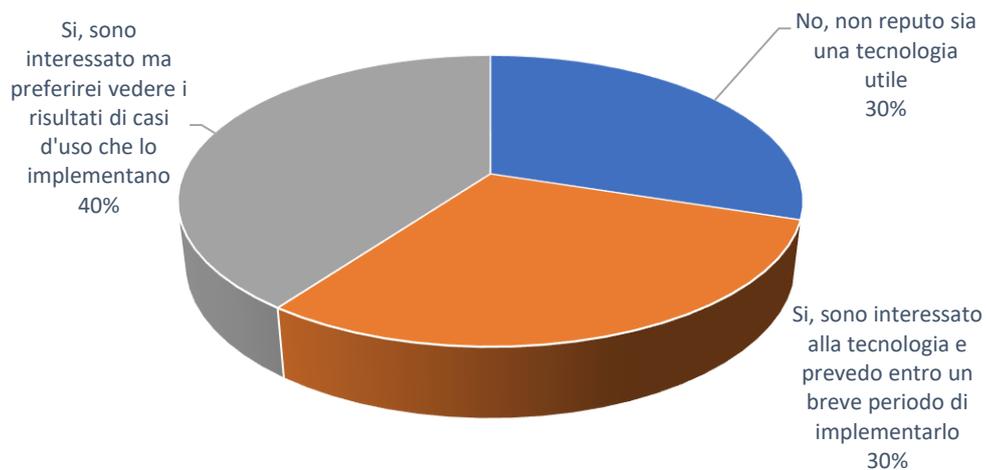


Figura 66 : Disponibilità ad investire nelle implementazioni del Digital Twin

È quindi evidente che circa 5 intervistati su 16 sarebbero disposti ad implementare il Digital Twin immediatamente, diventando quindi degli “Early Adopters” di tale tecnologia.

Scendendo più nel dettaglio, il 60% del campione ha dichiarato di aver effettuato investimenti in Industry 4.0 negli ultimi 3 anni, ma solo il 46% di questi ne ha riscontrato dei miglioramenti effettivi.

Ha avuto dei miglioramenti effettivi, anche in termini di aumento fatturato ?

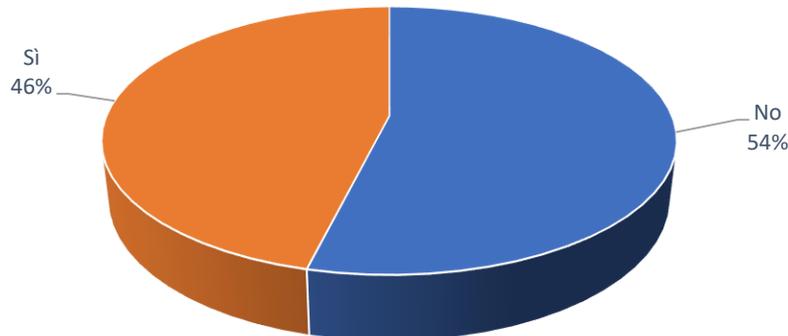


Figura 67 : Miglioramenti a seguito di investimenti in Industry 4.0

Il dato risulta in linea con le aspettative, in quanto gli investimenti di questo genere richiedono un periodo più lungo di ritorno economico, spesso dovuto alla necessità di adattare le singole implementazioni alla tipologia di processo produttivo. In generale dalle interviste effettuate è emerso un miglioramento di efficienza produttiva e della capacità di tenere sotto controllo l'intero processo, mentre uno solo degli intervistati ha riscontrato un effettivo aumento di fatturato a seguito di tali investimenti. A conferma della necessità di un più lungo periodo di ritorno economico, il 70% degli intervistati ritiene necessario attendere un arco temporale di medio periodo che va dai 3 ai 5 anni.

Periodo di Payback atteso per gli investimenti in Industry 4.0

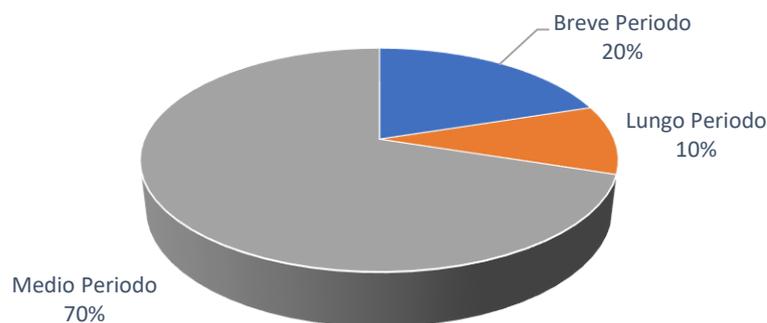


Figura 68 : Periodo medio atteso per il rientro degli investimenti in Industry 4.0

3.6.5 Analisi settore Metalmeccanico e Automotive

Vista la prevalenza di risposte provenienti dal settore metalmeccanico, si è scelto di focalizzarsi su questo considerando anche l'automotive, in quanto le imprese intervistate si occupavano sempre di lavorazioni meccaniche. Di seguito vengono effettuate una serie di analisi di approfondimento.

3.6.5.1 Cross Analysis Attività Importanti – Benefici Attesi

ATTIVITA' IMPORTANTI	BENEFICI ATTESI INDUSTRY 4.0														
	1°	2°	3°	3°	4°	4°	4°	4°	5°	5°	6°	6°	7°	8°	9°
Piccoli lotti customizzati	1°														
Manut. preventiva e predittiva	2°														
Automatiz. processi produttivi	3°														
Sostenibilità e risparmio energetico	3°														
Flessibilità organizzativa e cambiamento	4°														
Uso di Robot collaborativi (COBOT)	4°														
Progett. assistita da calcolatore	4°														
Formazione dipendenti strumenti digitali	5°														
Raccolta e analisi di dati	6°														
Attrarre risorse nell'ambito STEM	6°														
Allocazione di risorse a R&D	7°														
Servizi in supporto ai prodotti fisici	7°														
Piano strategico per l'innovazione	8°														
Attrarre manager per l'innovazione	9°														
Integrazione verticale	9°														
Integrazione orizzontale	10°														
	11°														
	12°														

Figura 69 : Analisi incrociata Attività Importanti-Benefici Attesi (Verde=Match esatto, Giallo=Match parziale, Rosso=Match scarso)

L'incrocio dei risultati delle risposte “Attività importanti per il business dell'impresa” e “Benefici attesi a seguito delle implementazioni delle tecnologie presenti e future” mostra alcuni risultati interessanti. La produzione di piccoli lotti fortemente customizzati risulta al primo posto tra le attività importanti, ma solo al quarto tra i benefici attesi, un'interpretazione possibile è che la produzione customizzata, fonte di margini elevati, è sì considerata di primario interesse dalle imprese, ma la fiducia nelle tecnologie Industry 4.0 non sembra totalmente confermata, almeno per questo elemento. La manutenzione preventiva e predittiva, trova invece il giusto matching tra importanza e benefici, infatti al

secondo posto tra le attività importanti, vede un riscontro con l'aumento dell'efficienza e della produttività. Al terzo posto tra le attività importanti vi sono l'automazione dei processi produttivi e la sostenibilità e il risparmio energetico. L'automazione vede un match quasi perfetto con l'aumento di efficienza, l'aumento della produttività e la riduzione dei costi; mentre la sostenibilità ambientale declinata con il livellamento dei carichi energetici lato benefici, non vede una corrispondenza di priorità. Anche la flessibilità organizzativa non trova riscontri tra i benefici attesi, infatti il miglioramento del processo decisionale, possibile risvolto positivo, è ultimo tra i benefici attesi. L'uso dei robot collaborativi si posiziona al quarto posto tra le attività importanti e trova riscontro positivo con l'aumento della produttività (3° Posto) e parziale con l'aumento della sicurezza dei lavoratori (5° Posto) nella tabella dei benefici attesi. Per quanto riguarda l'ambito R&D, la progettazione dei prodotti assistita da calcolatori e strumenti di simulazione (5° Posto Attività Importanti) risulta decisamente favorita dall'Industry 4.0, infatti la riduzione delle tempistiche è al quarto posto tra i benefici attesi. La raccolta e analisi dei dati (6° Posto) vede un riscontro positivo con il miglioramento del controllo del PLC⁶ e solo parziale con l'aumento della trasparenza e l'interoperabilità tra gli attori. L'attrazione di risorse nell'ambito STEM⁷ potrebbe favorire un aumento di efficienza, ma in questo caso il confronto con i benefici attesi presenta troppe variabili da considerare. Per quanto riguarda le altre voci non è possibile individuare una corretta corrispondenza tra le attività importanti e i benefici attesi, ma è interessante evidenziare come la definizione di un piano strategico per l'innovazione e l'individuazione di un manager per governarla siano agli ultimi posti, indice del fatto che le imprese hanno ancora molta strada da percorrere per il salto prospettato da Industria 4.0.

3.6.5.2 Cross Analysis Digital Twin Ranking - Attività Importanti

A seguito del focus sul settore metalmeccanico l'ordinamento delle implementazioni del Digital twin è stato rielaborato.

⁶ Product Life Cycle

⁷ Science, Technology, Engineering and Mathematics

DIGITAL TWIN RANK RESULT	
Informazioni real time linea	1°
Analisi predittive per manutenzione	1°
Analisi predittive per stato commessa	2°
Conformità ISO automatica	2°
Condividere info con i clienti	3°
Blockchain attività lavorazioni	3°
Informazioni real time dipendenti	4°
Dati in cloud	4°
Simulazioni matematiche-statistiche	4°
Condividere info con i fornitori	5°

Figura 70 : Ranking proposte di implementazione Digital Twin (Campione Selezionato)

La Figura 70 non mostra però particolari differenze rispetto all'ordinamento di Figura 65 basato sull'intero campione. Unico elemento degno di nota è l'inversione nei primi posti. Infatti, ora risulta di maggiore interesse avere informazioni in tempo reale riguardo la linea e analisi predittive sullo stato manutentivo dei macchinari (1° Posto), rispetto alle analisi predittive sullo stato della commessa (2° Posto).

Provando invece a confrontare il risultato del ranking del Digital Twin con quello delle attività importanti per le imprese intervistate, si evidenziano alcune corrispondenze, in particolare quella che riguarda l'analisi predittiva per la manutenzione dei macchinari, che risulta essere l'implementazione DT favorita e anche attività importante per le imprese. Anche le informazioni in tempo reale sullo stato della linea e le analisi predittive sullo stato della commessa vedono una corrispondenza con la flessibilità organizzativa e il cambiamento. Dunque, per gli aspetti direttamente confrontabili non emergono incoerenze nelle risposte degli intervistati.

3.6.5.3 Cross Analysis Digital Twin Ranking – Benefici attesi

Il confronto del ranking del Digital Twin con quello dei benefici attesi dall'Industry 4.0 restituisce i risultati più interessanti. Per quanto riguarda l'implementazione delle informazioni in tempo reale sullo stato della linea, vi sono due dirette corrispondenze con l'aumento di efficienza e di affidabilità dovuto all'Industry 4.0, mentre per gli intervistati il matching con il miglioramento del controllo del PLC e il miglioramento del processo decisionale è scarso.

L'analisi predittiva per la manutenzione trova il giusto matching con l'aumento dell'efficienza e della produttività, analogamente l'analisi predittiva sullo stato della commessa con il miglioramento del PLC.

L'implementazione della verifica automatica della conformità ISO vede una correlazione forte con l'aumento di produttività e la riduzione delle tempistiche, in particolare quelle legate alla fase di controllo qualità.

Per quanto riguarda la condivisione di informazioni con clienti e fornitori, si evidenzia una corrispondenza con l'aumento di trasparenza, in questo caso la priorità degli intervistati è maggiore verso i primi rispetto ai secondi.

Infine, le implementazioni riguardo informazioni in tempo reale sui dipendenti, utilizzo della blockchain per la certificazione delle lavorazioni e le simulazioni matematico-statistiche, vedono un matching di priorità rispettivamente con, aumento della sicurezza dei lavoratori, maggiore soddisfazione dei clienti, e riduzione delle tempistiche di sviluppo prodotto.

3.6.5.4 Cross Analysis Digital Twin Ranking (Early Adopters) – Implementazione Industry 4.0

In questo paragrafo si vogliono identificare gli Early Adopters del Digital Twin e valutare come si posizionano rispetto al ranking delle implementazioni di Industry 4.0.

Il grafico in Figura 71 permette di individuare visivamente i legami presenti.

	IMPLEMENTAZIONE INDUSTRY 4.0										
		Internet of Things	Sensori smart	Dati o software in Cloud	Cyber-Physical Systems, CPSs	Cybersecurity Systems	Stampa 3D, additive manufacturing	Big Data Analytics	Robotica ed intelligenza artificiale	Realtà virtuale	Wearable e dispositivi smart
DIGITAL TWIN RANK RESULT		1°	1°	2°	2°	3°	4°	4°	5°	6°	7°
Blockchain attività lavorazioni	1°	Verde	Verde								
Analisi predittive per stato commessa	1°							Rosso			
Informazioni real time linea	2°			Verde							
Condividere info con i clienti	2°			Verde							
Informazioni real time dipendenti	3°	Verde			Verde						
Analisi predittive per manutenzione	3°							Giallo			
Dati in cloud	4°			Verde							
Simulazioni matematiche-statistiche	4°							Verde			
Condividere info con i fornitori	4°			Verde							
Conformità ISO automatica	5°	Verde	Verde	Verde							

Figura 71 : Analisi incrociata Digital Twin - Implementazione Industry 4.0 (Campione selezionato) (Verde=Match esatto, Giallo=Match parziale, Rosso=Match scarso)

La blockchain per le attività di lavorazione risulta al 1° posto e trova un matching perfetto tra le tecnologie (IoT e Sensori smart) implementate. Non si può dire la stessa cosa per le

analisi predittive per lo stato della commessa, che dovrebbero sfruttare le analisi big data, tecnologia tra gli ultimi posti nelle implementazioni Industry 4.0.

Le informazioni real-time della linea, la condivisione delle informazioni con i clienti e fornitori, i dati raccolti in Cloud (2° posto Ranking DT) trovano una esatta corrispondenza con l'implementazione 4.0 Dati o software in Cloud.

Analogamente accade per le informazioni in tempo reale sulle attività svolte dai dipendenti e la conformità ISO automatica, come è possibile vedere direttamente in Figura 71.

L'unico matching parziale riguarda le analisi predittive per la manutenzione dei macchinari (3° Posto) che non trova un riscontro di priorità esatto con l'implementazione Big Data Analytics che si posiziona invece al 4° posto.

3.6.5.5 Chi ha scelto di non investire nel Digital Twin?

Le imprese che hanno risposto negativamente alla domanda riguardo possibili investimenti futuri nella tecnologia DT, in 3 casi su 5 non hanno partecipato nemmeno alla definizione dei requisiti di sviluppo, reputando tale tecnologia non interessante per il loro business. È possibile valutare dunque soltanto il grado di implementazione delle tecnologie Industry 4.0 per capire se vi è una correlazione a riguardo.

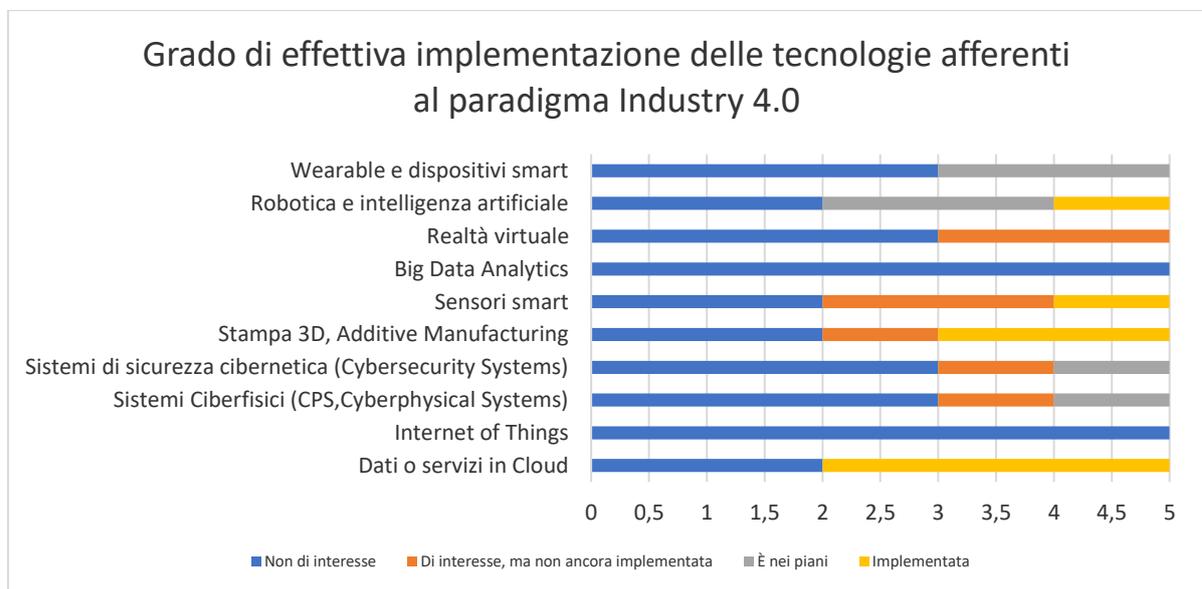


Figura 72 : Implementazione delle tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0 (Campione no DT)

Il grafico in Figura 72 mostra chiaramente che in media la metà degli intervistati non ha implementato alcuna tecnologia di Industry 4.0, in particolare nessuno ha adottato soluzioni IoT e di Big Data Analytics. Coerentemente con il campione generale il Cloud è la tecnologia più implementata, alla quale segue la Stampa 3D, i Sensori smart e in

controtendenza la Robotica. Proprio quest'ultima risulta essere quella che tra implementazioni e pianificazioni, ha maggiori prospettive nel futuro prossimo. Va tenuto conto che le 5 imprese qui in esame sono tendenzialmente piccole sia come numero di dipendenti che come fatturato e dunque fanno investimenti solo su tecnologie collaudate da diversi anni. Inoltre, la scarsa cultura dell'innovazione di queste imprese non favorisce l'interesse verso tecnologie di cui non si comprendono appieno le potenzialità future.

3.6.6 Cluster Analysis: Le PMI che innovano

Al fine di rafforzare le analisi condotte nei paragrafi precedenti e con l'obiettivo di delineare il profilo delle imprese che innovano, si è scelto di procedere attraverso un'analisi dei gruppi volta a selezionare e raggruppare gli elementi omogenei in un insieme di dati.

Per effettuare questa analisi è stato necessario rielaborare le variabili ottenute dal questionario e, dove fossero presenti domande a risposta multipla, aggregare o disaggregare tali risposte in una o più variabili, a seconda del caso e della fattibilità di tale operazione. A riguardo si sottolinea che la maggior parte delle variabili presenti sono di tipo categoriale e quindi dicotomico.

Per quanto riguarda le domande basate su scale Likert si è assegnata una metrica opportuna e si è proceduto a considerare la scala ordinale, con le rispettive proprietà che ne competono.

Le variabili superflue o ridondanti, magari provenienti da domande di controllo, sono state eliminate col fine di ridurre la dispersione dei risultati.

Il software utilizzato per il clustering è SPSS Statistics di IBM e le metodologie utilizzate sono Hierarchical Clustering e TwoStep Clustering.

3.6.6.1 Caso 1

La prima clusterizzazione è stata effettuata utilizzando come variabili di selezione le risposte riguardo le "Implementazioni di Industry 4.0". Il metodo utilizzato è stato quello gerarchico di tipo Between-groups linkage con la misura Squared Euclidean distance.

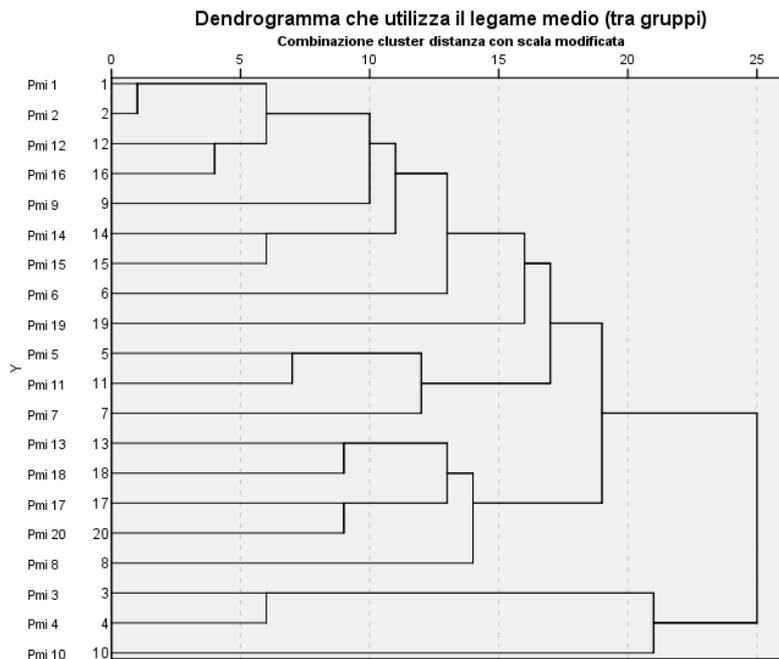


Figura 73 : Dendrogramma clustering (Caso 1)

Il dendrogramma in Figura 73 evidenzia sostanzialmente due cluster, uno composto da 17 imprese e l'altro più piccolo composto da 3 imprese.

Sulla base di una classificazione riguardo le tecnologie implementate è emerso un interessante risultato, infatti il cluster più piccolo è composto solo da imprese che hanno reputato non interessante il Digital Twin per il loro business, mentre al contrario il cluster più grande, con un'unica eccezione, è composto da quelle imprese che hanno dimostrato interesse verso il Digital Twin. L'eccezione menzionata riguarda una piccola impresa, composta da risorse fortemente skillate, oltre l'80% di dottorandi nell'ambito STEM, che effettua produzione su piccola scala e principalmente per progetti di ricerca innovativi. Dato che l'intervista non è stata effettuata direttamente con l'imprenditore, si deve tener conto di alcune contraddizioni intrinseche nelle attività svolte. Contraddizioni che il software SPSS non è in grado di cogliere. Si possono dunque considerare corrette le due classificazioni.

La correlazione che emerge tra quantità/tipologia delle tecnologie Industry 4.0 implementate e interesse verso il Digital Twin è forte e delinea il primo elemento che caratterizza le PMI che innovano, ovvero essere all'avanguardia su tutti i fronti, soprattutto sulle nuove tecnologie che apportano benefici tangibili al proprio business.

3.6.6.2 Caso 2

Questa seconda clusterizzazione è stata effettuata sulle prime due domande della sezione dedicata al Digital Twin. La prima riguarda la conoscenza in sé del termine stesso, la

seconda l'interesse verso le principali applicazioni del DT. Il metodo utilizzato è stato quello gerarchico di tipo Between-groups linkage con la misura Squared Euclidean distance.

In questo caso l'obiettivo era quello di confermare le deduzioni effettuate nel CASO 1.

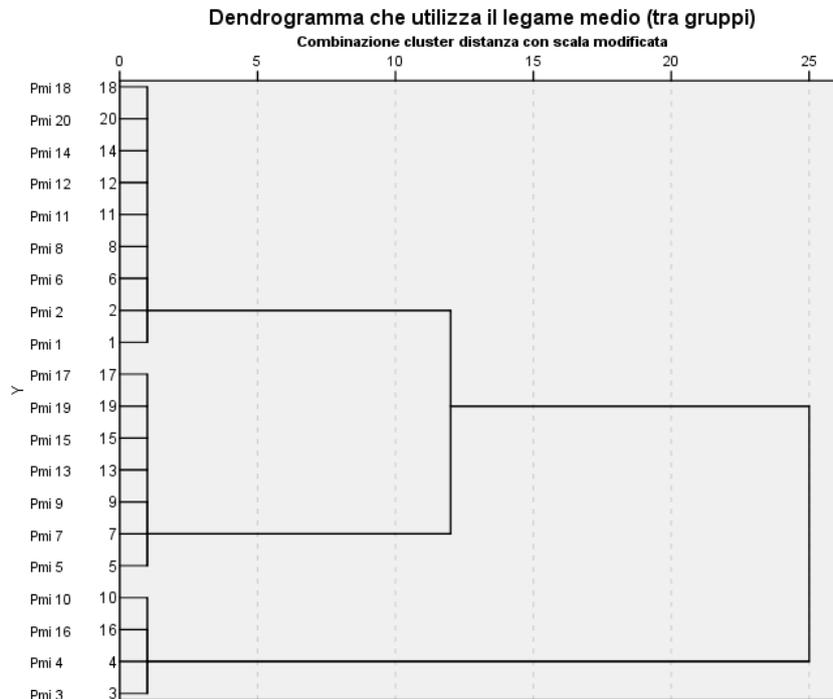


Figura 74 : Dendrogramma clustering (Caso 2)

Il dendrogramma ottenuto in Figura 74, mostra due cluster sostanzialmente identici a quelli ottenuti nel CASO 1. Va considerato che l'aggiunta della domanda sulla conoscenza del DT non ha modificato la classificazione rispetto a quanto ipotizzato. Anzi l'impresa outlier nel CASO 1, adesso rientra giustamente nel secondo cluster, ovvero quello delle imprese che non reputano interessante il Digital Twin.

3.6.6.3 Caso 3

In questa terza clusterizzazione vengono inserite diverse variabili riferite a domande generiche sull'innovazione, alle attività importanti per le imprese e le implementazioni di Industry 4.0:

- V29) L'azienda ha mai partecipato ad iniziative sullo sviluppo tecnologico ed innovazione?
- V47) È a conoscenza di bandi/finanziamenti erogati da enti/fondi a favore dello sviluppo tecnologico e dell'implementazione delle tecnologie coerenti con il paradigma di Industria 4.0?
- V49) È riuscito ad usufruire degli incentivi proposti dal piano Calenda?
- V50) È a conoscenza delle normative europee sulla gestione dati GDPR?

- V71) È a conoscenza delle soluzioni Cloud, come ad esempio Software-as-Service?
- V72) Adotta soluzioni Cloud attualmente per le attività che coinvolgono l'azienda?
- V119) Reputa utile, per la sua attività, la possibilità di avere informazioni in tempo reale sullo stato dei propri macchinari, dell'intera linea produttiva e sulle attività svolte dai dipendenti?
- VARinvestDT) Tutti i benefici del Digital Twin sono ad oggi oggetto di incentivi statali riguardo l'Industria 4.0, sarebbe disposto ad investire su tali implementazioni?
- VARpiano) Esiste in Azienda un piano di azione strategica formalizzato al fine di favorire l'innovazione?
- V91...V100) Implementazioni di tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0
- V101...V114) Attività importanti per il business delle imprese
- V131) Negli ultimi 3 anni ha effettuato investimenti in Industria 4.0?
- VARpayback) Se ha effettuato o pensa di effettuare investimenti sull'Industria 4.0, in che lasso di tempo si aspetta di averne un ritorno economico?

Si è scelto di utilizzare il metodo TwoStep su due cluster, al fine di poter valutare quali variabili influiscono maggiormente nella classificazione grazie alle numerose statistiche fornite da Spss.

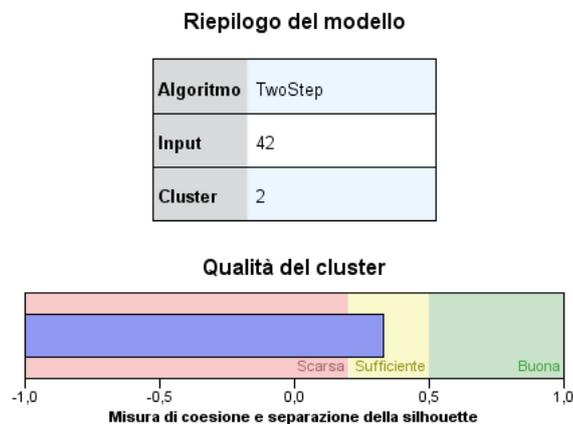


Figura 75 : Riepilogo e qualità cluster (Caso 3)

La classificazione restituisce due cluster, il primo composto da 16 imprese e il secondo da 4. Rispetto al CASO 2 il cluster più piccolo aggrega le seguenti imprese: Pmi 3, Pmi 4, Pmi 7, Pmi 10. I gruppi identificati risultano in ogni caso coerenti con le variabili di selezione inserite. Si osserva che il cluster più grande è composto da imprese appartenenti al settore metalmeccanico.

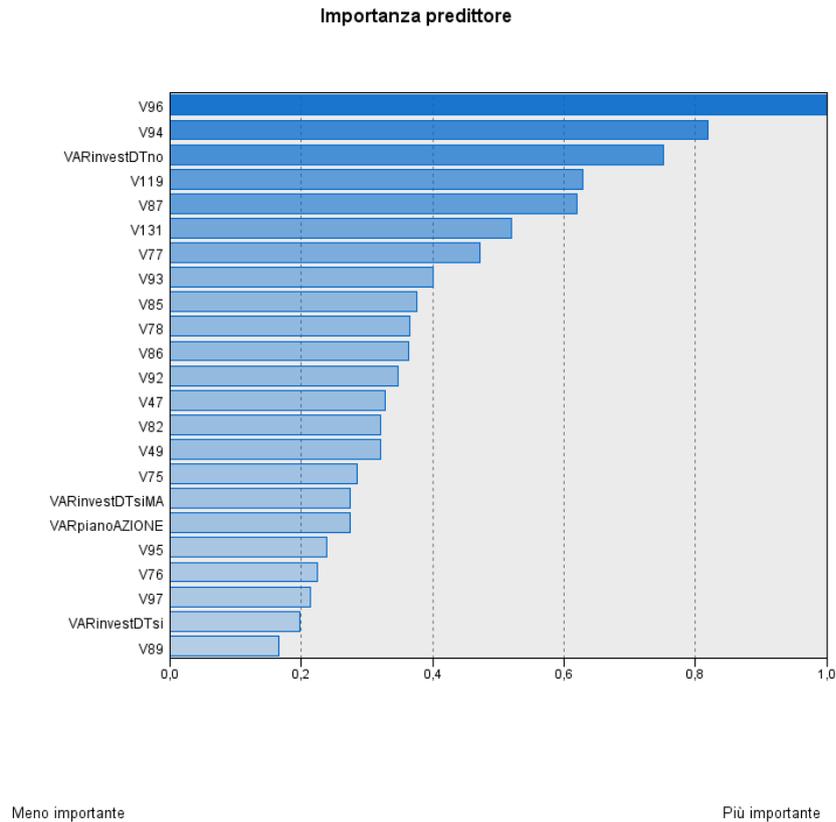


Figura 76 : Variabili importanti (Caso 3)

L'analisi delle variabili di predizione in Figura 76, mostra che ad influire maggiormente sulla classificazione, sono state la valutazione dell'implementazione di alcune tecnologie Industry 4.0 (Sensori Smart, Cybersecurity, CPS), le risposte riguardo la possibilità di investire nel DT, l'interesse verso le tecnologie del Digital Twin, l'interesse verso flessibilità organizzativa e progettazione assistita da computer e infine l'uso degli incentivi previsti dal piano Calenda per finanziare investimenti negli ultimi 3 anni.

Sulla base del clustering effettuato si possono delineare le caratteristiche delle imprese con una forte spinta propulsiva all'innovazione.

Industry 4.0 & Digital Twin transformation assessment

Aspetti Generali o di Business	Attività importanti per il Business	Implementazioni tecnologie Industry 4.0
<ul style="list-style-type: none">•Ha partecipato a bandi sullo sviluppo tecnologico e l'innovazione•Ha effettuato investimenti in Industry 4.0•Ha formalizzato un piano per l'Innovazione•E' a conoscenza della GDPR•Reputa utile la tecnologia Digital Twin•Investirebbe nel Digital Twin dopo aver visionato delle applicazioni reali•Il tempo di ritorno atteso degli investimenti va dai 3 ai 5 anni	<ul style="list-style-type: none">•Predilige la flessibilità organizzativa•E' a favore dell'automazione dei processi industriali•Considera importante la programmazione assistita da calcolatore•Reputa importante che le proprie attività siano ambientalmente sostenibili•La produzione a piccoli lotti è fonte di alta marginalità•La manutenzione preventiva e predittiva è importante•Crede nella formazione sul campo dei dipendenti per l'utilizzo dei nuovi strumenti tecnologici	<ul style="list-style-type: none">•Ha implementato i Sensori Smart•Ha pianificato investimenti in Cybersecurity•Ha interesse o ha pianificato l'implementazione dei CPS•Ha interesse o ha pianificato l'IoT•Ha pianificato investimenti in Stampa 3D•Ha pianificato investimenti nell'analisi dei Big Data•Utilizza o ha pianificato implementazioni Cloud•Ha pianificato investimenti in Robotica (Cobot)

Figura 77 : Profilo delle imprese innovatrici

Generalmente queste imprese hanno partecipato a bandi per lo sviluppo tecnologico effettuando investimenti (anche minimi) sulle tecnologie afferenti al paradigma Industry 4.0. Inoltre, reputano interessante il DT e la possibilità di investire dopo aver visto alcuni casi d'uso reali. Per quanto riguarda le tecnologie I4.0 implementate, le imprese utilizzano i Sensori Smart e il Cloud, ma hanno pianificato investimenti in Cybersecurity, IoT, CPS, Robotica, Stampa 3D e Big Data Analysis. Non sono d'interesse invece Wearable e VR/AR. Tra le attività importanti per gli imprenditori innovatori, spiccano la flessibilità organizzativa, la manutenzione preventiva e predittiva, la programmazione assistita da calcolatore, l'automazione industriale e la produzione in piccoli lotti fortemente customizzati. Quasi tutte le imprese in questione hanno formalizzato un piano scritto per l'innovazione, mentre tutte concordano su un payback period medio di 3-5 anni.

4. Conclusioni

La trasformazione digitale, iniziata con l'avvento dell'Industry 4.0, ha raccolto sotto il suo cappello tutta una serie di tecnologie abilitanti capaci di innovare e digitalizzare processi, oggetti e risorse. Così oggi, mentre le imprese di tutto il mondo rincorrono la quarta rivoluzione industriale, emerge un nuovo paradigma (Digital Twin) che si pone come uno strumento per governare le Smart Factory.

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

Il beneficio principale del DT è la possibilità di prendere decisioni immediate basandosi su indicazioni o dati ottenuti in tempo reale. Non solo, la numerosità dei dati raccolti e le analisi Big Data su di essi, uniti all'applicazione di AI e ML, garantiscono una scelta mirata ed efficace. L'obiettivo è demandare al Digital Twin la proposta di soluzioni di sintesi, basate sull'inferenza di numerosi parametri, spesso non individuabili in tempo breve dal decisore umano.

Dall'analisi della letteratura scientifica, sul paradigma Digital Twin per il settore manifatturiero, è emerso che le tecnologie necessarie per lo sviluppo di questo sono CPS, Big Data Analytics, IoT e Cloud. La valutazione delle 20 imprese campione, ha evidenziato, però, un basso grado di innovazione tecnologica.

Conclusioni

Confronto Tecnologie "Letteratura vs Indagine"			
Review	(1) Indagine Campione	(2) Indagine No Digital Twin	(3) Indagine Early Adopters
Letteratura	Campione	No Digital Twin	Early Adopters
CPS	5°	7°	4°
Big Data Analytics	8°	11°	7°
IoT	7°	10°	1°
Cloud	2°	2°	3°
Smart Sensor	1°	1°	2°

Figura 78 : Confronto tecnologie necessarie per il DT vs implementate dalle imprese campione

Nella Figura 78, vengono messe a confronto le tecnologie principali necessarie per sviluppare un Digital Twin, e il livello di implementazione effettiva di tali tecnologie per il campione generale Metalmeccanico+Automotive (1/ Indagine Campione), per la selezione di imprese che non investirebbero nel Digital Twin (2/ Indagine No Digital Twin) e per la selezione di imprese che investirebbero immediatamente (3/ Indagine Early Adopters).

Si evince che sia nel caso (1) che nel caso (2) le tecnologie Cloud e Smart Sensor sono quelle maggiormente implementate. Nel caso (1) IoT e Big Data Analytics non ottengono un buon posizionamento all'interno delle prime cinque posizioni, cosa che invece accade per la tecnologia CPS. La situazione peggiora nel caso (2) dove CPS, Big Data Analytics e IoT raggiungono le ultime posizioni in classifica. Nel caso (3), che teoricamente dovrebbe rappresentare le imprese che più innovano, tutte le tecnologie si posizionano tra le prime 5, tranne Big Data Analytics che si trova 7°, pur rappresentando il miglior risultato per questa tecnologia.

Il confronto in Figura 78, evidenzia che, ad oggi, l'implementazione del DT nelle PMI del campione è possibile solo tra gli Early Adopters e solo se si investe nei Big Data Analytics. Per tutte le altre imprese, l'implementazione non è impossibile, ma data la scarsa propensione all'innovazione, si potrebbe immaginare un DT capace soltanto di raccogliere i dati di produzione.

L'approfondimento della letteratura ed il confronto con esperti nel settore Industrial Internet of Thing hanno permesso di definire 4 gradi di sviluppo del Digital Twin, illustrati dettagliatamente nel paragrafo 2.3.1.2:

- Livello Zero: Interconnessione e Raccolta dati
- Livello Uno: Simulazione per lo sviluppo prodotto
- Livello Due: Simulazione che coinvolge una o più aree della supply chain
- Livello Tre: Simulazione avanzata che coinvolge l'intero PLC

Conclusioni

Di seguito si intende comparare, su di un grafico costruito ad hoc, i risultati provenienti dalla review della letteratura con quelli dell'indagine svolta sul campione di imprese.

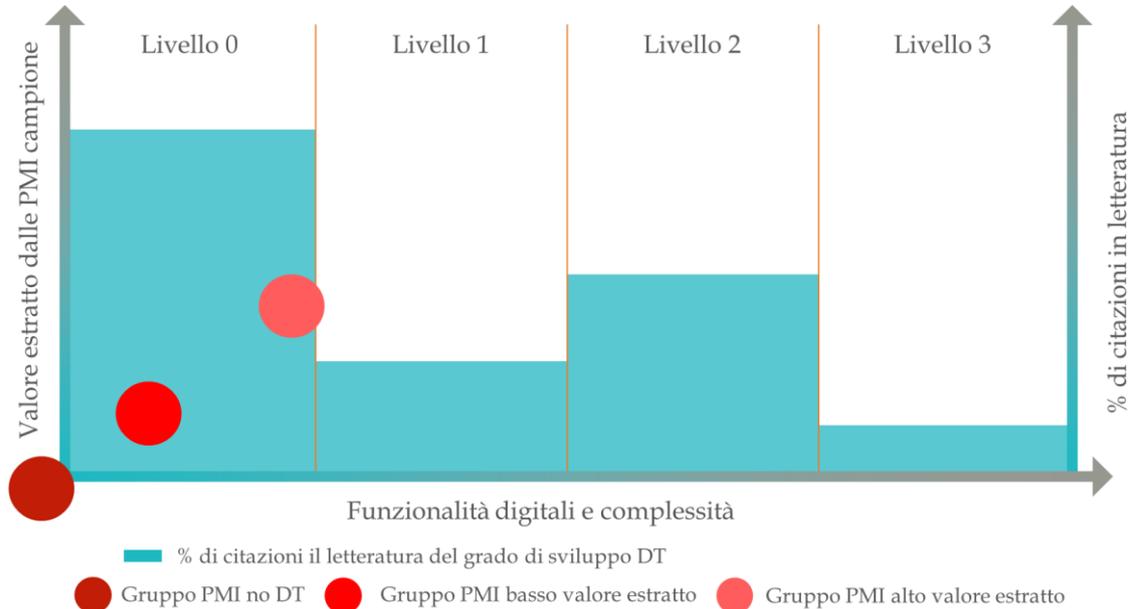


Figura 79 : Confronto livello di sviluppo del DT in letteratura vs imprese campione

Il grafico in Figura 79 mostra come la maggior parte delle imprese (55%) si posiziona al di sotto del livello 0, ovvero le sue implementazioni tecnologiche di Industry 4.0 non appartengono a nessun grado di sviluppo del DT. Viceversa, il 45% delle imprese si distingue per un'implementazione di livello 0. Solo il 20% del campione (PMI alto valore estratto), corrispondente a 4 imprese, hanno dimostrato l'interesse di voler realizzare, nel breve periodo, il DT livello 1 e nel futuro il livello 2. I risultati dell'indagine ricalcano sostanzialmente il grado di sviluppo del DT che emerge dalla letteratura. Anche in quel caso la maggior parte degli articoli si è concentrata sul livello 0 di sviluppo.

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

- Interconnessione completa
- Framework KPI
- Possesso di un MES
- Coinvolgimento del personale
- Condivisione andamento produttivo con il cliente
- Progetti innovativi Industry 4.0

Ad ognuno dei criteri è stato attribuito rispettivamente il punteggio (1-0,5-0) in caso di soddisfazione completa, parziale o assente.

Conclusioni

Successivamente sono stati identificati 3 macrogruppi:

- Nessuna interconnessione: assenza del Digital Twin
- Punteggio $\leq 3,5$: basso valore estratto dal Digital Twin
- Punteggio $> 3,5$: alto valore estratto dal Digital Twin

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

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

Figura 80 : Valutazione delle implementazioni del DT da parte delle imprese campione

Il risultato (Figura 80) mostra che il principale interesse è rivolto al livello 0 del DT e all'implementazione di analisi predittive sullo stato della commessa e dei macchinari. La trasparenza della supply chain e le simulazioni matematico-statistiche non sono una priorità delle PMI.

Le due implementazioni innovative:

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

Conclusioni

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

In conclusione, si può affermare che ad oggi, stante la scarsa cultura delle imprese verso i benefici dell'Industry 4.0, il Digital Twin di livello 0 è implementabile nella maggior parte delle PMI appartenenti al gruppo delle "Imprese Innovatrici". Per l'implementazione di livello 1 e 2, il target più adatto sono invece gli "Early Adopters", in quanto hanno già adottato gran parte dei concetti di Industry 4.0 e possono compiere un passo ulteriore. L'implementazione di livello 3, non è applicabile a nessuna impresa del campione e probabilmente a nessuna PMI in generale, fino a quando la ricerca scientifica non avrà definito uno standard di sviluppo del Digital Twin capace di abbracciare il concetto "Plug and Simulate".

Bibliografia

- [1] Deloitte, «Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies,» 2014. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>.
- [2] K. Zhou, T. Liu e L. Zhou, «Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges,» *IEEE*, 2015.
- [3] W. Jin, Z. Liu, Z. Shi, C. Jin e J. Lee, «CPS-enabled worry-free industrial applications,» *IEEE*, 2017.
- [4] J. W. Strandhagen, E. Alfnes, J. O. Strandhagen e L. R. Vallandingham, «The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study,» *Springer*, 2017.
- [5] Deloitte, «The smart factory. Responsive, adaptive, connected manufacturing,» 2017. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html>.
- [6] Deloitte, «Industry 4.0 and cybersecurity. Managing risk in an age of connected production,» 2017. [Online]. Available: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3749_Industry4-0_cybersecurity/DUP_Industry4-0_cybersecurity.pdf.
- [7] 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/>.
- [8] J. YAN1, Y. MENG, L. LU e L. LI, «Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance,» *IEEE*, 2017.
- [9] Medium, «5 Ways Big Data Analytics Power Productivity & Profits,» 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/the-crossover-cast/5-ways-big-data-analytics-power-productivity-profits-41a17d802132>.
- [10] R. Singh, «Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Industry 4.0,» 2018. [Online]. Available: <https://dzone.com/articles/role-of-artificial-intelligence-and-machine-learn>.
- [11] BCG, «AI in the Factory of the Future,» [Online]. Available: <https://www.bcg.com/publications/2018/artificial-intelligence-factory-future.aspx>.
- [12] R. B. S. Consultants, «INDUSTRY 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed,» [Online]. Available: http://www.iberglobal.com/files/Roland_Berger_Industry.pdf.
- [13] 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.

Bibliografia

- [14] M. Gerecht e Z. Peter, «Industrial robots meet Industry 4.0,» *Hadmernok*, 2017.
- [15] H. M. Technologies, «7 Families of Additive Manufacturing,» [Online]. Available: https://www.additivemanufacturing.media/cdn/cms/7_families_print_version.pdf.
- [16] PWC, «Turning additive manufacturing into business,» 2015.
- [17] IDC, «Spending on 3D printing worldwide in 2019 and 2022,» 2018. [Online]. Available: <https://www-statista-com.ezproxy.biblio.polito.it/statistics/590113/worldwide-market-for-3d-printing/>.
- [18] I. Wright, «What Can Augmented Reality Do for Manufacturing?,» 2017. [Online]. Available: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14904/What-Can-Augmented-Reality-Do-for-Manufacturing.aspx>.
- [19] IDC, «Worldwide Spending on Augmented and Virtual Reality Expected to Double or More Every Year Through 2021,» [Online]. Available: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS42959717>.
- [20] Various, «Virtual and Augmented Reality,» 2018. [Online]. Available: <http://www.advice-manufacturing.com/Virtual-and-Augmented-Reality.html>.
- [21] E. Blunck e H. Werthmann, «Industry 4.0 – An Opportunity To Realize Sustainable Manufacturing And Its Potential For A Circular Economy,» DIEM.
- [22] S. Wang, J. Wan, D. Li e C. Zhang, «Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook,» *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
- [23] MISE, «Piano nazionale Impresa 4.0 - Le principali azioni,» [Online]. Available: <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/industria40>.
- [24] MISE, «Piano Nazionale Impresa 4.0 - Risultati 2017,» 2018. [Online]. Available: http://www.sviluppoeconomico.gov.it/images/stories/documenti/impresa_40_risultati_2017_azioni_2018.pdf.
- [25] D. Lazzarin, «Industria 4.0, Calenda: bene gli incentivi, nel 2018 si continua. E ora focus sulle competenze,» [Online]. Available: <https://www.digital4.biz/executive/industria-40-il-bilancio-di-calenda-bene-l-iperammortamento-si-continua-nel-2018-e-ora-focus/>.
- [26] i-SCOOP, «Digital twin technology and simulation: benefits, usage and predictions 2018,» i-SCOOP, 2018. [Online]. Available: <https://www.i-scoop.eu/digital-twin-technology-benefits-usage-predictions/>.
- [27] Gartner, «Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends for 2017,» 2016. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017/>.
- [28] M. Grieves e J. Vickers, «Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt),» ResearchGate, 2016.

Bibliografia

- [29] 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.
- [30] S. Boschert e R. Rosen, «Digital Twin - The Simulation Aspect,» in *Mechatronic Futures*, Springer, 2016.
- [31] R. J. Schluse M., «From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems,» in *ISEE*, 2016.
- [32] R. Stark, S. Kind e S. Neumeyer, «Innovations in digital modelling for next generation manufacturing system design,» *CIRP Annals*, 2017.
- [33] E. Negri, L. Fumagalli e M. Macchi, «A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems,» *Procedia Manufacturing*, 2017.
- [34] 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 System*, 2018.
- [35] 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.
- [36] F. Tao e M. Zhang, «Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing,» *IEEE*, 2017.
- [37] G.L. Knapp et. al., «Building blocks for a digital twin of additive manufacturing,» *Elsevier*, 2017.
- [38] F. Tao, F. Sui, A. Liu, Q. Qi, M. Zhang, B. Song, Z. Guo, S. C.-Y. Lu e A. Y. C. Nee, «Digital twin-driven product design framework,» *International Journal of Production Research*, 2018.
- [39] F. Tao, J. Cheng, Q. Qi, M. Zhang, H. Zhang e F. Sui, «Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (Springer)*, 2018.
- [40] 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,» *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2018.
- [41] M. Ciavotta, A. Bettoni e G. Izzo, «Interoperable meta model for simulation-in-the-loop,» in *Proceedings - 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems*, 2018.
- [42] Datta, Shoumen, «Emergence of Digital Twins. Is this the march of reason?,» 2016. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/1721.1/104429>.
- [43] i-Scoop, «Digital twin initiatives on the rise in 2018 – findings and best practices,» 2018. [Online]. Available: <https://www.i-scoop.eu/iot-digital-twin-initiatives-gartner-platforms/>.
- [44] T. Rueckert, «Making Sense Of The New Business Models Powered By Digital Twins,» *Manufacturing.net*, 2017. [Online]. Available:

Bibliografia

- <https://www.manufacturing.net/article/2017/10/making-sense-new-business-models-powered-digital-twins>.
- [45] General Electric, «Predix,» [Online]. Available: <https://www.ge.com/digital/predix/digital-twin>. [Consultato il giorno Agosto 2018].
- [46] CorCom, «Siemens, un “digital twin” per ogni processo industriale,» 2017. [Online]. Available: <https://www.corrierecomunicazioni.it/cyber-security/siemens-un-digital-twin-processo-industriale/>.
- [47] Siemens, «Twins with potential,» [Online]. Available: <https://www.siemens.com/customer-magazine/en/home/industry/digitalization-in-machine-building/the-digital-twin.html>. [Consultato il giorno 2018].
- [48] D. Roberts, «Siemens goes all-in on Digital Twin,» 2018. [Online]. Available: <https://insights.cambashi.com/2018/01/26/siemens-goes-all-in-on-digital-twin/>.
- [49] D. Ammermann, «Digital Twin Implementation,» SAP, 2018. [Online]. Available: <https://blogs.sap.com/2017/09/09/digital-twin-implementation/>.
- [50] Industria 4.0 Senza Slogan, «industria4.0senzaslogan,» 2017. [Online]. Available: <http://www.polotecnologico.it/industria4-0senzaslogan/>.
- [51] G. Fantoni, G. Cervelli, S. Pira e L. Trivelli, *Industria 4.0 senza slogan*, Pisa: Towel Publishing S.r.l.s., 2017.
- [52] T4SM, «CASE STUDIES,» [Online]. Available: <https://www.toolsforsmartminds.com/it/case-study>. [Consultato il giorno 19 09 2018].
- [53] Libelium, «Libelium case studies,» [Online]. Available: <http://www.libelium.com/libeliumworld/case-studies/>. [Consultato il giorno 19 09 2018].
- [54] Tenenga, «Case Studies,» [Online]. Available: <http://www.tenenga.it/case-studies/>. [Consultato il giorno 19 09 2018].
- [55] B810 Srl, «Additive Manufacturing and R&D: how 3D Printing influences the time-to-market process in B810 Srl,» in *CAE Conference*, 2017.
- [56] U. Cugini, «NewsImpresa,» 2018. [Online]. Available: <https://newsimpresa.it/digital-twin-la-storia-un-gemellaggio-digitale/>.
- [57] P. Zheng, T.-J. Lin, C.-H. Chen e X. Xu, «A systematic design approach for service innovation of smart product-service systems,» *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- [58] L. Y. e X. X., «Resource virtualization: A core technology for developing cyber-physical production systems,» *Journal of Manufacturing Systems*, 2018.
- [59] A. Miller, R. Alvarez e N. Hartman, «Towards an extended model-based definition for the digital twin,» *Computer-Aided Design and Applications*, 2018.
- [60] D. Botkina, M. Hedlind, B. Olsson, J. Henser e T. Lundholm, «Digital Twin of a Cutting Tool,» *Procedia CIRP*, 2018.

Bibliografia

- [61] Q. Qi, F. Tao, Y. Zuo e D. Zhao, «Digital Twin Service towards Smart Manufacturing,» *Procedia CIRP*, 2018.
- [62] B. Talkhestani, N. Jazdi, W. Schloegl e M. Weyrich, «Consistency check to synchronize the Digital Twin of manufacturing automation based on anchor points,» *Procedia CIRP*, 2018.
- [63] S. Haag e R. Anderl, «Digital twin – Proof of concept,» *Manufacturing Letters*, 2018.
- [64] J. Guo, N. Zhao, L. Sun e S. Zhang, «Modular based flexible digital twin for factory design,» *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2018.
- [65] Q. Qi e F. Tao, «Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison,» *IEEE Access*, 2018.
- [66] C. Zhuang, J. Liu e H. Xiong, «Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018.
- [67] S. Sierla, V. Kyrki, P. Aarnio e V. Vyatkin, «Automatic assembly planning based on digital product descriptions,» *Computers in Industry*, 2018.
- [68] Q. Liu, H. Zhang, J. Leng e X. Chen, «Digital twin-driven rapid individualised designing of automated flow-shop manufacturing system,» *International Journal of Production Research*, 2018.
- [69] A. Peuhkurinen e T. Mikkonen, «Embedding web apps in mixed reality,» *2018 3rd International Conference on Fog and Mobile Edge Computing, FMEC 2018*, 2018.
- [70] G. Landolfi, A. Barni, S. Menato, F. Cavadini, D. Rovere e G. D. Maso, «Design of a multi-sided platform supporting CPS deployment in the automation market,» *Proceedings - 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018*, 2018.
- [71] N. Demkovich, E. Yablochnikov e G. Abaev, «Multiscale modeling and simulation for industrial cyber-physical systems,» *Proceedings - 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018*, 2018.
- [72] U. J., P. J. e R. M., «Modular augmented reality platform for smart operator in production environment,» *Proceedings - 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems, ICPS 2018*, 2018.
- [73] Y. Cheng, Y. Zhang, P. Ji, W. Xu, Z. Zhou e F. Tao, «Cyber-physical integration for moving digital factories forward towards smart manufacturing: a survey,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018.
- [74] C. Brosinsky, D. Westermann e R. Krebs, «Recent and prospective developments in power system control centers: Adapting the digital twin technology for application in power system control centers,» *2018 IEEE International Energy Conference, ENERGYCON 2018*, 2018.

Bibliografia

- [75] H. Zhang, G. Zhang e Q. Yan, «Dynamic resource allocation optimization for digital twin-driven smart shopfloor,» *ICNSC 2018 - 15th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, 2018.
- [76] I. Graessler e A. Poehler, «Intelligent control of an assembly station by integration of a digital twin for employees into the decentralized control system,» *Procedia Manufacturing*, 2018.
- [77] B. Talkhestani, N. Jazdi, W. Schlögl e M. Weyrich, «A concept in synchronization of virtual production system with real factory based on anchor-point method,» *Procedia CIRP*, 2018.
- [78] M. Ayani, M. Ganebäck e A. Ng, «Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning,» *Procedia CIRP*, 2018.
- [79] R. Senington, F. Baumeister, A. Ng e J. Oscarsson, «A linked data approach for the connection of manufacturing processes with production simulation models,» *Procedia CIRP*, 2018.
- [80] P. U. Coronado, R. Lynn, W. Louhichi, M. Parto, E. Wescoat e T. Kurfess, «Part data integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and cloud technologies to enable a manufacturing execution system,» *Journal of Manufacturing Systems*, 2018.
- [81] L.-L. Liu, X. Wan, Z. Gao, X. Li e B. Feng, «Research on modelling and optimization of hot rolling scheduling,» *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2018.
- [82] T. Jung, P. Shah e M. Weyrich, «Dynamic Co-Simulation of Internet-of-Things-Components using a Multi-Agent-System,» *Procedia CIRP*, 2018.
- [83] H. Zhang, Q. Liu, X. Chen, D. Zhang e J. Leng, «A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line,» *IEEE Access*, 2017.
- [84] M. Kritzler, M. Funk, F. Michahelles e W. Rohde, «The virtual twin: Controlling smart factories using a spatially-correct augmented reality representation,» *ACM International Conference Proceeding Series*, 2017.
- [85] F. Tao e M. Zhang, «Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing,» *IEEE Access*, 2017.
- [86] B. Rodič, «Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm,» *Organizacija*, 2017.
- [87] J. Vachalek, L. Bartalsky, O. Rovny, D. Sismisova, M. Morhac e M. Loksik, «The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept,» *Proceedings of the 2017 21st International Conference on Process Control PC 2017*, 2017.
- [88] J. Um, S. Weyer e F. Quint, «Plug-and-Simulate within Modular Assembly Line enabled by Digital Twins and the use of AutomationML,» *IFAC-PapersOnLine*, 2017.

Bibliografia

- [89] A. Moreno, G. Velez, A. Ardanza, I. Barandiaran, Á. d. Infante e R. Chopitea, «Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the Industry 4.0 vision,» *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2017.
- [90] K. Wärmefjord, R. Söderberg, L. Lindkvist, B. Lindau e J. Carlson, «Inspection data to support a Digital Twin for geometry assurance,» *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition Proceedings (IMECE)*, 2017.
- [91] B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu e S. Wartzack, «Shaping the digital twin for design and production engineering,» *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2017.
- [92] K. Ponomarev, N. Kudryashov, N. Popelnukha e V. Potekhin, «Main principals and issues of digital twin development for complex technological processes,» *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*, 2017.
- [93] B. Brenner e V. Hummel, «Digital Twin as Enabler for an Innovative Digital Shopfloor Management System in the ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen - University,» *Procedia Manufacturing*, 2017.
- [94] T.-J. Uhlemann, C. Schock, C. Lehmann, S. Freiburger e R. Steinhilper, «The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems,» *Procedia Manufacturing*, 2017.
- [95] T.-J. Uhlemann, C. Lehmann e R. Steinhilper, «The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0,» *Procedia CIRP*, 2017.
- [96] K. Alam e A. E. Saddik, «C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems,» *IEEE Access*, 2017.
- [97] C. Weber, J. Königsberger, L. Kassner e B. Mitschang, «M2DDM - A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing,» *Procedia CIRP*, 2017.
- [98] M. Schluse e J. Rossmann, «From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems,» *ISSE 2016 - 2016 International Symposium on Systems Engineering - Proceedings Papers*, 2016.
- [99] G. Schroeder, C. Steinmetz, C. Pereira e D. Espindola, «Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange,» *IFAC-PapersOnLine*, 2016.
- [100] S. Weyer, T. Meyer, M. Ohmer, D. Gorecky e D. Zühlke, «Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: an Example from the Automotive Industry,» *IFAC-PapersOnLine*, 2016.
- [101] HANNOVER MESSE , «Artificial intelligence in Industrie 4.0,» [Online]. Available: <http://www.hannovermesse.de/en/news/key-topics/artificial-intelligence/>. [Consultato il giorno 19 09 2018].
- [102] Industria 4.0 Senza Slogan, «Industria 4.0 Senza Slogan,» [Online]. Available: <https://bit.ly/2De9kxt>. [Consultato il giorno 19 09 2018].

Allegati

Questionario Industria 4.0 & Digital Twin



POLITECNICO
DI TORINO



M. Boella
I S M B
Istituto Superiore Mario Boella

Questionario Industria 4.0 & Digital Twin

Il presente questionario si inserisce all'interno della collaborazione tra il [Centro ICT for City Logistics and Enterprises](#) (ICELab@Polito) ed il tessuto delle PMI.

ICELab@Polito è un laboratorio congiunto Politecnico di Torino e [Istituto Superiore Mario Boella](#) e mira a farsi promotore di azioni di ricerca (sia pura sia applicata) per la creazione di soluzioni ICT-based per la gestione della città, focalizzandosi in particolare sull'integrazione delle attività industriali nella e per la città e nella progettazione di sistemi intelligenti per la gestione del traffico merci e persone.

Esso è composto da 6 sezioni:

1. Identificazione dell'Azienda rispondente;
2. Livello di conoscenza dei concetti afferenti al paradigma Industria 4.0;
3. Livello effettivo di implementazione dei concetti di Industria 4.0 in Azienda;
4. Livello di conoscenza del paradigma Digital Twin per l'Industria 4.0;
5. Suggestimenti e spunti al fine di migliorare le indagini future;
6. Recapiti dell'Azienda rispondente nel caso si desiderasse essere ricontattati per ulteriori indagini o per la condivisione di informazioni.

Il contributo della Sua Azienda è fondamentale per comprendere quanto Industria 4.0 sia realmente conosciuta in Italia, se siano già stati mossi i primi passi in questa direzione o se siano state riscontrate difficoltà nella sua implementazione e se i benefici attesi ed un generale clima di fiducia ed ottimismo superino le perplessità e le minacce potenziali insite nei grandi cambiamenti che il paradigma propone.

Ci sono 47 domande all'interno di questa indagine.

INFORMAZIONI AZIENDA RISPONDENTE

1 [1]Nome dell' Azienda rispondente: *

Scrivi le tue risposte qui:

2 [2]Posizione del rispondente nell'organigramma aziendale: *

Scrivi le tue risposte qui:

3 [3] Settore di appartenenza dell'Azienda: *

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Edilizia
- Consulenza
- Elettronica
- Education and Entertainment
- Utilities (energia, gas, acqua)
- Automotive
- Logistica, trasporti e stoccaggio
- Metalmeccanico
- Farmaceutico, sanitario, bio-tech
- Chimica e materiali
- ICT
- Tessile
- Food and Beverage
- Commercio e finanza
- Altro

4 [4] L'azienda è attiva nell'ambito dei servizi o della manifattura? *

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Servizi
- Manifattura
- Altro

5 [5] Dimensione aziendale (numero di dipendenti) : *

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Minore di 10
- Compreso tra 10 e 50
- Compreso tra 50 e 250
- Maggiore di 250

6 [6] Mercati serviti: *

Scegli **tutte** le corrispondenti:

- Nazionali
- Internazionali

Allegati

7 [7]Anno di fondazione: *

Scrivi le tue risposte qui:

8 [8]Fatturato (espresso in milioni di euro): *

Scegli solo una delle seguenti:

- Minore a 0,5
- Compreso tra 0,5 e 2
- Compreso tra 2 e 10
- Compreso tra 10 e 50
- Maggiore di 50

9 [9]Vende in modo diretto o su commessa? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Vendita diretta
- Per commessa

10 [10]

Ha 1 o più fornitori principali(almeno il 30% delle materie prime/semilavorati) ?

*

Scegli solo una delle seguenti:

- Si
- No

11 [10.a]Quanti fornitori principali ha ? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:
° ((10.NAOK == "Y"))

Scegli solo una delle seguenti:

- 1-3
- 3-10
- 10-20
- >20

12 [12]All'incirca quanta % del fatturato dipende dai suoi clienti chiave ?

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Minore del 25%
- Compreso tra 25% e 50%
- Compreso tra 50% e 75%
- Maggiore di 75%

13 [11]Il suo cliente principale in quale mercato si identifica fra i seguenti: *

Scegli **tutte** le corrispondenti:

- PMI
- Grande Impresa
- Vendita al dettaglio

14 [13]Quale quota di mercato detiene l'azienda a livello nazionale? *

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Meno del 5%
- Dal 5% al 10%
- Dal 10% al 20%
- Dal 20% al 30%
- Dal 30% al 50%
- Più del 50%
- Non sa/Non risponde

15 [14]Gli ordini sono soggetti a picchi o fenomeni di stagionalità? *

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Si verificano picchi di domanda imprevisti
- Si verificano picchi di domanda stagionali
- Non si verificano picchi di domanda o fenomeni di stagionalità
- Non sa/Non risponde

Allegati

16 [15] In che modo l'azienda affronta questi picchi o aumenti stagionali degli ordini? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((14.NAOK == "A1" or 14.NAOK == "A2"))

Scegli solo una delle seguenti:

- Si utilizzano margini della capacità produttiva (la capacità produttiva non è solitamente utilizzata al 100%)
- Si aumenta la capacità produttiva (straordinari, inserimento di forza lavoro stagionale, lavoro su più turni, lavoro nei giorni festivi)
- Si esternalizza parte della produzione
- Non sa/Non risponde

17 [16] L'azienda ha mai partecipato ad iniziative sullo sviluppo tecnologico ed innovazione (quali bandi, progetti, finanziamenti ecc.)? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No
- Non so

LIVELLO DI CONOSCENZA

18 [1] Ha mai sentito parlare di Industria 4.0? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No

19 [1.a] Dove ne ha sentito parlare? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((1.NAOK == "A1"))

Scegli tutte le corrispondenti:

- Riviste scientifiche
- Seminari/conferenze/fiere
- Passaparola di settore
- Web
- Non ricordo
- Altro:

Allegati

20 [2] Indichi per ciascuna delle seguenti tecnologie il suo livello di conoscenza: *

Scegli la risposta appropriata per ciascun item:

	Molto basso	Basso	Medio	Alto	Molto alto
Cloud	<input type="radio"/>				
Internet of Things	<input type="radio"/>				
Sistemi Ciberfisici (CPS, Cyberphysical Systems)	<input type="radio"/>				
Sistemi di sicurezza cibernetica (Cybersecurity Systems)	<input type="radio"/>				
Stampa 3D, Additive Manufacturing	<input type="radio"/>				
Sensori smart	<input type="radio"/>				
Big Data Analytics	<input type="radio"/>				
Realtà virtuale	<input type="radio"/>				
Robotica e intelligenza artificiale	<input type="radio"/>				
Wearable e dispositivi smart	<input type="radio"/>				

Internet of Things: è un network di prodotti fisici integrati con componenti elettronici, software e sensori capaci di connettersi alla rete, in modo da poter raccogliere e scambiare dati.

I Cyber-Physical Systems: sono tecnologie che fondono il mondo fisico con quello virtuale, ossia macchine e componenti fisici connessi e dotati di software e capacità computazionali.

I Cybersecurity Systems: sono quelle tecnologie che permettono alle imprese di proteggersi da possibili attacchi cibernetici ai propri sistemi ciberfisici tra cui crittografia e blockchain.

Stampa 3D: Per stampa 3D si intende la realizzazione di oggetti tridimensionali, mediante produzione additiva, partendo da un modello 3D.

Big Data Analytics: Per Big Data Analytics si intendono quelle tecnologie che permettono la raccolta, il processamento e l'analisi di grandi moli di dati.

Realtà virtuale: La realtà virtuale fa riferimento a quei dispositivi che permettono di generare una realtà simulata e l'interazione in un ambiente virtuale.

Wearable: I wearable sono dispositivi indossabili dotati di molteplici funzionalità, tra cui si annoverano smartwatch e smart glasses.

21 [3] È a conoscenza di bandi/finanziamenti erogati da enti/fondi a favore dello sviluppo tecnologico e dell'implementazione delle tecnologie coerenti con il paradigma di Industria 4.0? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
 No

22 [3.a] Di quali è a conoscenza? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:
° ((3.NAOK == "A1"))

Scrivi le tue risposte qui:

Allegati

23 [3.b] È riuscito ad usufruire degli incentivi proposti dal piano Calenda? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((3.NAOK == "A1"))

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No

24 [4] È a conoscenza delle normative europee sulla gestione dati GDPR? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No

25 [5] Quali fra le seguenti azioni ha attuato o quali intende mettere in atto per adeguarsi alla normativa

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((4.NAOK == "Y"))

Scegli tutte le corrispondenti:

- Fornire strumenti di consenso aggiornati con le nuove normative
- Informare l'utente/cliente riguardo alle finalità del trattamento dei suoi dati personali e la profilazione alla quale sarà soggetto
- Assumere un DPO (Data Protection Officer, responsabile dati)
- Monitorare costantemente la gestione agli accessi e i permessi ai dati
- Garantire un alto livello di protezione e sicurezza per i dati che varcano i confini nazionali
- Gestire un archivio di dati sensibili (carte di credito, informazioni sulla salute) in un luogo molto sicuro.

26 [6] Nel concetto di industria 4.0 spesso si fa riferimento a servizi esterni che coinvolgono l'utilizzo di dati della sua azienda. Considera la possibilità di permettere l'accesso a questi dati? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No
- In Parte

Allegati

27 [6.a] Per quali motivi ? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((6.NAOK == "2"))

Scegli **tutte** le corrispondenti:

- Scarsa sicurezza dei dati
- Diffidenza nei confronti di chi li gestisce
- I dati sono personali dell'azienda e solo chi ne fa parte può averne accesso
- Non vedo vantaggi economici nella condivisione di questi

28 [6.b.1] Per le seguenti tipologie di dato quale grado di accessibilità da esterni o condivisione reputa più adeguato? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((6.NAOK == "3"))

Scegli la risposta appropriata per ciascun item:

	Inaccessibile	Parzialmente accessibile su richiesta	Totalmente accessibile su richiesta	Libero accesso
Dati legati a specifiche di produzione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dati legati alla logistica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dati di monitoraggio del flusso di produzione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dati sensibili di profilo cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

29 [7] È a conoscenza di criteri di sicurezza riguardo i dati informatici e alle tematiche in ambito di Cybersecurity?

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Sì
- No

30 [8] Quali fra queste tecniche di sicurezza informatica sono state adottate ? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((7.NAOK == "Y"))

Scegli **tutte** le corrispondenti:

- Reti aziendali chiuse con sistemi antintrusione e firewall
- Server interni aziendali con accessi controllati con funzioni di backup custoditi in ambienti sicuri
- Formazione del personale in ambito Cybersecurity (ad esempio: formare il dipendente riguardo a come accedere ai dati aziendali secondo criteri prestabiliti)

Nessuna delle soluzioni indicate precedentemente corrisponde al mio attuale livello di protezione, che invece consiste in ::

31 [9]È a conoscenza delle soluzioni Cloud, come ad esempio SaS (Software as a Service, esempi: Dropbox, Google Drive)? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Si
- No

32 [9.a]Adotta soluzioni Cloud attualmente per le attività che coinvolgono l'azienda? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((9.NAOK == "Y"))

Scegli solo una delle seguenti:

- Si
- No

33 [10]In riferimento alle risposte date alle domande precedenti, in relazione alla gestione dei dati dell'azienda, sarebbe disponibile alla condivisione di dati per servizi cloud ? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Si
- No
- Non so

34 [11]Considera la sicurezza informatica offerta dai gestori di Servizi Cloud (come servizi di salvataggio di dati) più vulnerabile rispetto ai sistemi di protezione implementati in azienda (server in azienda)? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((7.NAOK == "Y") and (9.NAOK == "Y"))

Scegli solo una delle seguenti:

- Si
- No

IMPLEMENTAZIONE EFFETTIVA CONCETTI DI INDUSTRIA 4.0

35 [1]Quali, tra le seguenti attività, ritiene importanti per il suo business? *

Scegli **tutte** le corrispondenti:

- Manutenzione preventiva e predittiva
- Uso di Robot collaborativi (COBOT)
- Automatizzazione dei processi produttivi
- Sostenibilità ambientale e risparmio energetico
- Formazione sul campo dei dipendenti su utilizzo e gestione dei nuovi strumenti digitali
- Attrarre risorse esperte di meccatronica integrante meccanica, elettronica, informatica e controlli automatici
- Attrarre manager per governare innovazione e digitalizzazione
- Raccolta e analisi di dati sulle attività in essere
- Integrazione orizzontale (cioè espansione delle attività dell'impresa a prodotti, processi, know-how affini alla filiera già esistente) tramite protocolli standard di comunicazione
- Integrazione verticale (cioè internalizzazione delle fasi a monte/a valle della filiera in cui già opera l'impresa) tramite protocolli standard di comunicazione
- Progettazione dei prodotti assistita da calcolatore/strumenti di simulazione
- Produzione di piccoli lotti fortemente customizzati
- Flessibilità organizzativa e predisposizione al cambiamento
- Offerta di servizi in supporto ai prodotti fisici
- Allocazione di risorse ad attività di ricerca e sviluppo
- Formalizzazione di un approccio strategico per incentivare l'innovazione

Allegati

36 [2] Indichi dalla seguente lista di tecnologie il grado di effettiva implementazione di ciascuna di esse, facendo riferimento alla relativa definizione: *

Scegli la risposta appropriata per ciascun item:

	Non di interesse	Di interesse, ma non ancora implementata	È nei piani	Implementata
Dati o software in Cloud	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Internet of Things	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistemi ciberfisici (Cyber-Physical Systems, CPSs)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistemi di sicurezza cibernetica (Cybersecurity Systems)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stampa 3D, additive manufacturing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sensori smart	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Big Data Analytics	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realtà virtuale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Robotica ed intelligenza artificiale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wearable e dispositivi smart	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Internet of Things: è un network di prodotti fisici integrati con componenti elettronici, software e sensori capaci di connettersi alla rete, in modo da poter raccogliere e scambiare dati.

I Cyber-Physical Systems: sono tecnologie che fondono il mondo fisico con quello virtuale, ossia macchine e componenti fisici connessi e dotati di software e capacità computazionali.

I Cybersecurity Systems: sono quelle tecnologie che permettono alle imprese di proteggersi da possibili attacchi cibernetici ai propri sistemi ciberfisici tra cui crittografia e blockchain.

Stampa 3D: Per stampa 3D si intende la realizzazione di oggetti tridimensionali, mediante produzione additiva, partendo da un modello 3D.

Big Data Analytics: Per Big Data Analytics si intendono quelle tecnologie che permettono la raccolta, il processamento e l'analisi di grandi moli di dati.

Realtà virtuale: La realtà virtuale fa riferimento a quei dispositivi che permettono di generare una realtà simulata e l'interazione in un ambiente virtuale.

Wearable: I wearable sono dispositivi indossabili dotati di molteplici funzionalità, tra cui si annoverano smartwatch e smart glasses.

Allegati

37 [3] Indichi i benefici attesi dall'implementazione delle tecnologie già in uso e di quelle che si è predisposti ad adottare:

Scegli **tutte** le corrispondenti:

- Aumento di produttività
- Aumento di efficienza
- Aumento della qualità dei prodotti/processi
- Riduzione delle tempistiche (es. time-to-market, set-up)
- Aumento di affidabilità dei prodotti/processi
- Aumento della sicurezza dei lavoratori
- Riduzione dei costi
- Aumento dei profitti
- Livellamento dei carichi energetici e riduzione utilizzo di energia
- Maggiore soddisfazione dei consumatori
- Realizzazione di prodotti customizzati in piccoli lotti
- Aumento della trasparenza nelle attività svolte dai vari attori della filiera
- Interoperabilità tra i vari attori, sincronizzazione e scambio di informazioni
- Miglioramento del processo di controllo del ciclo di vita del prodotto
- Miglioramento del processo decisionale
- Altro:

38 [4] Esiste in Azienda un piano di azione strategica formalizzato al fine di favorire l'innovazione? *

Scegli **solo una** delle seguenti:

- Per nulla
- E' in fase di sviluppo
- E' attualmente in atto

DIGITAL TWIN

Recentemente nel contesto di **Industria 4.0**, si inseriscono nuove soluzioni software che permettono di replicare macchinari, in tempo reale, fornendone una copia digitale il più fedele possibile. Queste soluzioni sono implementabili ex novo con nuovi macchinari o con macchinari preesistenti ammodernati a scopo di re-fitting digitale. In letteratura questa nuova tecnologia acquisisce il nome di **Digital twin**. Le implementazioni del software **Digital Twin** attualmente si inquadrano nelle attività di monitoraggio della produzione e di manutenzione del macchinario. Nonostante queste siano le principali caratteristiche che vengono riconosciute nel **Digital Twin**, il suo reale valore aggiunto sembra convergere nella costituzione di un *"Database Macchina"* che lasci libero sfogo a nuove soluzioni di business specialmente legate all'analisi dei dati a scopo predittivo e di simulazione virtuale.

39 [1] Sulla base della descrizione sopra, ha mai sentito parlare di Digital Twin? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No

40 [2] Reputa utile, per la sua attività, la possibilità di avere informazioni in tempo reale sullo stato dei propri macchinari, dell'intera linea produttiva e sulle attività svolte dai dipendenti? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No

Allegati

41 [3] Quale importanza dà alle seguenti implementazioni? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((2.NAOK == "Y"))

Scegli la risposta appropriata per ciascun item:

	Per nulla importante	Poco importante	Mediamente importante	Importante	Molto importante	Non applicabile
Informazioni in tempo reale sullo stato dei macchinari o dell'intera linea produttiva	<input type="radio"/>					
Informazioni in tempo reale sulle attività svolte dai dipendenti	<input type="radio"/>					
Dati raccolti in cloud e consultabili da qualsiasi computer connesso alla rete ed eventualmente da smartphone	<input type="radio"/>					
Possibilità di sfruttare i dati raccolti in tempo reale per effettuare delle simulazioni matematico-statistiche sui processi produttivi col fine di efficientare la produzione e le risorse impiegate.	<input type="radio"/>					
Condividere alcune delle informazioni raccolte con i suoi fornitori al fine di schedulare meglio le proprie attività produttive	<input type="radio"/>					
Condividere in modo automatico alcune delle informazioni raccolte (ad esempio stato dettagliato di produzione di una commessa) con i suoi clienti al fine di rendere più trasparenti i rapporti di business	<input type="radio"/>					
Possibilità di registrare e certificare in modo automatico/semiautomatico tutte le lavorazioni o attività necessarie alla produzione ed eventualmente previste dal contratto	<input type="radio"/>					
Possibilità di ricevere suggerimenti e indicazioni automatici riguardo la conformità dei processi/lavorazioni rispetto alle norme ISO di settore	<input type="radio"/>					
Analisi predittive, sui dati raccolti, volte a segnalare la data futura di guasto dei macchinari	<input type="radio"/>					
Analisi predittive, sui dati raccolti, volte a segnalare l'impossibilità di consegnare una commessa in tempo	<input type="radio"/>					

Allegati

42 [5] Tutti i benefici del Digital Twin sono ad oggi oggetto di incentivi statali riguardo l'Industria 4.0, sarebbe disposto ad investire su tali implementazioni?: *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì, sono interessato alla tecnologia e prevedo entro un breve periodo di implementarlo
- Sì, sono interessato ma preferirei vedere i risultati di casi d'uso che lo implementano
- No, non reputo sia una tecnologia utile

43 [8] Negli ultimi 3 anni ha effettuato investimenti in Industria 4.0? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No

44 [8.a] Ha avuto dei miglioramenti effettivi, anche in termini di aumento fatturato ? *

Rispondi solo se le seguenti condizioni sono rispettate:

° ((8.NAOK == "Y"))

Scegli solo una delle seguenti:

- Sì
- No

45 [9] Se ha effettuato o pensa di effettuare investimenti sull'Industria 4.0, in che lasso di tempo si aspetta di averne un ritorno economico? *

Scegli solo una delle seguenti:

- Breve Periodo
- Medio Periodo
- Lungo Periodo

SUGGERIMENTI

46 [1] Se c'è qualche aspetto che giudica significativo e che non è stato trattato in questo questionario lo indichi di seguito:

Scrivi le tue risposte qui:

RECAPITI

47 [1]Si fornisca un recapito se si desidera essere contattati in futuro per ulteriori indagini o per ricevere i risultati della nostra ricerca:

Scrivi le tue risposte qui: