

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Corso di laurea triennale
in ingegneria gestionale



Tesi di laurea triennale

IMPLEMENTAZIONE DEI SISTEMI DIGITAL
TWIN NELLA GESTIONE SAFETY 4.0

IMPLEMENTATION OF DIGITAL TWIN
SYSTEMS IN SAFETY 4.0 MANAGEMENT

Relatore
Prof. Maurizio Bevilacqua

Candidato
Matteo Bastianelli
Matricola 1096562

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

Introduzione	1
1. INDUSTRIA 4.0	
1.1 Tecnologie 4.0	2
1.2 Vantaggi delle tecnologie 4.0	5
2. GESTIONE SAFETY 4.0	
2.1 L'importanza del sistema Safety 4.0	7
2.2 Tecnologie portanti	9
2.2.1 Predictive Planning	9
2.2.2 Real time monitoring	10
2.2.3 Smart reporting	10
2.2.4 DPI intelligenti	11
3. DIGITAL TWIN	
3.1 Significato del termine digital twin	13
3.2 La tecnologia del Digital twin	15
3.3 Vantaggi e applicazioni	16
4. DIGITAL TWIN E GESTIONE SAFETY 4.0	
4.1 Il ruolo del digital twin nella sicurezza	18
4.2 Digital twin per la prevenzione del rischio	21
Conclusioni	26
BIBLIOGRAFIA	
SITOGRAFIA	

INTRODUZIONE

L'industria 4.0, anche detta quarta rivoluzione industriale, fa riferimento a quell'insieme di innovazioni digitali che stanno cercando un nuovo spazio nel mondo industriale. Attraverso l'integrazione di queste nuove tecnologie, si mira a trasformare le industrie tradizionali in industrie intelligenti, portando miglioramenti in termini di produttività, efficienza, qualità, costi e sicurezza.

Le tecnologie 4.0, infatti, possono aiutare l'industria a vincere la duplice sfida di gestire le operations in modo più veloce e flessibile, senza però perdere di vista la sicurezza, intesa sia come Safety, quindi tutela degli operatori e dei mezzi coinvolti nei processi, che come Security, cioè alla protezione della macchina da eventi esterni.

Il presente elaborato vuole evidenziare l'impatto e gli effetti delle innovazioni digitali in termini di sicurezza ponendo particolare attenzione al Digital twin, una tecnologia emergente e vitale per la trasformazione digitale e l'aggiornamento intelligente.

Nel primo capitolo viene trattato il tema dell'industria 4.0, dell'avvento delle nuove tecnologie e di come queste danno vita a un sistema 'intelligente' di Safety 4.0.

Nel secondo capitolo viene trattato il tema della gestione Safety 4.0 e dell'importanza di queste nelle industrie.

Nel terzo capitolo viene trattato il tema del Digital twin, il suo funzionamento e le sue applicazioni nell'Industria 4.0.

Nel quarto capitolo viene analizzata l'applicazione del Digital twin nella gestione Safety 4.0.

INDUSTRIA 4.0

1.1 Tecnologie 4.0

L'industria 4.0, indica una tendenza dell'automazione industriale che integra alcune nuove tecnologie produttive per migliorare le condizioni di lavoro e aumentare la produttività e la qualità produttiva degli impianti. La nuova tecnologia industriale digitale, nota come Industria 4.0, sta trasformando la produzione industriale consentendo di raccogliere e analizzare dati tra le macchine e consentendo processi più veloci, più efficienti e flessibili per produrre beni di qualità superiore a prezzi ridotti.

Nove sono le tecnologie che rappresentano gli elementi di cambiamento principale dell'Industria 4.0 : Big Data, Robot autonomi, Simulazioni, Integrazione di sistemi informatici, Internet delle cose (IoT), Cybersecurity, Cloud, Additive Manufacturing e Realtà aumentata. Big Data consiste nella raccolta e la valutazione completa dei dati provenienti da varie fonti, esempio apparecchiature, sistemi di produzione, sistemi di gestione aziendale e dei clienti, sono fondamentali per supportare il processo decisionale in tempo reale.

Attraverso l'incrocio di dati storici e attuali, software fondati sull'intelligenza artificiale e sul Machine Learning possono rilevare modelli comportamentali che aiutano l'azienda ad anticipare eventuali picchi di domanda o ad intravedere un possibile peggioramento dei consumi, dando la possibilità di effettuare tempestive azioni correttive.

La seconda tecnologia pilastro dell'Industria 4.0 sono i robot autonomi.

Questi hanno un costo inferiore e una gamma di funzionalità superiore rispetto a quelli attualmente in uso, sono in grado di interagire tra di loro e con le persone (cobot) e di imparare da queste interazioni.

Un altro strumento fondamentale per la rivoluzione digitale sono le Simulazioni.

Queste consentono di elaborare i dati raccolti in tempo reale e visualizzare la realtà in un modello virtuale, consentendo così di anticipare i problemi prima che si verifichino.

L'integrazione dei sistemi informatici assicura che tutti i reparti e le funzioni d'azienda facciano parte di un unico sistema integrato.

L'Internet delle cose (IoT) introduce all'interno delle industrie i CPS, Cyber Physical Systems, sistemi connessi via internet che consentono un rapido scambio di dati senza intervento umano, dispositivi che sono in grado di comunicare e interagire tra loro e con più controller centralizzati attraverso la rete.

L'analisi dei dati e il processo decisionale consentono risposte in tempo reale.

La cybersecurity fa riferimento alla necessità delle aziende attraverso dei programmi di avere comunicazioni sicure e affidabili, di proteggere i sistemi di produzione della fabbrica e la rete da potenziali minacce.

Il Cloud è una 'nuvola' di dati e servizi sempre accessibile attraverso una connessione internet, rappresenta il tessuto connettivo dell'Industria 4.0, quello che permette di costruire una strategia di produzione innovativa, più efficace ed efficiente sfruttando sensori, intelligenza artificiale e robot.

Le aziende hanno cominciato ad adottare l'additive manufacturing, come la stampa 3D, che utilizzano principalmente per creare prototipi e produrre singoli componenti. Il nono pilastro dell'industria 4.0 è la realtà aumentata, sistemi che attraverso dispositivi mobili, la visione (esempio lenti a proiezione retinica), l'ascolto (cuffie) o la manipolazione, aggiungono informazioni multimediali alla realtà percepita dalle persone. Queste tecnologie sono utilizzate per fornire informazioni in tempo reale per migliorare i processi di lavoro e il processo decisionale.

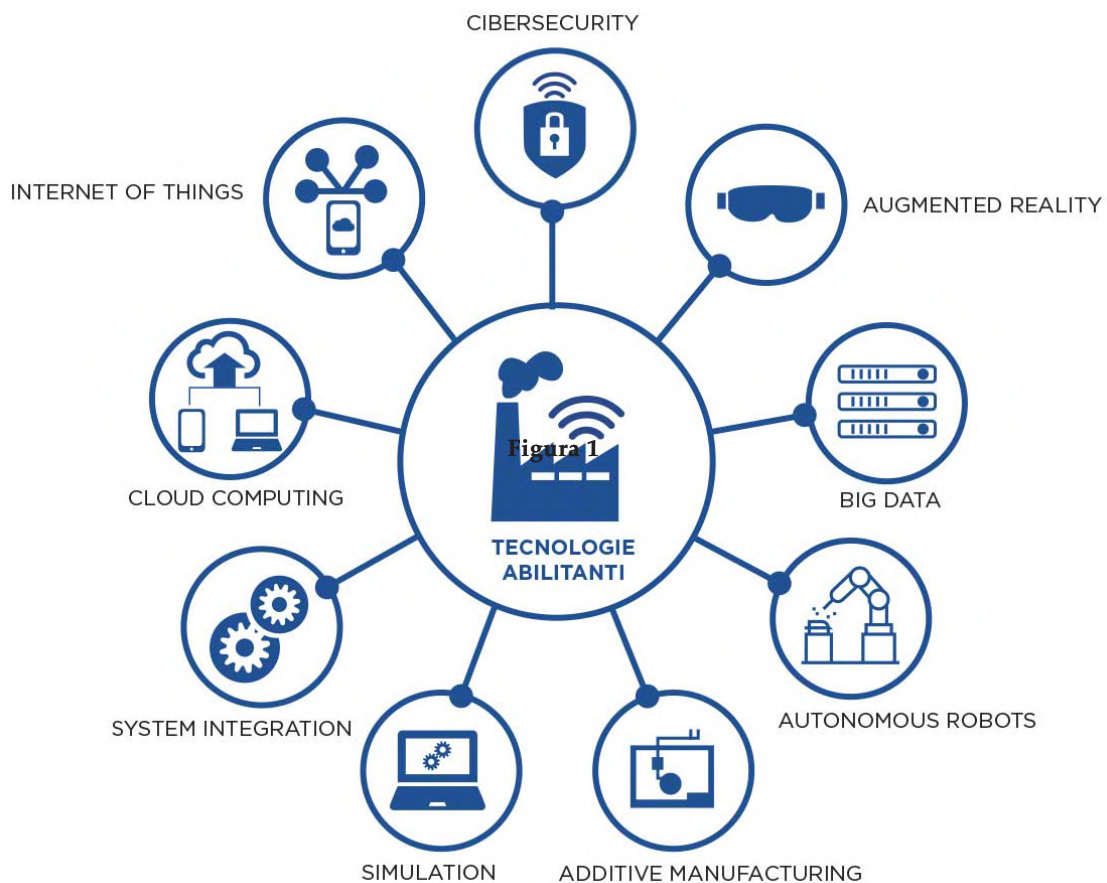


Figura 1

1.2 I vantaggi della tecnologia 4.0

L'implementazione di queste nuove tecnologie richiede un cambio di paradigma, passiamo dal vecchio concetto di fabbrica alla nuova fabbrica intelligente (smart factory), caratterizzata da una produzione digitalizzata, che funziona in maniera dinamica e "brillante", composta da processi più fluidi, interconnessi, e da sistemi di produzione adeguati alla modernità e ai suoi bisogni, capaci di utilizzare al meglio le risorse disponibili.

L'industria 4.0 rappresenta una nuova frontiera della competizione globale, infatti, le aziende che vogliono restare al passo con i tempi devono adeguarsi ad investire in soluzioni tecnologiche che rendano più efficaci i processi e favoriscano modelli di lavoro più efficienti.

L'innovazione 4.0 dà la possibilità di poter combinare diverse tecnologie e di integrare il sistema di fabbrica e le filiere produttive in modo da renderlo un sistema integrato e connesso, in cui macchine, persone e sistemi informativi collaborano fra loro per la realizzazione di prodotti, servizi e ambienti di lavoro più "intelligenti".

I vantaggi portati dalla nuova rivoluzione industriale attraverso tutte le nuove tecnologie, sono molteplici: maggiore flessibilità, maggiore velocità, maggiore produttività, migliore qualità e minori scarti, maggiore competitività del prodotto.

Maggiore flessibilità attraverso la produzione di lotti ai costi della grande scala, maggiore velocità dal prototipo alla produzione in serie mediante tecnologie innovative, maggiore produttività attraverso minori tempi di set-up, riduzione errori e fermi macchina, migliore qualità e minori scarti mediante sensori che monitorano la

produzione in tempo reale e maggiore competitività del prodotto grazie a maggiori funzionalità derivanti da Internet delle Cose.

Altri benefici sono legati al fatto che è possibile riordinare in modo automatico i beni in esaurimento e di avere transizioni condizionate allo stato effettivo delle consistenze in magazzino, fondamentale anche la possibilità di maggiore integrazione delle filiere e catene di fornitura e subfornitura mediante miglioramenti nei sistemi di approvvigionamento e nella logistica, con una più efficiente gestione del magazzino e degli ordini, ottimizzando i rapporti con i fornitori all'interno di ecosistemi collaborativi. L'industria 4.0 ha portato dei benefici anche nel settore della sostenibilità mediante una riduzione dei consumi energetici, delle emissioni, con conseguente riduzione dell'impatto ambientale sull'intero ciclo di vita del prodotto. La nuova era ha portato dei benefici legati anche all'aspetto della sicurezza mediante una migliore interazione di interfaccia uomo-macchina che rende possibile una significativa riduzione del numero di errori ed infortuni, un miglioramento delle condizioni di sicurezza e dell'ergonomia del luogo di lavoro.



Figura 2

2. GESTIONE SAFETY 4.0

2.1 L'importanza del sistema safety 4.0

Nell'era dell'Industria 4.0, il tema della salute e della sicurezza degli operatori e di tutte le persone coinvolte nei processi è centrale nello scenario nella rivoluzione digitale. Gli ambiti della salute e della sicurezza sul lavoro non possono essere trascurati, infatti, l'introduzione di nuove tecnologie all'interno delle industrie ha portato delle conseguenze significative anche a livello sociale e umano. La crescente automatizzazione delle attività ha recato dei benefici in termini di velocizzazione dei processi e delle lavorazioni, ma ha cambiato gli ambienti lavorativi e ha modificato le condizioni di lavoro.

Va ripensata quindi la valutazione del rischio all'interno della fabbrica, tenendo conto di una serie di fattori: dagli incidenti che possono verificarsi in un ambiente dove macchine e uomo condividono lo stesso spazio fisico, alle ripercussioni sul corpo del lavoratore connesse al "potenziamento" della sua fisicità attraverso l'utilizzo delle macchine, alle ripercussioni psicologiche che derivano dalla presenza delle tecnologie dell'automazione, come la paura di essere sostituiti.

I rischi e i pericoli derivanti dall'utilizzo delle tecnologie in ambienti di lavoro, nonché le nuove patologie da essi nascenti ribattezzate come tecnopatie, tra le quali si annoverano il cosiddetto tecnostress, problemi muscolo-scheletrici, diffuso senso di isolamento, perdita della componente socio-relazionale sul lavoro, generalizzata sensazione di mortificazione professionale per coloro i quali siano chiamati ad eseguire compiti meramente ripetitivi ed

esecutivi in più sulla base delle istruzioni derivanti dai macchinari intelligenti, sindrome di burnout, la Fomo (Fear Of Missing Out, ovvero l'ossessione di rimanere esclusi) o la nomofobia (ossia il timore di restare disconnessi), dipendenza dai social e fenomeni di phubbing (consistente nel prestare maggiore attenzione, nel corso di un'interazione sociale, agli strumenti digitali piuttosto che agli interlocutori)". E' sempre più necessaria la presenza di figure professionali che si occupino proprio di garantire un certo livello di sicurezza all'interno delle nuove industrie, valutando i rischi derivanti dalle applicazioni 4.0.

Le innovazioni tecnologie da un lato rappresentano una minaccia, dall'altro però hanno portato anche moltissimi benefici in termini di sicurezza, esempio, attraverso tecnologie indossabili è possibile aiutare gli operatori a lavorare in sicurezza anche in ambienti pericolosi controllando quotidianamente il loro benessere, la loro salute ed eventuale aumento dei livelli di stress, attraverso apparecchiature smart e l'intelligenza artificiale è cambiata l'interazione uomo-macchina, che risulta essere molto più sicura con i cobot, cioè macchine collaborative che hanno come prerogativa principale tutelare l'incolumità e la salute dei lavoratori.

Si comincia quindi a parlare di Safety 4.0, ovvero un sistema dove le procedure di qualità e HSE (Health, Safety & Environment, salute sicurezza e ambiente) prendono vita e danno vita a un sistema 'intelligente' di prevenzione dei rischi.

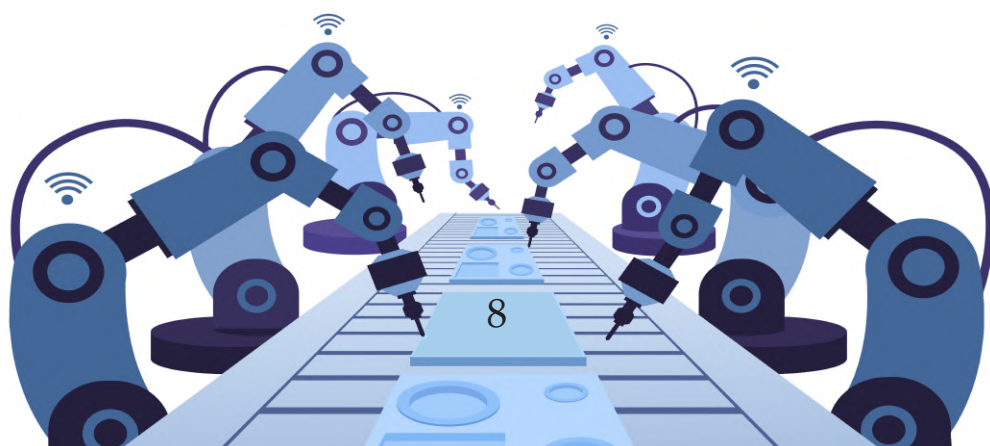


Figura 3

2.2 Tecnologie portanti

Le tecnologie digitali sembrano pronte a porre le fondamenta in quella che potrebbe essere definita come Safety 4.0, che ha come obiettivo la protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori, che risultavano essere minacciate dall'avvento stesso della digitalizzazione

Le quattro tecnologie portanti alla base di un sistema safety 4.0 sono : predictive planning, real time monitoring, smart reporting e DPI intelligenti.



Figura 4

2.2.1 Predictive Planning

Il primo pillar su cui si fonda un sistema safety 4.0 è il predictive planning, ovvero la creazione di modelli predittivi di rischio dell'impresa.

La tecnologia associata a questo pillar sono gli Advanced Analytics, ovvero l'utilizzo di dati, algoritmi statistici e tecniche di machine learning per individuare la probabilità di risultati futuri basandosi su dati storici. Questi modelli sono alla base del risk management aziendale applicabile sia al settore della qualità che a quello della HSE.

2.2.2 Real time monitoring

Il secondo pillar del sistema Safety 4.0 è il monitoraggio in tempo reale dei processi aziendali e immediate azioni correttive.

Le tecnologie associate a questo pillar sono l'Intelligenza Artificiale e lo sviluppo di applicazioni mobili di monitoraggio KPI legati alle procedure di qualità e HSE che permettono il maggior controllo nei luoghi di lavoro e la migliore prevenzione e riduzione degli infortuni sul lavoro.

2.2.3 Smart reporting

Il terzo pillar del sistema Safety 4.0 è la creazione di report e cruscotti intelligenti per i decision maker aziendali e i responsabili di qualità e sicurezza derivanti dalle applicazioni di monitoraggio dei KPI di qualità e HSE attraverso i quali è possibile essere aggiornati in tempo reale sull'andamento dei key indicators dell'azienda.

Le tecnologie alla base di questo pillar sono gli Advanced Analytics e l'intelligenza artificiale che attraverso assistenti virtuali può semplificare la lettura dei KPI aziendali attraverso bot o comandi vocali.

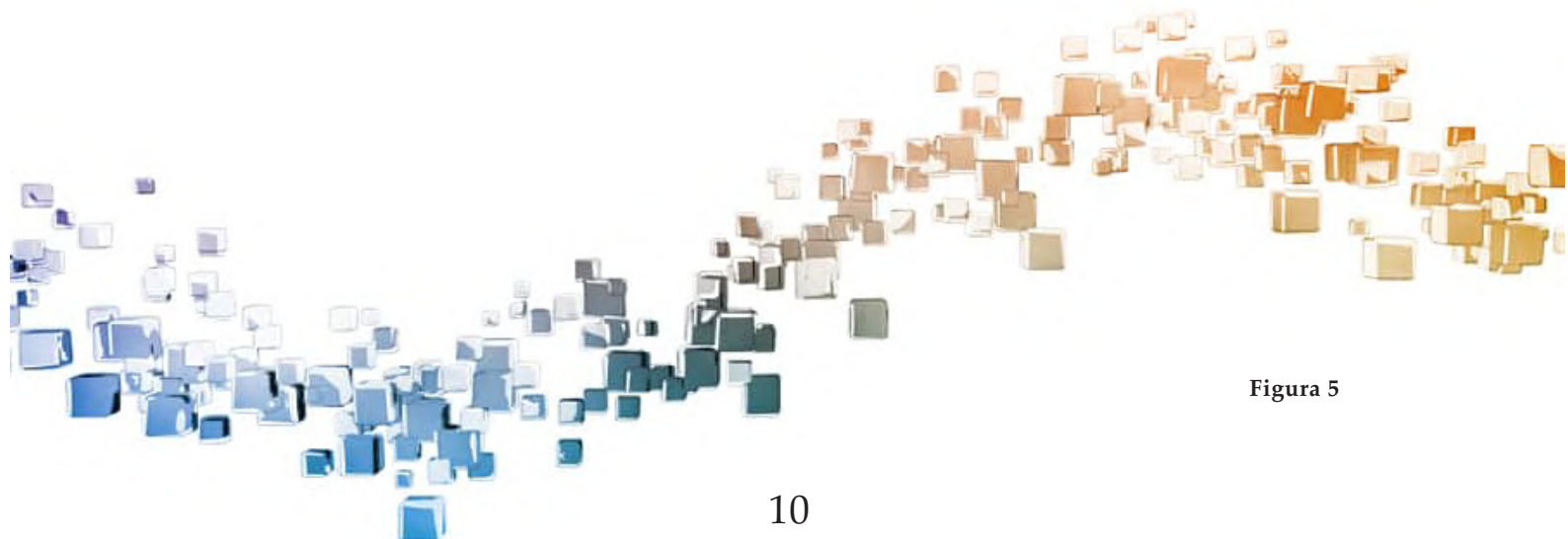


Figura 5

2.2.4 DPI intelligenti

Il quarto pillar del sistema Safety 4.0 è la dotazione di dispositivi di protezione individuale intelligenti che assicurano la sicurezza dei lavoratori.

Il monitoraggio e la tecnologia indossabile possono aiutare i lavoratori a operare in sicurezza anche in ambienti di lavoro pericolosi, controllando quotidianamente il loro benessere e segnalando anomalie della salute ed eventuale aumento dei livelli di stress.

L'obiettivo è anche quello di guidare il lavoratore nella tenuta del comportamento corretto nell'esecuzione di un'attività e di introdurre meccanismi di allerta che segnalino le imperfezioni; o ancora gli strumenti watch and learn che, attraverso giochi virtuali, istruiscono i lavoratori sulle precauzioni da adottare nell'assolvimento dei propri compiti

La tecnologia associata a questo pillar è l'Intelligenza Artificiale ovvero soluzioni d'intelligenza artificiale basate su algoritmi di visual recognition o applicazione mobile basate sulle rilevazioni intelligenti di dati e parametri vitali.

Soluzioni DPI Detection permettono il controllo degli accessi e la rilevazione di dispositivi di sicurezza DPI dei lavoratori in real time garantendo la sicurezza dei lavoratori stessi e dando la possibilità alle imprese di poter continuare a produrre.

Sfruttando tecnologie IoT, reti di sensori smart, smart DPI (dispositivi di protezione individuale), si possono creare percorsi "intelligenti" per lo spostamento delle persone all'interno delle aree produttive.

E' possibile anche la notifica e la gestione del piano di evacuazione, ricorrendo a tecnologie di track and trace

degli operatori in campo e utilizzando device mobili per notificare direttamente agli operatori le informazioni sulle procedure da seguire.

Altri strumenti come gli ALI (Active Leading Indicatori), sono in grado di identificare e prevenire situazioni di pericolo per gli operatori.

Gli ALI consentono di monitorare la frequenza cardiaca e la temperatura corporea in modo tale che una volta raggiunti i valori di soglia critica, gli operatori vengono avvisati dal sistema



Figura 6

2. DIGITAL TWIN

3.1 Significato del termine digital twin

Il concetto di Digital twin è nato da una presentazione del 2002 di Micheal Grieves, chief scientist for Advanced Manufacturing al Florida Institute of Technology, in occasione della costituzione di un centro di gestione del ciclo di vita del prodotto. Il rispecchiamento dinamico delle informazioni (Information Mirror Model) e il gemellaggio tra sistemi, dà vita al Digital Twin Model.

Un Digital twin, o gemello digitale, è una copia perfetta digitale delle informazioni che descrivono un'entità reale, sia un prodotto, un processo o un sistema.

Dato che ogni informazione nello spazio reale può essere contenuta e rispecchiata in quello virtuale, una volta trovata la "porta" di comunicazione e di collegamento delle informazioni tra i due spazi, ogni prodotto è formato da due sistemi interagenti tra loro, quello fisico e quello digitale.

Il sistema digitale viene aggiornato in tempo reale dai dati raccolti dai sensori collegati all'asset fisico e usa programmi di simulazione, l'apprendimento automatico e il ragionamento per fornire informazioni utili sull'asset e per elaborare modelli predittivi delle prestazioni future e delle reazioni dell'oggetto sotto determinate condizioni. I due asset rimangono intrecciati per tutto il ciclo di vita del prodotto, in cui quello virtuale aiuta il fisico a esplorare i "virtual subspaces", ovvero le diverse probabilità di scenario, in tutte le fasi di creazione, produzione, funzionamento e smaltimento.

I gemelli digitali, quindi, consentono di monitorare in tempo reale lo stato del prodotto/processo fisico e intervenire in caso di guasti e grazie a modelli predittivi elaborati da algoritmi di Intelligenza Artificiale (AI), di prevedere le prestazioni future dell'asset fisico e di sperimentare miglioramenti senza doverli testare sul prodotto stesso. In termini più semplici, il gemello digitale è un modello virtuale altamente complesso, che è l'esatta replica del suo corrispettivo fisico. Questo può essere qualsiasi cosa: da un'auto, a un macchinario industriale, a un aereo, un ponte, un edificio e così via.

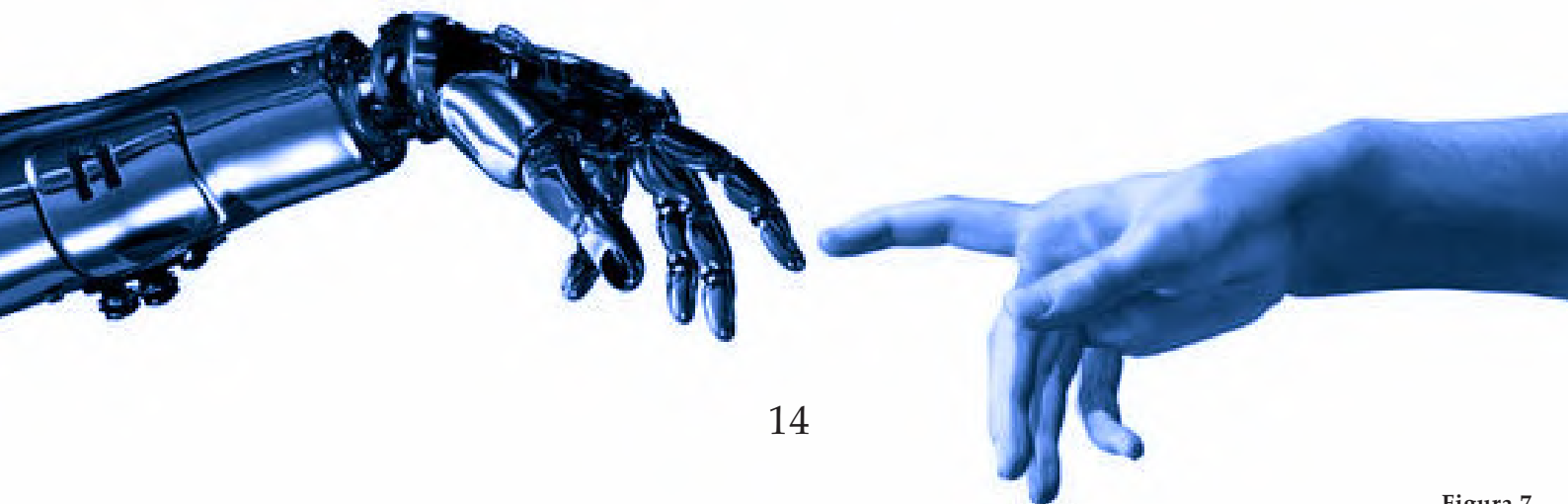
Anche se la terminologia si è evoluta nel tempo il concetto base è rimasto lo stesso.

Si basa sull'idea che un costrutto informativo digitale che riguarda un sistema fisico può essere creato come un'entità a se stante.

Secondo Gartner tra le cinque tendenze emergenti che guideranno l'innovazione tecnologica per il prossimo decennio un posto va dato al digital twin.

I gemelli digitali che incorporeranno diverse tecnologie come Big Data, Intelligenza Artificiale, Machine Learning e Internet of Things (IoT) diventeranno fondamentali nell'Industria 4.0.

Le potenzialità e i campi di applicazione sono numerosi, ad oggi il gemello digitale viene utilizzato principalmente nell'industria per vari scopi, in particolare in produzione e per la manutenzione predittiva.



3.2 La tecnologia del Digital twin

Il Digital twin è connesso al prodotto fisico attraverso tecnologie Internet of Things :
vari sensori e trasduttori posti su aree vitali alla funzionalità dell'entità fisica che inviano flussi di dati in tempo reale, rielaborati e archiviati grazie al machine learning cioè un sottoinsieme dell'Intelligenza Artificiale che si occupa di creare sistemi che apprendono o migliorano le performance in base ai dati che utilizzano.
I sensori producono dati su diversi aspetti delle prestazioni dell'oggetto fisico, dalla temperatura, all'energia utilizzata/prodotta, alle condizioni meteorologiche e così via.
Una volta informato dei dati, il modello virtuale può essere utilizzato per eseguire simulazioni, studiare problemi di prestazione e generare eventuali miglioramenti, tutto allo scopo di produrre preziosi insight che, a loro volta, potranno essere applicati all'oggetto fisico.
Il flusso continuo di informazioni tra il prodotto fisico e il suo modello virtuale è quindi a doppio senso.



Figura 8

3.3 Vantaggi e applicazioni

Il flusso continuo di informazioni consente di esercitare un controllo completo sul processo di produzione, minimizzando i costi, aumentando la qualità e l'efficienza, aumentando la velocità di produzione e ottimizzando la produttività.

Spostare i processi di convalida dei prodotti all'interno di un mondo virtuale permette di diminuire notevolmente sia i costi che i tempi di simulazione e aumentare la capacità di anticipare eventuali problemi, ad esempio eventuali guasti, effettuare rapidamente modifiche anche minime a prodotti e processi ed arrivare sul mercato in anticipo rispetto alla concorrenza, attraverso la riduzione del time to market.

Il Digital twin permette anche di poter intervenire al meglio sul dispositivo fisico indipendentemente da dove si trovi il suo gemello digitale, facilitando così la collaborazione tra team anche a distanza e in modo immediato. Questi modelli dinamici stanno più spesso trovando applicazione nell'ambito industriale, consentono infatti di rilevare in anticipo e con precisione le anomalie dei macchinari quindi intervenire in modo predittivo, migliorando così l'efficienza del monitoraggio e riducendo i costi di manutenzione.

Il gemello digitale potrebbe essere impiegato anche in altri ambiti come la gestione dei rischi nella supply chain, dove i processi potrebbero essere ottimizzati e di conseguenza la produttività massimizzata.

Il gemello digitale è utilizzato anche per la creazione di dashboard e cruscotti di insight per anticipare possibili guasti, elaborare strategie su manutenzione ordinaria e predittiva o valutare investimenti da adottare.

Un'altra attività implementabile grazie al DT è quella di performance monitoring : confrontando delle performance reali (rese, qualità e altri KPI) con quelle di modello è possibile individuare problematiche nel sistema, problemi di performance o guasti nascenti.



Figura 9

4. DIGITAL TWIN E GESTIONE SAFETY 4.0

4.1 Il ruolo del digital twin nella sicurezza

Le tecnologie 4.0, possono aiutare l'industria a vincere la duplice sfida di gestire le operations in modo più veloce e flessibile, senza perdere di vista la sicurezza intesa come tutela degli operatori e dei mezzi coinvolti nei processi.

Abbiamo visto che si parla quindi di sistemi intelligenti di prevenzione dei rischi Safety 4.0, che hanno come benefici la riduzione dei costi, il miglioramento nelle condizioni dell'ambiente di lavoro per il personale in termini di sicurezza e il miglioramento dell'immagine aziendale.

La sicurezza è un tema fondamentale nell'Industrie 4.0, intesa come condizione per evitare eventi imprevisti, come incidenti e inconvenienti. La crescente diffusione della digitalizzazione nell'industria e nella società impone l'adozione di strumenti basati sulle nuove tecnologie abilitanti. Come abbiamo visto nel terzo capitolo, una tecnologia innovativa è il Digital twin, in cui i modelli digitali e quelli fisici comunicano condividendo dati e informazioni in modo bidirezionale. In questo capitolo si affronterà il tema dell'implementazione dei Digital Twin nell'ambito della Safety 4.0.

La potenzialità che hanno i Digital twin di acquisire e elaborare i dati dell'asset fisico in tempo reale e dare eventuali insight in direzione opposta, risulta essere



Figura 10

una risorsa importantissima per la diffusione di modelli dinamici di valutazione del rischio e sistemi di gestione degli allarmi in tempo reale per migliorare la sicurezza.

Il Digital twin è una promettente tecnologia inclusa dei Cyber Physical Systems (CPS), in cui il modello fisico e il modello digitale interagiscono in modo semplice e dinamico.

Il modello fisico riesce a scambiare informazioni con il modello virtuale attraverso dei sensori e tecnologie di misurazione, collegate tramite dispositivi IoT industriali.

Il modello Digital twin ha diverse applicazioni anche in ambiti complessi come quello dell'aviazione ma negli ultimi anni i campi di applicazione del digital twin si sono ampliati e hanno trovato un focus particolare nelle fabbriche intelligenti.

Nelle Industrie 4.0, nell'ambito della sicurezza (Safety 4.0), il Digital twin rappresenta una risorsa cruciale.

I Digital twin possono essere considerati come un'evoluzione di modelli di simulazioni complessi in quanto a differenza di essi i dati dal modello fisico a quello virtuale vengono aggiornati in tempo reale, quindi potrebbero essere forniti anche loop informativi e feedback dall'ambiente digitale a quello fisico.

L'applicazione dei Digital twin nel settore dell'aviazione ad esempio, consiste nell'analisi predittiva e sulla diagnostica dei guasti.

Il gemello digitale risulta essere un sistema realistico che attraverso l'utilizzo di dati reali può prevedere il comportamento e la capacità del velivolo.

Inoltre il DT consente di sviluppare una serie di sotto-modelli e sottoinsiemi digitali che costituiscono l'aeromobile complessivo per scopi economici, per la riduzione dei costi nella progettazione, nello sviluppo e nella manutenzione.

L'Industria 4.0 ha imposto l'applicazione di questa nuova tecnologia in altri settori, in particolare nei sistemi industriali.

Il gemello digitale ha tre applicazioni fondamentali nei sistemi industriali: monitoraggio dello stato in tempo reale, analisi e previsione dei guasti e manutenzione.

Oltre ad applicazioni come nell'aeronautica, questa nuova tecnologia è utilizzata maggiormente per identificare meglio scenari ad alto rischio, migliorando così il processo di valutazione del rischio.

Il DT ha diverse potenzialità a supporto della sicurezza sul lavoro dalla fase di valutazione del rischio a quella di controllo del rischio. La capacità di aggiornare dinamicamente i dati dal modello fisico a quello virtuale potrebbe supportare lo sviluppo di modelli di rischio dinamici supportando un processo di valutazione del rischio più affidabile, come informazioni reali sullo stato di un'attrezzatura o posto di lavoro potrebbe essere fornito al fine di valutare le condizioni operative di un sistema pericoloso.

La presenza di strumenti di elaborazione dati integrati nel gemello digitale potrebbe supportare una più efficace analisi predittiva dello scenario per problemi di rischio complessi. I flussi bidirezionali di informazioni potrebbero supportare lo sviluppo di strumenti di allerta precoce per realizzare sistemi di sicurezza proattivi in luoghi di lavoro complessi.



Figura 11

4.2 Digital twin per la prevenzione del rischio

L'implementazione di un modello Digital Twin sviluppato per il controllo e la prevenzione dei rischi, permette di individuare e sviluppare azioni correttive che possano incidere sulla sicurezza degli operatori, sulla riduzione dei costi di manutenzione e di esercizio, e più in generale sul miglioramento del business aziendale sia in ambito strettamente tecnologico che organizzativo. Attualmente non sono presenti sul mercato soluzioni basate sulla tecnologia Digital Twin per l'analisi dei rischi e la manutenzione predittiva, ma tutto si basa essenzialmente sull'esperienza degli operatori. Rispetto alla tecnologia di Simulazione, il Digital Twin è reattivo e modifica i dati che riceve dai sensori dell'asset quando questo cambia. Abbiamo detto che per Sistema Safety 4.0, si intende un sistema intelligente di prevenzione del rischio, andiamo a vedere in che modo il gemello digitale risulta essere una potenziale risorsa. Vedremo in che modo il Digital Twin interviene nell'ambito della sicurezza nel settore industriale, perchè risulta essere il settore più soggetto a guasti e infortuni annuali sul lavoro, in particolare a causa della normale usura dei componenti che sono soggetti a condizioni di lavoro intensive. Il gemello digitale, esempio è molto utile nella manutenzione in quanto può riflettere in tempo reale lo stato delle macchine e attraverso l'analisi dei dati fisici, dei dati dei sensori e dei metodi di manutenzione, può facilmente identificare componenti e parti che mostrano segni di danneggiamento e consente di effettuare eventuali azioni correttive riducendo notevolmente i vari rischi. La manutenzione predittiva potrebbe eliminare il rischio di eventi di fermo macchina o guasti catastrofici e le relative spese. Qualsiasi perdita o degrado della funzione di un sistema reale può portare a problemi di sicurezza del processo. Garantire la sicurezza nei processi è di fondamentale importanza per evitare incidenti multipli, danni ambientali, perdite aziendali e danni alla reputazione. Il modello di riferimento basato sulle metodologie Digital Twin per la riduzione del rischio negli impianti di processo consente ad una azienda di creare un processo virtuale parallelo a quello fisico, che offrirà uno strumento per l'analisi sia statica che dinamica del processo industriale fisico, distribuire queste informazioni ad altri oggetti digitali interconnessi e realizzabili, al fine di aumentare la sicurezza degli attori coinvolti e intercettare anomalie all'inizio in modo da poter intervenire tempestivamente al fine di minimizzare i danni da rottura o supportare la manutenzione predittiva/preventiva.



Figura 12

Il modello di riferimento è costituito da quattro parti principali: spazio fisico dell'industria di processo, sistema di comunicazione, Digital Twin e spazio utente. Lo spazio fisico fa riferimento a tutte le risorse fisiche dell'industria come prodotto, personale, attrezzature, materiale, processo, ambiente, struttura ecc. Costituiscono tutti gli elementi che devono essere monitorati e rilevati e possono essere attivati e controllati. Il sistema di comunicazione fa riferimento al trasferimento di dati o informazioni tra il Digital Twin e gli elementi dell'impianto. Gli elementi fisici sono monitorati e rilevati attraverso dispositivi di controllo come sensori, telecamere, attuatori e altri dispositivi. Inoltre, in questo secondo livello sono necessari anche una rappresentazione 3D e un piano di identificazione e valutazione del rischio per impostare il sistema di simulazione e lo strumento di previsione e rilevamento delle anomalie.

Il terzo livello è rappresentato dal Digital Twin che acquisisce dati provenienti da sensori, attuatori e altri dispositivi installati nell'impianto, li visualizza e svolge un'analisi dei dati per rilevare eventuali anomalie e relativa previsione.

In questo livello avviene l'integrazione dei dati analizzati con quelli provenienti dall'algoritmo di rilevamento delle anomalie per confrontare le tendenze.

Avviene poi lo sviluppo del Digital Twin che simula il comportamento dell'impianto attraverso la possibilità di sviluppare scenari what-if.

Il confronto tra il Digital Twin e lo spazio fisico è essenziale per determinare eventuali comportamenti anomali e individuare le situazioni pericolose per l'operatore. Il Digital Twin ci consente perciò di sviluppare eventuali alert e altri sistemi verso operatori e gestori di impianto e ci consente di prevenire eventuali guasti attraverso la manutenzione predittiva (risulta essere un supporto per la manutenzione a seguito di anomalie).

Il sistema Digital Twin è costituito da quattro elementi principali : strumento di controllo ed esecuzione, strumento di simulazione, strumento di rilevamento e previsione delle anomalie e piattaforma server cloud.

Lo strumento di controllo ed esecuzione è un sistema informatico dedicato alla gestione o controllo dei processi industriali, che consente al sistema fisico di comunicare con il sistema informatico in uscita attraverso sensori, traduttori ecc ed in ingresso tramite attuatori, interruttori ecc..

Lo strumento di simulazione consente all'azienda di creare una modellazione virtuale dei processi.

Può lavorare sia online che off-line , ovvero gli input possono essere dati in tempo reale attraverso i sensori o inseriti manualmente.

Quando si lavora off line, lo strumento consente ai gestori di analizzare scenari what-if senza la necessità di realizzarli fisicamente, evitando così potenziali situazioni di rischio per gli operatori.

Si utilizza ad esempio per identificare i rischi per gli operatori prima di attivare effettivamente l'impianto o per simulare un'attività di manutenzione e identificare i rischi ad essa associati.

L'applicazione online consente ad un'azienda di avere il confronto tra i vari dati forniti dal sistema di simulazione. Il dato viene effettivamente rilevato dai sensori in modo da attivare segnali di avviso se la discrepanza tra i due valori supera soglie definite.

Il terzo elemento è lo strumento di rilevamento e previsione delle anomalie, che consente di prevedere perché si verificano i guasti, quali sono le cause e per quanto tempo il sistema può funzionare prima che si guasti o esca dai parametri di funzionamento corretti dell'impianto.

Lo strumento si basa su algoritmi di machine learning per l'analisi del rilevamento e della previsione di anomalie nell'esecuzione di processi di produzione e manutenzione all'interno dell'ambiente IoT.

Il quarto elemento è la piattaforma Server Cloud, questa serve ad acquisire dati in tempo reale dal campo.

Una normale architettura server non sarebbe sufficiente per l'enorme quantità di dati da immagazzinare non renderebbe stabile il suo funzionamento.

Ritornando alla quarta parte del modello di riferimento, è costituita dallo spazio utente.

Si riferisce a un essere umano, un sistema MES (Manufacturing Execution System) o ERP (Enterprise Resource Planning).

L'interfaccia viene offerta agli utenti tramite due soluzioni: l'attivazione di istruzioni operative per la gestione della manutenzione e della sicurezza del sistema tramite AR/VR o attraverso l'attivazione di messaggi di avviso.

Se il sistema di machine learning prevede eventuali situazioni di rischio, gli operatori possono essere avvisati delle anomalie attraverso sistemi indossabili o attraverso altre classi di servizi avanzati.

Lo sviluppo del modello Digital Twin si articola in cinque fasi.

La prima fase consiste nello sviluppo del piano di valutazione dei rischi. Questo consiste nel misurare o stimare il rischio per gli operatori coinvolti nella manutenzione e gestione dell'industria di processo.

La seconda fase consiste nello sviluppo di un sistema di comunicazione e controllo.

La parte centrale di un sistema Digital Twin infatti consiste nel disporre di un set completo di informazioni, inclusa l'acquisizione di dati in tempo reale provenienti da un'ampia gamma di sensori e/o dispositivi IoT.

La terza fase consiste nello sviluppo di Digital Twin Tools, si concentra nello sviluppo degli strumenti utilizzati nel Digital Twin, esempio algoritmi di apprendimento automatico per il rilevamento e la previsione delle anomalie.

Lo sviluppo di un modello di machine learning si basa sui seguenti passaggi: analisi del contesto di applicazione, ad esempio, la riduzione del rischio degli operatori richiede la definizione dei rischi specifici che possono interessare gli operatori; monitoraggio del processo e registrazione dei dati, i dati devono essere preparati per renderli adatti all'utilizzo da parte del modello machine learning; impostare i parametri del modello machine learning; addestramento del modello di machine learning con dati di addestramento del reale processo produttivo ; testare il modello su diversi dati, per verificarne l'efficacia; miglioramento della capacità del modello di machine learning utilizzando il Digital Twin.

In questa fase viene sviluppato anche lo strumento di simulazione, il primo passo è individuare gli aspetti da simulare , è quindi necessario comprendere il comportamento del sistema o valutare strategie per il funzionamento del sistema.

Il passo finale è la progettazione del modello di un sistema reale e la conduzione di esperimenti con quel modello.

La quarta fase consiste nell'integrazione di strumenti in una prospettiva di Digital Twin.

Gli strumenti sviluppati saranno integrati in una piattaforma ad-hoc che eseguirà le seguenti attività : acquisizione di dati, manipolazione di dati, stato di rilevamento, valutazione della salute , valutazione prognostica e generazione di consigli.

L'ultima fase consiste nella verifica delle funzionalità della piattaforma e le attività di testing.



Figura 13

CONCLUSIONI

La trattazione di questo elaborato ha voluto delineare quali sono le possibili applicazioni del Digital Twin nella gestione Safety 4.0.

Attualmente non sono presenti sul mercato soluzioni basate su tecnologie Digital Twin per la prevenzione intelligente dei rischi, ma l'analisi e la valutazione del loro impatto nelle diverse fasi dei processi industriali si basa essenzialmente sull'esperienza degli operatori.

Nonostante ciò, i Digital Twin hanno tutte le potenzialità per risultare una tecnologia determinate in futuro per migliorare la sicurezza nelle Industrie 4.0.

Attraverso la possibilità di avere una rappresentazione virtuale degli asset fisici, utilizzando la condivisione di dati in tempo reale e avendo la possibilità di poter effettuare previsioni, attraverso strumenti di simulazione, il Digital Twin potrebbe risultare una risorsa molto importante per identificare e sviluppare eventuali azioni correttive prevedendo eventuali scenari di guasti o malfunzionamenti, che potrebbero causare danni ingenti o infortuni sul lavoro.

Le azioni correttive effettuate tramite il Digital Twin risulterebbero, quindi, fondamentali in termini di sicurezza degli operatori e non solo, anche in termini di riduzione dei costi di manutenzione e di esercizio e più in generale sul miglioramento del business aziendale.

Bibliografia :

Lee, J.; Cameron, I.; Hassall, M. Miglioramento della sicurezza dei processi: quali ruoli per la digitalizzazione e l'industria 4.0? *Processo Saf. Dintorni*. prot. 2019 , 132 , 325–339.

H. Bouloiz , E. Garbolino , M. Tkiouat , F. Guarnieri
Un modello di dinamica dei sistemi per l'analisi comportamentale delle condizioni di sicurezza in un'unità di stoccaggio chimico
Safety Science , 58 (2013) , pp. 32 - 40

Ma, X.; Tao, F.; Zhang, M.; Wang, T.; Zuo, Y.
Il gemello digitale ha migliorato l'interazione uomo-macchina nel ciclo di vita del prodotto. *Procedia CIRP* 2019 , 83 , 789–793.

Bevilacqua, M., Bottani, E., Ciarapica, FE, Costantino, F., Di Donato, L., Ferraro, A., ... & Paroncini, M. (2020). Sviluppo del modello di riferimento del Digital Twin per prevenire i rischi degli operatori negli impianti di processo. *Sostenibilità*, 12(3), 1088.

Fernández, F., Sánchez, Á., Vélez, JF, & Moreno, AB (2019, giugno). Sistemi autonomi simbiotici con coscienza che utilizzano gemelli digitali. In *International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation* (pp. 23-32). Springer, Cam.

Korambath, P.; Wang, J.; Kumar, A.; Davis, J.; Graybill, R.; Schott, B.; Baldea, M.
Un caso d'uso di produzione intelligente: bilanciamento della temperatura del forno nel processo di reforming del metano a vapore tramite i flussi di lavoro di Kepler. *Procedimento Calcolo. Sci.* 2016 , 80 , 680–689.

K. Dröder , P. Bobka , T. Germann , F. Gabriel , F. Dietrich
Un approccio gemello digitale potenziato dall'apprendimento automatico per la collaborazione uomo-robot
Procedia Cirp , 76 (2018) , pp. 187 - 192

Sitografia :

<https://www.lantek.com/it/blog/i-9-pilastridellindustria-40>

<https://www.rivistainnovare.com/industry-4-0/safety-sicurezza-e-salute-4-0/>

<https://www.leadershipmanagementmagazine.com/tag/safety-management/>

<https://www.smactory.com/>

<https://www.innovami.news/>

<https://www.innovationpost.it/tecnologie/digital-twin-che-come-funziona-e-quali-sono-i-vantaggi-del-gemello-digitale/>

<https://docs.oracle.com/en/cloud/paas/iot-cloud/iotgs/oracle-iot-digital-twin-implementation.html>

<https://www.mesaconsulting.eu/it/digital-twin-nell-era-4-punto-zero>

<https://www.ibm.com/it-it/topics/what-is-a-digital-twin>

<https://www.internet4things.it/industry-4-0/digital-twin-come-come-funziona-e-sempr-e-vantaggi-del-gemello-digitale/>

<https://www.digital4.biz/executive/plm-in-cloud-cosa-significa-come-funziona-e-sempr-e-vantaggi/>

<https://www.sciencedirect-com.ezproxy.cad.univpm.it/science/article/pii/S1877050921003033>

<https://www.industry4business.it/industria-4-0/safety-4-0-quali-tecnologie-e-procedure-per-la-prevenzione-dei-rischi/#:~:text=Vediamo%20nel%20dettaglio%20gli%20elementi,intelligente'%20di%20prevenzione%20dei%20rischi.>

https://blog.osservatori.net/it_it/industria-4-0-quarta-rivoluzione-industria-le#:~:text=Il%20paradigma%20Industria%204.0%20fa,nuovo%20spazio%20nel%20mondo%20industriale.

<https://www.innovationpost.it/tecnologie/industrial-security/la-safety-nellera-dellindustria-4-0-ecco-come-le-tecnologie-digitali-migliorano-la-sicurezza/#:~:text=Le%20tecnologie%204.0%20possono%20aiutare,che%20come%20security%2C%20che%20si>

Sitografia immagini :

- Figura 1** <https://www.mecalux.it/blog/tecnologie-abilitanti>
- Figura 2** <https://www.ocmclima.com/industria-4-0-informazioni-e-novita-per-il-futuro/>
- Figura 3** <https://www.ictsecuritymagazine.com/tag/industria-4-0/>
- Figura 4** <https://www.industry4business.it/industria-4-0/safety-4-0-quali-tecnologie-e-procedure-per-la-prevenzione-dei-rischi/>
- Figura 5** <https://researchoutreach.org/articles/9-billion-regressions-multiverse-approach-statistical-analysis/>
- Figura 6** https://fr.freepik.com/vecteurs-premium/particules-art-geometrique-ligne-point-ingenierie_7025946.htm
- Figura 7** <https://www.automazione.news/robot-operatori-umani-collegati-lavoro-nella-fabbrica-del-futuro/>
- Figura 8** https://it.freepik.com/foto-gratuito/concetto-rpa-con-schermo-commovente-sfocato-della-mano_23992698.htm#query=tecnologia&position=10&from_view=keyword
- Figura 9** <https://www.dreamstime.com/internet-censorship-isometric-banner-avoiding-web-secure-anonymous-browsing-bypassing-blocked-sites-restrictions-vector-image217744954>
- Figura 10** https://it.freepik.com/vettori-gratuito/fabbrica-intelligente-e-persona-che-lavora-utilizzando-la-tecnologia-wireless-per-il-controllo_14244821.htm#query=fabbrica&position=6&from_view=keyword
- Figura 11** <https://www.kantorkita.co.id/blog/peran-manusia-dalam-perkembangan-teknologi-industri-4-0/>
- Figura 12** https://ru.freepik.com/premium-photo/close-up-hand-choose-wooden-blocks-stacked-with-safety-first-icons_8949952.htm
- Figura 13** <https://www.meridianalab.eu/blog/2022/04/27/innovazione-nel-sistema-produttivo-italia-no-rapporto-innovazione-italia-2021/>

RINGRAZIAMENTI

*Al mio relatore, Prof. Bevilacqua Maurizio per la
disponibilità e gli insegnamenti a me dati.*

*Alla mia famiglia che mi ha supportato e incoraggiato
durante tutto il percorso di studi.*

*A mio cugino e tutti i miei amici, punti di forza,
sempre presenti.*

*A tutti i docenti e i compagni di università
che in questi anni ho avuto l'opportunità e il piacere
di incontrare e conoscere.*

