



**UNIVERSITÀ POLITECNICA delle MARCHE**

**Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale**

**Digital twin e ingegneria della Resilienza uno studio  
qualitativo attraverso Questionari Semi-Strutturati**

**Resilience Engineering and Digital Twin: a  
qualitative study through semi-structured  
interviewees**

Relatore:

**Prof. Maurizio Bevilacqua**

Tesi di Laurea di

**Giovanni Cesarini**

Correlatori:

**Ing. Giulio Marcucci**

ANNO ACCADEMICO 2019/ 2020



# Indice

Introduzione .....	7
1. Digital Twin.....	9
1.1. Definizioni del Digital twin .....	10
1.2. Caratteristiche Del Digital Twin.....	11
1.3. Apprendimento automatico del Digital Twin .....	13
1.3.1. Digital Twin basato su modello .....	16
1.3.2. Digital Twin basato sui dati .....	17
1.3.3. Digital Twin durante il ciclo di vita di un sistema di produzione.....	18
1.4. Digital Twin e l'Industria .....	19
1.5. Sistemi del Digital Twin .....	20
1.6. Applicazione del digital twin nella manutenzione e nella logistica della produzione .....	21
1.6.1. Strategia di manutenzione.....	22
1.7. Valutazione dei rischi sul lavoro & Digital Twin.....	24
1.8. Questioni Del Digital Twin nella manutenzione .....	26
1.9. Importanza dei Digital Twin.....	29
1.10. Vantaggi del Digital Twin .....	29
1.11. Conclusioni .....	30
2. Sicurezza sul Lavoro.....	32
2.1. Persone e Sicurezza .....	33
2.2. Come implementare un programma di sicurezza sul posto di lavoro.....	34
2.3. Mantenere la sicurezza nel luogo di lavoro .....	34
2.3.1. Pericoli e Rischi sul posto di lavoro .....	35
2.4. Aspetti della sicurezza correlati in diversi modi.....	36
2.4.1. Esecuzioni di lavori di sicurezza .....	36
2.4.2. Burocrazia, Istituzioni e Lavoro .....	43
2.5. Minacce e incertezze sugli aspetti del lavoro sulla sicurezza.....	45
2.6. Salute e sicurezza nell'industria 4.0 .....	47
2.6.1. Sfide alla nuova organizzazione del lavoro .....	51
2.6.2. Gestione OHS .....	53
2.7. Gestione del Rischio .....	54
2.8. Salute e sicurezza sul Lavoro & Digital twin .....	56
2.9. Salute e sicurezza nella resilienza.....	57
2.10. Sicurezza strutturale come difesa Sociale e Legale .....	58
2.11. Testo unico.....	59
2.11.1. Organizzazione del servizio di prevenzione e protezione .....	60
2.11.2. Soggetti interessati.....	61
2.11.3. Adempimenti del testo unico sulla sicurezza.....	61
2.11.4. Valutazione dei rischi e pericoli .....	62
2.12. Conclusione .....	65
3. Questionari Semi-Strutturati .....	66
3.1. Che cosa sono i Questionari.....	66
3.2. Questionario semi-strutturato .....	67
3.3. Costruzione del questionario .....	67
3.4. Utilizzo di un sondaggio semi-strutturato.....	68
3.5. Interviste Strutturate Vs Semi-Strutturate.....	69

3.6.	Utilizzo delle interviste semi-strutturate .....	70
3.7.	Conduzione nelle interviste semi-strutturate .....	71
3.7.1.	Pianificazione e sviluppo dell'intervista semi-strutturata .....	73
3.7.2.	A fine sessione dell'intervista semi-strutturata .....	76
3.8.	Attrezzature nelle interviste semi-strutturate.....	78
3.8.1.	Hardware & Software.....	78
3.8.2.	Documenti & Materiali.....	78
3.9.	Come ordinare le domande in un'intervista semi-strutturata .....	79
3.10.	Questioni.....	80
3.11.	Variazioni ed estensioni dell'intervista semi-strutturata .....	82
3.12.	Vantaggi e Svantaggi di una intervista semi-strutturata.....	82
3.13.	Conclusione .....	84
4.	Metodologia: Questionari Semi-Strutturati .....	85
5.	Questionario Semi-strutturati & Digital Twin e Sicurezza sul Lavoro .....	89
5.1.	Domande sicurezza sul lavoro .....	90
5.2.	Domande Digital Twin .....	94
5.3.	Digital Twin & Sicurezza sul Lavoro.....	96
5.4.	Valutazione questionario .....	97
6.	Bibliografia.....	99
	Ringraziamenti .....	109

In Hoc Nomine Victoria  
Luigi Rizzo (F 595)



## Introduzione

Lo studio del Digital Twin e della Salute e Sicurezza sono punti importanti per le industrie, in quanto, il digital twin permette di ottimizzare il funzionamento e la manutenzione, sia dei beni fisici che dei sistemi e processi produttivi. Tale tecnologia si basa sui IOT “internet of Things” in cui gli oggetti fisici possono vivere e interagire virtualmente con le altre macchine.

Uno dei vantaggi dei digital twins è appunto quello di anticipare e risolvere tempestivamente i problemi, effettuando nel mondo virtuale tutte le modifiche necessarie per garantire che l’asset fisico lavori esattamente come previsto.

Ciò è molto importante per garantire la sicurezza dell’operatore e dell’addetto alla manutenzione, dato che ottenere dei dati per anticipare i problemi è uno dei fondamenti della sicurezza sul lavoro per ottenere delle misure preventive e protettive da adottare per gestire al meglio la salute, la sicurezza e il benessere dei lavoratori; in modo da evitare o ridurre al minimo l’esposizione dei lavoratori ai rischi connessi all’attività lavorativa, riducendo o eliminando gli infortuni e le malattie professionali.

Un elemento che collega il tutto è la resilienza, in quanto nella salute e sicurezza sul lavoro si parla della competenza della resilienza nel lavoro, ciò significa parlare in modo significativo della responsabilità che ogni organizzazione, ha nel garantirsi una stabilità nel tempo.

Un ulteriore elemento che collega il tutto nell’atto pratico sono le simulazioni, grazie alle quali è possibile prevenire, informare e aggiornare eventuali pericoli o eventi futuri di infortuni sul lavoro. Tale simulazione è possibile grazie ai dati raccolti dal Digital Twin e dai dati in passato raccolti e inseriti manualmente.

La resilienza nel digital twin è un concetto richiamato nelle scelte e strategie nell’Industria 4.0. Una delle tecnologie che permette l’incremento della resilienza nelle industrie è la simulazione e il digital twin, che rappresentano la rivoluzione della robotica industriale nata nel contesto dell’industria 4.0, perché sono dei robot pensati per lavorare insieme all’uomo in sicurezza senza barriere o gabbie protettive.

Gli strumenti utilizzati nella realizzazione del Digital Twin , della Sicurezza sul Lavoro, la Resilienza e le simulazioni sono i Questionari.

Un questionario è una indagine quantitativa, uno strumento al cui interno ruota: la raccolta dati, la scelta delle domande, la loro formulazione, la successione nel proporre. Tutto ha un'influenza rilevante sulle risposte ottenute e quindi, sulla qualità delle informazioni.

Più precisamente per relazionare al meglio i Digital Twin, la Resilienza e la Sicurezza sul Lavoro si utilizzano i Questionari Semi-Strutturati.

Un Questionario Semi-Strutturato è uno strumento principale nella ricerca dell'indagine. Il suo utilizzo ha una stretta relazione con l'analisi quantitativa, poiché è molto comune nella raccolta di dati. Il questionario è formulato in modo da lasciare una certa libertà di risposta all'intervistato, seppur all'interno di griglie pre-strutturate dal ricercatore.



# 1. Digital Twin

Il Digital Twin è la rappresentazione virtuale di un'entità fisica, vivente o non vivente, di una persona o di un sistema anche complesso. Inizialmente sviluppato per migliorare i processi di produzione, viene definito come repliche digitali di entità viventi e non viventi che, consentono la trasmissione senza soluzione di continuità dei dati tra il mondo fisico e quello virtuale.

I Digital twin facilitano i mezzi per monitorare, comprendere e ottimizzare le funzioni di tutte le entità fisiche e per gli esseri umani che, forniscono un feedback continuo per migliorare la qualità della vita e il benessere. Il gemello digitale può evolversi fino a diventare una vera e propria replica digitale di: risorse fisiche potenziali ed effettive, di processi, di persone, di luoghi e delle infrastrutture, di sistemi e dispositivi che possono essere utilizzati per vari scopi. La componente digitale è in qualche modo connessa con la parte fisica, con la quale può scambiare dati e informazioni sia in modalità sincrona che asincrona.

In un contesto di Fabbrica Digitale, ingegneri e ricercatori, hanno sviluppato metodi e strumenti per risolvere problemi specifici nel processo dell'ingegneria. Nell'ambito della digitalizzazione dell'industria di produzione, questi strumenti sono esclusivamente basati su computer.

Gli ingegneri utilizzano metodi come la produzione assistita da computer o la messa in servizio virtuale per la progettazione e la convalida virtuale, sulla base di un modello digitale della realtà. Si prevede che questi metodi e strumenti virtuali, diventeranno ancora più importanti<sup>1</sup>, con l'obiettivo di ottenere una mappatura completa 1:1 tra sistemi reali e virtuali.

In un' applicazione di produzione, l'apprendimento automatico non è così comune rispetto all'industria dei consumatori; i dati di processo possono essere raccolti mediante l'uso di metodi basati sui dati, come la conoscenza del processo di apprendimento supervisionato o non, che può essere astratta.

Il modo di risolvere i problemi del ciclo di vita di un sistema di produzione può essere l'aiutato dell'intelligenza artificiale. Il concetto di Digital Twin che migliora durante il ciclo di vita dei sistemi di produzione, può essere definito in un ambiente per il rinforzo del metodo di apprendimento.

Negli ultimi anni, i Digital Twin, sono stati implementati in diversi settori industriali e applicativi, come: la progettazione, la produzione, la fabbricazione e la manutenzione. In particolare, la manutenzione è una delle applicazioni più ricercate, poiché l'impatto dell'esecuzione delle attività di manutenzione può avere un tratto distintivo sul business delle imprese.

Tali progressi tecnologici in diversi settori come l'Internet of Things, l'intelligenza artificiale o il Cloud Computing, hanno consentito la digitalizzazione dei diversi asset, sistemi e processi in molti settori industriali. L'acquisizione intelligente dei dati sta contribuendo a migliorare il ciclo di vita di qualsiasi risorsa, a partire dalla progettazione, produzione, distribuzione, manutenzione.

### ***1.1. Definizioni del Digital twin***

Il concetto di Digital Twin si è evoluto dalla sua prima apparizione nel 2002 e, data la complessità del concetto, è possibile trovare una varietà di definizioni.<sup>2</sup>

La prima definizione del Digital Twin è stata elaborata nel 2012 da Grieves<sup>3</sup>, che anni dopo lo definì come:

*“Prodotto fisico nello spazio reale, prodotto virtuale nello spazio virtuale e connessione di dati e informazioni che lega insieme i due spazi.”*

Grieves ha sottolineato che si riferiva a un insieme di informazioni che descrivono completamente un asset, dalla sua geometria più generale al comportamento più concreto. Rosen<sup>4</sup> afferma che il concetto è costituito da due spazi identici, fisico e virtuale, che consentono lo specchio tra loro, per analizzare le condizioni che si verificano in tutte le fasi del ciclo di vita dell'oggetto.

La definizione più comune di Digital Twin è stata postulata da Glaess-gen e Stargel<sup>5</sup> che impongono il Digital Twin sia composto da tre parti, il prodotto fisico, il prodotto virtuale e la comunicazione tra di loro; lo definiscono come:

*“una simulazione multi-fisica, multi scala e probabilistica integrata di un veicolo o sistema che utilizza i migliori modelli fisici disponibili, aggiornamenti dei sensori, cronologia della flocca e così via, per rispecchiare la vita del suo gemello volante”.*

In un articolo di Schleich et al<sup>6</sup>, viene descritto che le capacità del Digital Twin è di prevedere la risposta del sistema ad un evento inaspettato, prima che si verifichi. Previsioni di questo tipo possono essere fatte confrontando l’analisi di questi eventi e la risposta attuale con le previsioni di comportamento che sono state fatte.

A seconda delle capacità di raccolta, dello scambio dei dati e della completezza delle simulazioni utilizzate, è possibile ottenere un’istanza del Digital Twin sufficientemente completa. Anche per dei modelli viventi avanzati di questo tipo<sup>7</sup>, viene consigliata una combinazione di modelli basati sulla fisica e sull’analisi dei dati come: “ modelli realistici dello stato attuale del processo e il proprio comportamento, nell’interazione con il loro ambiente e nel mondo reale, chiamati Digital Twin<sup>8</sup>”.

Un Digital Twin punta alla rappresentazione più realistica di una risorsa fisica, incorporando modelli e tutte le informazioni disponibili. Dovrebbe contenere tutti i dati del processo e acquisire informazioni operative, organizzative e tecniche. Ovviamente è sempre sincronizzato con l’asset fisico. Esso deve essere in grado di eseguire simulazioni del comportamento degli asset fisici.

## ***1.2. Caratteristiche Del Digital Twin***

Il concetto del gemello digitale può essere paragonato ad altri che, mirano in generale a modellare parte del mondo fisico con la rappresentazione cyber.

Esso può interagire con:

- Internet of Things, dove alla base ci sono oggetti intelligenti, presenti all’interno delle case, nei luoghi di lavoro, nelle città, cioè nella vita di tutti i giorni.

- Intelligenza Artificiale, è impiegata in vari campi di applicazioni come: la medicina, la robotica e la ricerca scientifica. In alcune applicazioni l'intelligenza artificiale si è radicata a tal punto che all'interno della società o dell'industria da non essere più percepita come tale.
- Machine Learning, cioè l'apprendimento automatico, è una branca dell'intelligenza artificiale che raccoglie metodi sviluppati sotto diversi nomi come la statistica computazionale, filtraggio adattivo e algoritmi adattivi.

Un gemello digitale può apprendere e aggiornarsi continuamente da più fonti, può anche rappresentare, in tempo reale, lo stato, la condizione di lavoro, la posizione degli oggetti o del sistema fisico. I dati che vengono rappresentati dal gemello digitale possono derivare dalle fonti più diverse:

- Dai sensori che trasmettono vari aspetti delle sue condizioni operative;
- Dai forniti da esperti umani, con una conoscenza specifica e pertinente;
- Dati storici raccolti da altre macchine simili o relativa a condizioni passate;

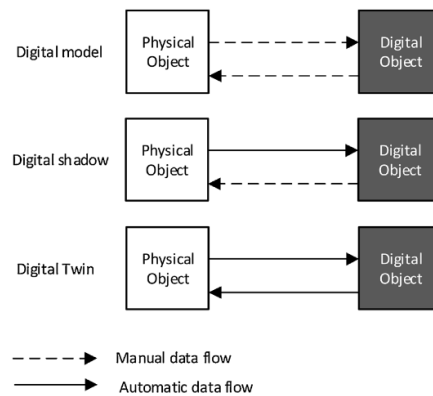
l'insieme dei dati e delle informazioni in qualunque modo sono riferibili alle entità che vengono rappresentate dal Digital Twin. Lo scambio di tali dati è reso possibile da una connessione tra gli elementi della componente fisica, con la corrispondente parte virtuale.

Ci sono diversi concetti che sono strettamente correlati ad esso, come assimilazioni, sistemi fisici cyber (CPS) e IoT. Si può fare confusione tra i concetti, tuttavia sono elementi centrali dell'applicazione<sup>9</sup>. In molti casi, la confusione è causata dal fatto che il concetto è tra le componenti di un Digital Twin.

Un'altra caratteristica è l'autoevoluzione, dove un Digital Twin è qualcosa di vivo che cambia, migliora ed evolve, mantenendo il confronto tra spazio fisico e virtuale. L'interazione e la convergenza sono due aspetti chiave. Un approccio che potrebbe aiutare il Digital Twin nella rilevazione è il "system think-ing"

Tutte le informazioni sull'elemento fisico, nonché il processo e il servizio di esso, devono essere in contatto tra loro. Lo stesso vale per l'interazione e la convergenza tra le informazioni storiche e quelle in tempo reale. Inoltre, cosa più fondamentale è

l'interazione tra spazio virtuale e fisico. Questa interazione, può avere diversi livelli di integrazione a seconda del flusso dei dati coinvolti<sup>10</sup>.



**Figura 1** Flow on different integration modes

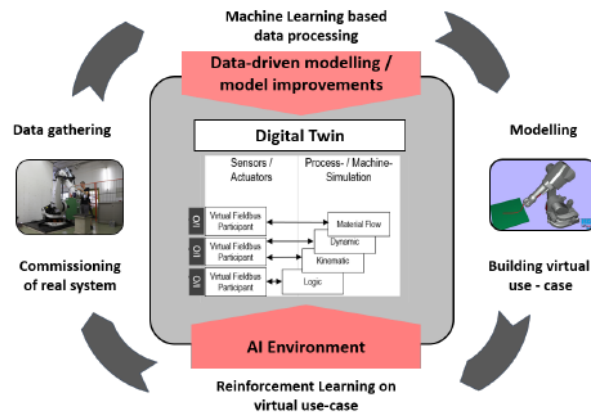
Nel primo livello si trova il Modello Digitale, al secondo posto l'Ombra Digitale e al terzo posto il Digital Twin. La differenza tra queste tre integrazioni si concentra sul modo in cui l'oggetto fisico interagisce con l'oggetto digitale.

Nel caso del modello digitale, l'interazione tra oggetto fisico e modello digitale è manuale in entrambe le direzioni. Nell'ombra digitale, la direzione dei dati è dall'oggetto fisico all'oggetto digitale ed è automatica in una direzione, ma non lo si può dire per l'altra. Il flusso di dati va dall'oggetto fisico al digitale, così come dal digitale al fisico; in tal caso, oltre che a includere le informazioni provenienti da sensori o ispezioni avanzate, il modello digitale dovrebbe comportare l'azione da eseguire sull'oggetto fisico.

### ***1.3. Apprendimento automatico del Digital Twin***

Il concetto generale del Digital Twin come base per l'apprendimento automatico è un sistema circolare attraverso le attività d'ingegneria per un sistema di produzione; rappresenta la base per il miglioramento circolare. Due importanti interfacce sono:

1. Modellazione basata sui dati o Miglioramento del modello: per ritrasmettere la conoscenza che può essere astratta dal sistema di produzione reale
2. Ambiente AI: necessaria per descrivere il Digital Twin come un ambiente per fornire algoritmi di apprendimento da terze parti.



**Figura 2 Interfaces of the digital twin for data-driven and interaction-based**

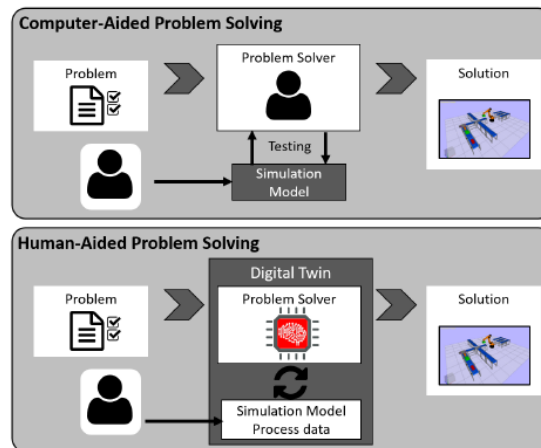
Integrando le interfacce, possono essere fornite due caratteristiche chiave:

- Risoluzione autonoma dei problemi utilizzando il Gemello Digitale;
- Estrazione o miglioramenti del modello mediante metodi di apprendimento basati sui dati.

Nella risoluzione autonoma dei problemi usufruendo del Digital Twin, il processo di progettazione di un sistema di produzione, è una procedura di risoluzione dei problemi passo dopo passo. Ogni fase di progettazione è definita dai requisiti che vengono raccolti e formati come una descrizione del problema. La descrizione del problema può essere vista come, una quantità di input in fase di risoluzione dei problemi che, porta alla fase di progettazione successiva all'interno del ciclo di vita.

I metodi relativi all'ingegneria assistita da computer, come la produzione assistita da esso o la progettazione (CAx), si svilupperanno sempre di più nei metodi assistiti dall'uomo (HAX); Invece di essere l'uomo che risolve l'inconveniente supportato da strumenti basati su computer, è quest'ultimo a risolvere i problemi specifici supportato dall'essere umano.

Il Digital Twin come base dell'apprendimento automatico fornisce una risoluzione dei problemi autonomi nel contesto ingegneristico. Nell'implementare un risolutore di problemi autonomo con l'apprendimento per il rinforzo, i valori di input devono essere adattati a una funzione leggibile dalla macchina. Tutte le informazioni per risolvere o ottimizzare il problema si trovano nel gemello digitale stesso.



**Figura 3 Autonomous problem solving.**

I metodi di apprendimento per rinforzo sono i cosiddetti metodi di apprendimento automatico “senza modelli”. Ciò significa che l’agente non apprende il modello del suo ambiente, ma impara solo a reagire allo stato attuale, in modo che consente il raggiungimento di tale obiettivo. Per formare l’agente è necessario un ambiente che, può essere una simulazione o un modello.

L’agente deve essere in grado di interagire con l’ambiente e di osservare lo stato corrente di esso. Vengono forniti dei modelli di sistemi di produzione, ma la selezione degli stati e delle possibili azioni deve essere eseguita manualmente. Questo è uno dei fattori chiave di successo nell’implementazione dei metodi di apprendimento per il rinforzo.

Dal punto di vista degli stati dell’azione ci sono metodi di apprendimento per rinforzo che sono limitati a stati o azioni discreti. Nella maggior parte dei casi i sistemi di produzione hanno stati sia discreti che continui. I metodi che supportano entrambi i tipi di stati e azioni sono di interesse per questo tipo di applicazioni <sup>11</sup>.

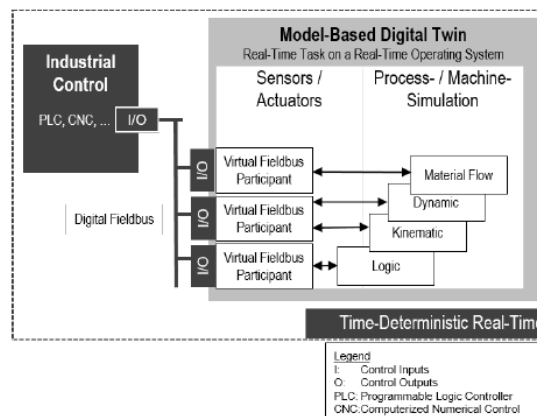
Lo stato dell’arte sottolinea che è possibile generare dati di alta qualità del sistema e del processo di produzione. I dati contengono informazioni che non possono essere descritte dai modelli in fase di ingegnerizzazione. Solo i dati grezzi raccolti su un server non hanno valore informativo. Per tale motivo, i metodi di analisi dei dati vengono applicati al database per estrarre una base di conoscenza specifica per l’attività<sup>12</sup>.

Il Digital Twin sui dati è utile ogni volta che la conoscenza o il modello non possono essere descritti direttamente in modo matematico, o quando il valore informativo dei dati di processo reali è superiore al modello iniziale. Lo stesso approccio può essere utilizzato se, solo i singoli parametri del modello matematico del gemello digitale, devono essere corretti o adattati nelle fasi di funzionamento del sistema di produzione.

Un approccio di Machine Learning con contatto diretto con l'ambiente e processi decisionali sono rinforzi d'apprendimento. Metodi di utilizzo dei dati vengono impiegati per generare modelli in termini di manutenzione predittiva<sup>13</sup>. Tali metodi di utilizzo dei dati sono a livello di osservazione all'interno del sistema di produzione, spesso senza contatto diretto con il sistema reale.

### 1.3.1. Digital Twin basato su modello

Ad oggi, i modelli di simulazione vengono sviluppati nel corso dell'ingegneria delle soluzioni di automazione. Questi modelli di simulazione supportano il processo di progettazione aiutando a rispondere a un'ampia varietà di domande. Nelle fasi di ingegneria avanzata, i modelli di simulazione vengono utilizzati, ad esempio per la messa in servizio virtuale di sistemi di controllo industriale.



**Figura 4 Model-based digital twin in the application of a hardware-in-the-loop**

Pritschow e Roeck<sup>14</sup> hanno stabilito in una base importante per l'uso di modelli di simulazione in combinazione con l'Hardware di controllo reale nella tecnologia di controllo industriale. Ciò ha permesso di simulare un modello di macchina con la dinamica della macchina completa in un ciclo di comunicazione del Bus di azionamento.



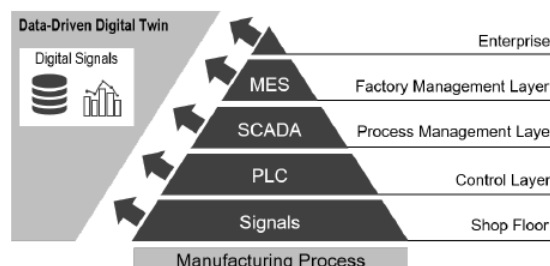
Il modello della macchina è un modello di simulazione multi-dominio, che descrive il comportamento complessivo del sistema meccatronico; L'obiettivo è una rappresentazione 1:1 del comportamento della macchina, si parla di Digital Twin basati su modello. In questo contesto 1:1 indica la rappresentazione di input/output per il sistema di controllo collegato.

Il Digital Twin basato sul modello consente di testare i sistemi di controllo industriale senza adattamenti, poiché simula il comportamento dei componenti di controllo sul bus di campo digitale. La messa in servizio virtuale distingue tra diverse configurazioni di test: simulazione Model-in-the-Loop, simulazione Software-in-the-Loop e simulazione Hardware-in-the-Loop.

L'accoppiamento di sistemi di controllo reali al simulatore tramite la periferica di comunicazione reale è chiamato simulazione Hardware-in-the-Loop. Nell'uso pratico nell'ingegneria meccanica e impiantistica, questo aiuta a risparmiare tempo per la messa in servizio, di soluzioni di automazione. I test di condizioni operative regolari e irregolari contro il Digital Twin basato sul modello, portano a una maggiore qualità del Software. Un altro vantaggio che motiva l'utilizzo all'interno dell'ingegneria meccanica e impiantistica, è la minimizzazione del rischio nella gestione dei progetti.

### 1.3.2. Digital Twin basato sui dati

Durante un processo di produzione, i dati vengono generati continuamente nello stato del sistema o in sensori appropriati. Nell'Industria 4.0, la connettività nel campo della tecnologia di produzione è in rapido aumento. L'abbinamento dei sistemi di controllo con le tecnologie cloud consente di archiviare immense quantità di dati dal processo di produzione reale.



**Figura 5 Data-driven digital twin by fusing data from the different layers**

Uno degli argomenti principali delle discussioni attuali nel campo della tecnologia di controllo industriale sono gli standard di comunicazione per soddisfare le crescenti esigenze di connettività.

A livello di bus di campo, a causa degli enormi requisiti in tempo reale, gli attuali protocolli in tempo reale continueranno a svolgere un ruolo importante per accoppiare dispositivi Bus di campo a sistemi di controllo industriale in tempo reale.

Un altro compito per la standardizzazione è il collegamento dei pannelli di controllo e l'accoppiamento a livello di gestione industriale e di produzione. I protocolli di comunicazione, aiutano a raccogliere i segnali del sensore e del controller sui diversi livelli del sistema di produzione in un database. I dati raccolti sono definiti come Digital twin basati sui dati. I dati recenti, combinati con i dati storici, vengono chiamati Big Data.

### 1.3.3. Digital Twin durante il ciclo di vita di un sistema di produzione

Per supportare la pianificazione e la progettazione di nuove soluzioni di automazione, nel processo di ingegneria, vengono utilizzati i Digital Twin basati su modello <sup>15</sup>.

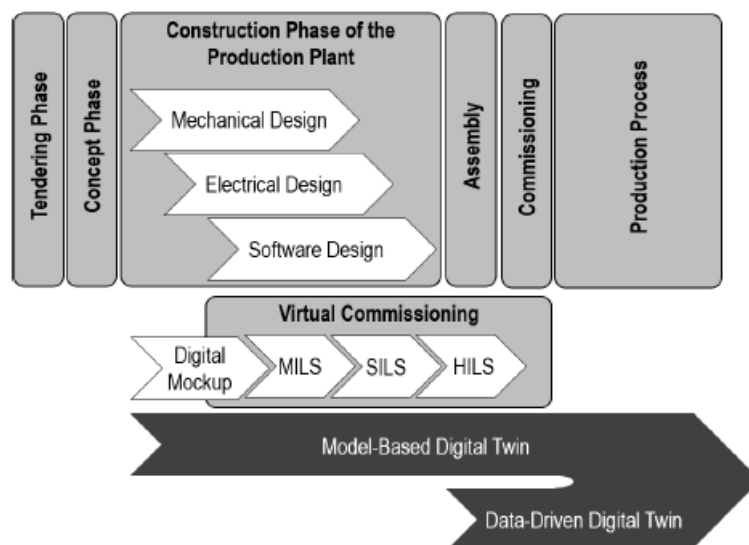


Figura 6 Model-based and data-driven digital twin as integral part of the

Nella prima fase di progettazione vengono solitamente applicati modelli di simulazione specifici del dominio. Tali modelli sono noti anche come prototipi digitali e sono comunemente basati sui dati CAD della progettazione meccanica, che aiutano a risolvere problemi specifici con un unico approccio di simulazione come il FEM.

Successivamente, sarà al centro dell'attenzione la validazione virtuale e la progettazione dell'interazione dei domini di meccanica, elettrica e software di un sistema meccatronico. Ciò richiede una simulazione del sistema, che copre i singoli domini, con modelli di simulazione specifici e li collega a un sistema complessivo.

Durante il processo di produzione, il Digital Twin basato su modello rilevato dall'ingegneria, dovrebbe essere arricchito di dati del processo di produzione. Ciò potrebbe portare a un enorme aumento della precisione dell'immagine del Digital Twin.

Il Digital Twin è disponibile durante l'intero ciclo di vita di un sistema di produzione per lo sviluppo basato: sulla simulazione, la pianificazione del sistema, i test, la formazione, il servizio e per il funzionamento dei processi e delle strutture di produzione basati su metodi e strumenti digitali.

La versione del Digital Twin include<sup>16</sup>:

- Assegnazione: durante tutto il processo di progettazione, nel corso del funzionamento della simulazione predittiva;
- Ambito funzionale: modello sperimentale, ottimizzazione automatica dei processi di produzione e controllo intelligente del processo basato sui risultati della simulazione;
- Scopo e profondità del modello: disponibilità di un Digital Twin con diversi livelli di dettaglio.

#### ***1.4. Digital Twin e l'Industria***

Il Digital twin è particolarmente diffuso in ambito industriale, dove è specificatamente utilizzato per indicare la riproduzione virtuale di un processo o di un servizio reale, realizzato attraverso i dati raccolti dai sensori.

In molti settori, essi sono già ampiamente utilizzati per ottimizzare il funzionamento e la manutenzione sia di beni fisici che di sistemi e processi produttivi. Rappresenta una tecnologia che si basa sugli Internet of Things, in cui gli oggetti fisici possono vivere e interagire virtualmente con altre macchine e di persone.

In tale contesto, i Digital twin vengono definiti come Cyber-Object o Avatar Digitali, in quanto tutto è stato introdotto nell'Industry 4.0, con il concetto di integrazione tra gli oggetti fisici e i loro modelli matematici.

L'evoluzione di questa tecnologia è caratterizzata da un'estensione del mondo fisico, a quello virtuale, con la creazione di modelli matematici statici come modelli CAD o modelli dei processi di fabbricazione come il CAM.

Il digital twin è anche una componente essenziale del concetto di un sistema Cyber-Fisico, poiché il concetto di integrazione dell'Industry 4.0 è permesso grazie al sistema Cyber-Fisico e dai sistemi informatici, che sono in grado di interagire in modo continuo con i sistemi fisici a cui sono associati.

### ***1.5.Sistemi del Digital Twin***

Nei sistemi del Digital Twin, con vari livelli di complessità, si arriva ad una completa simulazione virtuale di un sistema, prodotto o processo fisico, che unisce le informazioni tecniche e gestionali sui componenti e i processi che costituiscono un asset, dove le caratteristiche tecniche di tutti i componenti, la documentazione è collegata al componente come: certificazione, manuali operativi, documenti tecnici e altri ancora.

I collegamenti tra gli elementi dell'asset, sono con:

- Sistemi di gestione dei documenti come i Product Data Management e Product Lifecycle Management
- Sistemi di controllo della produzione come il Manufacturing Execution System o Distributed Control System
- Sistemi di gestione come l'Enterprise Resource Planning, per integrarli in tempo reale con i dati di processo.

I sistemi del digital twin più evoluti si basano su reti neurali e algoritmi di intelligenza artificiale che, individuano comportamenti anomali confrontando i dati provenienti dai sensori, con i modelli predetti avvalendosi di interfacce uomo-macchina cioè la Human Machine Interface, basati su ambienti di realtà virtuale e realtà aumentata per comunicare con gli utenti in modo immediato e immersivo.

## ***1.6. Applicazione del digital twin nella manutenzione e nella logistica della produzione***

Da anni le industrie hanno adottato il Digital Twin, al fine di ridurre i rischi identificati negli asset e migliorarne la tracciabilità, la manutenzione e l'analisi, migliorandone il ciclo di vita<sup>17</sup>. In effetti, tale tecnologia può entrare in gioco in diversi aspetti nella vita di un asset.

Un Digital Twin può essere correlato a una risorsa e alle sue prestazioni, o sistemi più complessi come una produzione o un servizio in cui sono presenti più componenti con comportamenti diversi<sup>18</sup>.

L'industria manifatturiera è il settore dove si è concentrato maggiormente la ricerca sull'implementazione dei Digital Twin, poi ci sono le industrie legate all'estrazione di Gas, Petrolio, gestione di Turbine Eoliche, nell'industrie dell'Edilizia e Aeronautica. L'utilizzo di tale tecnologia nell'industria manifatturiera, i risultati si concentrano maggiormente sulle linee di produzione. l'utilizzo di approcci basati sulla modellazione di dati di processo in tempo reale, fino a raggiungere le capacità di analisi, che assiste nel processo decisionale di progettazione.

Una possibile applicazione dei Digital Twin è l'ottimizzazione dei processi, della logistica o della produzione. a prima vista, può sembrare che tale applicazione si verifichi solo nell'industria manifatturiera, ma non è così, poiché sono state trovate applicazioni nel settore aeronautico, automobilistico, energetico, navale, sanitario, manutenzione.

Nella maggior parte dei risultati ottenuti, l'applicazione si concentra sull'ottimizzazione del processo produttivo o operation<sup>19</sup>. In tal caso il Digital Twin si concentra sull'ottimizzazione del processo di produzione sul miglioramento della disponibilità della linea e sull'ottimizzazione delle operazioni, per migliorare la produttività.

Nella Manutenzione vi sono diverse strategie, a partire dal processo più semplice come la manutenzione correttiva fino alla manutenzione più intelligente che è prescrittiva.

L'utilizzo dei Digital Twin offre la possibilità di passare a strategie più avanzate, come nei settori definiti precedentemente, in quanto il loro ambiente rigoroso e le attrezzature complesse, i costi di manutenzione sono molto elevati<sup>20</sup>, giustificando l'investimento sulla creazione di un gemello digitale con l'obiettivo di ottimizzare le attività di manutenzione.

Alcuni riferimenti includono l'uso di tecnologie come la realtà aumentata (AR), al fine di mostrare futuri fallimenti nei componenti da determinare la manutenzione<sup>21</sup>.

### 1.6.1. Strategia di manutenzione

le diverse strategie di manutenzione da seguire quando si prendono decisioni su quando e quali, le attività di manutenzione devono essere eseguite. Le strategie analizzate sono le seguenti:

- **Manutenzione reattiva**, nota come manutenzione correttiva. Si applica a qualsiasi attività che potrebbe essere chiamata un'emergenza, causata da rottura o guasto. Queste attività non sono state pianificate in precedenza da Swanson<sup>22</sup>.

Questo tipo di strategia è adatto solo per asset o sistemi che potrebbero non avere un grande impatto nel business. In caso contrario, questo tipo di strategie comportano elevati costi di manutenzione, poiché l'attività di manutenzione è focalizzata sul rinnovo del bene che è stato rotto o danneggiato.

- **Manutenzione preventiva**, è noto in altri termini come la manutenzione della base dei tempi. È un approccio proattivo attuato per prevenire o ridurre i guasti negli asset<sup>23</sup>. Questo tipo di strategia si basa sull'esperienza del gestore dell'impianto/infrastruttura/asset, che pianifica diverse attività di manutenzione con frequenze diverse nel tempo, con l'obiettivo di evitare interruzioni del servizio, o se è obbligatorio, minimizzarne l'impatto pianificandolo<sup>24</sup>.
- **Manutenzione basata sulle condizioni (CBM)**, consiste nell'anticipare l'attività di manutenzione basata sull'evidenza del degrado e della deviazione dal normale comportamento dell'asset<sup>25</sup>, nota come manutenzione basata sulla diagnosi.

Queste anomalie vengono rilevate grazie alla maturità di tecnologie come IoT e cloud computing che, vengono applicate per monitorare le condizioni dell'insieme. Gli approcci basati sulle condizioni possono essere migliorati da algoritmi di intelligenza artificiale per diagnosticare e acquisire dati di stato dettagliati<sup>26</sup>.

- **Manutenzione predittiva**, o la manutenzione della prognosi consiste nell'usare tutte le informazioni che compongono e circondano un sistema e usarle per essere in grado di prevedere la sua vita residua. Può condurre ad architetture più complesse quando sono coinvolti contemporaneamente diversi asset. Possono essere utilizzate tecniche diverse per unire tutte le informazioni disponibili per eseguire previsioni di manutenzione in modo che siano il più accurate possibile<sup>27</sup>.
- **Manutenzione prescrittiva**, o la manutenzione basata sulla conoscenza<sup>28</sup>. Si riferisce all'ottimizzazione della manutenzione in base alle previsioni. Oltre a utilizzare l'analisi dei dati storici e in tempo reale per prevedere lo stato dell'asset richiesto, si impegna anche a prescrivere un piano d'azione<sup>29</sup>. Ciò si traduce in un passaggio dal piano di manutenzione preventiva a un piano proattivo e intelligente<sup>30</sup>. Gartner esegue una descrizione del percorso per ottenere un'analisi prescrittiva.

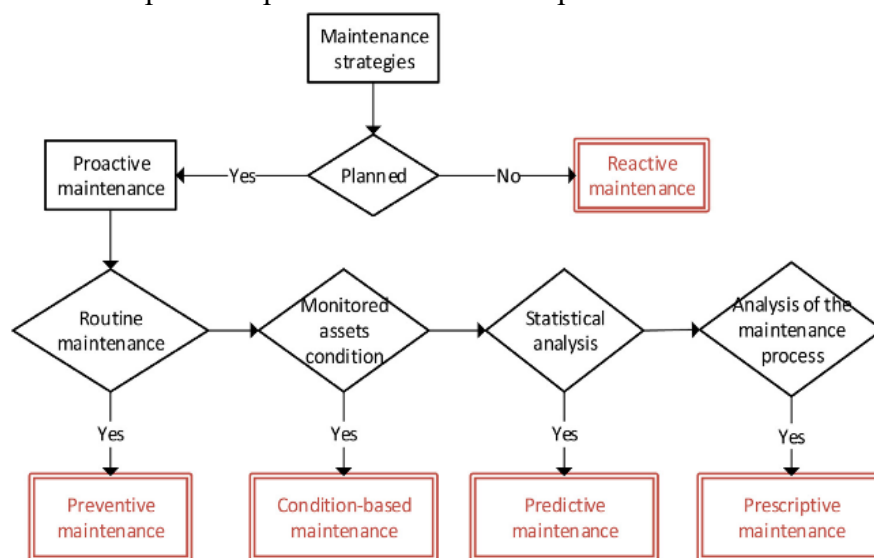


Figura 7 Maintenance strategies diagram

Nelle strategie di manutenzione basata sulle condizioni e predittiva, è presente l'integrazione dell'ombra digitale, dato che il modello digitale ottiene automaticamente informazioni sullo stato dell'asset fisico.

Il livello di integrazione definito come Digital Twin viene utilizzato sulle strategie di manutenzione prescrittiva, dove è prevista la fase di proporre un'azione di manutenzione.

La manutenzione predittiva è quella maggiormente utilizzata. La manutenzione predittiva è la manutenzione correttiva pianificata per comodità, tenendo in considerazione principalmente le prestazioni<sup>31</sup>. In alcuni casi, i Digital Twin vengono utilizzati solo per aiutare l'operatore a svolgere l'attività di manutenzione specifica, altri non prevedono nemmeno il fallimento, ma rilevano e diagnosticano il guasto che si è verificato; quindi l'attività di manutenzione successiva può essere più diretta<sup>32</sup>.

### ***1.7. Valutazione dei rischi sul lavoro & Digital Twin***

Nella realizzazione della tecnologia per realizzare l'integrazione virtuale-fisica, i Digital Twin hanno la possibilità di migliorare la sicurezza sul lavoro coinvolti nell'interazione uomo-macchina. L'integrazione di modelli digitali con l'IOT ha il potenziale per generare una interattività flessibile, per migliorare l'efficienza della macchina e la sicurezza del processo<sup>33</sup>.

Nei modelli del digital Twin nell'industria, includono vari aspetti come i modelli virtuali guidati da dati in tempo reale che sono in grado di fornire una rappresentazione simile a quello reale, che può essere costruito per supportare delle interazioni immersive tra uomo e macchina<sup>34</sup>.

I dati del Digital Twin possono integrare i dati reali e simularli, consentendo all'utente di ottenere una descrizione completa dell'ambiente e una più profonda comprensione dell'entità fisica. I modelli forniscono piattaforme concise, intuitive e facili da usare come Software e app mobili che potrebbero essere adottati dagli utenti in diversi campi.



L'attività di manutenzione sono situazioni tipiche che richiedono l'interazione uomo macchina. Nella manutenzione il modello digitale può riflettere lo stato in tempo reale delle macchine, attraverso l'analisi di dati fisici, dati dei sensori e metodi di manutenzione, facilitando l'identificare dei componenti e parti che mostrano segni di danno, consentendo un'analisi data-driven e di valutare rischio, a partire da segnalazione di eventi avversi<sup>35</sup>.

L'implementazione dei modelli digitali per la valutazione della sicurezza o del rischio è più limitata in numero. Tuttavia, garantire la sicurezza del processo è di fondamentale importanza per evitare incidenti mortali multipli, danni ambientali, perdite di affari e danni alla reputazione<sup>36</sup>.

I Digital Twins possono essere utilizzati con successo per migliorare la sicurezza del processo in quasi tutte le fasi di un processo, un impianto o del ciclo di vita, che va dalla concettualizzazione del sistema alla fase di costruzione del modello. Gabbar<sup>37</sup> propone la modellazione dinamica del processo per l'analisi della sicurezza al fine di assistere gli operatori e di valutarne il rischio, conducendo un caso studio in una unità di Idro-desolforazione, dimostrando la capacità del modello ad identificare alcune specifiche scenari ad alto rischio.

Tuttavia, il modello proposto non ha tentato di condurre sistematicamente un processo d'analisi dei pericoli. Ramzan<sup>38</sup> ha anche proposto un modello di simulazione dinamica per il rischio di processo analisi, applicato a un caso studio condotto su una colonna di distillazione con due prodotti. La simulazione dinamica viene utilizzata per identificare le conseguenze delle possibili cause ed elaborare le deviazioni dei parametri, assegnando le gravità e tassi di frequenza per queste conseguenze e infine di determinare la tollerabilità del rischio risultante.

Un ulteriore studio che ha fatto uso della simulazione dinamica per condurre l'analisi dei rischi di processo è stato eseguito da Wu<sup>39</sup>, integrando modelli qualitativi con la simulazione dinamica per condurre analisi dei rischi di processo.

Per essere più precisi, all'inizio il loro approccio fa uso di modelli di flusso multilivello (MFM) per determinare le cause e le conseguenze dei rischi e classificarli. Quindi scenari ad alto rischio, vengono rigorosamente analizzati e valutati utilizzando la simulazione dinamica.

Negli ultimi anni, con l'avvento di piattaforme software integrate, ha offerto l'opportunità di accoppiare i dati in tempo reale con tutte le informazioni digitali che un'azienda ha su un determinato processo. Di conseguenza, Kummer e Varga<sup>40</sup>, hanno sviluppato una piattaforma software aperta che permette di generare guasti, valutando quando vengono raggiunte le condizioni stazionarie del sistema reale e generare sensibilità di variabili critiche a vari disturbi. Questo strumento era destinato a automatizzare la generazione e la valutazione dei disturbi per fornire input all'analisi dei rischi tradizionali processi con l'obiettivo di ridurre la durata e l'errore umano del processo di analisi dei pericoli.

### ***1.8. Questioni Del Digital Twin nella manutenzione***

La creazione di un Digital Twin può essere costosa. Pertanto la sua applicazione è dovuta al fatto che la manutenzione del bene stesso è molto costosa. In questo modo, un Digital Twin apporta efficienza alle strategie di manutenzione.

Un Digital Twin può incorporare modelli predittivi che valutano lo stato corrente e, successivamente ne analizzano il comportamento e prevedono il degrado del componente. Questa previsione migliora quando il Digital Twin include maggiori informazioni sulle caratteristiche fisiche, del processo in corso o dell'operazione.

Chiaramente, l'applicazione più comune è la manutenzione. I settori che maggiormente applicano i Digital Twin per la manutenzione sono la manifattura, l'industria energetica (turbine eoliche, petrolio, pannelli solari ...), l'edilizia e l'industria aeronautica.

Si è osservato che i Digital Twin vengono utilizzati per il miglioramento di diverse strategie di mantenimento proattivo. I piani di manutenzione preventiva sono stati sviluppati con l'esperienza pluriennale delle persone addette alla manutenzione o dal produttore del bene.

Dal punto di vista di una delle strategie più studiate, la manutenzione predittiva impiegata nei Digital Twin è fondamentale. Esso può incorporare modelli predittivi che valutano lo stato corrente e, successivamente, ne analizzano il comportamento prevedendo il degrado del componente.

Questa previsione migliora quando il Digital Twin include maggiori informazioni sulle caratteristiche fisiche, le caratteristiche del processo in corso o le caratteristiche dell'operazione. È da evidenziare che per la generazione di modelli predittivi è necessario disporre di dati storici per la loro calibrazione e validazione.

Infine, per la manutenzione prescrittiva è essenziale l'uso di Digital Twin; tuttavia è integrato con informazioni sui processi di manutenzione e modelli di ottimizzazione, consentendo a tali di interagire, con le informazioni della parte sensoriale e della parte del modello predittivo, permettendo di far parte di un sistema di raccomandazione, dove descrive l'attività e il processo, che deve essere svolto dal manutentore.

Potrebbero esserci alcune limitazioni in questa evoluzione per il futuro. Le strategie prescrittive hanno senso solo nel mantenimento delle risorse critiche. Se l'asset non è critico e non interferisce con la produzione o il servizio né con la sicurezza delle persone, è comunque ragionevole che la strategia di manutenzione più efficiente sia riparare l'asset quando si rompe. Potrebbe essere la soluzione più semplice ed economica.

Sono state identificate diverse sfide scientifiche in modo che le strategie di manutenzione di base possano evolversi in strategie di manutenzione prescrittive. La necessità nasce, quando si integrano informazioni provenienti da diverse fonti quali informazioni sugli asset, informazioni operative, attività di manutenzione storica e informazioni sull'evoluzione degli asset storici. Ciò richiede piattaforme Big Dat che consentano la scalabilità e l'ubiquità. La maggior parte di loro insiste sull'importanza di ottimizzare l'uso dei dati al fine di migliorare la fusione dei dati e di conseguenza di ottenere un miglioramento dei modelli.

Un'altra sfida da superare è garantire la qualità dei dati raccolti. Gli algoritmi possono essere utilizzati per migliorare la qualità dei dati verificandone l'integrità. In alcuni settori, gli errori nella raccolta dati potrebbero essere dovuti ai sistemi di monitoraggio stessi. In altre occasioni, se l'infrastruttura da monitorare è ampia e continua (strade, binari ...), possono verificarsi casi di dati non allineati, poiché la posizione relativa ai dati monitorati può accumulare errori incrementali.

Per la pre-elaborazione dei dati sarà di grande interesse per migliorare la qualità dei dati monitorati.

L'implementazione di strategie prescrittive dovrebbe includere i seguenti compiti:

- a. Analisi del rischio, che tenga conto del rischio che il manutentore è pronto ad ammettere in relazione allo stato attuale dell'insieme;
- b. Analisi dei costi, che comportano un costo di esecuzione della manutenzione, un costo di penalizzazione dell'indisponibilità del servizio e un ciclo di vita degli asset;
- c. Prendere decisioni ottimizzate per la manutenzione degli asset, tenendo conto dell'analisi olistica dei costi.

Per eseguire questo tipo di analisi ci sono diversi passaggi da eseguire. Inizia con l'analisi del ciclo di vita dell'asset. Deve anche essere fatto il calcolo del momento in cui è più conveniente sostituire il bene che mantenerlo in manutenzione. Viene inoltre evidenziata la necessità di calcolare correttamente l'impatto che le attività di manutenzione hanno sull'asset analizzato<sup>41</sup>, in modo che possa conseguentemente migliorare l'ottimizzazione di queste attività e calcolare correttamente il costo delle azioni di manutenzione<sup>42</sup>.

Un altro punto da affrontare è il possibile costo dovuto alla indisponibilità del servizio o funzionamento del processo. Penalizzare l'indisponibilità del servizio è molto comune, ad esempio, nei settori dei trasporti, ed è immediata nei processi produttivi quando la produzione viene interrotta.

Infine, dovrebbe essere effettuata un'analisi dei rischi. L'obiettivo dei diversi settori sarebbe quello di mantenere in funzione i propri asset ed essere economicamente sostenibili senza correre rischi (o almeno assumere rischi controllati).

Quando ci si sposta verso la generazione di Digital Twin più complessi e intelligenti, sarà necessaria l'integrazione di diverse tecnologie avanzate, tra cui IoT/IIoT, algoritmi di elaborazione dei dati per migliorarne la qualità, con delle alternative affidabili complementari per superare le lacune dei dati, modelli di dati ridotti, comunicazioni remote e sicurezza informatica.

## ***1.9.Importanza dei Digital Twin***

Un Digital Twin è importante quando un dispositivo o uno strumento meccanico, sta per fallire o fallisce.

Le moderne risorse industriali generano milioni di dati che possono essere studiati e valutati per determinare un problema che potrebbe verificarsi in futuro, ma la maggior parte delle industrie raccoglie dati, senza sapere quali realmente si deve raccogliere.

Si tratta di chiamare dati non strutturali, dove l'industria riconfigura il modello di raccolta e analisi dei dati per dargli un senso, perfezionando il processo prima di doverlo modificare di nuovo quando altri problemi si insinuano lungo il percorso.

La creazione di un Digital Twin e di un asset fisico già esistente, toglie le congetture dalla raccolta dei dati. Lo scopo è prendere i dati che sono in arrivo e accoppiarli con l'algoritmo che funziona con un particolare modello.

In tal caso l'ingegnere può aggiornare continuamente i parametri interno al modello in modo che la modalità operativa o l'ambiente nella versione digitale corrisponda a quello fisico.

L'integrazione di un gemello digitale in un programma di manutenzione significa che i proprietari di asset, possono decidere se sostituire o meno una risorsa a seconda delle informazioni fornite dal gemello digitale.

## ***1.10. Vantaggi del Digital Twin***

L'obiettivo principale di un digital twin è rispondere immediatamente ai cambiamenti esterno per:

- Anticipare, prevenire e risolvere problemi tempestivamente, effettuando nel mondo virtuale tutte le modifiche necessarie per garantire che l'asset fisico lavori esattamente come previsto.
- Migliorare la prestazione, ha la possibilità di monitorare i prodotti durante il loro funzionamento, consentendo di verificarne le funzionalità e come queste vengono utilizzate, permettendo di continuare il testing in situazione di uso reale, per affinare il prodotto e aggiornare in tempo reale il software.

- Un Modello Digitale, può essere anche utilizzato per fare test di durata, accelerando lo scorrere del tempo in modo da valutare in alcune ore diversi anni di operatività.  
Se si dovesse presentare un problema, il tempo può essere rallentato, per permettere al progettista di osservare quello che succede nei momenti critici.
- Il Gemello Digitale come modello visibile aiuta alla comunicazione multi-dominio.
- La maggior parte dei passaggi di risoluzione dei problemi e di ottimizzazione può essere eseguita nelle prime fasi con l'utilizzo del Digital Twin.

### ***1.11. Conclusioni***

Focalizzare l'analisi sui settori industriali conferma che chi investe di più in questa ricerca può ottenere vantaggi evidenti. Ciò potrebbe essere motivato da diversi motivi:

- Costi elevati dell'attività stessa;
- Aspetti di sicurezza relativi agli operatori che svolgono le attività di manutenzione, che devono fornire costosi approcci di mitigazione per minimizzare il rischio e / o indisponibilità dei componenti che può causare costi di indisponibilità del servizio.

Relativamente alle strategie di manutenzione, i primi 3 settori (industria, manifatturiera, energetica e aeronautica) optano per una strategia più intelligente. Stanno investendo, sulla previsione e persino nella manutenzione prescrittiva; optano per l'integrazione completa, in cui tutte le interazioni tra l'oggetto fisico e quello digitale sono automatizzate.

Al fine di eseguire progressi nelle strategie di manutenzione della previsione alla prescrizione, ci sono due grandi aree di ricerca da risolvere. Innanzitutto, la mancanza di disponibilità dei dati deve essere risolta mediante le tecnologie IoT/IIoT e l'integrazione dei modelli come fattori abilitanti, anche per migliorare la qualità dei dati. In secondo luogo, la necessità di garantire una procedura di manutenzione ben dettagliata è la chiave per andare avanti.

I diversi principi base tramite l'apprendimento automatico a un gemello digitale, si mostra che questo approccio risolve diversi problemi all'interno della fase di progettazione che, sono anche risolvibili con dei metodi standard.

Tuttavia, per la richiesta in costante aumento dei moderni sistemi di produzione, tale approccio può fornire enormi vantaggi. Con l'integrazione delle interfacce, è possibile facilitare l'utilizzo dei metodi di Machine Learning, ove il Digital Twin risolve autonomamente diversi problemi migliorandosi continuamente.

## 2. Sicurezza sul Lavoro

la Sicurezza sul Lavoro, anche detta Salute & Sicurezza sul Lavoro, riguarda l'insieme delle misure preventive e protettive da adottare per gestire al meglio la salute, la sicurezza e il benessere dei lavoratori, in modo da ridurre o evitare al minimo possibile l'esposizione dei lavoratori ai rischi connessi alle attività lavorative.

L'organizzazione mondiale della sanità definisce la salute sul lavoro come:

*“la salute riguardo tutti gli aspetti di salute e sicurezza sul luogo di lavoro e ha una elevata attenzione alla prevenzione prima dei pericoli”.*

La salute sul lavoro è un campo multidisciplinare di assistenza sanitaria concernente l'abilitazione dell'individuo ad intraprendere la sua occupazione, nel modo che causi meno danno alla sua salute. La salute è stata definita con un'eccezione più ampia rispetto alla comune promozione della salute e sicurezza sul lavoro, che è concentrata sulla prevenzione del danno da ogni pericolo accidentale presente sul luogo di lavoro.

L'organizzazione Internazionale del lavoro e l'Organizzazione Mondiale della Sanità, hanno condiviso una comune definizione sulla salute e sicurezza sul lavoro, definendo: “il focus principale nella salute lavorativa è posto su tre differenti obiettivi:

- Il mantenimento e la promozione della salute e della capacità operativa dei lavoratori;
- Il miglioramento dell'ambiente di lavoro e del lavoro per favorire la sicurezza e la salute del lavoratore;
- Lo sviluppo di organizzazioni lavorative e di culture del lavoro in una direzione che supporti salute e sicurezza sul lavoro e così facendo, promuova un clima sociale positivo ed un'agevole operatività e possa migliorare la produttività delle imprese.

Il concetto di cultura del lavoro è inteso in tale contesto, a dei sistemi di valore, essenziali dall'impresa interessata. Tale cultura si riflette nella pratica nei sistemi manageriali, nella politica del personale, nei principi di partecipazione, nelle politiche di formazione e nella gestione della qualità dell'impresa.”

Comitato Congiunto OIL/OMS<sup>43</sup>



La salute sul lavoro deve mirare a promuovere e mantenere il più alto livello di benessere fisico, mentale e sociale dei lavoratori in tutte le professioni, alla prevenzione tra i lavoratori dell'allontanamento della salute, causato dalle condizioni di lavoro, alla protezione dei lavoratori nel loro impiego dei rischi derivanti da fattori avversi alla salute, alla sistemazione e al mantenimento del lavoratore in un ambiente lavorativo, adeguato alle sue capacità fisiologiche e psicologiche.

## ***2.1. Persone e Sicurezza***

Ai lavoratori e dirigenti delle organizzazioni moderne viene chiesto di partecipare a molte attività di sicurezza, a condividere “momenti di sicurezza” e “colloqui con gli strumenti”. Le persone partecipano o chiedono di partecipare, per mantenere le persone al sicuro. Gilbert<sup>44</sup> descrive le attività che possono essere separate dal lavoro quotidiano come “sicurezza straordinaria”, distinta dalla “sicurezza ordinaria” che le attività alla fine cercano di creare.

Eppure la “sicurezza straordinaria” è, nel migliore dei casi, due passaggi rimossi dalla sicurezza sul lavoro. Anche in un mondo ideale, manager e professionisti svolgono il lavoro sulla sicurezza che, controlla e dirige il personale in prima linea nello svolgimento del lavoro sulla sicurezza, a sua volta determina il modo in cui viene eseguito il lavoro operativo. Ciò solleva dubbi sul fatto che il lavoro di sicurezza sia necessaria o utile per la sicurezza del lavoro operativo.

Persone che svolgono le attività di sicurezza descrivono le proprie azioni come strumentali, cercando di migliorare i risultati di sicurezza, selezionando azioni che ritengano possano far raggiungere tale obiettivo.<sup>45</sup>

Hollnagel<sup>46</sup> afferma che:

*“gli sforzi per prevenire futuri incidenti servono effettivamente a un duplice scopo: essere al sicuro e sentirsi al sicuro. Ma a volte il secondo ostacola il primo”.*

Le sue parole riflettono sulla comprensione comune che la ricerca riguarda principalmente il miglioramento dei risultati in materia di sicurezza e che, le funzioni espressive dell'azione per la sicurezza non sono interessanti se non come driver o distrazione dalla sicurezza reale.

## ***2.2. Come implementare un programma di sicurezza sul posto di lavoro***

Lo sviluppo di un programma di sicurezza sul posto di lavoro può richiedere tempo. È fondamentale rendere il programma il più completo possibile per creare un ambiente di lavoro sicuro. Una volta creato il piano, è necessario sviluppare un modo per implementare un programma di sicurezza sul posto di lavoro.

Ciò comporta la formazione di dipendenti e dei manager, al fine che tutti nell'industria si sentano responsabili per assicurarsi che, le politiche di sicurezza dell'azienda siano seguite.

Molto importante è designare un responsabile della salute e della sicurezza dell'azienda; può essere qualcuno già in azienda o un nuovo assunto, ma deve essere qualcuno con esperienza e la capacità di designare il tempo ogni giorno per far rispettare le politiche di salute e sicurezza.

Successivamente educare e condurre corsi di formazione sia al manager che ai dipendenti, passando attraverso varie parti del programma di sicurezza. Sarebbe utile se si potesse impostare delle dimostrazioni del modo corretto per lavorare in modo sicuro e le conseguenze di non lavorare in modo sicuro.

In fine, non meno rilevante, è quello di fornire a ogni dipendente una copia del programma di sicurezza sul posto di lavoro e fornire aggiornamenti scritti regolari al programma ogni volta che viene apportata una modifica. Incoraggiare i dipendenti ad andare dal responsabile della salute e sicurezza, con qualsiasi domanda o segnalazione di possibili incidenti sul posto di lavoro, migliorano l'ambiente lavorativo.

## ***2.3. Mantenere la sicurezza nel luogo di lavoro***

La valutazione del luogo di lavoro e l'attuazione delle misure di sicurezza sono un ottimo primo passo, ma occorre mantenere gli sforzi per la salute e la sicurezza dei lavoratori. Uno dei modi migliori per mantenere una struttura sicura e promuovere una cultura sicura è attraverso la comunicazione visiva.

Avere segnali visivi intorno alla struttura può essere un utile promemoria delle pratiche di sicurezza che devono essere eseguite. Alcuni modi per attuarlo è quello di pubblicare cartelli per far sapere ai lavoratori quando utilizzare i dispositivi di sicurezza, utilizzando le etichette per comunicare chiaramente le attrezzature pericolose o appendere dei manifesti, che ricordano ai lavoratori le procedure di sicurezza.

Un altro strumento visivo utilizzato nelle strutture sono le marcature sul pavimento. È possibile utilizzare il nastro adesivo per contrassegnare le attrezzature pericolose o posare il nastro per creare corsie per il traffico pedonale o carrelli.

La formazione è anche un'ottima strategia per mantenere la sicurezza sul posto di lavoro. Le sessioni di formazione periodiche dovrebbero svolgersi annualmente o durante tutto l'anno per mantenere i lavoratori aggiornati sulle pratiche e procedure di sicurezza.

Un altro modo per garantire la sicurezza della struttura è quella di istituire un comitato di sicurezza. I lavoratori di diversi livelli e diversi dipartimenti dovrebbero essere riuniti per formare un comitato dedicato alla sicurezza. Il comitato può riunirsi con cadenze periodiche per: esaminare le pratiche di sicurezza, valutare le procedure di sicurezza e rischi, valutare le questioni e riflettere sulle soluzioni di sicurezza.

All'interno della valutazione dei rischi ha l'obiettivo di identificare, ad esempio utensili e situazioni pericolosi per la sicurezza delle lavoratrici e dei lavoratori ed è uno strumento per individuare misure di prevenzione e protezione adatte.

### **2.3.1. Pericoli e Rischi sul posto di lavoro**

Un pericolo è una proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore avente il potenziale di causare danni. Un possibile pericolo è presente, se c'è la possibilità che un oggetto o una situazione possa recare danni.

Un rischio è una probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno, delle condizioni di impiego o di esposizione a un determinato fattore o agente. Il rischio è il prodotto derivante dalla plausibilità che accada un evento e le sue conseguenze.

Da queste definizioni di pericolo e rischio si tiene conto all'interno della valutazione sulla sicurezza e sul lavoro di:

- Pericoli provenienti dal fabbricato o da un macchinario;
- Pericoli da sostanze o miscele utilizzate, che possono essere irritanti, tossici, corrosivi, ecc;
- Rischi nei metodi di lavoro e dagli attrezzi utilizzati;
- Rischi di fattore biologico, chimico, fisico.

## 2.4. Aspetti della sicurezza correlati in diversi modi

In primo luogo, non sono percepiti come diversi, all'interno dell'organizzazione. Gli eventi che sfidano la fiducia in uno degli spettacoli creeranno una risposta attraverso altri tipi di lavori sulla sicurezza. In secondo luogo, le prestazioni competono per l'attenzione e le risorse all'interno dell'organizzazione. In terzo luogo, le prestazioni dimostrate, sociali e amministrative derivano legittimità da presunte connessioni causali con alle altre prestazioni, in particolare con la sicurezza operativa.

### 2.4.1. Esecuzioni di lavori di sicurezza

Uno schema di Cloutier<sup>47</sup> si basa sulla rappresentazione del "lavoro istituzionale" come:

- **Sicurezza Sociale**
- **Sicurezza Dimostrata**
- **Sicurezza Amministrativa**
- **Sicurezza Fisica**

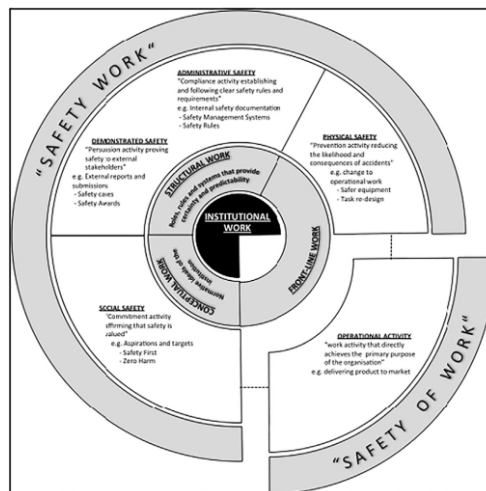


Figura 8 Safety work and operational work

Si definisce anche un quinto aspetto della sicurezza, la sicurezza operativa, come l'assenza di danni derivanti dal lavoro operativo. La sicurezza operativa non è di per sé un tipo di lavoro, è una proprietà emergente del lavoro.

I diversi tipi di lavoro sulla sicurezza possono essere complicati da poter distinguere, poiché le persone all'interno delle organizzazioni spesso vedono tutte le attività di sicurezza come parte del supporto alla sicurezza operativa.

Possono essere offesi o diventare ansiosi se la quantità di lavoro di sicurezza viene ridotta, perché ciò è percepito come una riduzione della sicurezza operativa. Rompere il nesso di causalità con la sicurezza operativa, suggerendo che un'attività non contribuisce alla prevenzione degli incidenti, delegittima il lavoro amministrativo, sociale e di sicurezza dimostrata. Dall'esterno dell'organizzazione, le linee di demarcazione tra gli aspetti possono essere più evidenti, soprattutto col senno di poi. All'indomani di un incidente, ad esempio, un'organizzazione può essere accusata di concentrarsi troppo sulle attività dimostrate in materia di sicurezza sociale e amministrativa a scapito dell'attenzione della sicurezza operativa.

#### **2.4.1.1. Sicurezza Sociale**

La sicurezza sociale è la creazione di una narrativa organizzazione interna che pone la sicurezza in una posizione speciale. L'organizzazione mostra un impegno collettivo per il benessere di tutte le persone coinvolte nelle operazioni dell'azienda. A meno che un'organizzazione non cessi del tutto l'attività, la sicurezza non può effettivamente essere la priorità assoluta e costante.

La sicurezza è costantemente in uno stato di tensione e di compromesso con altri valori e obiettivi dell'organizzazione<sup>48</sup>. La sicurezza sociale è quindi continuamente messa alla prova dal lavoro operativo dell'organizzazione e richiede il rafforzamento di atti di affermazione continui. Le organizzazioni hanno un forte bisogno di rafforzare la sicurezza sociale, devono giustificare azioni non coerenti con la loro narrativa sulla sicurezza, ad esempio quanto stabiliscono obiettivi di sicurezza e non riescono a raggiungerli.

Affermare che la sicurezza sociale è simbolica e ritualistica non diminuisce l'importanza della sicurezza sociale. I rituali sono un tipo importante di lavoro, necessario agli individui per conciliare la propria individualità con uno scopo più grande "pensare istituzionalmente".

Rituali organizzativi, tra le altre funzioni, come: segnalare l'impegno, comunicare valori importanti, esemplificare e rafforzare l'ordine sociale e gestire l'ansia<sup>49</sup>.

La sicurezza sociale è un argomento impegnativo per le organizzazioni, perché la connessione causale tra i risultati sociali e operativi dei rituali è una questione empiricamente aperta. La maggior parte delle costruzioni di "cultura della sicurezza" presume che esista un legame tra culture forti e risultati positivi. La validità di queste ipotesi dipende probabilmente, dalla natura dei rituali e dalla natura delle operazioni e non dovrebbe essere considerata valida in ogni caso.

#### **2.4.1.2. Sicurezza Dimostrata**

Il lavoro di sicurezza dimostrato consiste in attività che "garantiscono" la sicurezza alle parti interessate al di fuori dell'organizzazione. Per prosperare, un'azienda ha bisogno di autorità di regolamentazione, comunità e clienti che credano nella sicurezza dei prodotti e delle attività dell'azienda.

Le parti interessate rappresentano una minaccia per la sicurezza dimostrata, quando creano alleanze e istituzioni che richiedono le garanzie della sicurezza dell'organizzazione. Le istituzioni primarie mediante le quali comunità e clienti esercitano un'influenza sulle attività delle industrie pericolose, sono le autorità di regolamentazione della sicurezza<sup>50</sup>.

I lavoratori possono anche organizzarsi per intraprendere azioni sindacali o creare sindacati per esercitare un'influenza a loro favore. L'organizzazione deve rispondere alle richieste di sicurezza, con uno svolgimento delle attività di sicurezza talvolta anche descritto in termini teatrali.

La negoziazione è un tipo di lavoro istituzionale<sup>51</sup>, ove le istituzioni fanno parte di ecosistemi più grandi, contenenti altre istituzioni con i propri ideali, regole, sistemi e pratiche normative. Quando le istituzioni interagiscono, ciò crea pressione per il cambiamento verso un maggiore allineamento.

Con il termine sicurezza dimostrata, piuttosto che sicurezza negoziata, perché la maggior parte delle organizzazioni, esiste un rapporto ineguale con le parti interessate come le autorità di regolamentazione. I manager e il personale svolgono il lavoro per proteggere le convinzioni e le pratiche esistenti, dimostrando di soddisfare le aspettative esterne o eseguono il lavoro per cambiare le convinzioni e le pratiche per allinearsi meglio alle aspettative esterne.

Patti di sicurezza dimostrati in termini assoluti: un'organizzazione deve dimostrare la sicurezza secondo uno standard accettabile o deve affrontare una conclusione esterna che non sono sicuri<sup>52</sup>.

Una rappresentazione di sicurezza dimostrata è la preparazione di un caso di sicurezza, comune nelle strutture ferroviarie, della difesa e dei principali rischi. Un caso di sicurezza è un argomento strutturato, supportato da prove, inteso a giustificare che un sistema è accettabilmente sicuro per una specifica applicazione, in uno specifico ambiente operativo<sup>53</sup>.

I casi di sicurezza vengono preparati durante la progettazione di un sistema o di una struttura. Il funzionamento del sistema o della struttura nelle industrie pericolose è subordinato all'approvazione del caso di sicurezza da parte di un regolatore o di un valutatore di terze parti.

La produzione di casi di sicurezza implica lo svolgimento di molte attività di "garanzia", tra cui: l'analisi dei rischi, modellazione del progetto, valutazione del rischio, test del software e previsione dell'errore umano.

Queste attività hanno un duplice scopo, intese per aumentare la sicurezza operativa del progetto e per fornire prove che dimostrino la sicurezza, ma il linguaggio delle attività che è diretto alla loro dimostrazione piuttosto che al loro scopo operativo. Il successo è comunemente definito per ottenere l'approvazione, piuttosto che trovare e risolvere problemi di sicurezza operativa<sup>54</sup>.

Dimostrare la sicurezza attraverso la produzione di prove, è una forma di lavoro istituzionale strutturale. Gli standard professionali e governativi sono incorporati nei processi, nei moduli e nei modelli dell'azienda<sup>55</sup>.

### **2.4.1.3. Sicurezza Amministrativa**

La sicurezza amministrativa è l'attuazione di routine di sicurezza controllabili, ripetibili e misurabili. Come per la sicurezza dimostrata, le attività amministrative per la sicurezza sono una forma di lavoro istituzionale strutturale.

Per gestire le attività quotidiane, le organizzazioni devono tradurre obiettivi e traguardi in piani concreti, con chiare aspettative per ciò che è richiesto a tutti all'interno dell'organizzazione<sup>56</sup>.

Il discorso accademico e teorico crea confini nebulosi di tempo, spazio e categoria che devono essere considerati per comprendere le cause degli incidenti<sup>57</sup>; più si comprende come si verificano gli incidenti, meno si pretende di avere conoscenze e soluzioni definitive. La sicurezza amministrativa, al contrario, crea un confine finito attorno a ciò che dovrebbe e non dovrebbe essere considerato e stabilisce categorie e relazioni ben definite all'interno di quel confine<sup>58</sup>.

Il linguaggio della sicurezza amministrativa riflette: definizioni, standard, regole, responsabilità, confini del sistema e requisiti di ruolo. Obiettivi e valori vengono tradotti in pratiche che possono essere eseguite in modo standardizzato e che sono oggettivamente verificabili. La sicurezza amministrativa viene misurata attraverso la conformità interna e gli audit di accreditamento esterni.

La sicurezza amministrativa cresce documentando e rafforzando gli aspetti ostensivi delle routine in modo progressivamente più dettagliato. Alla fine i processi per documentare e rafforzare le routine stesse vengono istituzionalizzati come “Sistemi di gestione della sicurezza”. Le organizzazioni eseguivano lavori di sicurezza sociale, sicurezza dimostrata e sicurezza fisica molto prima che, la pratica dei processi di documentazione fosse diffusa<sup>59</sup>.

#### **2.4.1.4. Sicurezza Fisica**

La maggior parte del lavoro operativo, anche quando viene eseguito con obiettivi non di sicurezza, influisce sulla probabilità di un incidente. Alcuni lavori in prima linea, tuttavia, che non si verificherebbero se non fosse per problemi di sicurezza. Tale lavoro include:

- Installazione e manutenzione di barriere protettive, come protezioni per macchine;
- Posizionamento di marcatori e segnali, come coni stradali o segnali di pavimento bagnato;
- Fornitura e gestione di dispositivi di protezione individuale come guanti e occhiali;
- Installazione, test e monitoraggio di allarmi specifici per la sicurezza;
- Condurre test specifici per la sicurezza, come misurare l'atmosfera in uno spazio ristretto.



In quanto la sicurezza fisica modifica direttamente l'attività o l'ambiente di lavoro, ha il potenziale, per un nesso causale più diretto con la sicurezza operativa. Tutti gli altri tipi di lavoro di sicurezza devono prima influenzare la sicurezza fisica o il lavoro operativo al fine di modificare la sicurezza operativa. Ciò non significa necessariamente che una specifica attività di sicurezza fisica migliori la sicurezza operativa.

La sicurezza fisica viene solitamente discussa utilizzando termini fisici e metafore: pericoli, barriere e controlli; spesso intesa a operare riducendo la variabilità del lavoro operativo, ovvero prevenendo azioni non sicure, ma si può anche pensare che fornisca capacità extra ai lavoratori per svolgere il proprio lavoro in sicurezza.

#### **2.4.1.5. Sicurezza Operativa**

La sicurezza operativa è una proprietà emergente del lavoro. Alle volte, descritto come *“libertà da un rischio inaccettabile di danno”*, ma tale definizione pone seri problemi per il riconoscimento della sicurezza. Il *“rischio accettabile”* è concettualizzato attraverso la sicurezza sociale, misurato attraverso la sicurezza amministrativa e dichiarato attraverso la sicurezza dimostrata.

Quando si verifica un incidente mortale o catastrofico, la sicurezza operativa può essere misurata solo eseguendo lavori di sicurezza amministrativa, sicurezza sociale o sicurezza dimostrata. Anche una misura della sicurezza apparentemente oggettiva, come il numero di infortuni, richiede regole amministrative per l'identificazione, lo screening, la classificazione, il conteggio e la comunicazione. In pratica, è difficile tracciare una linea netta tra sicurezza sul lavoro e sicurezza operativa.

Un modo per separarli, è pensare ai meccanismi attraverso i quali il lavoro di sicurezza potrebbe migliorare o degradare la sicurezza operativa. La sicurezza operativa può davvero essere cambiata solo alterando le condizioni o i metodi con cui viene eseguito il lavoro operativo. Ciò significa svolgere un lavoro di sicurezza fisica o modificare ciò che pensano e credono i lavoratori, in modo tale da influenzare la condotta del lavoro operativo. In definitiva, la sicurezza operativa può essere modificata solo provocando un cambiamento nella materia o nell'energia nel punto in cui potrebbe verificarsi un incidente.

Un altro modo per distinguere chiaramente il lavoro di sicurezza dal lavoro operativo è considerare l'effetto della mancata esecuzione del lavoro. Mentre le attività di sicurezza sul lavoro (sicurezza sociale, dimostrativa, amministrativa e fisica) hanno un presunto meccanismo, attraverso il quale possono influire sulla sicurezza operativa, il lavoro di sicurezza è sempre discrezionale. Anche in assenza del lavoro di sicurezza, il lavoro operativo potrebbe comunque continuare.

#### **2.4.1.6. Interazione tra le Sicurezze**

Ogni tipo di sicurezza si interseca e ha una relazione ricorsiva con ciascuno degli altri aspetti. La sicurezza sociale si interseca con la sicurezza dimostrata quando, anche in assenza di richieste esplicite delle parti interessate, le organizzazioni cercano un riconoscimento esterno per le loro narrative interne sulla sicurezza.

La sicurezza amministrativa e la sicurezza dimostrata sono entrambe forme di lavoro istituzionale strutturale, ma sono rivolte a pubblici diversi. La sicurezza amministrativa mantiene un modello ostensivo a livello di organizzazione di altri tipi di lavoro. Ciò può rafforzare la sicurezza sociale attraverso la diffusione di linguaggio e simboli, sostenendo la sicurezza fisica e dimostrata attraverso modelli di lavoro stabiliti, ripetibili e misurabili.

La sicurezza amministrativa può ridurre la variabilità del lavoro operativo. In una certa misura, questo è positivo per la sicurezza operativa. La dimostrazione di sicurezza, essendo rivolta verso l'esterno, non si interseca con il lavoro operativo. Tuttavia, la normativa sulla sicurezza esterna dovrebbe in ultima analisi informare, guidare e applicare la sicurezza fisica e il lavoro operativo.

Nella misura in cui ciò è vero, le attività di sicurezza dimostrate richiedono innanzitutto attività sociali e amministrative. Se la pressione normativa si traduce nelle giuste pratiche amministrative e sociali, cioè attività che hanno funzioni strumentali, non solo funzioni performative, ma queste pratiche guideranno una maggiore sicurezza operativa.

C'è una tendenza nella regolamentazione che si allontana dai requisiti "prescrittivi" strumentali, verso requisiti performativi "basati sugli obiettivi"<sup>60</sup>. Questa tendenza può essere considerata positiva o negativa per la sicurezza operativa.

Da un lato, i requisiti basati sugli obiettivi richiedono esplicitamente prestazioni dimostrative più sofisticate, al punto che esiste una sotto-specialità della professione della sicurezza dedicata alla “garanzia” della sicurezza dimostrativa. Ciò può creare distanza tra la dimostrazione di sicurezza e il lavoro operativo. D’altra parte, la flessibilità della regolamentazione basata sugli obiettivi, può consentire alle organizzazioni di scegliere pratiche amministrative e di sicurezza fisica più efficaci nel raggiungimento della sicurezza operativa.

#### **2.4.2. Burocrazia, Istituzioni e Lavoro**

Con il termine burocrazia, ha una ripugnanza retorica nella letteratura sulla sicurezza, definito in diversi articoli di lettura come:

- “apprendimento sulla sicurezza e immaginazione contro le burocrazie della sicurezza nella progettazione del settore del traffico<sup>61</sup>”
- “l’anarchico della sicurezza: affidarsi all’esperienza umana e all’innovazione, riducendo la burocrazia e la conformità<sup>62</sup>”

In ogni caso, la burocrazia a un attributo positivo come: l’apprendimento, la competenza o l’adattabilità. Nella retorica e nel contenuto, i teorici della sicurezza si basano sul lavoro di Max Weber<sup>63</sup>.

Weber, scrivendo nella Germania post-Bismarck, considerava la burocrazia necessaria per l’esercizio efficiente del potere in una democrazia moderna; vedeva la burocrazia come segreta, impersonale, indispensabile e indistruttibile. Essa era inflessibile, è cambiata solo crescendo e consolidando il potere. Esisteva tuttavia, una relazione poco apprezzata e poco studiata tra la sicurezza del lavoro “burocratico” e la sicurezza operativa “reale”. Una direzione promettente per esplorare questa relazione è considerare il lavoro sulla sicurezza come un tipo di “lavoro istituzionale”<sup>64</sup>.

La teoria del lavoro istituzionale suggerisce che le istituzioni sono cresciute, sostenute e trasformate dal lavoro continuo di coloro che operano all’interno dell’istituzione. Una istituzione è quegli elementi, più o meno duraturi della vita sociale che influenzano il comportamento e le convinzioni degli individui fornendo modelli per l’azione, la cognizione e l’emozione.

Lawrence<sup>64</sup> scrive:

*“lo studio del lavoro istituzionale prende come punto di partenza un interesse per il lavoro: gli sforzi degli individui e degli attori collettivi per far fronte, tenere il passo, sostenere, demolire, armeggiare, trasformare o creare di nuovo le strutture istituzionali all’interno che vivono, lavorano, giocano e che danno loro ruoli, relazioni, risorse e routine.”*

La burocrazia della sicurezza è un tema che può beneficiare di una netta differenziazione tra sicurezza sul lavoro e sicurezza operativa; si riferisce a una crescita dell’ampiezza e della profondità delle attività amministrative di sicurezza. È un lavoro svolto per fornire all’organizzazione la fiducia che sta intraprendendo le azioni giuste, per soddisfare sia gli obblighi esterni che un impiego sociale basato sui valori per la sicurezza.

L’espansione della burocrazia della sicurezza è vista come un modo per le organizzazioni, di limitare il rischio di responsabilità legale, derivante da un incidente di sicurezza o non conformità<sup>57</sup>. Tuttavia, le attività amministrative per la sicurezza, sono viste come una forma di lavoro istituzionale strutturale, che svolgono uno scopo generale nel mantenere l’istituzione indipendentemente dalla minaccia.

Qualsiasi minaccia alla sicurezza genererà, attività su tutti gli aspetti del lavoro sulla sicurezza, indipendentemente dal fatto che sia:

- Minaccia alla sicurezza sociale.
- Minaccia alla sicurezza dimostrata.
- Minaccia per la sicurezza amministrativa.
- Minaccia per la sicurezza fisica.

Un’organizzazione gestisce, coordina e misura tali attività attraverso il lavoro amministrativo. Il lavoro strutturale è una preconditione per altri lavori istituzionali, compresi i miglioramenti operativi, ma non è di aiuto se richiede tanto tempo e attenzione che, l’organizzazione non si occupa mai dell’altro lavoro<sup>47</sup>.

Cloutier<sup>47</sup> rappresenta il lavoro istituzionale in quattro categorie:

- **Lavoro concettuale**, crea mantiene o sconvolge gli ideali normativi dell'istituzione, fornisce la comprensione collettiva di ciò che deve essere fatto e del motivo per cui è importante.
- **Lavoro strutturale**, organizza ruoli, regole, sistemi e risorse o fornisce certezza e prevedibilità.
- **Lavoro operativo**, costituito da azioni concrete che influenzano la vita quotidiana dei lavoratori in prima linea.
- **Lavoro relazionale**, costruzione della fiducia, dell'alleanza e della collaborazione interpersonale, consentendo alle persone di cooperare nell'esecuzione degli altri tipi di lavoro istituzionale.

La complessa relazione tra lavoro strutturale e lavoro operativo è ampiamente esaminata in altri campi<sup>56</sup>, ma solitamente rappresentata come una scelta tra struttura e agenzia. La distinzione tra i diversi aspetti della sicurezza aiuta anche a discutere la relazione tra sicurezza e garanzia.

La confusione tra sicurezza sul lavoro e sicurezza operativa porta a falsi allarmi, in quanto si nutre un indebita preoccupazione per rischi inesistenti o insignificanti e "false garanzie", dove c'è una fiducia mal riposta nella gestione del rischio per la sicurezza<sup>54</sup>.

I falsi allarmi e le false assicurazioni non sono automaticamente pericolosi, ma interferiscono con la capacità delle organizzazioni di concentrarsi sulla possibilità che potrebbero non essere al sicuro e di proteggersi dall'eccessiva sicurezza e da un'attenzione errata<sup>65</sup>.

### ***2.5. Minacce e incertezze sugli aspetti del lavoro sulla sicurezza***

Una minaccia o incertezza in qualsiasi aspetto del lavoro sulla sicurezza, richiede una risposta organizzativa; a meno che le persone non possano fare un'astuta distinzione tra diversi tipi di lavoro sulla sicurezza, l'organizzazione risponderà al "rischio per la sicurezza" con "attività per la sicurezza".

È probabile che ciò includa attività di sicurezza sociale, dimostrata, amministrativa e fisica, ma non cambierà necessariamente il lavoro operativo.

Un infortunio grave è un evento di lavoro operativo, che rivela una mancanza di sicurezza operativa, ma la risposta organizzativa agli incidenti va ben oltre il luogo di lavoro fisico. L'attività di sicurezza dimostrata, aumenta dato che le autorità di regolamentazione e stakeholder esterni, devono essere convinti che l'azienda può continuare a operare in sicurezza.

Il caso di sicurezza, l'argomento e la prova che il sistema è sicuro, deve essere "riparato" dalla produzione di nuove prove di sicurezza per rispondere alle preoccupazioni sollevate dall'incidente<sup>66</sup>.

L'attività di sicurezza sociale aumenta man mano che l'organizzazione cerca di ripristinare la fede nella propria bontà attraverso rituali di esclusione, ripristino e rafforzamento del valore<sup>49</sup>.

La frase che appare in molti rapporti di incidente è: "questo incidente era prevenibile" rivela che gli attori dell'organizzazione credono di dover conciliare la loro pretesa di mettere la sicurezza al primo posto con un incidente che non è stato prevenuto. La sicurezza amministrativa risponde agli incidenti creando nuove regole o rafforzando le regole esistenti attraverso una maggiore attività di compliance<sup>67</sup>.

Queste attività di sicurezza sociale e amministrativa dimostrate sono tutte risposte generalizzate a un evento o rischio potenzialmente molto più ristretto. In effetti, è possibile che la minaccia alla sicurezza operativa aumenti l'attività di sicurezza nelle altre dimensioni del lavoro di sicurezza, ma non porti a nessun nuovo lavoro di sicurezza fisica e nessuna modifica al lavoro operativo. Allo stesso modo, la creazione di una nuova "scuola di pensiero" è una minaccia per la sicurezza sociale

Una nuova scuola reinterpreta concetti e simboli, stabilendo la propria legittimità, delegittimando credenze e rituali esistenti. Se l'istituzione è sufficientemente perturbata, deve dimostrare di essere ancora impegnata per la sicurezza, abbracciando pubblicamente la nuova scuola e sostenendola presso gli stakeholder esterni.

Cercherà di trovare misurazioni delle prestazioni e pratiche standardizzate coerenti con il nuovo modo di pensare. Il lavoro operativo, può beneficiare delle nuove prospettive e della rinnovata attenzione alla sicurezza sul lavoro, anche se non necessariamente in proporzione al livello di attività di sicurezza sociale e amministrativa.

Le modifiche alla legislazione e alla regolamentazione sono minacce strutturali, che comprendono sia la sicurezza dimostrata che quella amministrativa. Fanno sì che i sistemi di gestione della sicurezza esistenti diventino non conformi. Diventare conformi può modificare le prestazioni di sicurezza fisica attraverso un cambiamento del luogo di lavoro.

## ***2.6.Salute e sicurezza nell'industria 4.0***

L'industria 4.0 in materia di salute e sicurezza sul lavoro, non è a priori né favorevole né sfavorevole, tutto dipende dalle modalità con cui vengono sfruttate le sue opportunità. Se prevarrà un approccio olistico, attento anche alle esigenze di salute e di sicurezza dei lavoratori, l'innovazione dell'Industry 4.0 comporterà notevoli vantaggi e miglioramenti per tutti.

Se invece prevarrà una visione puramente incentrata sugli aspetti economici, in un quadro non adeguatamente regolato, il rischio di un impatto negativo sulla salute dei lavoratori è invece possibile in diversi ambiti: come l'intensificazione del carico di lavoro o l'aumento di vincoli organizzativi.

Nel mezzo della crescita industriale, si sta tenendo in considerazione i cambiamenti negli imperativi di Sicurezza e Salute sul Lavoro? Le conseguenze OHS "Occupational Safety and Health Administration" dell'Industria 4.0 vengono valutate correttamente? Si rischia di perdere qualcuno dei guadagni ottenuti con approcci proattivi? Ci sono motivi razionali per grandi preoccupazioni?

È chiaro che se le tecnologie che guidano l'Industria 4.0 si sviluppano e le iniziative dei produttori sono isolate e frammentate, i pericoli si moltiplicheranno e l'impatto netto sulla Sicurezza e Salute sul Lavoro sarà negativo.

Con l'implementazione di importanti cambiamenti, i precedenti guadagni nella gestione preventiva della salute e sicurezza sul lavoro saranno a rischio. Se si vuole evitare di mettere in rotta di collisione il progresso tecnologico e la sicurezza, ricercatori, esperti sul campo e industriali dovranno collaborare per una transizione graduale verso l'Industria 4.0.

All'interno delle fabbriche intelligenti, il ruolo dei dipendenti cambierà in maniera significativa, in quanto il controllo è sempre più in tempo reale trasformerà il contenuto del lavoro, i processi, l'ambiente di lavoro e l'implementazione di un diverso approccio socio-tecnico all'organizzazione del lavoro, offrendo ai lavoratori l'opportunità di godere maggiore responsabilità e migliorare lo sviluppo personale.

La quarta rivoluzione industriale va ben oltre i concetti dell'inter-connettività e la produzione digitale. Nell'industria 4.0, le aziende digitalizzano le proprie risorse fisiche e la integrano negli ecosistemi digitali lungo tutta la catena del valore.

L'approccio che interseca la necessità di ripensare e adeguare la tutela dei lavoratori, rispetto a nuove tecnologie e ambienti di lavoro, determinano un'evoluzione in termini di modalità operative e rischi correlati, competenze e professionalità richieste, a mansioni ed occupazioni al modo di lavorare.

Alcune Industrie sono già in fase di rilevante diffusione come il lavoro agile. Invero si sta andando a velocità sostenuta verso un mondo interconnesso, nel quale molti lavori pesanti o ripetuti saranno automatizzati, i computer collegati in rete e i cloud potranno supportare il lavoratore in compiti complessi mentre la produzione di beni e servizi si interfacerà in tempo reale con le richieste di clienti ed utenti.

L'industria 4.0 permette di aumentare la produttività attraverso l'integrazione di sistemi digitali di produzione con analisi e comunicazione di tutti i dati generati all'interno di un ambiente intelligente.

Si andrà sempre di più verso a dei modelli organizzativo-gestionali e tecnico-operativi fondati su metodologie di processo innovative, quali il Total Quality Management, rinnovate e riadottate, quali il Lean Manufacturing e il Just in Time.

In ogni caso metodologie e soluzioni organizzative caratteristiche di processi fortemente orientati alla produttività, i cui lavoratori costituiscono il perno dei processi e dei modi di produzione veloce, senza sprechi con elevata efficienza e qualità.

In tal contesto diventa quindi necessario, investire nello sviluppo di una strategia per il Safety, andando a identificare e mitigare i rischi inerenti allo smart manufacturing.



Rende pertanto necessario un approccio alla sicurezza in una logica di Total Safety management, evidenziato sia dai modelli dei sistemi di gestione per la sicurezza e sia dai modelli di eccellenza per il rating della sicurezza, utilizzati per la valutazione delle imprese che partecipano ai premi per la salute e sicurezza.

L'industrializzazione ha creato un bisogno urgente e crescente di manodopera che, ha portato alla nascita di condizioni di lavoro in cui Uomini, Donne e Bambini, hanno rischiato la vita e l'incolumità fisica per guadagnarsi da vivere.

Tale trasformazione fa notare una coevoluzione della filosofia di produzione e dell'approccio alla salute e sicurezza sul lavoro (OHS). L'inesperienza della forza di lavoro e l'ignoranza dei datori di lavoro riguarda a ciò che oggi si chiama OHS, hanno inevitabilmente preso un tributo brutale, sotto la conseguente pressione pubblica, i legislatori sono stati costretti a intervenire con: Sindacati, leggi sul lavoro, regolamenti e standard, cominciando gradualmente ad emergere nei paesi industrializzati.

L'industria 4.0 sulla salute e sicurezza dei lavoratori, alla luce delle categorie tecnologie, ovvero:

- Big Data;
- Internet of Things;
- Sistemi cyber-fisici;
- Cobotica;
- Intelligenza artificiale;
- Simulazione al computer;

Hanno avuto una discussione ampia sugli effetti positivi e negativi<sup>68</sup>. Concetto che sta attirando sempre più l'attenzione di ricercatori esperti in diversi campi, nonostante il numero di pubblicazioni in materia della quarta rivoluzione industriale, pochi articoli sollevano in modo utile i problemi legati alla sicurezza sul lavoro. Ù

Kaivo-Oja<sup>69</sup> ha studiato gli effetti dell'Internet of Things, dei Big Data e di altre ondate tecnologiche chiave della quarta rivoluzione (robotica, intelligenza artificiale, ecc.) sulle pratiche manageriali nelle organizzazioni. Gli autori considerano questi fattori tecnologici come mezzi per rafforzare la produzione, ma raccomandano nuovi approcci all'analisi organizzativa al fine di adattare le loro pratiche manageriali in modo più efficace, comprese quelle associate alla salute e alla sicurezza.

Il recente sviluppo di sensori intelligenti, Internet delle cose, sistemi cyber-fisici e progressi nell'informatica hanno portato a numerosi tentativi di applicazioni per OHS.

Podgórski<sup>70</sup> rivela una vasta gamma di dispositivi di protezione individuale che utilizzano queste tecnologie. L'uso di dispositivi intelligenti di questo tipo ha apparentemente modificato i metodi di lavoro e aggiunto ulteriore complessità ai processi di produzione. Come soluzione a questi problemi incipienti, gli autori propongono un quadro concettuale OHS più dinamico, basato su un nuovo paradigma di gestione del rischio più personalizzato e dinamico.

Fernández e Pérez<sup>71</sup> notano che i processi di produzione avanzati possono generare nuovi rischi OHS ma che gli strumenti convenzionali di analisi del rischio occupazionale sembrano incapaci di identificare dei rischi emergenti. Per affrontare questo problema, gli autori designano di implementare nuovi modelli di analisi del rischio in grado di monitorare tutti i rischi OHS (convenzionali ed emergenti).

Nel frattempo, l'uso di sistemi cyber-fisici offre la promessa di adattare i sistemi industriali alle mutevoli condizioni ambientali grazie a un processo decisionale autonomo<sup>72</sup>. Nell'automazione dei processi industriali, la ricerca e l'adozione di un sistema cyber-fisico deve tener conto delle limitazioni di sicurezza che riducono i rischi tecnici a un livello tollerabile, che deve essere definito in standard aggiornati, per un migliore adattamento a un ambiente autonomo e intelligente.

Il messaggio più importante dello studio di Siemieniuch<sup>73</sup> è che OHS nel contesto dell'Industria 4.0, discute di un contributo significativo della ricerca sull'ergonomia e sui fattori umani. Ciò potrebbe essere basato principalmente su notevoli vantaggi associati ai sistemi cyber-fisici.

Si sottolineano il ruolo principale degli ergonomisti e degli ingegneri nella progettazione e nel funzionamento di nuovi sistemi e processi, nonché nella riduzione degli effetti indesiderati causati dai cambiamenti di paradigma industriale.

Nello stesso contesto, Beetz<sup>74</sup>, solleva il problema associato all'uso dei cobot e alla loro stretta interazione con i lavoratori a supporto di compiti difficili e pericolosi; sottolineando l'importanza di sviluppare robot attenti alla sicurezza che riconoscono azioni che potrebbero causare lesioni o minacciare la sicurezza dei lavoratori.

Per un'interazione sicura ed efficace, tali robot devono essere dotati di programmi complessi che consentano loro di ragionare e comprendere le intenzioni dei lavoratori nelle loro vicinanze.

Mattsson<sup>75</sup> sottolinea che l'Internet delle cose e i *Big Data*, evidenziano enormi sfide in cui l'obiettivo è analizzare e utilizzare le informazioni che circolano in una fabbrica. Sollevano interrogativi sul modo più appropriato di utilizzare e integrare tali informazioni e nuove tecnologie al fine di migliorare le prestazioni e la prevenzione degli incidenti. Tuttavia, vedono anche numerose opportunità per automatizzare il monitoraggio di un'ampia gamma di informazioni sul posto di lavoro (ad es. Polso, emozioni, attività, temperatura, ecc.).

Palazon<sup>76</sup> suggerisce che la comunicazione wireless ha un ruolo significativo da svolgere nel miglioramento delle condizioni di lavoro. Reti di sensori wireless con supporto tecnologico ben progettato e adeguatamente integrato prevengono gli incidenti in contesti industriali autonomi e intelligenti.

Le recenti tecnologie associate alla produzione intelligente offrono opportunità per la manutenzione e la gestione degli asset attraverso lo sviluppo di nuove strategie decisionali<sup>77</sup>. Le tecnologie dell'informazione e la comunicazione, forniscono strumenti per analizzare i *Big Data* in modo più veloce, autonomo e in tempo reale. Combinando i dati storici con i dati attuali, il processo decisionale in tempo reale durante tutto il processo di produzione può essere migliorato e avrà un impatto positivo sulle prestazioni, la sicurezza, l'affidabilità e la sostenibilità dei sistemi industriali<sup>78</sup>.

### **2.6.1. Sfide alla nuova organizzazione del lavoro**

Gli industriali che implementano fabbriche intelligenti, desiderano limitare i rischi inerenti alla pianificazione, identificare gli effetti che il nuovo assetto avrà sui lavoratori, evitare di dover riprogettare le attrezzature, ottimizzare l'utilizzo delle risorse, eliminare gli sprechi e aumentare le prestazioni e la flessibilità<sup>79</sup>.

I sistemi di produzione dell'Industria 4.0 sono in costante aumento in complessità<sup>80</sup>, è particolarmente evidente in termini di crescente interazione tra il contenuto del lavoro (varietà, ciclo, abilità, incertezze, esposizione, ecc.), Organizzazione (pianificazione

del team, straordinari, ordini urgenti, ecc.), Gestione (responsabilità, comunicazione, ruoli, relazioni, problem solving, ecc.) e altri fattori organizzativi (promozione e aumenti salariali, sicurezza del lavoro, valore sociale del lavoro, ecc.).

Leka e Jain<sup>81</sup> notano, che queste interazioni sono alla base di diversi tipi di rischi sul posto di lavoro, in particolare quelli nella categoria psicosociale. Ingegneri e progettisti di sistemi di produzione avanzati spesso trascurano rischi di questo tipo, che possono diventare i più importanti da gestire. Va notato anche che i rischi psicosociali sono già diventati una sfida importante in termini di legislazione e sistemi di gestione della Sicurezza sul lavoro.

Competenze insufficienti e lavoratori sulle curve di apprendimento amplificano i problemi di produzione. Un altro importante problema che le imprese dell'Industria 4.0 devono affrontare a questo proposito è quello della formazione dei lavoratori esistenti e del reclutamento di nuovi lavoratori che sono meglio attrezzati per apprendere<sup>82</sup>. Nel frattempo, abonderà un'ampia varietà di rischi professionali.

Per funzionare efficacemente nell'Industria 4.0, i lavoratori dovranno acquisire un'ampia gamma di competenze abbastanza specifiche. Dovranno combinare competenze convenzionali associate a compiti con competenze informatiche<sup>82</sup>.

L'acquisizione di tali competenze può essere complicata per una forza lavoro che invecchia che non ha almeno una formazione scolastica minima<sup>83</sup>. I lavoratori dovranno essere più motivati e aperti al cambiamento. Dovranno essere più flessibili per collaborare in modo più efficace e dovranno accettare la formazione continua<sup>84</sup>.

Modelli di pianificazione e organizzazione opportunamente adattati, dovrebbero servire come nuova base per la gestione di questa complessità crescente<sup>85</sup>. Strumenti innovativi sono necessari per sviluppare tali modelli e dovrebbero essere messi a disposizione degli industriali<sup>86</sup>, che sono in grado di applicare i risultati della ricerca scientifica, anche se il loro obiettivo non è probabilmente l'avanzamento dell'Industria 4.0.

Sebbene una maggiore interazione e collaborazione tra lavoratori e macchine sia la base dell'Industria 4.0<sup>87</sup>, non significa semplicemente più interfacce di controllo uomo-macchina, ma nuovi modi di condividere le attività al fine di completare operazioni complesse più rapidamente<sup>88</sup>.

Per evitare di creare pericoli imprevedibili nell'ambiente di produzione, sarà necessaria una pianificazione più attenta delle attività e un chiarimento più completo dei limiti di ogni partecipante.

### **2.6.2. Gestione OHS**

Il framework per la gestione OHS, è stata sviluppata per guidare le pratiche nel settore aziendale. Va notato che l'ispirazione per questi quadri è venuta principalmente dal concetto di qualità totale. Per definizione, basati su un modello di miglioramento continuo, questi framework dovrebbero essere più flessibili e quindi più adatti a seguire i cambiamenti portati dall'Industria 4.0.

L'integrazione dell'OHS ha un effetto complessivamente favorevole sulla produttività e sui costi nell'industria<sup>89</sup>. Si nota anche una correlazione positiva tra la produttività e l'implementazione delle misure OHS<sup>90</sup>.

Va sottolineato che l'aumento della produttività e dell'efficienza dei sistemi industriali, non è in conflitto fondamentale con l'implementazione o il mantenimento dei sistemi di gestione della sicurezza. Inoltre, la maggior parte delle aziende che hanno iniziato a creare impianti di produzione intelligenti e connessi hanno già una consolidata cultura della prevenzione degli incidenti. È il caso delle case automobilistiche (Renault, Volkswagen, ecc).

La loro svolta verso l'integrazione OHS e la sana gestione dell'ambiente è iniziata molto tempo fa in tutte le loro catene logistiche<sup>91</sup>. All'interno di un rigoroso quadro legislativo, questi vantaggi in OHS non andranno persi facilmente nonostante i possibili difetti delle nuove tecnologie.

Gli standard di gestione OHS aiuteranno senza dubbio gli industriali a convertirsi senza problemi a sistemi autonomi e intelligenti. Tra i vantaggi da realizzare vi sono una ridotta documentazione e una maggiore sinergia tra tutti i processi manageriali<sup>92</sup>. Ciò contribuirà a superare ostacoli quali: errori nell'assegnazione di priorità ai rischi e difficoltà nell'organizzazione di azioni preventive in sistemi di gestione automatizzati e dinamici.

I sistemi di gestione OHS hanno la reputazione di strutture non sufficientemente flessibili.

I ricercatori dovranno rivolgere la loro attenzione al miglioramento dell'agilità di questi sistemi al fine di renderli adattabili a processi industriali sempre più complessi, flessibili e autonomi.

## ***2.7. Gestione del Rischio***

La gestione dei rischi OHS, comprese le fasi di identificazione, analisi e valutazione, può essere vista come uno strumento decisionale, utilizzato per migliorare l'anticipazione dei rischi noti e che potrebbero avere un impatto sugli obiettivi aziendali e sui controlli già in atto.

Sebbene il rischio possa essere valutato in tutte le fasi del ciclo di vita di un sistema industriale, l'identificazione del rischio è sempre più rilevante e più redditizia quando è incorporata nella progettazione stessa del progetto industriale, nuove tecnologie, attrezzature, processi, procedure e così via<sup>93</sup>. Infatti, più un progetto matura, minore è la latitudine decisionale che i manager hanno per elaborare i rischi e di conseguenza maggiore sarà il costo finanziario di questa elaborazione<sup>94</sup>. Infine, l'opzione scelta dipenderà da ciò che gli amministratori intendono ottenere con l'iniziativa, dal livello di dettaglio ricercato e soprattutto dalla disponibilità e affidabilità dei dati utilizzati.

Secondo lo standard ISO / IEC 31010, le tecnologie utilizzate devono in tutti i casi essere adeguatamente adattate al contesto di quella particolare attività e fornire risultati leggibili, tracciabili, riproducibili e verificabili; poiché i nuovi dispositivi di controllo, l'analisi dei dati in linea e l'Internet delle cose, continuano a rendere i macchinari e i sistemi industriali sempre più autonomi.

Molti esperti del settore e fornitori di tecnologie, rassicurano che gli errori di processo saranno eliminati<sup>95</sup>. Con un'automazione ampia e, in definitiva, completa degli stabilimenti, diventa possibile ridurre sia i rischi OHS che le carenze o i difetti nella catena del valore<sup>96</sup>.

Questi sistemi saranno dotati di mezzi tecnici per il monitoraggio di tutti i parametri che hanno una qualche relazione con il processo <sup>70,74-76</sup>.

I robot stanno diventando più veloci e più precisi e occupano sempre meno spazio.

Presto avranno la capacità di muoversi, gestire materiali, rispondere a un ambiente dinamico<sup>87,97</sup>, seguire protocolli intuitivi e utilizzare tecnologie di navigazione e percezione all'avanguardia per riconoscere i loro compiti e i loro dintorni<sup>74</sup>.

I tempi di fermo macchina e la manutenzione potrebbero essere notevolmente ridotti se i sistemi intelligenti dovessero prevedere le esigenze di manutenzione<sup>77</sup>. I costi e gli errori potrebbero essere ridotti grazie alla simulazione dei processi in modo più accurato prima di costruire il sistema di produzione.

La produzione potrebbe essere definita per soddisfare la domanda reale piuttosto che quella prevista, riducendo così gli sprechi, lo stress lavoro-correlato e di conseguenza gli infortuni sul lavoro<sup>98</sup>. A controbilanciare questo ottimismo ci sono domande riguardanti l'emergere dell'interazione tra rischi tecnici in un ambiente così complesso<sup>99</sup>. Ricercatori ed esperti, mettono in guardia da decenni sui potenziali rischi associati alle nuove tecnologie<sup>100</sup>. Uno dei problemi più ampiamente documentati riguarda l'ergonomia delle interfacce di controllo e delle interazioni uomo-macchina.

Fino a poco tempo, i robot erano confinati in spazi protetti e spostati secondo sequenze programmate e precedentemente testate e convalidate. I rischi associati erano relativamente facili da identificare e controllare. In confronto, i cobot più flessibili e mobili che eseguono tutti i tipi di attività in stretta interazione con i lavoratori rappresentano una gamma molto più ampia di rischi molto meno prevedibili.

Nonostante l'autonomia e la presunta intelligenza delle apparecchiature intelligenti, potremmo ritrovarci ad espandere la continua discussione sulle cause dell'errore umano per includere "l'errore della macchina intelligente". Va sottolineato che l'affidabilità di tali dispositivi diventa sempre più difficile da prevedere con l'aumentare della complessità dell'ambiente circostante.

Prima dell'era digitale, esperti sul campo in prevenzione degli infortuni raccoglievano dati, osservavano operazioni e analizzavano i comportamenti al fine di migliorare le condizioni di lavoro.

In pratica, il punto di partenza delle iniziative preventive sono sempre i bisogni umani così come percepiti nelle opinioni di lavoratori e dirigenti. Nell'era digitale, la raccolta dei dati dovrebbe essere solo più facile, poiché le apparecchiature sono ora in grado di registrare e archiviare enormi quantità di informazioni.

Tuttavia, resta il compito di determinare quali dati siano effettivamente utili per migliorare la prevenzione degli incidenti. Prima di intraprendere un'azione preventiva o correttiva, i pericoli devono essere identificati attraverso una gestione rigorosa delle informazioni<sup>101</sup>. Devono essere analizzate numerose fonti di dati di diverso tipo. Questa gestione è spesso delegata a un team composto da esperti in diversi settori, che devono collaborare.

Una delle sfide della gestione del rischio dell'Industria 4.0 sarà superare le difficoltà di una corretta identificazione dei fattori di rischio e mantenere la disponibilità di esperti in materia, che saranno sempre meno presenti in officina. Il concetto di gestione del rischio in tempo reale diventerà molto rilevante anche in contesti industriali molto dinamici<sup>70,97,102</sup>.

## ***2.8.Salute e sicurezza sul Lavoro & Digital twin***

Il Digital Twin è una rappresentazione virtuale di entità fisiche di spazi, di oggetti, di persone e di documenti. È creato per una gestione intelligente di un processo o di un progetto con l'obiettivo di ridurre l'intervento dell'uomo, nelle attività operative relative alla gestione delle operazioni, alla sicurezza ed al controllo qualità.

Le tecnologie abilitanti che consentono questa accelerazione digitale sono tutte quelle che afferiscono alla sfera dell'Industria 4.0, ovvero:

1. Sensori a bordo delle macchine o sensori ambientali;
2. Sistemi di automatizzazione;
3. Device che consentono alle persone di registrare informazioni digitalmente come smartphone, tablet o lettori a codici a barre;
4. Piattaforme cloud per la raccolta e le condivisioni delle informazioni;
5. Soluzioni di monitoraggio, analytics e intelligenza artificiale a supporto dei processi decisionali.



## ***2.9.Salute e sicurezza nella resilienza***

Parlare della competenza della resilienza nel lavoro, significa parlare in modo significativo della responsabilità che ogni organizzazione, ha nel garantire stabilità nel tempo. La resilienza riferendosi a qualsiasi scenario, è di grande utilità per conoscere quanto resilienti siano i collaboratori e se è necessario sviluppare tale aspetto nei lavoratori.

Un lavoratore resiliente ha un'alta capacità di valutazione della propria vita lavorativa e sa stabilire rapporti soddisfacenti con i propri colleghi di lavoro, riuscendo a mantenersi ad una certa distanza dai problemi, ma senza isolarsi, restando determinato nel raggiungere i propri obiettivi.

Nell'ambito della prevenzione, conoscere il grado di resilienza di un lavoratore, permette di distinguere lo stress sano da quello cattivo. Quando diversi fattori di stress colpiscono l'ambito lavorativo, è il lavoratore resiliente che permette di analizzare la situazione ed innescare la reattività necessaria.

Fare sicurezza, nell'ottica della resilienza, si basa su alcune considerazioni di fondo:

1. L'ambiente di lavoro ha caratteristiche di complessità, ove gli incidenti spesso accadono non per semplice colpa attribuibile a un singolo essere umano o per fatti che seguono una catena lineare causa-effetto, ma per concatenazione di fattori di natura spesso diversa.
2. L'errore umano è una fonte di apprendimento essenziale; riportare l'errore al capo reparto o all'organizzatore, è importante perché solo conoscendo gli errori si potrà fare una reale opera di prevenzione.
3. Un'azienda resiliente supera lo studio della cultura di colpa per orientarsi verso la cultura della sicurezza, caratterizzata dalla capacità di apprendere dell'esperienza, e tale lo si può ottenere impostando nuove regole o nuove forme di management.

Uno degli approcci più recenti sulla resilienza organizzativa è quello della Resilience Engineering, nasce negli anni 2000<sup>103</sup>. Tale termine vuole indicare un nuovo modo di studiare la sicurezza in ambito lavorativo, in particolare nel contesto dei sistemi socio tecnici complessi.

Per la Resilience Engineering gli incidenti non sono considerati come collassi o malfunzionamenti di un sistema altrimenti “normale”, ma come variazioni di performance. La performance “normale” di un sistema non differisce quindi qualitativamente da quella “anormale”: l’incidente emerge dall’interazione, in parte non prevedibile, dalla variabilità di funzionamento dei singoli elementi che compongono il sistema stesso.

### ***2.10. Sicurezza strutturale come difesa Sociale e Legale***

Con l’espansione delle aspettative sociali e legali in materia di sicurezza, la direzione e i lavoratori, hanno sviluppato una maggiore paura delle conseguenze sociali e normative degli incidenti di sicurezza operativa. Le conseguenze sociali e legali degli incidenti, per alcuni, sono considerate gravi quanto le conseguenze umane.

Le organizzazioni e gli individui temono di “non fare tutto ciò che avrebbero dovuto fare”. Questa è una paura molto razionale, perché se si verifica un incidente l’organizzazione, per definizione, non avrà fatto abbastanza per prevenire l’incidente. Il meglio che possono sperare è di aver fatto tutto ciò che ci si poteva ragionevolmente aspettare che facessero.

La preoccupazione può essere affrontata facendo appello alla metodologia. La costruzione amministrativa di regole e responsabilità, fornisce un modo per fare la cosa sicura, anche se quelle azioni non hanno impedito un incidente.

Wastell<sup>104</sup> suggerisce che in ambienti organizzativi complessi, la metodologia agisce come una “difesa sociale”. Il processo decisionale individuale, con tutta la sua incertezza e ansia che ne derivano, diventa subordinato a metodi e processi strutturati. L’attrattività dei metodi definiti formalmente crea un forte circuito di feedback tra sicurezza amministrativa, sociale e dimostrata.

Rituali e valori diventano metriche. Le prove di conformità e le misurazioni culturali vengono utilizzate nei casi di sicurezza e nelle pubbliche relazioni d’attività. Alle procedure amministrative viene attribuito un valore sociale simbolico come “regole d’oro” e “elementi essenziali per la sicurezza”.

Quando c'è un forte circuito di feedback tra l'attività amministrativa e le rappresentazioni simboliche, diventa socialmente e politicamente rischioso per un'organizzazione, rimuovere qualsiasi delle loro attività amministrative, anche quando viene fornito con prove concrete che l'attività non ha alcun legame identificato con la sicurezza operativa.

Questo ciclo di feedback va anche nella direzione opposta, ad esempio quando la cultura della sicurezza, come rappresentazione del lavoro di sicurezza sociale, viene misurata e verificata amministrativamente<sup>105</sup>. Questa "prova" amministrativa della cultura della sicurezza può quindi essere utilizzata come parte della dimostrazione della sicurezza alle parti esterne.

Le parti interessate come le autorità di regolamentazione iniziano ad aspettarsi, o addirittura a richiedere tali prove. L'autorità di regolamentazione rende esplicita questa richiesta fornendo informazioni, strumenti, workshop, raccomandazioni e persino attività di conformità e regolamentazione, tutti volti a rafforzare l'attività di cultura della sicurezza<sup>106</sup>.

L'uso della sicurezza strutturale come meccanismo di difesa sociale e legale consente al lavoro di sicurezza di diventare un lavoro istituzionale che si auto-rinforza e si auto-conserva, indipendentemente da qualsiasi legame con la sicurezza operativa.

## ***2.11. Testo unico***

Il testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, è un complesso di norme della Repubblica Italiana, emanate con il decreto legislativo del 9 aprile 2008 n.81.

Il testo unico è stato elaborato recependo le direttive comunitarie che, si basano sul principio della programmazione e della partecipazione di tutti i soggetti coinvolti nel processo di miglioramento, delle condizioni di prevenzione e tutela della salute sul luogo di lavoro. Il testo elenca le misure generali di tutela del sistema di sicurezza aziendale, che vengono poi integrate dalle misure di sicurezza previste per specifici rischi o settori di attività .

Un ruolo fondamentale è svolto dalle attività formative, rivolte ai lavoratori, nonché alle diverse figure interessate alla materia della sicurezza e prevenzione sul luogo di lavoro.

La formazione è un perno fondamentale della normativa e poggia sull'assunto che più persone, svolgano correttamente il proprio lavoro, riducendo i problemi derivanti dalla sicurezza del lavoro stesso.

### **2.11.1. Organizzazione del servizio di prevenzione e protezione**

Il servizio di prevenzione e protezione è l'insieme delle persone, sistemi e mezzi interni o esterni all'azienda, incaricati dell'attività di prevenzione e protezione dai rischi professionali dell'azienda.

L'istituzione del servizio di prevenzione e protezione all'interno dell'azienda, è comunque obbligatoria nei casi:

- a) Aziende industriali;
- b) Centrali termoelettriche;
- c) Impianti ed installazioni;
- d) Aziende per la fabbricazione ed il deposito separato di esplosivi, polveri e munizioni;
- e) Aziende industriali con oltre 200 lavoratori;
- f) Industrie estrattive con oltre 50 lavoratori;
- g) Strutture di ricovero e cura pubbliche e private con oltre 50 lavoratori.

I casi definiti dalla normativa dell'articolo 31 e segg., del decreto legislativo 81/2008, i compiti del servizio prevenzione e protezione, può essere svolto direttamente dal datore di lavoro.

Inoltre il datore di lavoro può designare il responsabile:

- Il datore di lavoro stesso, tranne nei casi in cui è obbligatoria la nomina di un responsabile del servizio di prevenzione e protezione interno;
- Un socio, anche se privo di rappresentanza legale;
- Un dipendente;
- Un soggetto esterno all'azienda.

Nelle imprese o nelle unità produttive fino a 5 lavoratori, il datore di lavoro può svolgere direttamente i compiti di primo soccorso, nonché di prevenzione incendi e di evacuazione, anche in caso di affidamento dell'incarico di responsabile del servizio di prevenzione e protezione, a persone interne all'azienda o all'unità produttiva o servizi esterni di prevenzione e protezione, a persone interne all'azienda o all'unità produttiva, fornendo una preventiva informazione al rappresentante dei lavoratori per la sicurezza.

### **2.11.2.Soggetti interessati**

I principali soggetti interessati dal testo unico sulla sicurezza sul lavoro sono:

- Il datore di lavoro, che viene definito come il soggetto titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore. In particolare il legislatore lo ha definito il più possibile univoca, in modo da evitare possibili elusioni derivanti da un'errata interpretazione della normativa.

A tal fine per i fini di sicurezza, per il datore di lavoro si intende chiunque sia al vertice dell'organizzazione del lavoro e dell'attività produttiva, a prescindere da qualsiasi forma di investitura formale.

- Il lavoratore si intende qualsiasi prestatore di lavoro a prescindere dalla tipologia di contratto utilizzato, a prescindere dall'effettiva esistenza di un regolare contratto di lavoro.

### **2.11.3.Adempimenti del testo unico sulla sicurezza**

I principali adempimenti indicati dal decreto legislativo 81 del 9 aprile 2008, che tutte le aziende devono rispettare, anche quelle con un solo dipendente sono:

- Documento valutazione rischi;
- Nomina del responsabile del servizio di prevenzione e protezione dai rischi professionali;
- Designazione e formazione del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza;
- Designazione e formazione squadra antincendio;
- Designazione e formazione addetti squadra primo soccorso;
- Nomina del medico competente.

#### **2.11.4. Valutazione dei rischi e pericoli**

La valutazione dei rischi consiste in:

- Individuare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, compresi quelli riguardanti lavoratori esposti a rischi particolari, tra cui quelli: collegato allo stress lavoro-collegato, le lavoratrici in stato di gravidanza e quelli connessi alle differenze di genere, età e provenienze da altri paesi;
- Nell'indicazione delle misure di prevenzione e protezione attuate per eliminare o ridurre ove sia impossibile eliminare, i rischi individuali e dei dispositivi di protezione individuali;
- Nell'indicazione del programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza

La valutazione dei rischi è redatta in forma scritta. Deve avere data certa o, in alternativa essere sottoscritta dal datore di lavoro e dal responsabile di prevenzione, contenente:

- L'indicazione del nominativo del responsabile del servizio di prevenzione e protezione, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, del medico competente qualora fosse previsto.
- Le procedure per l'attuazione delle misure da realizzare nonché i ruoli dell'organizzazione aziendale che vi debbono provvedere.
- Individuazioni delle mansioni che eventualmente espongono i lavoratori a rischi specifici che richiedono una riconosciuta capacità professionale, specifica esperienza, adeguata formazione e addestramento.

Nella valutazione dei rischi devono essere presi in considerazione tali aspetti:

- Ambienti di lavoro;
- Attrezzature di lavoro;
- Impianti tecnologici;
- Mansioni di lavoro;
- Sostanze presenti o utilizzate.

La valutazione dei rischi è obbligo gravante sul datore di lavoro e non è delegabile ad altro soggetto. Svolta dal datore di lavoro in collaborazione con il responsabile del servizio di prevenzione e protezione e con il medico competente se designato.

Deve prendere in esame tutti i possibili rischi e pericoli per la salute e la sicurezza dei lavoratori e rispettare le indicazioni specifiche previste nel decreto a:

- Movimentazione manuale dei carichi;
- Utilizzo di videoterminali;
- Esposizione ad agenti fisici;
- Esposizione ad agenti chimici;
- Esposizione amianto;
- Esposizione ad agenti biologici;
- Lavoro in atmosfere esplosive.

Il documento di valutazione dei rischi, deve essere rielaborato:

- In occasioni di modifiche del processo produttivo o dell'organizzazione del lavoro significativo ai fini della salute e sicurezza dei lavoratori;
- In relazione al grado d'evoluzione della tecnica, della prevenzione e protezione;
- In occasione di infortuni significativi;
- Quando i risultati della sorveglianza sanitaria ne evidenzino la necessità.

La valutazione dei rischi deve essere effettuata tenendo conto, dei rischi da stress lavoro-correlato, secondo i contenuti dell'accordo europeo. La valutazione del rischio da stress è parte integrante della valutazione dei rischi e deve essere effettuata dal datore di lavoro avvalendosi del Responsabile del Servizio di prevenzione e protezione, con il coinvolgimento del medico competente, previa consultazione del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, indicando un percorso logico inteso a permettere una corretta identificazione dei fattori di rischio da stress, consentendo al datore di lavoro la pianificazione e la realizzazione di misure di eliminazione o, quando essa non sia possibile, di ridurre al minimo tale fattore.

La valutazione si articola in due fasi, una necessaria che è la valutazione preliminare, l'altra è da attivare nel caso in cui la valutazione preliminare riveli elementi di rischio da stress e le misure di correzione adottate dal datore di lavoro, si rivelino inefficaci.

La valutazione preliminare, consiste nella rilevazione da parte del datore di lavoro, di indicatori oggettivi e verificabili, ove possibile numericamente apprezzabili, appartenenti quanto meno a tre distinte famiglie:

- Eventi sentinella. Ad esempio indici infortunistici, assenza per malattia; segnalazione dal medico competente; specifiche e frequenti lamentele formalizzate da parte dei lavoratori.
- Fattori di contenuto del lavoro. Ad esempio, l'ambiente di lavoro e attrezzature, carichi e ritmi di lavoro, orari di lavoro.
- Fattori di contesto del lavoro. Ad esempio, ruolo nell'ambito dell'organizzazione, conflitti interpersonali al lavoro; evoluzione e sviluppo di carriera; comunicazione.

In questa fase possono essere utilizzate le liste di controllo applicabili anche da soggetti aziendali della prevenzione che consentono la valutazione oggettiva e complessiva.

Laddove nella valutazione, non emergano elementi di rischio di stress, tali da richiedere un'azione correttiva, il datore di lavoro sarà unicamente tenuto a darne conto nel documento di Valutazione del rischio. Nel caso in cui si rilevino elementi di rischio da stress, tali da richiedere il ricorso ad azioni correttive, si procede alla pianificazione ed all'adozione di opportuni interventi correttivi .

Nel caso in cui gli interventi correttivi risultino inefficaci, si procede, nei tempi che la stessa impresa definisce nella pianificazione degli interventi, alla fase della valutazione approfondita.

La valutazione approfondita prevede la valutazione della percezione soggettiva dei lavoratori, ad esempio attraverso differenti strumenti quali questionari, interviste, focus group. Tale fase fa riferimento a gruppi omogenei di lavoratori rispetto ai quali sono state rilevate problematiche.



## ***2.12. Conclusione***

Teorie contemporanee sulla sicurezza, tentano di delegittimare il lavoro di sicurezza non fisica al fine di ridurre la burocrazia e di aumentare gli sforzi organizzativi sulla sicurezza operativa.

Tali approcci hanno avuto un successo limitato a causa del fallimento, nel riconoscere la complessità sociale delle organizzazioni moderne.

Comprendere che il lavoro sulla sicurezza è un lavoro istituzionale che, per scopi oltre il raggiungimento della sicurezza operativa, è importante sia per coloro che cercano di capire perché le pratiche di sicurezza di come sono oggi, sia per coloro che cercano di cambiare le pratiche di sicurezza, che per creare un legame più forte nella sicurezza sul lavoro.

Con la venuta dell'industria 4.0 e l'ascesa di tecnologie digitali, è considerata un mezzo per rispondere alla mutevole domanda dei consumatori in modo rapido ed efficiente. Le tecnologie che guidano l'industria 4.0 sviluppate, e le iniziative dell'OHS dei produttori rimangono isolate, i rischi sul posto di lavoro si moltiplicheranno durante il periodo di transizione, la prevenzione sugli incidenti precedentemente migliorati saranno offuscati.

## 3. Questionari Semi-Strutturati

### *3.1. Che cosa sono i Questionari*

Nell'indagine quantitative, il questionario è lo strumento intorno al quale ruota la raccolta dati, la scelta delle domande, la loro formulazione, la successione nel proporre; hanno un'influenza rilevante sulle risposte ottenute e quindi sulla qualità delle informazioni.

Un altro metodo ampiamente utilizzato in sostituzione, o molto spesso accanto al questionario, è l'intervista, che può essere effettuata anch'essa in modo strutturato e semi-strutturato o come colloquio in profondità, cioè come libera narrazione dell'esperienza dell'intervistato.

Il questionario rappresenta lo strumento tipico di rilevazione dell'informazione nell'ambito delle indagini con campioni rappresentativi di popolazione. Più precisamente, i caratteri della standardizzazione e delle strutture qualificano il questionario delle Survey "sondaggio", realizzate negli studi di tipo trasversale, più utilizzati nelle scienze sociali.

La standardizzazione fa riferimento alla tecnologia dello stimolo-risposta nella somministrazione della strumentalizzazione della chiusura delle risposte e delle domande da sottoporre agli intervistati.

Per quanto concerne il concetto di standardizzazione, lo stimolo deve essere somministrato in modo uniforme a tutti gli intervistati, in modo che tutti possano rispondere secondo la stessa formulazione del quesito, rispetto alla strutturazione; le domande devono prevedere una risposta di tipo chiuso, cioè, modalità di risposta predefinita del quesito. Nel caso preveda anche alcune domande a risposta aperta si parla di strumento semi-strutturato.

Il questionario Strutturato o questionario chiuso, prevede l'uso escluso o prevalente di risposte fisse, pre-codificate, particolarmente idonee nelle indagini su campionature molto ampie.

Il questionario non Strutturato o Aperto, fa ricorso a domande aperte, sollevando questioni a cui l'intervistato deve sforzarsi di dare una risposta personale e non condizionata dall'ottica del ricercatore.

Il questionario Semi-Strutturato, viene formulato in modo da lasciare una certa libertà alle risposte dell'intervistato seppure all'interno di griglie pre-strutturate dal ricercatore.

### ***3.2. Questionario semi-strutturato***

Un Questionario semi-strutturato, viene formulato in modo da lasciare una certa libertà alle risposte dell'intervistato, ponendo domande predefinite, mentre il resto delle domande non sono pianificate in anticipo.

Nelle interviste semi-strutturate, alcune domande vengono poste in modo predeterminato a tutti gli intervistati campione, mentre altre sorgono spontaneamente in una conversazione a flusso libero.

All'interno di un questionario Semi-Strutturato vi sono:

- Compresa un misto di domande chiuse e aperte;
- Sono comunemente usati dove è necessario raccogliere un'ampia gamma di risposte diverse dagli intervistati, come ad esempio un'indagine di mercato;
- Per l'utilizzo di raccogliere un mix di informazioni qualitative e quantitative.
- Somministrate sia per via telematica, telefonica che per dialogo.

### ***3.3. Costruzione del questionario***

La costruzione del questionario, richiede decisioni su alcuni aspetti chiave, che sono:

- La scelta del tipo di domande, che possono essere:
  - o Aperte;
  - o Chiuse;
  - o Filtro, cioè che rappresenta uno sbarramento alle domande successive;
  - o Di Controllo, che facilitano l'identificazione di risposte in contrasto fra loro.

- La modalità di formulazione, è buona norma seguire alcune regole fondamentali, in maniera da evitare delle distorsioni nelle risposte.
  - Essere sintetici, precisi, evitando le informazioni ridondanti;
  - Ricorrere ad un linguaggio semplice e scorrevole;
  - Evitare di essere invasivi della sfera privata dall'intervistato, cioè ridurre al minimo gli sforzi di memoria, in maniera da non sovraccaricare la concentrazione dell'intervistato.
- L'ordine delle domande, in modo da favorire la massima fluidità nelle risposte.

### ***3.4. Utilizzo di un sondaggio semi-strutturato***

Un sondaggio semi-strutturato è ideale per l'uso in quei progetti di ricerca esplorativa, come il tentativo di acquisire la comprensione di un particolare mercato. Essi possono aiutare il ricercatore a sviluppare conoscenza e comprensione, che possono aiutarli a informare le fasi successive del progetto di ricerca.

I sondaggi semi-strutturati sono gestiti al meglio da intervistatori esperti, che hanno la capacità di pensare in modo autonomo e di porre domande pertinenti e spontanee per favorire una discussione. Ove necessario, il questionario dovrebbe anche fornire un chiaro suggerimento all'intervistato, laddove è richiesta una risposta più strutturata, poiché potrebbe non essere chiaro da un'intervista che altrimenti sarebbe piuttosto discorsiva.

L'intervistatore ha le capacità di porre le domande e di incoraggiare l'intervistato, a parlare in modo più approfondito su particolari argomenti d'interesse. Un'intervista in tale modo, consente di far emergere temi e idee che potrebbero non essere stati conosciuti o predefiniti prima dell'intervista.

Nel colloquio, l'intervistato non segue rigorosamente un elenco formalizzato di domande; invece, si faranno domande più aperte, consentendo una discussione con l'intervistato piuttosto che un semplice formato di domande e risposta.

È consigliabile all'interno di un colloquio di usufruire di strumenti come registratori audio, fotocamere digitali, perché:

- Un registratore audio è uno strumento di raccolta dati, utilizzato per raccogliere informazioni durante l'intervista. Tale strumento è in genere utilizzato nelle interviste Faccia a Faccia, per acquisire con precisione domande e risposte.
- Una fotocamera digitale, è uno strumento utile, poiché cattura le interazioni all'interno della memoria digitale. In molti casi, la fotocamera è combinata con altri strumenti in un colloquio, per raccogliere con precisione informazioni sul campione di ricerca.

Se il colloquio deve essere registrato, al convenuto deve essere richiesto il consenso scritto o verbale, ricordando che le sue dichiarazioni saranno mantenute sempre riservate. La registrazione può essere eseguita solo dopo l'approvazione preventiva dell'intervistato.

### ***3.5. Interviste Strutturate Vs Semi-Strutturate***

Le interviste Strutturate potrebbero essere considerate interviste guidate dal ricercatore. In tal caso, il ricercatore porrà al partecipante domande specifiche che richiedono una risposta breve. Le interviste semi-strutturate, al contrario, sono assistite dal ricercatore. In queste interviste, il modo in cui si accede all'informazione può essere considerato importante o più importante delle informazioni fornite.

Le interviste Semi-Strutturate si adattano ad un approccio leggermente più aperto. L'obiettivo di un colloquio semi-strutturato è quello di riconoscere i modelli nelle interazioni con l'intervistato e determinare come l'intervistato si senta a riguardo ad un determinato argomento. Gli intervistatori che utilizzano l'approccio dell'intervista semi-strutturata generalmente seguono un documento chiamato guida dell'intervista o programma dell'intervista che include quanto segue:

- Un'introduzione allo scopo e all'argomento dell'intervista;
- Un elenco d'argomenti e domande da porre su ogni argomento;
- Prove e prompt suggeriti;
- Commenti di chiusura.

L'obiettivo generale dell'intervista semi-strutturata è raccogliere informazioni sistematiche su una serie di argomenti centrali, consentendo anche una certa esplorazione quando emergono nuovi problemi o argomenti.

Le interviste semi-strutturate vengono utilizzate quando c'è una certa conoscenza degli argomenti o delle questioni in esame, ma sono ancora necessari ulteriori dettagli.

Le interviste semi-strutturate possono essere basate su argomenti, problemi e domande, emerse da interviste non strutturate o altre fonti di informazione. Questo tipo di intervista prevede l'uso di domande sia aperte che chiuse e può fornire dati sia quantitativi che qualitativi.

### ***3.6. Utilizzo delle interviste semi-strutturate***

Si può utilizzare le interviste semi-strutturate per quanto segue:

- Raccogliere fatti, atteggiamenti e opinioni.
- Raccogliere dati su argomenti in cui l'intervistatore è relativamente certo che le questioni rilevanti siano state identificate; ma fornire comunque agli utenti l'opportunità di sollevare nuove questioni che sono importanti per loro attraverso domande aperte.
- Raccogliere dati quando non è possibile osservare il comportamento direttamente a causa di tempistiche, rischi, privacy o altri fattori.
- Comprendere gli obiettivi degli utenti.
- Raccogliere informazioni su: l'attività, flusso di attività e artefatti di lavoro come sussidi per il lavoro, moduli, documenti di buone pratiche, diagrammi di flusso di lavoro, segnali, attrezzature, fotografie e poster.
- Raccogliere dati su questioni complesse in cui sondare e chiarire sono richieste delle risposte.

Le interviste semi-strutturate possono ovviamente variare di lunghezza da alcuni minuti a diverse ore. Si considera l'idea di organizzare le interviste semi-strutturate che durano da mezz'ora a due ore, comprese presentazioni, costruzione di rapporti e chiusura alla fine, a meno che, non si sappia che i partecipanti sono abbastanza dediti e disposti a rinunciare a più tempo<sup>107</sup>.

Se si sta facendo delle interviste in ambienti in cui le persone sono di fretta, l'intervistatore potrebbe utilizzare per lo più domande a risposta chiusa, con un numero limitato di scelte e alcune brevi domande a risposta aperta che sono Interviste semi-strutturate con circa 25 domande relativamente facili a cui rispondere.

Overall Effort Required	Time for Planning and Conducting	Skill and Experience	Supplies and Equipment	Time for Data Analysis
Most Useful During These Phases				
✓	✓	✓	✓	✓
Problem Definition	Requirements	Conceptual Design	Detailed Design	Implementation

Figura 9 Method Scorecard for Semi-Structured Interviews

Le interviste semi-strutturate possono essere utilizzate durante qualsiasi fase di sviluppo del prodotto.

I piccoli grafici a barre forniscono un'idea dello sforzo complessivo, del tempo di pianificazione, delle competenze, delle risorse e del tempo di analisi richiesto per condurre interviste semi-strutturate.

### 3.7. Conduzione nelle interviste semi-strutturate

Interviste approfondite e semi-strutturate possono essere utilizzate come file, un metodo autonomo o in combinazione con un altro metodo o molti altri metodi (questo a volte è denominato “triangolazione”).

Il ricercatore deve farlo preparare alle domande, decidere chi reclutare per partecipare, contattare i potenziali partecipanti, scegliere un luogo, trasportare le interviste e trascrivere i dati, per tutto il tempo essere consapevoli delle questioni etiche e delle relazioni di potere coinvolto nella ricerca.

Gli intervistatori devono essere in grado di mettere le persone a proprio agio. Devono anche essere in grado di porre domande in modo semplice ma interessante. Ascoltando attentamente alle risposte, agendo in modo da sviluppare la fiducia e questo è di supporto, ma senza influenzare i partecipanti ad una posizione particolare da richiede una notevole abilità.

Prima di formulare le domande dell'intervista ai ricercatori, c'è bisogno di informarsi completamente sull'argomento. A seguire, è importante creare un elenco di temi o domande da porre ai partecipanti.

Persone che sono molto fiduciose durante il colloquio a volte si attrezzano solo con un elenco degli argomenti. È imperativo avere una logica sequenza di domande o temi che sono stati preparati in anticipo.

Le domande possono essere progettate per suscitare informazioni che sono “fattuali”, descrittive, che forniscono informazioni di base, riflessive e/o emotive. Può essere una combinazione di diversi tipi di domande, efficace a seconda dell’argomento di ricerca.

I Ricercatori tendono a iniziare con una domanda con cui i partecipanti si sentiranno a proprio agio nel rispondere. È meglio lasciare le domande più difficili, sensibili o stimolanti nella seconda metà dell’intervista, quando è probabile che i partecipanti si sentano più a suo agio.

È utile per gli intervistatori conoscere le domande in modo da non interrompere il flusso dell’intervista, dovendole leggere da un giornale tutto il tempo.

Il passaggio successivo è selezionare i partecipanti. Di solito le persone vengono scelte in base alla loro esperienza relativa all’argomento di ricerca.

Sebbene lo scopo di molti metodi quantitativi sia quello di scegliere un campione casuale o rappresentativo, essere “oggettivo” ed essere in grado di replicare i dati, lo scopo dei metodi qualitativi è scegliere intervistatori che, aiuterà al ricercatore a dare un senso alle esperienze delle persone. Pensare a chi intervistare spinge spesso i ricercatori a riflettere sulla propria identità e su come questa potrebbe plasmare le interazioni durante le interviste.

Esistono molte strategie per reclutare partecipanti per i colloqui. A volte i ricercatori eseguono un semplice questionario per raccogliere informazioni contestuali e includere una richiesta, chiedendo agli intervistati se sono disposti a impegnarsi in un colloquio di follow-up per fornire i propri dettagli di contatto.

A volte i ricercatori pubblicizzano i partecipanti sui giornali locali o sulle stazioni radio chiedendo alle parti interessate di prendere contatto.



### 3.7.1. Pianificazione e sviluppo dell'intervista semi-strutturata

Per pianificare e sviluppare un'intervista semi-strutturata, si seguono tali passaggi:

1. Determina gli obiettivi o il fulcro della ricerca della intervista semi-strutturata. Perché stai facendo questo studio? Gli obiettivi generali delle interviste semi-strutturate possono includere quanto segue:
  - a. Esplorazione di un particolare argomento o un problema;
  - b. Capire come funziona un processo o una funzione;
  - c. Comprensione del modo in cui gruppi particolari di un'organizzazione lavorano insieme;
  - d. Determinare cosa è efficiente e inefficiente in determinati flussi di lavoro;
  - e. Raccolta di materiale di base per la creazione di personaggi, modelli di attività o altri artefatti;
  - f. Testare idee o ipotesi da altre fonti;
  - g. Confermare i risultati di altri metodi.
2. Si sviluppa un elenco di domande generali che si vuole porre durante il colloquio. Le interviste semi-strutturate hanno alcune domande "standard", come domande ad hoc che vengono suggerite dal rispondente. Ad esempio, domande che possono essere applicate a molte interviste a utenti o clienti<sup>108,109</sup>:
  - Qual è il tuo background e il tuo ruolo nella tua organizzazione?
  - Qual è la descrizione di un tipico giorno / settimana / mese del tuo lavoro;
  - Cosa fai con un prodotto?
  - Quali sono i problemi con questo prodotto?
  - Quali sono gli aspetti migliori di questo prodotto?
  - Elenca due o tre cose che ti piacciono e non di più;
  - Quali strumenti, software o hardware utilizzi per raggiungere i tuoi obiettivi? Con che frequenza utilizzi questi strumenti?
  - Quali sono i principali risultati del tuo lavoro? Potete mostrarmi alcuni esempi?
  - Quali sono le attività principali che devi completare con successo per raggiungere i tuoi obiettivi?
  - Quali sono i periodi più impegnativi dell'anno?
  - Quali fattori sono stati coinvolti nella scelta di questo strumento?
  - In che modo la tua azienda misura il successo?

3. Sviluppa una guida all'intervista con le domande generali e il copione di base per l'intervista.

Activity	Comments/Questions	Approximate Time
Introduction	Brief the participant. Introduce self. Explain goals of interview. Review interview method, use of data, confidentiality, and so on.	10 min
Structured topics	Topic 1: Background Question 1a Probe 1 Probe 2 Probe 3 Topic 2: Context of Work Question 2a Probe 1 Probe 2 Question 2b Probe 1 Topic 3: Use of Product Question 3a Probe 1 Topic N: Additional topics	40 min
General questions and open dialogue with participant		30 min
Closing comments and completion of any paperwork (receipts, final questionnaire, etc.)		10 min

**Figura 10 Rough Outline of a Semi-Structured Interview Guide**

La figura 10 è uno schema di un esempio di guida all'intervista, ove sono riportate alcune linee guida di base per lo sviluppo di domande per la guida all'intervista:

- Evita la tendenza ad aggiungere domande “interessanti” che non si riferiscono a un obiettivo di ricerca. Assicurarsi che ogni domanda sia pertinente per le interviste semi-strutturate con gli obiettivi o le ipotesi del progetto. Dovrebbe essere possibile collegare ogni domanda a un chiaro obiettivo aziendale o di ricerca. Se non riesci a collegare una domanda a un obiettivo chiaro, eliminala.
- Usa un linguaggio appropriato per i tuoi partecipanti.
- Evita domande troppo lunghe o complesse. È possibile utilizzare le sonde per ottenere maggiori dettagli e chiarire le risposte.

- Non fare doppie domande come “Come descriveresti l’usabilità e l’affidabilità del nuovo software?” Rompi domande come questa in due domande.
  - Non tassare le capacità cognitive del partecipante in modo significativo con la gamma di risposte a domande chiuse e parzialmente chiuse.
  - Rivedi l’ordine delle domande per evidenti pregiudizi e sensibilità. Potresti non voler fare una domanda iniziale minacciosa che potrebbe influenzare le risposte successive.
  - Ascolta gli intervistatori. Gli intervistatori dovrebbero essere formati per essere buoni ascoltatori. I buoni ascoltatori hanno le seguenti caratteristiche:
    - o Non saltano troppo velocemente quando un partecipante sta parlando.
    - o Bilanciano la neutralità con la motivazione. Evita suggerimenti ovviamente distorti, ma fornisci un rinforzo generale al partecipante.
4. Reclutare partecipanti che soddisfano i criteri di screening.
5. Crea e assembla qualsiasi modulo o documento di cui si ha bisogno, incluso:
- a. La guida all’intervista con osservazioni di apertura, argomenti e domande, sondaggi e dichiarazioni di chiusura.
  - b. Vagli e lettere che usi per reclutare partecipanti.
  - c. Un modulo di consenso informato, se necessario. Un consenso informato definisce lo scopo dello studio, i diritti del partecipante e qualsiasi stress fisico o mentale associato allo studio.
  - d. Un NDA “non accordo di divulgazione” se necessario, elenca le regole per la divulgazione delle informazioni apprese durante uno studio. Alcune organizzazioni combinano il modulo di consenso informato e l’NDA, mentre altre le tengono separate. Se si discute di attività di sviluppo imminente, si può aver bisogno che i partecipanti firmino un NDA. Al contrario, si potrebbe dover firmare un accordo di non divulgazione per ciascuna organizzazione che visiti se le interviste trattano informazioni sensibili sui tuoi clienti o sui loro clienti.

- e. Eventuali ricevute di risarcimento. Se, ad esempio, stai utilizzando buoni regalo Amazon, che possono essere considerati contanti, puoi chiedere a una persona di firmare una ricevuta cartacea o confermare elettronicamente la ricezione del buono regalo.
6. Se si sta visitando diverse aziende, si prepara un briefing memo che descriva ciascuna azienda, come l'azienda utilizza il prodotto, quali sono i problemi principali che l'azienda deve affrontare e l'agenda della giornata.
7. È probabile che i primi minuti con il partecipante preparino il terreno per il successo del colloquio. Lavorare su quei primi minuti nelle interviste pilota tenendo presente che le prime impressioni dell'intervistatore possono essere fondamentali per il successo. Un intervistatore deve essere calmo, sicuro di sé, credibile, informato, flessibile e professionale, senza essere arrogante.
8. La prova pilota all'intero processo del colloquio dall'incontro con gli ospiti attraverso l'imballaggio delle tue attrezzature e materiali, ringraziando il partecipante, gli host e lasciando il sito. Si affini il processo e i materiali in base al test pilota. Usare il test pilota per ottenere una buona stima della durata dell'intervista.

### **3.7.2. A fine sessione dell'intervista semi-strutturata**

Dopo aver intervistato un partecipante, è normale che i ricercatori chiedano all'intervistato se conoscono altri che potrebbero essere interessati ad essere coinvolti nella ricerca.

Questa tecnica viene definita "valanga". Dopo aver selezionato e reclutato i partecipanti è quindi necessario decidere dove condurre il colloquio. Ovviamente il luogo può fare una differenza significativa nel modo in cui si svolge un'intervista. È importante che sia l'intervistatore che l'intervistato si sentano a proprio agio. Per questo motivo un ambiente relativamente neutro può essere buono. Se l'intervista deve essere registrata, è anche importante che l'intervista sia condotta in un luogo relativamente tranquillo, altrimenti è probabile che la trascrizione del nastro si riveli difficile, se non impossibile.

Quando si intervistano uomini d'affari o funzionari di organizzazioni o istituzioni, è comune intervistarli nei propri locali. Questo è spesso più facile dal punto di vista logistico che tentare di incontrarsi in un altro luogo.

Un vantaggio di incontrare un intervistato sul posto di lavoro è spesso utile per un ricercatore trovarsi nell'ambiente che sta studiando, supponendo che il "lavoro" sia il fulcro dell'intervista.

Un potenziale svantaggio è che l'intervistato può sentirsi a disagio a parlare liberamente, soprattutto se vuole dire cose negative sulla sua particolare attività, organizzazione o istituzione. Non è sempre possibile realizzare interviste approfondite e semi-strutturate in un contesto ideale, ma purché sia relativamente neutro, confortevole, silenzioso e accessibile per entrambe le parti, è probabile che abbia successo.

Le interviste semi-strutturate e approfondite tendono a durare, in media, un'ora. Se è necessario più tempo, un intervistatore può chiedere all'intervistato se è possibile organizzare un altro colloquio per una data successiva. Avere una seconda intervista piuttosto che una lunga intervista può anche fornire all'intervistatore l'opportunità di iniziare ad analizzare il materiale dalla prima intervista, tornando così alla seconda intervista con domande più pertinenti.

Alcuni ricercatori prendono appunti quando conducono interviste semi-strutturate e approfondite. Altri registrano audio-video l'intervista che fornisce loro sia una registrazione acustica che visiva.

La maggior parte dei ricercatori, tuttavia, registra semplicemente l'audio del procedimento. Il vantaggio di questa presa di appunti è che il ricercatore può concentrarsi completamente sulla conversazione invece di sentire la pressione per provare a registrare i commenti del partecipante su un quaderno. Uno svantaggio delle registrazioni audio è che alcuni partecipanti potrebbero sentirsi a disagio quando vengono registrati. Il Tapping può influenzare notevolmente il modo in cui le persone si sentono in grado di raccontare storie su sé stesse e sugli altri.

Indipendentemente dal fatto che un intervistatore decida di registrare o meno la conversazione, è una buona idea dopo l'intervista documentare il tono generale della conversazione, qualsiasi segnale non verbale importante, i temi chiave emersi e tutto ciò che potrebbe essere stato particolarmente interessante o sorprendente durante l'intervista. Questo aiuta il ricercatore ad iniziare il compito di analizzare i dati.

Se un intervistatore registra un'intervista, è utile trascrivere la conversazione il prima possibile dopo averla condotta. Ascoltare la conversazione registrata quando è ancora al primo posto nella mente rende la trascrizione molto più semplice.

Una volta completate le trascrizioni, il ricercatore inizia il compito di analizzare i dati, determinando il significato delle informazioni raccolte in relazione allo scopo della ricerca. La maggior parte dei ricercatori cerca temi, punti in comune e modelli per cercare di dare un senso alle informazioni. Può anche essere utile pensare alle differenze che emergono nei dati, rilevando temi che vanno contro o contraddicono quelli che stanno emergendo.

Alcuni ricercatori utilizzano programmi basati su computer per assistere con l'analisi delle trascrizioni. Se vengono sollevate più domande che devono essere chiarite al fine di servire allo scopo dello studio, può essere giustificata un'altra intervista approfondita e semi-strutturata per esaminare la questione in modo più completo.

### ***3.8. Attrezzature nelle interviste semi-strutturate***

#### **3.8.1. Hardware & Software**

Le interviste semi-strutturate possono beneficiare di registratori audio o video in modo da avere una registrazione completa dell'intervista.

Le fotocamere digitali possono essere utili per documentare l'ambiente fisico e gli eventuali artefatti importanti per l'argomento di studio.

Se si prevede di condurre un gran numero d'interviste, si tenga in considerazione l'utilizzo di strumenti di analisi dei dati qualitativi specializzati come ATLAS.ti, QSR NVivo, THE ETHNOGRAPH o HyperRESEARCH.

#### **3.8.2. Documenti & Materiali**

Documenti e materiali per interviste semi-strutturate includono:

- Un piano di progetto del colloquio che descrive gli obiettivi dello studio, il piano di reclutamento, il background sulle aziende e sulle persone che si visita, gli argomenti generali che sono di interesse, le linee guida per gli intervistatori, il piano di raccolta e analisi dei dati.
- Una lettera di presentazione che è possibile inviare tramite posta elettronica ai partecipanti prospettici e ai loro dirigenti.

- Moduli di consenso informativi che spieghino lo scopo dello studio, eventuali rischi associati alle sessioni di intervista, come verranno utilizzati i dati e l'autorizzazione per la registrazione dei dati.
- Gli accordi di non divulgazione sono necessari, se i partecipanti non hanno già firmato un modulo. Verifica con l'ufficio legale le politiche di accordo di non divulgazione della azienda.
- Alcuni tipi di database o software sono necessari per la memorizzazione e l'analisi dei dati qualitativi.
- Intervista ordini del giorno o guide con le aree generali che tratterai e potenziali domande di sondaggio.
- Piccoli regali o incentivi per i padroni di casa e coloro che intervisterete.

### ***3.9. Come ordinare le domande in un'intervista semi-strutturata***

Determinare l'ordine migliore delle domande non è un compito facile e la ricerca è piuttosto mista per quanto riguarda l'impatto dell'ordine delle domande sulle risposte dei partecipanti. Linee guida generali da considerare<sup>110-112</sup>:

- Organizzare le domande per argomento, categoria o dominio.
- Porre prima le domande più importanti se si a poco tempo.
- Evitare domande difficili, minacciose o cariche di emozioni all'inizio dell'intervista. In generale, è necessario ordinare le domande dalla meno minacciosa in generale o all'interno di un particolare dominio o categoria.
- Ordinare le domande in base alla complessità con le domande facili all'inizio e quelle più complesse dopo.
- Per domande che trattano gli eventi nel tempo, chiedere prima gli eventi precedenti e poi passa agli eventi più recenti.
- Evitare di porre domande demografiche di base all'inizio, a meno che non siano necessarie per scopi di screening. Porre tali domande alla fine del colloquio o fornirle all'utente su un questionario.
- Prima di porre domande che potrebbero essere viste come personali, ricordare al partecipante che queste informazioni sono riservate e che i partecipanti non saranno identificati in alcun modo nel rapporto finale.

- Chiedere a diversi colleghi di rivedere l'ordine delle domande per vedere se le risposte a una particolare domanda potrebbero ovviamente influenzare le domande successive.

### ***3.10. Questioni***

Riservatezza e anonimato sono due importanti questioni etiche che sono state discusse da geografi e altri in relazione a questioni semi-strutturate e approfondite. Ai partecipanti deve essere garantito che tutti i dati raccolti rimarranno protetti sotto chiave o su un database di computer accessibile solo tramite password; le informazioni fornite rimarranno riservate e i partecipanti rimarranno anonimi, a meno che non desiderino diversamente, ed hanno il diritto di ritirarsi dalla ricerca in qualsiasi momento senza spiegazione.

La maggior parte dei ricercatori si offre di fornire ai partecipanti una sintesi dei risultati della ricerca al completamento del progetto di ricerca e di portare a termine l'impegno. Le sintesi possono assumere la forma di una copia cartacea o elettronica pubblicata su un sito web.

Un altro problema etico che può sorgere quando si conducono interviste semi-strutturate e approfondite è che, un intervistato può esprimere opinioni sessiste, razziste o altre opinioni discriminatorie. Si sostiene spesso che i ricercatori dovrebbero ascoltare, prestare attenzione ed essere non giudicanti, ma a volte essere non giudicanti potrebbe riprodurre e persino legittimare la discriminazione degli intervistati attraverso la complicità.

I ricercatori devono riflettere attentamente su come affrontare tali situazioni. Non ci sono risposte facili su come affrontare queste situazioni. Non si può presumere che gli intervistatori saranno sempre in una posizione di potere sui loro intervistati. I ricercatori devono anche riflettere attentamente su come intervistare in diversi contesti culturali. Ad esempio, i ricercatori del "Primo mondo" che indagano sui "soggetti" del "Terzo mondo" devono essere estremamente sensibili ai codici di condotta locali. Durante le interviste è probabile che l'intervistatore e l'intervistato continuino a riposizionarsi rispetto ai molteplici ruoli e alle identità fratturate che assumono.



Il modo in cui le persone si posizionano in relazione all'etnia, al genere, alla sessualità, alla classe, all'età e così via durante le interviste ha implicazioni per l'intervista in generale e per l'interpretazione dei dati dell'intervista.

Nell'ultimo decennio, nozioni date per scontate su chi è un insider, chi è un outsider, chi ha accesso alla conoscenza "autentica" e chi può parlare su un argomento particolare sono state sollevate dai geografi in relazione alle interviste. I geografi hanno anche discusso e dibattuto i concetti di "posizione" e "riflessività" in relazione alle interviste.

La posizionalità descrive la posizione di una persona nel mezzo di processi politici, economici, culturali, sociali, sessuali, di genere e razzializzati complessi, mutevoli e sovrapposti. Il modo in cui le persone sono posizionate in vari contesti di potere influenza, il modo in cui comprendono il mondo. La riflessività implica, di riflettere attentamente sulla propria posizione di ricercatore e dichiarare la propria posizionalità nel lavoro.

Lo scopo di questa strategia è rendere esplicito il ruolo del ricercatore nella produzione di conoscenza. Diventa evidente in tale ricerca che la conoscenza è "situata" e parziale, piuttosto che neutra e universale. La conoscenza non è neutra ma creata da persone che occupano particolari posizioni disciplinari. Alcuni sostengono tuttavia, che riconoscere la propria posizionalità ed essere riflessivi riguardo alla ricerca, è forse più facile a dirsi che a farsi.

Sebbene la riflessività del ricercatore possa essere un obiettivo utile, esaminare la pratica per ottenere nuove intuizioni nell'uso della ricerca e nella produzione di conoscenza, può essere difficile da raggiungere. Chiaramente ci sono molte questioni etiche e relazioni di potere che devono essere prese in considerazione quando si conducono interviste semi-strutturate e approfondite.

Le interviste approfondite e semi-strutturate ora sembrano essere ortodosse nella geografia umana. Esistono tuttavia, una serie di altri metodi qualitativi che, sebbene condividano molto in comune con le interviste semi-strutturate in profondità, sembrano ancora essere ragionevolmente poco considerati nella disciplina.

Altri metodi qualitativi come focus group, interviste di gruppo, etnografia, auto-etnografia, autobiografia, analisi del discorso e analisi visiva, alle volte lottano per la legittimità in alcuni campi come la geografia economica e politica.

Nel complesso, tuttavia, sembra che la disciplina stia entrando in un periodo di valutazione e riflessione più matura nei metodi qualitativi, ciò è stato in parte stimolato dall'ampio uso da parte dei geografi di interviste semi-strutturate e approfondite.

### ***3.11. Variazioni ed estensioni dell'intervista semi-strutturata***

Le interviste semi-strutturate possono essere utilizzate per costruire modelli che incorporano gli oggetti e i processi di un sistema. Un approccio alla costruzione di modelli di lavoro è quello di intervistare un numero di esperti e utilizzare i risultati della combinazione per creare un modello di lavoro che può essere perfezionato utilizzando delle interviste aggiuntive o altri metodi.

Wood<sup>113</sup> suggerisce un approccio alternativo basato su ripetute interviste semi-strutturate con un singolo esperto. Wood ha condotto una serie di interviste con un singolo esperto per capire come sono state ordinate le apparecchiature di telecomunicazione alla Brigham Young University. Dopo ogni colloquio con questo esperto, ha creato una versione aggiornata del modello e poi ha condotto un'altra intervista semi-strutturata con l'esperto. Tale processo di perfezionamento dell'intervista è continuato fino a quando Wood ha ritenuto che le interviste avessero prodotto un modello completo del processo d'ordinazione.

Questo modello è stato quindi mostrato ad altri stakeholder che sono stati intervistati in merito alle loro prospettive specifiche sul processo. Il feedback di queste parti interessate aggiuntive è stato utilizzato per perfezionare il modello fino a quando non sono stati soddisfatti del modello di lavoro composito.

Questo approccio di interviste semi-strutturate iterative con un singolo esperto presuppone che, l'esperto abbia un'ampia comprensione del processo di lavoro e possa fornire informazioni che portano a un buon prototipo di modello di lavoro.

### ***3.12. Vantaggi e Svantaggi di una intervista semi-strutturata***

Metodi come l'osservazione, i questionari chiusi, dati del censimento e le interviste strutturate, non consentono molte scoperte o indagini. Delle interviste approfondite semi-strutturate tuttavia, offrono agli intervistatori e agli intervistati tempo e spazio per esplorare a fondo le questioni.

Il metodo è utile anche per raccogliere una serie di opinioni su un argomento.

A volte le interviste rivelano un consenso, ma spesso illustrano che persone di età, etnie, sesso e sessualità diverse hanno opinioni ed esperienze diverse e non sono d'accordo su molte questioni. L'intervista semi-strutturata e approfondita può rivelarsi particolarmente utile per indagare su questioni personali, sensibili o riservate che gli informatori potrebbero trovare difficile da rivelare e discutere in un'intervista di gruppo o in un focus group.

Tali questioni sono anche difficili se non impossibili da sollevare in un questionario. È possibile che alcune persone si sentano troppo sotto esame in un'intervista semi-strutturata e approfondita e siano meno disposte ad aprirsi rispetto all'atmosfera rilassata di un gruppo, ma un intervistatore esperto è solitamente in grado di superare questo problema stabilendo un buon rapporto e fiducia con l'intervistato. La maggior parte degli intervistati è disponibile e desiderosa di aiutare.

Un vantaggio di lavorare da una guida alla discussione con una certa struttura è che assicura che vengano poste domande fisse a tutti i rispondenti, consentendo al ricercatore di fare confronti tra le diverse risposte. Oltre a questo, i sondaggi semi-strutturati offrono anche una certa flessibilità all'intervistatore.

Ciò significa che si può adattare la discussione man mano che procedono, in base al singolo rispondente e alle risposte fornite. In un'intervista semi strutturata, gli intervistati possono esprimere le loro opinioni e porre domande agli intervistati durante il colloquio, il che li incoraggia a fornire informazioni più utili, come le loro opinioni su temi sensibili alla ricerca qualitativa.

Un'intervista semi-strutturata ha diversi svantaggi, poiché l'intervistatore ha bisogno di tempo per prepararsi e fare ricerche prima di iniziare effettivamente l'intervista. Per rendere affidabile i risultati, l'intervistatore deve incontrare un numero adeguato di persone per condurre l'intervista.

Gli intervistatori devono pianificare attentamente le domande per assicurarsi di poter ottenere le risposte desiderate, il che richiede anche buone capacità di comunicazione.

L'intervista si basa sull'intersoggettività cioè, le persone che interagiscono e si posizionano in relazione l'una con l'altra. Dipende dalle relazioni umane e queste relazioni possono essere gratificanti ma anche deludenti.

Questi punti di forza e di debolezza illustrano che ci sono numerose questioni etiche e relazioni di potere coinvolte nella conduzione di interviste semi-strutturate e approfondite.

### ***3.13. Conclusione***

Nei questionari si ha che è una indagine per campione, un mezzo sistematico per acquisire dati sul comportamento, atteggiamento o opinioni degli intervistati, intervistando il singolo o un gruppo.

Il questionario alle volte è affiancato a delle interviste. Le interviste semi-strutturate è un incrocio tra l'intervista strutturata e l'intervista non strutturata che consente una certa standardizzazione delle domande e anche la libertà di esplorare e aggiungere delle nuove domande che, emergono da argomenti inaspettati.

Le interviste semi-strutturate sono un metodo comunemente usato nella ricerca geografica. Il metodo prevede di parlare con le persone, basandosi su un'interazione ragionevolmente informale tra intervistati e intervistatori.

Il metodo non offre al ricercatore un percorso per la verità, ma offre un percorso per approfondimenti parziali su ciò che le persone fanno e pensano.

I risultati sono legati alla rappresentatività del campione, dove i ricercatori si servono spesso di questionari o sondaggi per conoscere l'opinione degli intervistati.

## 4. Metodologia: Questionari Semi-Strutturati

Questionari e interviste semi-strutturate vengono utilizzati nell'ambito della pratica industriale, per la valutazione di un software e per la gestione del rischio nelle sue complessità e dei cambiamenti dei requisiti, nella misurazione e l'analisi delle capacità di adattamento nelle gestioni dei sistemi resilienti, studi per valutare la sicurezza e la salute sul lavoro, la rigenerazione per la sostenibilità, valutazione della qualità dei dati nel processo decisionale.

Nella pratica industria e valutazione di un software<sup>114</sup> per la gestione del rischio, si è servito del questionario e interviste semi-strutturate. I questionari sono stati utilizzati per la valutazione dell'applicazione del software del successo e nella valutazione della gestione del rischio nelle sue complessità e dei cambiamenti dei requisiti, che vengono analizzati sono 6 argomenti, costituiti con diversi segmenti:

- Storia personale;
- Modifiche dei requisiti;
- Valutazione sistematica del rischio di variazione dei requisiti;
- Prototipo software;
- Potenziali ricerche future.

Successivamente al questionario è stato condotto l'intervista per completare la raccolta dati. Le interviste hanno mostrato delle attività che ostacolano la gestione sistematica del cambiamento in generale, a causa della mancanza di supporto metodico, interdisciplinare, comprensione del sistema e consapevolezza dei problemi di cambiamento.

Nella misurazione e analisi delle capacità di gestione dei sistemi resilienti<sup>115</sup>, eseguendo una indagine riguardante la capacità di adattamento nelle strutture organizzative a diversi livelli di gestione, il questionario è stato strutturato per misurare e valutare la capacità di adattamento nella struttura organizzativa di un impianto, nel caso petrolchimico, mirando a raccogliere le opinioni dei gestori sulle capacità tecnologiche, individuali e organizzative dell'impianto.

Il questionario comprendeva 23 domande, è descrittivo e include una scala per rispondere da molto basso a molto alto.

Il questionario è stato progettato per misurare e analizzare la capacità di adattamento, al fine di migliorare la capacità di un sistema di processo, in modo che possa adattarsi a fronte di eventi imprevisti, tutto tenendo conto degli indicatori di resilienza.

Nello studio della sicurezza e salute sul lavoro è stato effettuato nell'esplorare le tendenze negative nell'HSE "Health, Safety and Environment" del clima nell'industria norvegese del petrolio e del gas<sup>116</sup>, lo studio è stato fatto attraverso un questionario e interviste, per valutarne la sicurezza, salute e una indagine sulle piattaforme petrolifere.

Il questionario è stato valutato per un arco di circa due anni, principalmente valutato per la percezione e considerazioni sull'organizzazione e valutazione del rischio nelle piattaforme; si presta allo studio della percezione della sicurezza, condizioni ed esperienze correlate dei dipendenti e dell'organizzazione, percezioni che possono essere utilizzati come indicatori di fenomeni del clima di sicurezza. Da questa ricerca si è rilevato una scarsa comunicazione del rischio ed il cambiamento dell'organizzazione della manutenzione.

Nella rigenerazione per la sostenibilità<sup>117</sup>, nello studio di barriere e soluzioni da promuovere la rigenerazione automobilistica, è la forma definitiva di recupero del prodotto a fine vita, che riporta i prodotti usati al loro stato originale con il minimo spreco di materiale ed energia verso una produzione sostenibile. Lo studio è stato maggiormente concentrato nello Sri Lanka in quanto ha avuto un aumento sostenibile del numero di veicoli su strada.

Come approccio di ricerca, la preparazione inizia attraverso una documentazione, classificando le barriere a livello politico, accademico e di settore; ulteriormente sono state condotte delle interviste semi-strutturate, con l'obiettivo di accertare che le barriere vengano individuate attraverso la revisione e lo smistamento.

Le interviste in tal caso impiegate per trarre una conoscenza oggettiva, sufficiente sui fenomeni con cui gli intervistati hanno esperienza. La lettura suggerisce un campionamento non probabilistico a causa della mancanza di esperienza nel paese, per cui il giudizio degli autori è stato utilizzato per selezionare i soggetti delle tre categorie di esperti e un campionamento intenzionale/giudicante è stato utilizzato un questionario.

La struttura del questionario consisteva in un elenco di domande, con 5 caselle vuote per valutare l'importanza in una scala di Likert a 5 punti. In seguito al completamento delle interviste è stato utilizzato il metodo Analytich Hierarchy Process, dove tale strumento assegna un punteggio da 1 a 9, per dare le priorità alle domande. In secondo tempo si è usufruito di uno strumento di conversione, in quanto il questionario era valutato in una scala likert a 5 punti per portarlo ad un punto da 1 a 9, per il confronto dei dati con l'intervista.

Valutazione della qualità dei dati del processo decisionale, discutendo sui dati e le conoscenze sulla qualità dei dati, fondamentali per le imprese per prendere decisioni informate, proponendo un approccio alla valutazione della qualità dei dati applicabile alle imprese, valutandolo nel contesto di Pianificazione e Controllo della produzione (PPC), più precisamente nella produzione di lamiera.

La conoscenza della qualità dei dati è essenziale in tali circostanti di produzione, per prendere decisioni aziendali, informando e migliorando in modo efficiente la qualità dei dati; considerando che l'ambiente di produzione è caratterizzato da un'elevata varietà di prodotti, rendendo difficile la gestione dei dati.

Si serve di un questionario per valutare le diverse dimensione della qualità dei dati rilevanti per le informazioni, i cui risultati vengono interpretati con due tecniche quantitative per rilevare le aree problematiche e dare priorità all'informazione della qualità dei dati.

L'idea di base è quella di avviare una valutazione della qualità dei dati descrivendo le anomalie dei dati, al contrario delle metodologie, dove si inizia con una fase di ricostruzione dello stato, seguita dalla valutazione dei dati in merito a: completezza, pertinenza, accuratezza, tempestività, coerenza e plausibilità, proponendo 20 criteri preliminari di prova per descrivere le caratteriste dei dati, raggruppati in:

- Test individuali
- Test relativi alla forma
- Test relativi al contenuto

Le categorie riflettono l'evoluzione dei criteri di valutazione oggettivi a criteri soggettivi. La definizione e la valutazione del test relativo al contenuto si basa sul contesto, conoscenza degli utenti dei dati e degli esperti di dominio.

La metodologia si compone di 5 fasi; per incominciare è un contesto di utilizzo specifico o un'attività dipendente dei dati. La conoscenza del contesto generale e i criteri di test predefiniti aggiungono delle ulteriori informazioni, in base al caso d'uso specifico. Gli attributi dei dati e i criteri di test, costituiscono la base per la definizione di una serie di metriche sulla qualità dei dati.



## 5. Questionario Semi-strutturati & Digital Twin e Sicurezza sul Lavoro

Questo questionario è stato strutturato in modo da poter conoscere come le aziende si occupano della sicurezza sul lavoro e del Digital Twin, raccogliendo dati per conoscere le normative attuate nella sicurezza sul lavoro e l'eventuale utilizzo dei Digital Twin. Il questionario si compone di domande a risposta a aperta, domande a risposta multipla con la possibilità di commentare la risposta e di domande a risposta chiusa, in quanto è un questionario semi-strutturato.

Questa prima parte del questionario è stato strutturato al fine di conoscere l'intervistato e l'azienda.

- Posizione nell'organigramma aziendale
- Settore di appartenenza dell'azienda
  - Edilizia
  - Consulenza
  - Elettronica
  - Utilities
  - Automotive
  - Logistica, trasporti e stoccaggio
  - Metalmeccanico
  - Farmaceutico, sanitario, bio-tech
  - Chimica e materiali
  - Tessile
  - Commercio e finanza
  - Food and Beverage
  - Altro .....(specificare)
- Numero dipendenti
  - Minore 10
  - $10 < x < 50$
  - $50 < x < 250$
  - $> 250$
- Quale quota di mercato detiene l'azienda a livello nazionale?
  - $< 5\%$
  - Dal 5% al 10%
  - Dal 10% al 20%
  - Dal 20% al 30%
  - Più del 50%
  - Altro .....(specificare)

### ***5.1.Domande sicurezza sul lavoro***

Le domande sulla sicurezza sul lavoro sono strutturate principalmente facendo riferimento al Testo Unico, secondo il decreto 81/2008. Questo perché si vuole andare a conoscere come è strutturata la sicurezza nel luogo di lavoro, tenendo in considerazione anche periodo di Sars-Cov2. Sono presenti domande che riguardano ogni quanto vi viene effettuata la formazione, informazione e l'addestramento dei lavoratori. Ogni volta si richiede il livello di sicurezza e rischi, in quanto alla base del livello si ha tempi diversi di formazione; che per livello basso sono 16 ore, livello medio 32 ore e livello alto 48 ore.

- Come interpreta secondo la sua esperienza la salute e sicurezza nel luogo di lavoro?
- Cosa intende per rischio e pericolo sui luoghi sul lavoro?
- Quali sono i principali dispositivi individuali (DPI) di sicurezza utilizzati nell'impresa?
- Il responsabile del servizio di prevenzione e protezione è affidato a :
  - o datore di lavoro
  - o Soggetto esterno all'azienda
  - o È individuato dal datore di lavoro
  - o È un socio (privo di rappresentanza legale)
  - o Altro .....(specificare)
- Il livello di sicurezza nella vostra impresa è:
  - o Basso
  - o Medio
  - o Alto
- La nomina degli addetti al primo soccorso
  - o Al datore di lavoro
  - o Individuato dal datore di lavoro
  - o Un socio
  - o Altro .....(specificare)
- Il livello rischio e pericolo infortunio nell'impresa è:
  - o Basso
  - o Medio
  - o Alto

- La nomina degli addetti alla prevenzione incendi è data:
  - Al datore di lavoro
  - Un socio
  - Individuato dal datore di lavoro
  - Altro .....(specificare)
  
- Quali sono le principali procedure e attrezzature utilizzate all'interno dell'impresa nell'ambito di incendio?
  
- Il livello di rischio incendi è:
  - Basso
  - Medio
  - Alto
  
- È presente nell'impresa il medico competente?
  - Sì
  - No
  
- Se sì chi svolge tale compito
  - Dipendente o collaboratore di una struttura esterna pubblica
  - Dipendente o collaboratore di una struttura privata
  - Libero professionista
  - Dipendente del datore di lavoro.
  - Altro .....(specificare)
  
- è presente una sorveglianza sanitaria?
  - Sì
  - No
  
- Se la risposta è sì in quali casi avete attivato la sorveglianza sanitaria?
  - Movimentazione manuale di carichi significativi
  - Lavoro notturno
  - Esposizione a rumore ambientale
  - Esposizione a vibrazioni
  - Esposizione ad agenti chimici, biologici
  - Utilizzo di videoterminali
  - Altro .....(specificare)
  
- L'informazione sulle misure d'emergenza, riguarda:
  - tutti i lavoratori
  - addetti specifici
  - entrambi (nel caso di misure di emergenza differenti per settori)
  - Altro .....(specificare)

- Ogni quanto tempo viene effettuata la formazione, l'informazione e l'addestramento ai lavoratori?
  - 6 mesi/1 anno
  - 1 - 2 anni
  - 2 - 4 anni
  - 4 - 5 anni
  
- La formazione e l'addestramento a chi è rivolto?
  - Responsabile della sicurezza
  - Responsabile della sicurezza e tutti i lavoratori
  - L'addestramento ai lavoratori; formazione e addestramento al responsabile
  - Altro .....(specificare)
  
- In attuale periodo di emergenza SARS-COV2 quali sono i dispositivi e precauzioni utilizzati nell'impresa?
  
- Quali sono i principali pericoli ordinari
  - Oggetti taglienti o lesivi
  - Macchinari in movimento
  - Ostacoli fissi e mobili
  - Lavori in quota
  - Pavimentazione irregolare e/o scivolosa, scalini
  - Macchine e proiezione di schegge di frammenti
  - Cadute di pesi dall'alto
  - Macchine, impianti, apparecchiature elettriche
  - Illuminazione
  - Superfici o materiali caldi e freddi
  - Altro .....(specificare)
  
- Quali sono i principali pericoli specifici
  - Agenti chimici
  - Agenti biologici
  - Rumore
  - Vibrazioni
  - Radiazioni ionizzanti/non ionizzanti
  - Polveri inerti
  - Condizioni meteo e microclimatiche
  - Altro .....(specificare)

- Il carico e il ritmo di lavoro
  - I lavoratori hanno autonomia nell'esecuzione dei compiti
  - Vi sono variazioni imprevedibili della qualità di lavoro
  - Vi è assenza di compiti per lunghi periodi nel turno lavorativo
  - È presente un lavoro caratterizzato ad alte ripetitività
  - Il ritmo di lavoro è determinato dalla macchina
  - I lavoratori possono agire sul ritmo della macchina
  - Altro .....(specificare)
  
- Ogni quanto viene effettuata la valutazione rischi e pericoli
  - 6 mesi/1 anno
  - 1 - 2 anni
  - 2 - 4 anni
  - 4 - 5 anni

## ***5.2. Domande Digital Twin***

Le domande del Digital Twin, sono domande relative all'utilizzo che se ne attua, sia per assistere la manutenzione sia per ridurre i rischi. Si nota che le domande sono poste per aziende che hanno introdotto tale tecnologia e per chi non ne usufruisce.

Una domanda importante è la raccolta dati dal digital twin, che sono poi fondamentali per l'altro gruppo di domande insieme alla sicurezza sul lavoro, per poter migliorare le simulazioni virtuali per renderle più veritiere possibile e per poter prevenire su eventi accidentali futuri.

- Cosa ne pensa dei digital twin? Fate utilizzo o vorreste usufruire nella vostra impresa di tale tecnologia
- Quali proprietà, capacità e funzioni sono attribuite ai concetti di Digital Twin o implicitamente assunte in esse?
- Dove viene applicato o vorreste applicare, il Digital Twin nell'impresa
  - o Logistica/Produzione/processo
  - o Gestione prognostica della salute
  - o Ciclo di vita in generale
  - o Manutenzione
  - o Formazione sicurezza sul lavoro
  - o Altro .....(specificare)
- Se utilizzante o vorreste utilizzare il Digital Twin nella manutenzione, quale attuate nella vostra impresa?
  - o Manutenzione Reattiva
  - o Manutenzione Preventiva
  - o Manutenzione basata sulle condizioni
  - o Manutenzione predittiva
  - o Manutenzione prescrittiva
- Cosa ne pensa dell'utilizzo del Digital Twin, adottato al fine di ridurre i rischi identificati negli asset e migliorarne la tracciabilità, la manutenzione e l'analisi migliorandone il ciclo di vita del prodotto?
- Nell'utilizzo del Gemello Digitale con chi viene integrato o vorreste integrarlo?
  - o Internet of Things
  - o Intelligenza Artificiale
  - o Apprendimento Automatico
  - o Realtà aumentata
  - o Altro .....(specificare)

- I dati rappresentati o che vorreste far rappresentare dal Digital Twin, da quali fonti vengono generate?
  - Sensori che trasmettono vari aspetti sulle condizioni operative
  - Dati storici relative a condizioni passate
  - Dati forniti da esperti umani, con conoscenza specifica e pertinente
  - Dati raccolti da altre macchine simili o da sistemi dell'ambiente in cui ne fa parte
  - Informazioni recuperate da qualunque banca dati accessibile attraverso il web.
  - Altro .....(specificare)
  
- Nella Digital Twin con vari livelli di complessità, quali sono i collegamenti con gli asset?
  - Sistemi di Gestione Documenti (Product Data Management, Product Lifecycle Management)
  - Sistemi di Controllo della Produzione (Manufacturing Execution System, Distributed Control System)
  - Sistemi di Gestione (Enterprise Resource Planning)
  - Altro .....(specificare)

### 5.3. Digital Twin & Sicurezza sul Lavoro

Nel Digital Twin e Sicurezza sul lavoro si discute proprio dell'utilizzo della simulazione per poter migliorare la sicurezza sul lavoro, se si utilizza la simulazione per migliorare la formazione di un dipendente o per fornire una assistenza durante la manutenzione con l'utilizzo dei Digital Twin. Si studia anche i casi di incidenti di sul lavoro e se con l'aiuto della simulazione avesse potuto evitare tale incidente, prevenendolo.

- L'utilizzo della simulazione del Digital Twin nell'ambito della sicurezza sul lavoro, per la prevenzione di rischi e pericoli, è utile tale tecnologia? Come?
- È stata usufruita tale tecnologia per la gestione dei macchinari e del personale per poter ridurre eventuali rischi rilevati nell'impresa?
  - Si
  - No
- È stato mai proposto l'uso del Digital Twin per la formazione, per l'assistenza, la manutenzione eventi di rischio e pericoli sul lavoro attraverso una simulazione?
- Nella formazione di un nuovo lavoratore, sia per la formazione del macchinario, che per conoscenza dei principali rischi e pericoli nel luogo di lavoro, vi avvalete della simulazione con il Digital twin e della realtà aumentata oppure utilizzate altri metodi?
- Nell'utilizzo della simulazione quali dispositivi utilizzate, insieme al Digital Twin?
  - Cellulare
  - Dispositivi VR
  - Computer
  - Simulatore
- Da quanto tempo fate utilizzo del digital twin?

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---
- Quanti incidenti si sono verificati nel luogo di lavoro negli ultimi 3 anni?
- Nell'incidente più grave, quanto ne ha risentito l'impresa sia a livello di produzione che il personale? Qual era il suo livello di rischio?



- Gli incidenti avvenuti, potevano essere previsti attraverso il Digital Twin con un simulatore? Eventualmente come avreste agito?
- L'utilizzo del digital twin, ha facilitato qualche operazione particolare all'interno dell'impresa?

#### ***5.4. Valutazione questionario***

- Esprima una valutazione del questionario

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

- Domande o note da aggiungere a questo questionario?



## 6. Bibliografia

1. VDMA. It-report simulation + visualization. Published online 2017.
2. Autiosalo et al., 2020; Kritzinger et al., 2018; Tao et al., 2018a; Lee et al., 2013. variety definitions.
3. Grieves and Vickers. first definitions. Published online 2017.
4. Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., Bettenhausen, K.D.,. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine* 28 (3), 567–572. Published online 2015.
5. Glaessgen, E., Stargel, D. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference & 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference & 14th AIAA. Published online 2012.
6. Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L., Wartzack, S. Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Ann.* 66 (January 1), 141–144. Published online 2017.
7. Liu et al., 2018; Booyse et al., 2020. The role of data fusion in predictive maintenance using digital twin. *AIP Conference Proceedings* 1949 (1), 020023 Deep digital twins for detection, diagnostics and prognostics. *Mech. Syst. Signal Process* 140, 106612, June.
8. Liu et al.,. Dynamic evaluation method of machining process planning based on digital twin. *IEEE Access* 7, 19312–19323. Published online 2019a.
9. Lu, Y., Liu, C., Wang, K.I.-K., Huang, H., Xu, X. Digital twin-driven smart manufacturing: connotation, reference model, applications and research issues. *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 61. Published online 2020.
10. Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., Sihn, W. Digital Twin in manufacturing: a categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine* 51 (11), 1016–1022. Published online 2018.
11. Shixiang Gu, Timothy Lillicrap, Ilya Sutskever, and Sergey Levine. Continuous deep q-learning with model-based acceleration. In *International Conference on Machine Learning*, pages 2829–2838. Published online 2016.
12. Jay Lee, Edzel Lapira, Behrad Bagheri, and Hung an Kao. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*, 1(1):38 – 41. Published online 2013.
13. B. Kroll, D. Schaffranek, S. Schriegel, and O. Niggemann. G.A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone, and A. Beghi. B. Kroll, D. Schaffranek, S. Schriegel, and O. Niggemann. System modeling based on machine learning for anomaly detection and predictive maintenance in industrial plants. In *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETF A)*, pages 1–7, Sept 2014. G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone, and A. Beghi. Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(3):812– 820, June 2015.
14. G"unter Pritschow and Sascha R"ock. Hardware in the loop simulation of machine tools. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 53(1):295– 298. Published online 2004.
15. Christian Scheifele and Alexander Verl. Hardware-in-the-loop simulation for machines based on a multi-rate approach. *The 9th Eurosim Congress on Modelling and Simulation, EUROSIM 2016*. Published online 2016.

16. Christian Scheifele and Alexander Verl. Von der virtuellen maschine zur virtuellen produktion mit ansätzen der echtzeit-cosimulation. Fortschritt-Berichte VDI, Industrie 4.0 - Vision und Realität, 2(696):81–90. Published online 2017.
17. Hlady, J., Glanzer, M., Fugate, L.,. Automated creation of the pipeline digitaltwin during construction - improvement to construction quality and pipelineintegrity. Proceedings of the Biennial International Pipeline Conference, IPC, 2. Published online 2018.
18. Shubenkova, K., Valiev, A., Mukhametdinov, E., Shepelev, V., Tsiulin, S., Reinau, K.H. Possibility of digital twins technology for improving efficiency of thebranded service system. Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference,GloSIC 2018. Published online 2018.
19. van Kruijsdijk; Hatano; Landolfi et al.; Peeters; Vachaleket al.; Wantia and Roßmann; Yerra and Pilla; Cao. van Kruijsdijk, C., 2018]. Digital Twins As R&D Accelerators - the Case for an OpenSource Ecosystem. ERCIM NEWS, pp. 14–15, 115, October; Hatano, K., 2018]. Fog in the smart factory: optimizing production for perishablegoods manufacturing. Cut. Bus. Technol. J. 31 (6), 11–16.; Landolfi, G., et al., 2018. Intelligent value chain management framework for cus-tomized assistive healthcare devices. Procedia CIRP 67, 583–588.; Peeters, E., 2018]. The Netherlands Organisation for Applied Scientific ResearchWorks With Digital Twin in Real Life. ERCIM NEWS, 115, p. 41, Oct.; Vachalek, J., Bartalsky, L., Rovny, O., Sismisova, D., Morhac, M., Loksik, M., 2017].The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept.Proc. 2017 21st Int. Conf. Process Control. PC 2017, 258–262.; Wantia, N., Roßmann, J., 2017]. An online task planning framework reducingexecution times in industrial environments. ICIEA In: 2017 4th InternationalConference on Industrial Engineering and Applications, 2017, pp. 90–94.;Yerra, V.A., Pilla, S., 2017]. IIoT-enabled production system for composite intensivevehicle manufacturing. SAE Int. J. Engines 10 (April 2), 209–214.; Cao, J., 2017]. Research on operation and maintenance management of equip-ment under intelligent manufacturing. Proceedings - 2017 Chinese AutomationCongress, CAC 2017, 2017., pp. 5188–5191, Janua.
20. Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., Nee, A.Y.C. Digital twin driven prognostics andhealth management for complex equipment. CIRP Ann. 67 (1), 169–172. Published online 2018b.
21. Rabah et al; Sivalingamet al; Luo et al; Strohmeier et al; Utzig et al.; Yashin et al. Rabah, S., et al., 2018. Towards improving the future of manufacturing through dig-ital twin and augmented reality technologies. Procedia Manuf. 17 (January),460–467; Sivalingam, K., Sepulveda, M., Spring, M., Davies, P., 2018. A review and methodologydevelopment for remaining useful life prediction of offshore fixed and floatingwind turbine power converter with digital twin technology perspective. Proc. -2018 2nd Int. Conf. Green Energy Appl. ICGEA 2018, 197–204; Luo, W., Hu, T., Zhu, W., Tao, F., 2018. Digital twin modeling method for CNC machinetool. ICNSC 2018 - 15th IEEE Int. Conf. Networking, Sens. Control, 1–4, 51405270; Strohmeier, F., Schranz, C., Guentner, G., 2018]. i-Maintenance: A Digital Twin forSmart Maintenance. ERCIM NEWS, 115, pp. 12–14, Oct;Utzig, S., Kaps, R., Azeem, S.M., Gerndt, A., 2019]. Augmented reality for remotecollaboration in aircraft maintenance tasks. IEEE Aerospace Conference Proceed-ings;Yashin, G.A., Trinitatova, D., Agishev, R.T., Ibrahimov, R., Tsetserukou, D., 2019].AeroVr: virtual reality-based teleoperation with tactile feedback for aerialmanipulation. ICAR In: 2019 19th International Conference on AdvancedRobotics, 2019;

22. Swanson, . Linking maintenance strategies to performance. *Int. J. Prod. Econ.* 70 (April 3), 237–244. Published online 2001.
23. Shafiee. Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview. *J. Qual. Maint. Eng.* 21 (October 4), 378–402. Published online 2015.
24. Bashiri, M., Badri, H., Hejazi, T.H., Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method. *Appl. Math. Model.* 35 (January 1), 152–164. Published online 2011.
25. Nikolaev, S., Belov, S., Gusev, M., Uzhinsky, I. Hybrid data-driven and physics-based modelling for prescriptive maintenance of gas-turbine power plant. *IFIP In: IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 565, pp.379–388. Published online 2019.
26. Mabkhot, M.M., Al-Ahmari, A.M., Salah, B., Alkhalefah, H. Requirements of the smart factory system: a survey and perspective. *Machines* 6 (June 2). Published online 2018.
27. Fang et al.; Animah and Shafiee; Rajesh et al.; Werner et al. Fang, X., Gebraeel, N.Z., Paynabar, K., 2017]. Scalable prognostic models for large-scale condition monitoring applications. *IIE Trans.* 49 (July 7), 698–710. Animah, I., Shafiee, M., 2018]. Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets. *J. Loss Prev. Process Ind.* 53 (May), 17–28. Rajesh, P.K., Manikandan, N., Ramshankar, C.S., Vishwanathan, T., Sathishkumar, C., 2019]. Digital twin of an automotive brake pad for predictive maintenance. *Procedia Comput. Sci.* 165, 18–24. Werner, A., Zimmermann, N., Lentz, J., 2019]. Approach for a holistic predictive maintenance strategy by incorporating a digital twin. *Procedia Manuf.* 39, 1743–1751.
28. Ansari, F., Glawar, R., Nemeth, T. PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 32 (May 4–5), 482–503. Published online 2019.
29. Consilvio, A., et al. Prescriptive maintenance of railway infrastructure: from data analytics to decision support. *MT-ITS 2019 - 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. Published online 2019.
30. Matyas et al.; Setrag and Rostetter; Matyas, K., Nemeth, T., Kovacs, K., Glawar, R., 2017]. A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 66 (January 1), 461–464. Setrag, K., Rostetter, C., 2015]. Digital prescriptive maintenance. In: *Internet Things, Process Everything, BPM Everywhere.*, pp. 1–20.
31. Vathoopan, M., Johny, M., Zoitl, A., Knoll, A. Modular fault ascription and corrective maintenance using a digital twin. *IFAC-Papers On Line* 51 (11), 1041–1046. Published online 2018.
32. Barbosa, A.S., Silva, F.P., Crestani, L.R.S., Otto, R.B. Virtual assistant to real time training on industrial environment. *Adv. Trans. Discip. Eng.* 7, 33–42. Published online 2018.
33. Zhou, J. Intelligent manufacturing—Main direction of “Made in China 2025”. *China Mech. Eng.* 26, 2273–2284. Published online 2015.
34. Ma, X.; Tao, F.; Zhang, M.; Wang, T.; Zuo, Y. Digital twin enhanced human-machine interaction in product lifecycle. *Procedia CIRP* 83, 789–793. [CrossRef]. Published online 2019.
35. Patriarca, R.; Di Gravio, G.; Cioponea, R.; Licu, A. Safety intelligence: Incremental proactive risk management for holistic aviation safety performance. *Saf. Sci.* 118, 551–567. Published online 2019.

36. Marsh. The 100 Largest Losses 1978–2017. Published online 2018.
37. Gabbar, H.A.; Shinohara, S.; Shimada, Y.; Suzuki, K. Experiment on distributed dynamic simulation for safety design of chemical plants. *Simul. Model. Pract. Theory* , 11, 109–123. Published online 2003.
38. Ramzan, N.; Compart, F.; Witt, W. Application of extended Hazop and event-tree analysis for investigating operational failures and safety optimization of distillation column unit. *Process Saf. Prog.* 26, 248–257. Published online 2007.
39. Wu, J.; Zhang, L.; Hu, J.; Lind, M.; Zhang, X.; Jørgensen, S.B.; Sin, G.; Jensen, N. An integrated qualitative and quantitative modeling framework for computer-assisted HAZOP studies. *AIChE J.* 60, 4150–4173. Published online 2014.
40. Kummer, A.; Varga, T. Process simulator assisted framework to support process safety analysis. *J. Loss Prev. Process Ind.* 58, 22–29. Published online 2019.
41. Patnaik, P., Wu, X. Linking MRO to prognosis based health management through physics-of-failures understanding. *Proceedings of the ASME Turbo Expo6*. Published online 2018.
42. Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., Nee, A.Y.C. Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. *CIRP Ann.* 67 (1), 169–172. Published online 2018b.
43. Organizzazione Mondiale della Sanità convegno. salute e sicurezza sul lavoro. Published online 1995.
44. Gilbert, C., . Safety: A matter for “Professionals”? In: Bieder, C., Gilbert, C., Journé, B., Laroche, H. (Eds.). *Beyond Safety Training*. Springer International Publishing, Cham. Published online 2018.
45. Provan, D.J., Dekker, S.W.A., Rae, A.J.,. Bureaucracy, influence and beliefs: A literature review of the factors shaping the role of a safety professional. *Saf. Sci.* 98 (Supplement C), 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.006>. Published online 2017.
46. Erik Hollnagel. How to shift from reactive to proactive OHS, Safety Institute of Australia. Published online 2015.
47. Cloutier, C., Denis, J.-L., Langley, A., Lamothe, L. Agency at the managerial interface: public sector reform as institutional work. *J. Public Administration Res. Theory* 26 (2), 259–276. <https://doi.org/10.1093/jopart/muv009>. Published online 2016.
48. Amalberti, R. *Navigating Safety: Necessary Compromises and Trade-Offs - Theory and Practice*, 2013 edition. Springer, New York. Published online 2013.
49. Smith, A.C.T., Stewart, B.,. Organizational rituals: features, functions and mechanisms. *Int. J. Manage. Rev.* 13 (2), 113–133. [https://doi.org/10.1111/j.1468- A. Rae, D. Provan Safety Science 111 \(2019\) 119–1272370.2010.00288.x](https://doi.org/10.1111/j.1468- A. Rae, D. Provan Safety Science 111 (2019) 119–1272370.2010.00288.x). Snook, S.A., 2000. *Friendly Fire*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. Published online 2011a.
50. Walker, S., Wellock, T. A short history of nuclear regulation, 1946–2009. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Retrieved from <http://www.nrc.gov/docs/ML1029/ML102980443.pdf>. Published online 2010.
51. Helfen, M., Sydow, J.,. Negotiating as institutional work: the case of labour standards and international framework agreements. *Organization Stud.* 34 (8), 1073–1098. <https://doi.org/10.1177/0170840613492072>. Published online 2013.
52. Menon, C. ine, Hawkins, R., McDermid, J.,. Defence standard 00-56 Issue 4: Towards evidence-based safety standards. Retrieved from Retrieved from In: Dale, C., Anderson, T. (Eds.), *Safety-Critical Systems: Problems, Process and Practice*. Springer London, 243London, pp. 223. Published online 2009.

53. Kelly, T., September. *Arguing Safety – A Systematic Approach to Managing Safety Cases*. University of York. Published online 1998.
54. Rae, A.J., Alexander, R.D., Probative blindness and false assurance about safety. *Saf. Sci.* 92, 190–204. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.10.005>. Published online 2017.
55. Gunningham, N., Johnstone, R., *Regulating Workplace Safety: Systems and Sanctions*. Oxford University Press, Oxford Retrieved from <http://ukcatalogue.oup.com/product/9780198268246.do>. Published online 1999.
56. Katz, D., The motivational basis of organizational behavior. *Behav. Sci.* 9 (2), 131–146. <https://doi.org/10.1002/bs.3830090206>. Published online 1964.
57. Dekker, S., Cilliers, P., Hofmeyr, J.-H., The complexity of failure: Implications of complexity theory for safety investigations. *Saf. Sci.* 49 (6), 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.008>. Published online 2011.
58. Bahr, N.J., *System Safety Engineering and Risk Assessment: A Practical Approach*, second ed. CRC Press. Published online 2014.
59. Ingham, R., Winterbottom, T., Shortridge, R., Roxby, J., Clay, J., Report of the South Shields Committee Appointed to Investigate the Causes of Accidents in Coal Mines. Longman, London. Published online 1843.
60. McDermid, J.A., Rae, A.J., Goal based safety standards: promises and pitfalls. Presented at the Safety-critical Systems Symposium. Published online 2012.
61. Jagtman, E., Hale, A., Safety learning and imagination versus safety bureaucracy in design of the traffic sector. *Saf. Sci.* 45 (1–2), 231–251. Published online 2007.
62. Dekker, S., *The Safety Anarchist: Relying on Human Expertise and Innovation, Reducing Bureaucracy and Compliance*. Routledge, New York. Published online 2017.
63. Weber, M., Bureaucracy. In: Waters, T., Waters, D. (Eds.), *Weber's Rationalism and Modern Society: New Translations on Politics*. Palgrave MacMillan. Published online 2015.
64. Lawrence, T., Suddaby, R., Leca, B., Institutional work: refocusing institutional studies of organization. *J. Manage. Inquiry* 20 (1), 52–58. <https://doi.org/10.1177/1056492610387222>. Published online 2011.
65. La Porte, T.R., Snook, S.A., Turner, B.A., Vaughan, D., La Porte, T.R., 1996. High reliability organizations: unlikely, demanding and at risk. *J. Contingencies Crisis Manage.* 4 (2), 60. Snook, S.A., 2000. *Friendly Fire*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. Turner, B.A., 1976. The organizational and interorganizational development of disasters. *Adm. Sci. Q.* 21 (3), 378–397. <https://doi.org/10.2307/2391850>. Vaughan, D., 1997. *The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture, and Deviance at NASA*, first ed. University of Chicago Press, Chicago.
66. Kelly, T., McDermid, J., A systematic approach to safety case maintenance. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 71 (3), 271–284. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(00)00079-X). Published online 2001.
67. Amalberti, R., The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Saf. Sci.* 37 (2–3), 109–126. Published online 2001.
68. Danjou, C., Rivest, L., Pellerin, R., Hermann, M., Pentek, T., Otto, B., Danjou, C., Rivest, L., Pellerin, R., 2017. *Industrie 4.0 : des pistes pour aborder l'ère du numérique et de la connectivité*. Centre facilitant la recherche et l'innovation dans les organisations (CEFRIO). [http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/Industrie\\_4.0\\_Rapport\\_20170322.pdf](http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/Industrie_4.0_Rapport_20170322.pdf) (Accessed July 18, 2017). Hermann, M., Pentek, T., Otto,

- B., 2016. Design principles for industrie 4.0 scenarios. Proc. Ann. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. 7427673, 3928–3937.
69. Kaivo-Oja, J., Virtanen, P., Jalonen, H., Stenvall, J.,. The effects of the internet of things and big data to organizations and their knowledge management practices. Lect. Notes Business Inform. Process. 224, 495–513. Published online 2015.
70. Podgórski, D., Majchrzycka, K., Dąbrowska, A., Gralewicz, G., Okrasa, M.,. Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies. Int. J. Occup. Safe. Ergon. 23 (1), 1–20. Published online 2017.
71. Fernández, F.B., Pérez, M.Á.S.,. Analysis and modeling of new and emerging occupational risks in the context of advanced manufacturing processes. Procedia Eng. 100, 1150–1159. Published online 2015.
72. Kuschnerus, D., Bilgic, A., Bruns, F., Musch, T. A hierarchical domain model for safety-critical cyber-physical systems in process automation. In: IEEE International Conference on Industrial Informatics, art. no. 7281773. pp. 430–436. Published online 2015.
73. Siemieniuch, C.E., Sinclair, M.A., Henshaw, M.J.C.,. Global drivers, sustainable manufacturing and systems ergonomics. Appl. Ergon. 51, 104–119. Published online 2015.
74. Beetz, M., Bartels, G., AlbuSchaffer, A., BalintBenczedi, F., Belder, R., Bebler, D., Haddadin, S., Maldonado, A., Mansfeld, N., Wiedemeyer, T., Weitschat, R., Worch, J. H.,. Robotic agents capable of natural and safe physical interaction with human co-workers. In: IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, art. no. 7354310. pp. 6528–35. Published online 2015.
75. Mattsson, S., Partini, J., Fast-Berglund, Å.,. Evaluating four devices that present operator emotions in real-time. Procedia CIRP 50, 524–528. Published online 2016.
76. Palazon, J.A., Gozalvez, J., Maestre, J.L., Gisbert, J.R.,. Wireless solutions for improving health and safety working conditions in industrial environments. In: IEEE 15th International Conference on eHealth Networking, Applications and Services, Healthcom, art. no. 6720736. pp. 544–548. Published online 2013.
77. Lira, D.N., Borsato, M.,. Dependability modeling for the failure prognostics in smart manufacturing. Adv. Transdisciplin. Eng. 4, 885–894. Published online 2016.
78. Vogl, G.W., Weiss, B.A., Helu, M.,. A review of diagnostic and prognostic capabilities and best practices for manufacturing. J. Intell. Manuf. 1–17. Published online 2016.
79. Simons, S., Abé, P., Nesper, S. Brettel, M., Klein, M., Friederichsen, N., Neal, A., Segura-Velandia, D., Conway, P., West, Abersfelder, S., Heyder, A., Franke, J. Simons, S., Abé, P., Nesper, S., 2017. Learning in the AutFab – The fully automated Industrie 4.0. Learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. Procedia Manuf. 9, 81–88. Brettel, M., Klein, M., Friederichsen, N., 2016. The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0. In: 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP 41. pp. 105–110. Neal, A., Segura-Velandia, D., Conway, P., West, A., 2016. Component detection with an on-board UHF RFID reader for industrie 4.0 capable returnable transit items. Adv. Transdisciplin. Eng. 3, 325–330. Abersfelder, S., Heyder, A., Franke, J. 2015. Optimization of a servo motor manufacturing value stream by use of ‘Industrie 4.0’.



In: 2015 5th International Conference on Electric Drives Production, EDPC 2015 – Proceedings 7323216.

80. Waschneck, B., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., Block, C., Freith, S., Kreggenfeld, N., Morlock, F., Prinz, Ch., Kreimeier, D., Kuhlenkötter, B., Waschneck, B., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., 2017. Production scheduling in complex job shops from an industrie 4.0 perspective: a review and challenges in the semiconductor industry. CEUR Workshop Proceedings 1793. Block, C., Freith, S., Kreggenfeld, N., Morlock, F., Prinz, Ch., Kreimeier, D., Kuhlenkötter, B., 2015. Industry 4.0 as a socio-technical area of tension - holistic view of technology, organization and personnel. Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 110 (10), 657–660.

81. Leka, S., Jain, A., Health Impact of Psychosocial Hazards at Work: An Overview. World Health Organization, Geneva, pp. 136. Published online 2010.

82. Lorenz, M., Rüßmann, M., Strack, R., Lasse Lueth, K., Bolle, M., European Commission. Lorenz, M., Rüßmann, M., Strack, R., Lasse Lueth, K., Bolle, M., 2015. Man and Machine in Industry 4.0: How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? The Boston Consulting Group 22 p. European Commission, 2013. Factories of the Future - Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020. Prepared by European Factories of the Future Research Association (EFFRA), 136 p.

83. Lorenz, M., Rüßmann, M., Strack, R., Lasse Lueth, K., Bolle, M., Man and Machine in Industry 4.0: How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? The Boston Consulting Group 22 p. Published online 2015.

84. Moniri, M.M., Valcarcel, F.A.E., Merkel, D., Sonntag, D., Human gaze and focus-of-attention in dual reality human-robot collaboration. In: 12th International Conference on Intelligent Environments, IE 2016 7723507. pp. 238–241. Published online 2016.

85. Waschneck, B., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., Kress, P., Pflaum, A., Lowen, U. Toro, C., Barandiaran, I., Posada, J., Waschneck, B., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., 2017. Production scheduling in complex job shops from an industrie 4.0 perspective: a review and challenges in the semiconductor industry. CEUR Workshop Proceedings 1793. Kress, P., Pflaum, A., Lowen, U. 2016.

Ecosystems in the manufacturing industry. In: IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 7733621. Toro, C., Barandiaran, I., Posada, J., 2015. A perspective on knowledge based and intelligent systems implementation in industrie 4.0. Procedia Comput. Sci. 60 (1), 362–370.

86. Uhlmann, E., Hohwieler, E., Geisert, C., Intelligent production systems in the era of industrie 4.0 – changing mindsets and business models. J. Mach. Eng. 17 (2), 5–24. Published online 2017.

87. Bonini, M., Prenesti, D., Urru, A., Echelmeyer, W., Towards the full automation of distribution centers. In: 2015 4th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport, IEEE ICALT 7136589. pp. 47–52. Published online 2015.

88. Waschneck, B., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., Christiernin, L.G., Augustsson, S., Gattullo, M., Uva, A.E., Fiorentino, M., Gabbard, J.L., Waschneck, B., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., 2017. Production scheduling in complex job shops from an industrie 4.0 perspective: a review and challenges in the semiconductor industry. CEUR Workshop Proceedings 1793. Christiernin, L.G., Augustsson, S., 2016. Interacting with industrial robots – a

- motionbased interface. *Proc. Workshop Adv. Visual Interfaces* 310–311. Gattullo, M., Uva, A.E., Fiorentino, M., Gabbard, J.L., 2015. Legibility in industrial AR: text style, color coding, and illuminance. *IEEE Comput. Graph. Applicat.* 35 (2), 52–61.
89. Von Thiele Schwarz, U., Hasson, H., Tafvelin, S., Van Holland, B.J., Soer, R., de Boer, M.R., Reneman, M.F., Brouwer, S., Von Thiele Schwarz, U., Hasson, H., Tafvelin, S., 2016. Leadership training as an occupational health intervention: improved safety and sustained productivity. *Safe. Sci.* 81, 35–45. Van Holland, B.J., Soer, R., de Boer, M.R., Reneman, M.F., Brouwer, S., 2015. Preventive occupational health interventions in the meat processing industry in upper-middle and high-income countries: a systematic review on their effectiveness. *Int. Arch. Occupat. Environ. Health* 88 (4), 389–402.
90. Productivity Commission,. *Performance Benchmarking of Australian Business Regulation: Occupational Health & Safety*, Research Report, Canberra. 424 p. Published online 2010.
91. Frost & Sullivan,. *Convergence Trends See the Automotive Industry Integrate Health, Wellness, and Wellbeing into Vehicles.* <<https://ww2.frost.com/news/press-releases/convergence-trends-see-automotive-industry-integrate-healthwellness-and-wellbeing-vehicles/>>(Accessed July 18, 2017). Published online 2015.
92. Muzaimi, H., Chew, B.C., Hamid, S.R., Dahlin, G., Isaksson, R., Chovancová, J., Rovňák, M., Bogľarský, J., Bogľarská, Ľ., Muzaimi, H., Chew, B.C., Hamid, S.R., 2017. Integrated management system: the integration of ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 and ISO 31000. *AIP Conf. Proc.* 1818 (1). Dahlin, G., Isaksson, R., 2017. Integrated management systems -interpretations, results, opportunities. *TQM J.* 29 (3), 528–542. Chovancová, J., Rovňák, M., Bogľarský, J., Bogľarská, Ľ., 2016. Implementation of standardized management systems with focus on their integration. *Prod. Manage. Eng. Sci. – Sci. Publicat. Int. Conf. Eng. Sci. Prod. Manage.* 247–252.
93. Badri, A., Gbodossou, A., Nadeau, S.,. Occupational Health and Safety risks: towards the integration into project management. *Safety Sci.* 50 (2), 190–198. Published online 2012a.
94. Pettitt, G., Westfall, S.,. The advantages of integrating major hazard safety and impact assessments for pipeline projects. In: *Proceedings of the Biennial International Pipeline Conference, IPC 2.* Published online 2016.
95. Yaqiong, Lv, Danping, Lin, Ubisense,. Yaqiong, Lv, Danping, Lin, 2017. Design an intelligent real-time operation planning system in distributed manufacturing network. *Indust. Manage. Data Syst.* 117 (4), 742–753. Ubisense, 2016. Smart factory for manufacturing. <[https://ubisense.net/application/ A. Badri et al. Safety Science 109 \(2018\) 403–411 files/3114/2900/8598/5152\\_Smartfactory\\_Manufacturing\\_AW\\_Web.pdf](https://ubisense.net/application/A.Badri%20et%20al.%20Safety%20Science%20109%20(2018)%20403-411/files/3114/2900/8598/5152_Smartfactory_Manufacturing_AW_Web.pdf)>(Accessed July 18, 2017).
96. ABB. Connecting the world – Industry 4.0. <[http://new.abb.com/docs/librariesprovider20/Contact-magazine/contact\\_middle-east-industry-4-0-dec2014.pdf](http://new.abb.com/docs/librariesprovider20/Contact-magazine/contact_middle-east-industry-4-0-dec2014.pdf)>. Published online 2014.
97. Nielsen, I., Dang, Q.-V., Bocewicz, G., Banaszak, Z.,. A methodology for implementation of mobile robot in adaptive manufacturing environments. *J. Intell. Manuf.* 28 (5), 1171–1188. Published online 2017.
98. Shibin, K.T., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Childe, S., Dubey, R., Singh, S.,. Energy sustainability in operations: an optimization study. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 86 (9–12), 2873–2884. Published online 2016.

99. Badri, A., Nadeau, S., Gbodossou, A.,. Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation. *Accid. Anal. Prevent.* 48, 223–234. Published online 2012b.
100. Brocal, F., Sebastián, M.A., Geraci Jr., C.L.,. Brocal, F., Sebastián, M.A., 2015. Identification and analysis of advanced manufacturing processes susceptible of generating new and emerging occupational risks. *Procedia Eng.* 132, 887–894.
- Geraci Jr., C.L., 2010. Applying basic risk management principles to nanomaterial processes. *Nanotechnology 2010: Bio Sensors, Instruments, Medical, Environment and Energy – Technical Proceedings of the 2010 NSTI Nanotechnology Conference and Expo*, pp. 539–541.
101. Ross, A.J., Davies, J.B., Plunkett, M.,. Reliable qualitative data for safety and risk management. *Process Safe. Environ. Protect.* 83 (2), 117–121. Published online 2005.
102. Malinowski, M.L., Beling, P.A., Haimes, Y.Y., LaViers, A, Marvel, J.A., Weiss, B.A.,. System interdependency modeling in the design of prognostic and health management systems in smart manufacturing. In: *Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society*, pp. 210–222. Published online 2015.
103. Erik Hollnagle, David Woods, Nanc Leveson, Sydney Dekker. *Resilience Engineering.*; 2006.
104. Wastell, D.G.,. The fetish of technique: methodology as a social defence. *Inf. Syst. J.* 6 (1), 25–40. Published online 1996.
105. Reiman, T., Rollenhagen, C., Viitanen, K.,. On the relation between culture, safety culture and safety management. In: *12th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, PSAM, Vol. 22*. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/faed/068fe45bfbdfc5dbb3895e5de7b2965beb.pdf>. Published online 2014.
106. Kerhoas, A. International Atomic Energy AgencyRegulatory Oversight of Safety Culture in Nuclear Installations. International Atomic Energy Agency, Vienna. Published online 2013.
107. Robson,. *Real world research* (2nd ed.). Malden, MA: Blackwell Publishing. Published online 2002.
108. Goodwin, K. *Designing for the digital age: How to create human-centered products and services*. Indianapolis, IN: Wiley. Published online 2009.
109. Hackos, J. T., & Redish, J. C. *User and task analysis for interface design*. New York, NY: Wiley. Published online 1998.
110. Schuman, H., & Presser, S. *Questions and answers in attitude surveys*. London: Sage. Published online 1996.
111. Dillman, D. A., Smyth, J. D., & Christian, L. M. *Internet, mail, and mixed-mode surveys: The tailored design method* (3rd ed.). New York, NY: Wiley. Published online 2009.
112. Schensul, S. L., Schensul, J. J., & LeCompte, M. D. *Essential ethnographic methods: Observations, interviews, and questionnaires*. Walnut Creek, CA: AltaMira Press. Published online 1999.
113. Wood, L. Semi-structured interviewing for user-centered design. *Interactions*, 4(2), 48\_61. Published online 1997.
114. Iris Graessler , Christian Ole, Philipp Scholle. *Method for Systematic Assessment of Requirement Change Risk in Industrial Practice*. Heinz Nixdorf Institute, Chair for Product Creation, Paderborn University, 33098 Paderborn, Germany; Published online December 4, 2020.

115. V. Salehi \*, B. Veitch. Measuring and analyzing adaptive capacity at management levels of resilient systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 63 (2020) 104001.
116. Asbjørn Lein Aalberg, Rolf Johan Bye, Sverre Andreas Kvalheim, Roar Høydal, Leif Inge Sørskår. Beyond the numbers: A qualitative field study exploring negative trends in HSE climate in the Norwegian oil and gas industry. *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference*.
117. Hasith Gunasekara, Janaka Gamage\*, Himan Punchihewa. Remanufacture for sustainability: Barriers and solutions to promote automotive remanufacturing. Department of Mechanical Engineering, University of Moratuwa, Moratuwa, Sri Lanka, 10400. © 2020 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) Peer review under the responsibility of the scientific committee of the Global Conference on Sustainable Manufacturing.

## Ringraziamenti

Ringrazio il Prof. Maurizio Bevilacqua, per avermi guidato e supportato nella fase più importante del percorso accademico. Un sentito grazie al Dott. Giulio Marcucci, correlatore di tesi, per il supporto costante, le dritte indispensabili e la sua complicità nella realizzazione di ogni capitolo della tesi.

A mio padre e mia madre, al loro costante sostegno, per i loro insegnamenti, senza i quali oggi non sarò ciò che sono. Senza di voi, tutto questo non sarebbe stato possibile. A mia sorella Cristina che si è sorbita tutte le arrabbiate.

Ai miei amici, Giorgia, Vanessa, Giacomo, Andrea, Niccolò, per avermi sostenuto e incoraggiato. Grazie che ci siete sempre stati.

Ai miei amici Emanuele, Leonardo, Chiara, a cui devo la maggior parte delle risate e incoraggiamenti, in questi anni d'università.

Infine ringrazio la mia famiglia, i miei amici e tutti quelli che hanno incrociato la loro vita con la mia lasciandomi qualcosa di buono. Grazie per essere stati miei complici, ognuno a suo modo, in questo percorso intenso ed entusiasmante, nel bene e nel male. Sono così tanti i ricordi che mi passano per la testa che è impossibile trovare le parole giuste per onorarli. A farlo saranno le mie emozioni, i miei sorrisi e le mie lacrime che insieme si mescolano in un bagaglio di affetto sincero e gratitudine per tutti voi. Grazie per aver reso il mio traguardo davvero speciale.

Una frase molto importante per me in questi anni di università, frase sempre presente nei miei momenti bui viene dal motto dalla nave più bella del mondo:

*NON CHI COMINCIA MA QUEL CHE PERSEVERA*