



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

**LE TECNOLOGIE IOT PER LA SICUREZZA DEI MACCHINARI**

**IOT TECHNOLOGIES FOR MACHINERIES SAFETY**

Relatore: Chiar.mo

**Prof. Bevilacqua Maurizio**

Correlatore: Chiar.mo

**Prof. Mazzuto Giovanni**

Tesi di Laurea di:

**Mandriota Sofia**

**A.A. 2019/2020**



## **INDICE:**

1. INTRODUZIONE.....	4
2. CAPITOLO1: INDUSTRY 4.0 e DIGITAL TWIN.....	5
3. CAPITOLO 2: SICUREZZA SUL LAVOR.....	11
4. CAPITOLO3: DIGITAL TWIN E SICUREZZA DI MACCHINE UTENSILI..	17
5. CAPITOLO 4: TRAPANO A COLONNA.....	23
6. CONCLUSIONE.....	32
7.BIBLIOGRAFIA.....	33

## 1. INTRODUZIONE

Grazie al progresso sul fronte informatico è stato possibile sviluppare negli ultimi anni delle tecnologie e dei dispositivi sempre più intelligenti e interconnessi con il mondo reale.

Internet delle cose (IoT, acronimo dell'inglese Internet of things), è un neologismo riferito all'estensione di Internet al mondo degli oggetti e dei luoghi concreti.

Rappresenta una possibile evoluzione dell'uso della rete internet: gli oggetti acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati su se stessi e accedere ad informazioni aggregate da parte di altri.

Non parliamo soltanto di computer, smartphone e tablet, ma soprattutto degli oggetti che ci circondano all'interno delle nostre case, al lavoro, nelle città, nella vita di tutti i giorni.

L'Internet of Things nasce proprio qui: dall'idea di portare nel mondo digitale gli oggetti della nostra esperienza quotidiana.

## 2. CAPITOLO 1 : INDUSTRY 4.0 e DIGITAL TWIN

L' Industry 4.0 è un nuovo paradigma produttivo che, nato recentemente, ha contribuito ad integrare all'interno di ambienti produttivi le tecnologie di tipo informatico.

“Industria 4.0” prende il nome dal piano del governo tedesco presentato nel 2011 che prevedeva investimenti su infrastrutture, scuole, sistemi energetici, enti di ricerca e aziende per ammodernare il sistema produttivo tedesco e rendere la manifattura tedesca competitiva a livello globale.<sup>1</sup>

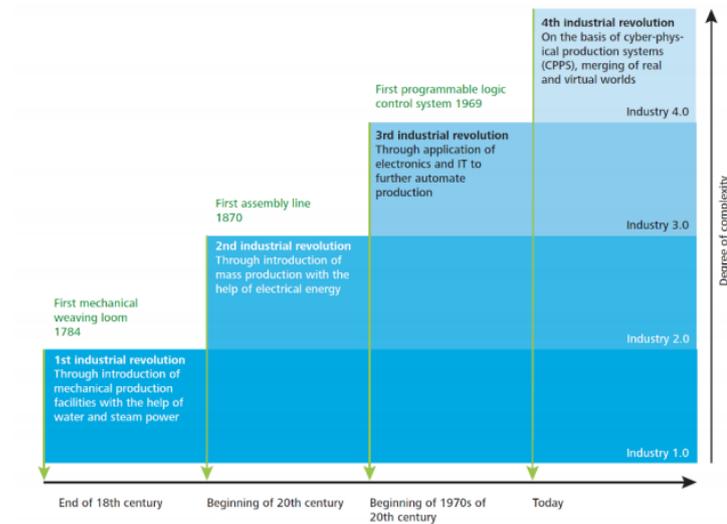
Le tecnologie di Industry 4.0 sono basate su modelli organizzativi nuovi che hanno permesso di integrare all'interno di tecnologie note elementi legati alla digitalizzazione del sistema, la quale è stata possibile attraverso lo sviluppo delle infrastrutture informatiche che permettono comunicazioni veloci e affidabili grazie alla creazione dei gemelli digitali dei sistemi reali.

Nel corso della storia si possono distinguere diverse rivoluzioni industriali: la prima rivoluzione industriale interessò prevalentemente il settore tessile e quello metallurgico, con l'introduzione della macchina a vapore nella seconda metà del '700; la seconda rivoluzione industriale viene convenzionalmente fatta partire dal 1870 con l'introduzione dell'elettricità, dei prodotti chimici e del petrolio; ci si riferisce normalmente agli effetti dell'introduzione massiccia dell'elettronica, delle telecomunicazioni e dell'informatica nell'industria come alla terza rivoluzione industriale (rivoluzione digitale) che viene indicata intorno al 1969.

---

<sup>1</sup> «Cos'è l'Industria 4.0 e perché si parla di Quarta rivoluzione industriale?»

La quarta rivoluzione industriale è basata su una crescente integrazione di sistemi cyber-fisici nei processi industriali.



L'industria 4.0 è da alcuni anni al centro della trasformazione economica in Italia e nel mondo. È un processo che scaturisce dalla quarta rivoluzione industriale e che sta portando alla produzione industriale del tutto automatizzata e interconnessa.<sup>2</sup>

Questo nuovo paradigma si fonda su strutture organizzative e gestionali molto avanzate come l'implementazione diffusa di sistemi ERP (per la gestione integrata dei processi di business) e di Lean Production (focalizzazione sul valore percepito dal cliente e l'eliminazione degli sprechi ovvero l'eliminazione di tutte le attività o risorse che non aggiungono valore al cliente) e sulla Supply chain integrata con fornitori e clienti e automazione di fabbrica.

È il fenomeno più quotato del momento in tema di innovazione ed attiene ai temi dello Smart Manufacturing (smart production, smart services e smart Energy). Indica una serie di processi che portano l'automazione industriale più tradizionale verso una forma di integrazione digitale di tutte le sue componenti.

Gli elementi fondamentali dell'Industria 4.0 sono rappresentati dall'IoT o Internet of Things, da Cyber Physical Systems, da Industrial Analytics, dal Cloud Manufacturing, da Wearable e HMI, da Robotics e advanced automation e da Additive manufacturing o 3D Printing.

<sup>2</sup> «Che cos'è l'Industria 4.0 e perché è importante saperla affrontare | Economyup».

Le Smart Factory sono fabbriche dove i CPS comunicano attraverso l'IoT assistendo persone e macchine nell'esecuzione delle attività. La crescita dell'interazione dei processi ha permesso di sviluppare quest'ultimi in modo da poterli adattare in modo dinamico.

Le Smart Factory presentano tre caratteristiche di rilievo come l'integrazione verticale tra i sottosistemi gerarchici interni dei processi operativi, al fine di ottenere una manifattura che si adatti ai vari casi, l'integrazione orizzontale tra le imprese, volte a creare una rete collaborativa e l'integrazione digitale end-to-end dell'ingegneria, lungo l'intera value chain, per assistere la personalizzazione del prodotto.

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

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

I sistemi CPS comprendono macchine intelligenti, sistemi produttivi e di stoccaggio che sono stati sviluppati digitalmente.

I sistemi ciberfisici sono alla base della quarta rivoluzione industriale e forniscono un'integrazione end-to-end di processi fisici e computazionali. In particolare, i CPS sono caratterizzati da una rete di elementi che interagiscono con input e output fisici in modo simile ad una rete di sensori. Il mondo fisico si fonde con quello virtuale permettendo di monitorare l'ambiente fisico e modificarne i relativi parametri. Nelle imprese 4.0, sistemi ciberfisici e umani sono connessi grazie all'internet delle cose e dei servizi.

Industria 4.0 e Digital Twin sono due espressioni destinate ad andare di pari passo, per stabilire continuità tra la progettazione e la produzione: è l'epoca del digitale, della

connettività pervasiva, dell'Internet delle cose (IoT), dell'intelligenza artificiale, dei robot e dei big data.<sup>3</sup>

Il “gemello digitale” è un'immagine più o meno definita di un sistema fisico che permette di simulare e ottenere risposte in un ambiente privo di rischi.

Un Digital Twin è una delle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 che accoppia i sistemi fisici reali con la corrispondente rappresentazione virtuale. Attualmente, l'applicazione dei modelli Digital Twin ha attirato l'attenzione di molti ricercatori con focus sulla produzione, manutenzione predittiva e servizi post-vendita.<sup>4</sup>

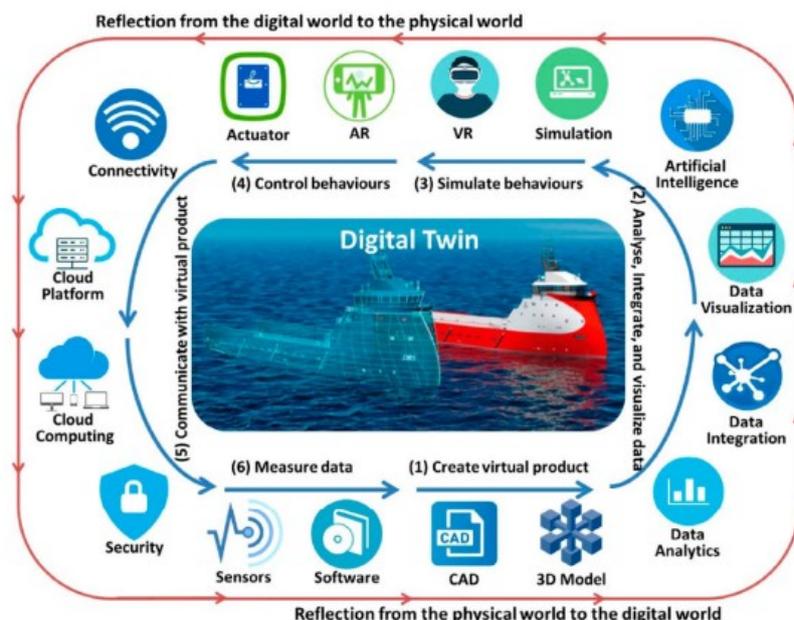
I Digital Twin sono impianti che possono essere utilizzati come strumento di supporto alle decisioni. È un sistema virtuale di un prodotto, di un processo o di un servizio creata per effettuare dei test che permettono di migliorare le funzionalità e prevenire eventuali errori di progettazione. Alla base c'è sia la disponibilità di software particolarmente sofisticati, sia la capacità di raccogliere e processare grandi quantità di dati attraverso i sensori presenti all'interno delle macchine. Grazie a ciò è possibile anche analizzare e diagnosticare l'operatività di un prodotto dall'interno, per capire in modo concreto come poterlo modificare e migliorare. La raccolta dei dati dal mondo reale viene fornita ad un gemello digitale che rappresenta la configurazione fisica dell'ambiente reale da controllare. Questo tipo di sistema può fornire dei valori in output, ad esempio sulle prestazioni delle diverse stazioni, e queste informazioni raccolte potranno poi essere fornite al sistema reale per valutare quelli che potrebbero essere dei miglioramenti delle prestazioni del sistema intero.

Il Digital Twin sfrutta le tecnologie abilitanti di Industry 4.0 per creare un duplicato digitale di un oggetto fisico. Questo include un modello fisico, un modello virtuale e una connessione tra modello fisico e virtuale. Per permettere l'interazione, la comunicazione e la collaborazione tra spazio fisico e ciberspazio, l'utilizzo dei CPS è fondamentale. Il gemello digitale simula il suo funzionamento sulla base delle informazioni raccolte e sfrutta queste simulazioni o come benchmark di confronto con l'andamento reale o per modificare il funzionamento/settaggio dell'oggetto fisico duplicato.

---

<sup>3</sup> Cadlog, «Digital Twin», 27 marzo 2018.

<sup>4</sup> Melesse, Pasquale, e Riemma, «Digital Twin Models in Industrial Operations».



Prima di tutto occorre conoscere il problema in modo tale da poter creare un modello simulato. Le soluzioni del modello simulato saranno utilizzate per trarre conclusioni che poi verranno trasferite nel mondo reale.

In molti casi non è possibile trovare soluzioni fisiche reali a problemi perché le soluzioni potrebbero essere troppo costose, potrebbero richiedere stop nella produzione o richiedere risorse attualmente non disponibili. Il passaggio ad una soluzione simulata non richiede di investire inizialmente grosse cifre o di fermare la produzione per valutare possibili investimenti (che porterebbero ad un incremento dei costi). La scelta sbagliata di una linea produttiva o il non corretto dimensionamento andrebbe ad incidere sui costi di ammortamento e di esercizio dell'impianto e causerebbe perdite di profitto. Quindi l'introduzione di modifiche su un sistema simulato permette di valutare in tempo reale e con minor impegno economico quelle che sono le migliori condizioni che potrebbero essere adottate.

Adottare il Digital Twin nel mondo industriale consente già oggi di ottenere importanti vantaggi, come ad esempio:<sup>5</sup>

- capacità di risolvere problemi comuni con largo anticipo rispetto ai prodotti rilasciati sul mercato;

<sup>5</sup> Cadlog, «Digital Twin», 27 marzo 2018.

- riduzione dei difetti del prodotto e dei costi di produzione per eliminare quasi tutti i rischi nei prodotti futuri;
- spostamento dei processi di convalida nel mondo virtuale, pur mantenendo comunque una connessione virtuale-fisica che consente di analizzare il rendimento di un prodotto in una serie di condizioni e apportare le modifiche necessarie nel mondo virtuale per garantire che il prodotto fisico funzioni esattamente come previsto sul campo;
- verifica del processo di produzione, che agisce prima che qualcosa entri effettivamente in produzione. Perfezionando questa caratteristica, l'azienda può impedire costosi tempi di inattività alle macchine e ai robot in fabbrica. È anche possibile prevedere quando sarà necessaria una manutenzione preventiva per evitare tempi di fermo non necessari;
- accorciare il time-to-market: arrivare sul mercato più velocemente della concorrenza è un problema che tutte le aziende devono affrontare;
- risparmio di tempo e denaro nella simulazione, nelle prove e nelle analisi;
- affidamento non solo sul fisico: si possono includere informazioni dalle loro prestazioni fisiche nei gemelli digitali per mantenere una versione fedele del mondo virtuale.

Il flusso costante di informazioni accurate e aggiornate offre già oggi l'intelligenza necessaria per prendere decisioni più rapidamente, aumentare la velocità di produzione e ottimizzare la produttività.

Le simulazioni preliminari, permesse dalla replica virtuale di un prodotto reale, nel tempo abbassano i costi dei reparti delle imprese che si occupano di ricerca, grazie alle condizioni operative ottimali, durante le quali testare i consumi, e alle caratteristiche quantitative e qualitative dell'oggetto. Al tempo stesso, aumentano le possibilità di effettuare modifiche anche minime ai processi.

La simulazione offline dei robot consente, ad esempio, di controllare in modo esatto l'evoluzione del pezzo lavorato dalla macchina, potendo minimizzare completamente la comparsa di anomalie di realizzazione e assicurando così un risultato quanto più vicino alla perfezione.

### 3. CAPITOLO 2: SICUREZZA SUL LAVORO

La sicurezza è uno degli aspetti chiave del mondo del lavoro, con la quale si intende garantire l'incolumità dei lavoratori e del personale presente attraverso misure preventive.

Recenti indagini di settore hanno evidenziato quanto, una corretta politica orientata alla sicurezza dei lavoratori, porti un sicuro ritorno positivo in azienda, non solo per ciò che concerne i rapporti umani, ma anche in termini di redditività.<sup>6</sup>

Il luogo di lavoro deve essere dotato degli strumenti necessari a garantire un certo grado di protezione contro la possibilità del verificarsi di incidenti.

Dal punto di vista giuridico per "sicurezza sul lavoro" si intendono le attività volte a garantire misure di prevenzione e protezione, adottate dal datore di lavoro e dai lavoratori stessi.

Il rischio può essere definito come combinazione di 2 parametri: la probabilità di accadimento e la gravità delle conseguenze. Questi parametri vengono individuati nelle curve di isorischio, ovvero curve costanti rappresentate da un'iperbole con valori più alti di gravità e più bassi di probabilità o viceversa

Concettualmente, se è possibile definire un valore di rischio ritenuto accettabile, la curva isorischio a esso relativa divide il piano cartesiano in due regioni: la regione al di sotto della curva rappresenta le situazioni con un livello di sicurezza adeguato in quanto in essa il rischio è inferiore a quello accettabile; la regione al di sopra della curva, caratterizzata dai valori del rischio superiori a quello accettabile, rappresenta situazioni con un livello di sicurezza non adeguato.<sup>7</sup>

Per diminuire il rischio si può agire sulla probabilità o sulla gravità. Interventi che permettono di contenere la gravità vengono chiamati di tipo protettivo in quanto non viene ridotta la probabilità di rischio ma vengono contenuti gli effetti che l'evento indesiderato potrebbe avere.

---

<sup>6</sup> «Sicurezza sul lavoro: le 10 cose più importanti da sapere».

<sup>7</sup> «Sicurezza, metodologie e applicazioni in "Enciclopedia della Scienza e della Tecnica"».

Se invece si agisce in ottica di contenimento della probabilità, gli interventi saranno di natura preventiva, poiché non viene influenzata la gravità ma viene ridotta la probabilità di accadimento dell'evento avverso.

È possibile, e solitamente opportuno, implementare contemporaneamente misure di prevenzione e di protezione.

Ogni attività industriale implica un certo rischio, si pone perciò il problema della corretta gestione dello stesso, così che sia garantito un adeguato livello di sicurezza<sup>8</sup>.

Il processo di gestione del rischio si articola nei seguenti passi:

in primo luogo occorre identificare il contesto in cui il rischio deve essere gestito e comporta la definizione del livello di dettaglio adeguato e degli strumenti da utilizzare nell'analisi di rischio. Scegliendo correttamente gli strumenti da utilizzare si evita che l'analisi dia risultati superficiali o inopportunoamente approfonditi.

Occorre poi identificare i pericoli e tutte le sorgenti per effettuare l'analisi del rischio poiché è chiaro che non è possibile stimare un rischio associato ad una sorgente non identificata.

In questa fase viene individuato il gruppo di lavoro, in quanto l'identificazione dei pericoli richiede competenze e informazioni diverse.

Raccolte le informazioni necessarie viene scelta la tecnica di analisi, che in primo stadio vede l'analisi storica basata sugli avvenimenti indesiderati verificati. Questa analisi però non è esaustiva poiché si basa solo su eventi già accaduti e non prende in considerazione la probabilità che un evento, seppur non avvenuto, possa accadere.

Attraverso altre analisi vengono individuate tutte le sorgenti di rischio che poi verranno racchiuse in un rapporto finale.

Seguono poi l'analisi qualitativa (o semiquantitativa) e quantitativa di rischio. L'analisi qualitativa fornisce, in via preliminare, una stima senza una quantificazione dettagliata della probabilità e della gravità. L'analisi semiquantitativa identifica i pericoli a cui non è associato un livello di rischio significativo e che possono essere quindi esclusi a priori

---

<sup>8</sup> «Sicurezza, metodologie e applicazioni in "Enciclopedia della Scienza e della Tecnica"».

dalla quantificazione del rischio, riducendo così le risorse da utilizzare per l'analisi completa.

L'analisi quantitativa necessita la definizione di indici specifici come l'indice di rischio locale, individuale e sociale.

Il rischio locale viene definito come la probabilità (in termini di frequenza) che un individuo, presente in modo permanente e senza alcuna possibilità di fuga o di protezione in un dato punto dello spazio, subisca un determinato danno (per es., la morte) a seguito di un evento indesiderato. Dipende quindi dalla probabilità di accadimento, dall'intensità degli effetti e dalla posizione del punto considerato (che definisce l'intensità degli effetti in funzione della distanza dalla sorgente dell'evento indesiderato).

Il rischio individuale rappresenta la probabilità (in termini di frequenza) che un individuo, in un dato punto dello spazio, subisca un determinato danno a seguito di un evento indesiderato. Dipende quindi, oltre che dai fattori indicati per il rischio locale, anche dalla probabilità che un individuo si trovi in quel determinato punto e dalla capacità di proteggersi dagli effetti dell'evento indesiderato.

Quindi mentre il rischio locale dipende dall'intensità degli effetti, il rischio individuale dipende dalla gravità delle conseguenze.

Il rischio sociale è definito come il numero di persone che possono essere colpite da un certo danno. È un indicatore integrale in quanto considera il rischio a cui viene esposta l'intera popolazione presente sul territorio.

Stimato il rischio è necessario valutare se le misure presenti sono sufficienti o occorre intervenire ulteriormente. Questa valutazione viene fatta confrontando gli indici di rischio stimati con un range di valori ritenuti accettabili. Nel caso in cui i valori stimati cadano all'esterno di questo intervallo occorrerà attuare delle misure aggiuntive. Una volta che quest'ultime siano state decise verrà ripercorsa nuovamente l'analisi in modo da confermare che le modifiche apportate siano efficaci ed efficienti.

La sicurezza sul posto di lavoro è una delle più importanti conquiste dei lavoratori del dopoguerra, sebbene questo diritto sia spesso in pericolo a causa di procedure e comportamenti poco attenti alla prevenzione. La salute sul posto di lavoro, oltre ad

essere un diritto del lavoratore, è un interesse sia per l'impresa, che in questo modo garantisce un ambiente sempre più confortevole e di conseguenza più produttivo, sia per la società nel suo insieme, che così comporta meno costi sociali per infortuni e malattie professionali.

Nel nostro paese, la salute e la sicurezza sul lavoro sono regolamentate dal Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile 2008, conosciuto anche con il nome di "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro".<sup>9</sup>

La legge 81/2008, e recentemente il D.Lgs. 106/2009, affermano che la formazione, l'informazione e l'addestramento dei lavoratori sono degli aspetti di particolare importanza per la protezione della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

In particolar modo con la formazione si trasferiscono ai lavoratori le conoscenze e i metodi necessari per eseguire in maniera sicura il lavoro in azienda, cercando di ridurre al minimo i rischi.

L'attuale legge stabilisce che il datore di lavoro è obbligato a garantire che ogni lavoratore riceva una opportuna e necessaria formazione in materia di salute e sicurezza, specialmente riguardo al proprio lavoro e alle proprie mansioni.<sup>10</sup>

Dal canto loro, i lavoratori sono obbligati a seguire un corso di formazione sulla sicurezza sul lavoro quando vengono assunti, quando vengono trasferiti e cambiano ruoli aziendali, in caso di introduzione di nuove macchine, attrezzature e strumenti.

Il decreto stabilisce le modalità con cui devono essere obbligatoriamente effettuate una serie di azioni preventive, come la valutazione dei rischi in azienda e la serie di interventi che devono essere adottati per il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori. Viene applicato a tutte le aziende, private e pubbliche, di qualsiasi settore di attività, e a tutti i lavoratori, subordinati e autonomi.

È necessario soffermarsi sul significato di "lavoratore" e su quello di datore di lavoro".

<sup>11</sup>Per lavoratore si intende colui che, indipendentemente dalla tipologia contrattuale, svolge un'attività lavorativa, con o senza retribuzione, anche al solo fine di apprendere un mestiere, un'arte o una professione. Per datore di lavoro si intende il soggetto che ha

---

<sup>9</sup> «- COSA SI INTENDE PER SICUREZZA SUL LAVORO».

<sup>10</sup> «Sicurezza sul lavoro, l'importanza della formazione dei lavoratori».

<sup>11</sup> «- COSA SI INTENDE PER SICUREZZA SUL LAVORO».

la responsabilità dell'organizzazione e dell'unità produttiva, in quanto esercita i poteri decisionali e di spesa.

Durante l'attività di formazione il lavoratore deve imparare a garantirsi una sicurezza fisica e ad evitare quei pericoli che possono danneggiare la propria salute e quella dei colleghi.

Il D.Lgs 81/2008 individua inoltre quali sono i concetti che i lavoratori devono apprendere durante la formazione:

quelli che riguardano il rischio, il danno, la prevenzione, la protezione, l'organizzazione della prevenzione aziendale, i diritti e i doveri dei diversi soggetti aziendali, gli organi di vigilanza, il controllo e l'assistenza;

quelli inerenti i rischi rispetto le mansioni svolte e i possibili danni che possono derivarne, valutando quali sono le misure e le procedure di protezione e prevenzione che appartengono al settore aziendale in cui si svolge il lavoro.

Sulla base di questo decreto, il datore di lavoro dovrà procedere ad effettuare una valutazione dei rischi presenti in azienda, come sopra enunciato, adottare le misure di prevenzione e di protezione che possano eliminare o contenere i rischi, ma anche di assicurarsi che ogni lavoratore sia adeguatamente formato e informato.

Un punto fondamentale del decreto legislativo 81/2008 è la valutazione dei rischi la quale è molto importante perché permette di compiere una dettagliata catalogazione di tutti i pericoli che i lavoratori possono incontrare mentre svolgono un lavoro in azienda, anche quello che apparentemente può sembrare il più innocuo.

Il lavoratore non è più solo un soggetto da tutelare , cioè non ha solo diritti, ma diventa esso stesso parte del sistema di sicurezza, viene corresponsabilizzato e dunque ha anche dei doveri.

Un altro articolo che tutela le condizioni di lavoro è il 2087 del codice civile, contenuto nel quinto libro.

“L'imprenditore è tenuto ad adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro”.

Con questa norma l'obbligo datoriale di sicurezza è inteso in senso amplissimo, comprende i precetti prevenzionistici nominati e innominati: anche se manca una specifica misura preventiva, il datore di lavoro deve comunque adottare le misure generiche di prudenza e diligenza, nonché tutte le cautele necessarie a tutelare l'integrità fisica del lavoratore.

La norma non si applica solo agli imprenditori, si applica a tutti i datori di lavoro, imprenditori e non.

La responsabilità datoriale per infortunio può esser accertata anche quando non siano state violate specifiche norme di prevenzione, portando così a situazione di incertezza.

Il datore di lavoro rischia pesanti condanne civili e penali, talvolta senza aver potuto conoscere con esattezza ex ante (prima) le regole di condotta, individuate dal giudice solo ex post(dopo). Nel caso della pandemia da covid19 è una critica che è difficile fare poiché si tratta di dover obbedire a regole prudenziali che non sono scritte nel codice civile ma sono presupposte dal legislatore nel buon senso.

Nonostante la norma sia così rigorosa, il numero di infortuni sul lavoro e di malattie professionali nel nostro Paese è molto elevato, non a causa della carenze della specifica normativa anti-infortunistica, ma da: inadeguata cultura della legalità e della prevenzione, che si esprime in diffusa tolleranza verso un'economia sommersa; da una generale incertezza (e quindi mancanza di deterrenza) della sanzione giuridica, civile e penale; da una cronica insufficienza di personale e di risorse a supporto dei servizi ispettivi in capo agli istituti previdenziali o di vigilanza ed agli ispettorati del lavoro, accentuata dalle politiche europee comunitarie.

La creazione di condizioni di lavoro sicure e il continuo miglioramento di queste condizioni è una questione che dovrebbe essere essenziale per i datori di lavoro. La sicurezza e la salute sul lavoro sono un obbligo e una componente della politica sociale dell'Unione Europea che la garantisce attraverso finanziamenti.

#### 4. CAPITOLO 3: DIGITAL TWIN E SICUREZZA DI MACCHINE UTENSILI

La sicurezza nel campo delle macchine e delle quasi macchine viene regolata dalla direttiva 2006/42/CE conosciuta anche come direttiva macchine.

È destinata ai produttori di macchine e di componenti di sicurezza e alle società che immettono macchine e componenti di sicurezza sul mercato. Definisce le operazioni atte a soddisfare i requisiti in materia di salute e sicurezza per macchine nuove allo scopo di eliminare le barriere commerciali all'interno dell'Unione Europea garantendo a utenti ed operatori un notevole livello di sicurezza e tutela della salute.<sup>12</sup>

Secondo la Direttiva Macchine 2006/42/CE, art. 2, la macchina è definita come:

ART 2. “Insieme equipaggiato o destinato ad essere equipaggiato di un sistema di azionamento diverso dalla forza umana o animale diretta, composto di parti o di componenti, di cui almeno uno mobile, collegati tra loro solidamente per un'applicazione ben determinata”<sup>13</sup>

Il posto di lavoro viene definito come un luogo che deve essere progettato e costruito in modo da evitare ogni rischio.

Se la macchina è destinata ad essere utilizzata in un ambiente pericoloso che presenta rischi per la salute e la sicurezza dell'operatore o se la macchina stessa genera un ambiente pericoloso, devono essere previsti i mezzi adeguati ad assicurare che l'operatore lavori in buone condizioni e sia protetto da ogni pericolo prevedibile. Se così fosse il posto di lavoro deve essere dotato di una cabina adeguata, progettata e costruita in modo da soddisfare i requisiti di sicurezza. L'uscita deve garantire un rapido abbandono della macchina e in direzione opposta ad essa deve essere garantita un'uscita di sicurezza.

Al fine di poter implementare gli obiettivi e i requisiti definiti nelle direttive europee nella pratica, le norme tecniche dovrebbero descrivere e specificare in dettaglio tutti i requisiti.

---

<sup>12</sup> «linea-guida-linee-guida-per-la-sicurezza-dei-macchinari-sei-fasi-per-la-sicurezza-delle-macchine-a-cura-dall-azienda-sick-ag--419.pdf».

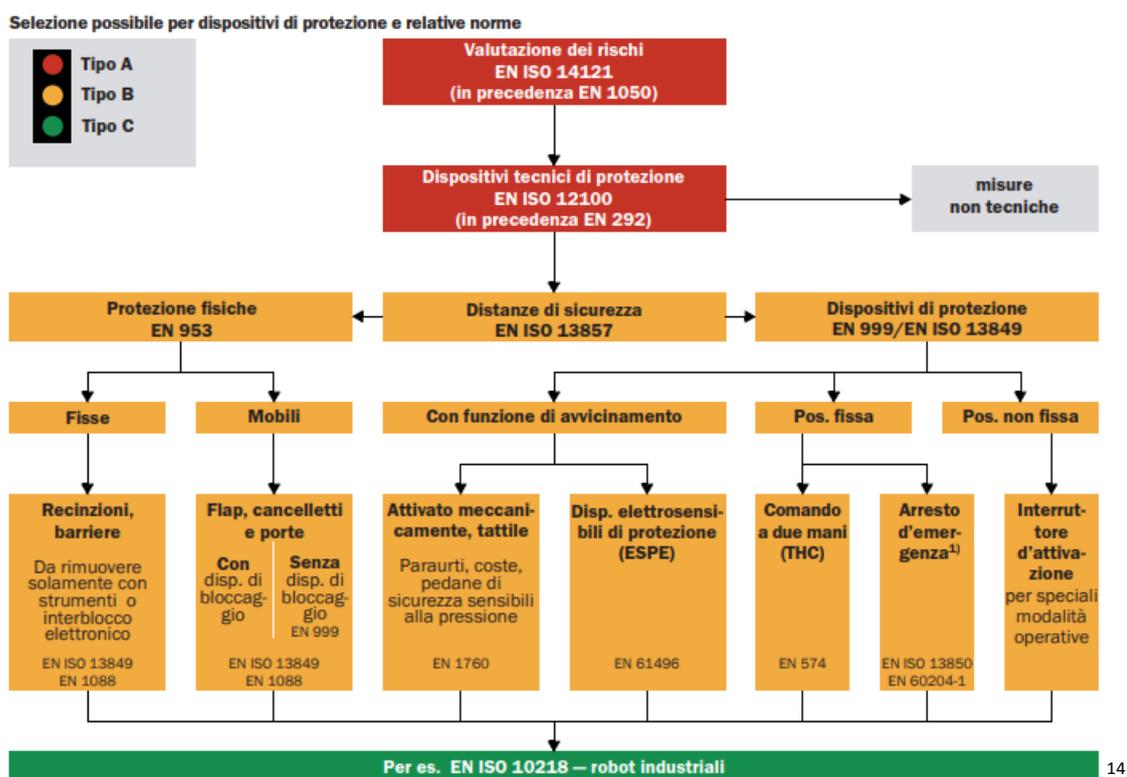
<sup>13</sup> «Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio,... - EUR-Lex».

Esistono tre diverse tipologie di norme:

- Norme di tipo A: sono le norme basilari di sicurezza, contengono le terminologie di base, i principi di progettazione e gli aspetti generali che possono essere applicati a tutti i macchinari.
- Norme di tipo B: sono le norme di sicurezza di gruppo. Riguardano un aspetto della sicurezza o un'attrezzatura di sicurezza utilizzabile per un'ampia gamma di macchinari.

Le norme di tipo B si dividono a loro volta in B1, che sono quelle relative ad aspetti della sicurezza specifici, e B2, che invece riguarda i dispositivi di protezione.

- Norme di tipo C: contengono tutti i requisiti di sicurezza di una macchina o di un tipo di macchina specifico.



<sup>14</sup> «linea-guida-linee-guida-per-la-sicurezza-dei-macchinari-sei-fasi-per-la-sicurezza-delle-macchine-accura-dall-azienda-sick-ag--419.pdf».

La tutela della sicurezza e della salute è al contempo un dovere fondamentale ed una prerogativa degli Stati membri i quali devono assicurare la corretta applicazione delle norme della direttiva macchine.

Il costo sociale dovuto all'alto numero di infortuni provocati direttamente dall'utilizzatore delle macchine può essere ridotto integrando la sicurezza nella progettazione e nella costruzione stesse delle macchine.<sup>15</sup>

La sicurezza dei processi e la gestione dei rischi rimangono una sfida significativa per le industrie di processo e manifatturiere. I sistemi digitali sono stati applicati per molti decenni per assistere nella gestione della sicurezza dei processi durante l'intero ciclo di vita di un impianto di processo. Negli ultimi anni c'è stato molto clamore per quanto riguarda Industria 4.0, digitalizzazione e digital twin riguardo al potenziale di trasformazione che esiste all'interno di queste tecnologie per migliorare le prestazioni operative e ridurre gli incidenti di sicurezza dei processi.

Grazie all'approccio "Digital Twin", oggi è possibile rendere virtuale con grande precisione un prodotto o un intero impianto di produzione. In questo modo, è possibile agire su tutti i parametri costruttivi dell'insieme finale prima che venga realizzato, simulandone gli effetti nel tempo anche in relazione alle condizioni d'impiego.

Il Digital Twin è definito come un insieme di informazioni virtuali che descrivono completamente un prodotto, un sistema o un processo fisico, permettendo di valutarne lo stato o il funzionamento attuale e futuro. Questo concetto è applicabile sia a realtà esistenti che in fase di progettazione.

L'incremento della connettività e della potenza di calcolo, la disponibilità di strumenti avanzati di simulazione multifisica, la raccolta automatica di una gran quantità di dati forniti dai sistemi IoT e i nuovi livelli di automazione industriale consentono oggi di realizzare dei veri e propri gemelli digitali di prodotti o di interi macchinari destinati alla produzione.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> «Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio,... - EUR-Lex».

<sup>16</sup> Srl, «Siemens ci guida alla scoperta dei benefici ottenibili dal "Digital Twin" nell'industria manifatturiera».

Impiegando tecniche di modellazione, che possono essere matematiche, basate su simulazione o su dati, il Digital Twin può essere utilizzato per prevedere sia lo stato futuro di asset aziendali rilevanti, sia l'impatto di eventuali criticità.

Nell'ambito delle tecnologie per l'Industria 4.0, il Digital Twin spicca tra gli approcci più all'avanguardia perché consente un'interconnessione intelligente delle macchine, spesso finalizzata all'ottimizzazione di un'intera catena produttiva. Grazie all'apporto concettuale e soprattutto progettuale del gemello digitale, è possibile armonizzare e rendere al tempo stesso più efficienti le fasi di ricerca e sviluppo, ingegnerizzazione e ottimizzazione di macchinari e delle loro capacità produttive, anche in considerazione dei benefici ottenibili da tecnologie IoT come la manutenzione predittiva.

Il principale vantaggio di un Digital Twin si cela all'interno del suo stesso nome: una copia digitale della realtà, dove "vedere", "pensare" e "agire", è totalmente privo di rischi.<sup>17</sup>

Sono già moltissime le aziende che hanno ottenuto vantaggi competitivi significativi attraverso l'implementazione dell'approccio "Digital Twin" nella produzione. Nondimeno, sono ancora molte le imprese che hanno difficoltà ad abbracciare questo modello progettuale nel loro contesto a causa della natura complessa dei sistemi, dell'assenza di un livello di integrazione preciso fra mondo fisico e digitale, di un ancora limitato scambio di dati e, in una certa misura, dal grado di maturità delle tecnologie da integrare tra loro.

Se progettato correttamente, il gemello digitale può connettersi con altre applicazioni aziendali per estrarre i dati necessari al suo funzionamento.

Attraverso interfacce utente correttamente progettate, è facile interagire con il sistema Digital Twin e testare diversi scenari per identificare le migliori azioni da implementare nel sistema reale.

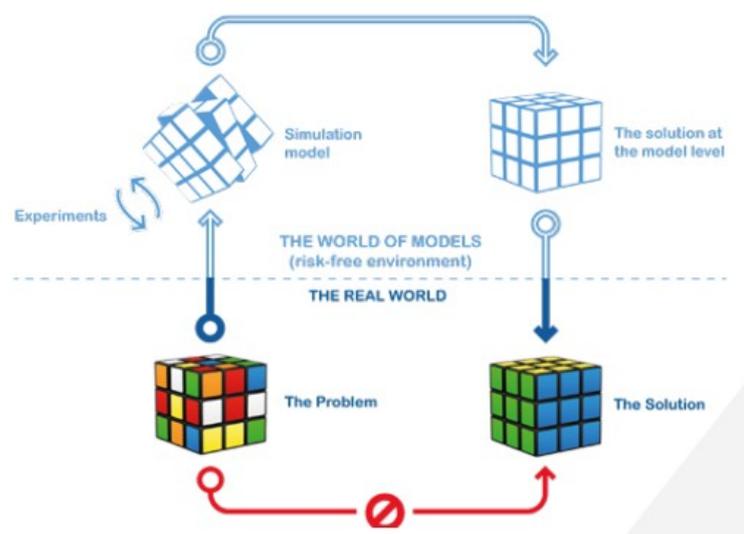
Infatti, applicando al "gemello digitale" di un prodotto, di un macchinario o di un insieme di sistemi produttivi, degli algoritmi di simulazione per valutare il futuro comportamento al variare delle condizioni ambientali e di funzionamento in cui opererà, si possono "impostare" vincoli per condizionarne o limitarne l'utilizzo entro certi parametri.

---

<sup>17</sup> «Digital twin, come e perché creare una copia digitale della realtà».

Nel settore manifatturiero, i fermi macchina richiedono interventi in emergenza per il ripristino delle macchine nel più breve tempo possibile. Tale periodo di inattività determina spesso dei ritardi nelle commesse e talvolta dei costi da sostenere a causa dello sfioramento dei tempi.

Per evitare ciò si potrebbe implementare sui propri macchinari tutta una serie di sensori destinati a raccogliere i dati di funzionamento e concentrarli verso un database in cloud. Questi dati sono poi oggetto di analisi statistiche di tipo predittivo. In questo modo, il cliente che utilizza il macchinario, viene avvisato preventivamente della necessità di manutenzione e il produttore, con i dati raccolti, può schedare la produzione dei pezzi di ricambio e indicare la disponibilità dei tecnici per l'attività di manutenzione.



I programmi creati sulla stazione di programmazione possono essere eseguiti senza difficoltà offrendo maggiore sicurezza sulla macchina. Ciò consente di contenere i tempi di attrezzaggio e simulazione come pure di apportare più velocemente migliorie al programma, con conseguente incremento della sicurezza di processo e aumento della produttività.

L'apporto concettuale e progettuale del "Digital Twin" armonizza e rende più efficienti le fasi di ricerca e sviluppo, ingegnerizzazione e ottimizzazione di macchinari e delle loro capacità produttive, anche in considerazione dei benefici ottenibili da tecnologie IoT, come la manutenzione predittiva.

La realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR) sono alcune delle tecnologie che possono trarre vantaggio dall'implementazione di un Digital Twin, dovuto al fatto che

offre una visione dell'ambiente virtuale in cui il flusso di dati storici in tempo reale è integrato con la presenza umana.<sup>18</sup>

Sfruttando la Realtà Aumentata, per esempio, è possibile corredare il Digital Twin di tutta una serie di informazioni che si riveleranno estremamente utili per i tecnici e gli ingegneri a cui è affidato il compito di implementare il progetto.

Istruzioni, considerazioni, modelli complementari o alternativi possono infatti essere letteralmente agganciati, all'interno della simulazione, come note agli elementi della rappresentazione grafica tridimensionale del prototipo, semplificando la condivisione delle idee e favorendo la collaborazione anche su progetti gestiti a livello internazionale, da remoto.

L'utilità di un digital twin aumenta in presenza di sensori che raccolgano informazioni sul mondo reale e di attuatori per controllare il funzionamento di sistemi e macchine fisiche.

La capacità di memorizzare ed analizzare i dati raccolti dai sensori permette non solo di controllare ed ottimizzare il funzionamento e la manutenzione, normale e straordinaria, ma anche di verificare e migliorare il progetto complessivo di un sistema.<sup>19</sup>

Il fatto che il sistema sia stato solo progettato e non ancora costruito permette di modificarlo e migliorarlo ad un costo minimale di quello di modifiche sul sistema già prodotto e funzionante.

L'uso di un digital twin permette una valutazione continua durante tutta la vita del sistema reale. In questo caso i sensori acquisiscono informazioni sul sistema reale che trasmettono al sistema, magari su un cloud, che esegue il digital twin in parallelo alla normale attività del sistema reale. Alla ricezione delle informazioni dai sensori, il gemello viene immediatamente aggiornato.

Successivamente, il twin aggiornato viene usato per nuove analisi di sicurezza per scoprire comportamenti inattesi ed insicuri generati.

---

<sup>18</sup> Bevilacqua et al., «Digital Twin Reference Model Development to Prevent Operators' Risk in Process Plants».

<sup>19</sup> «Digital twin per la sicurezza informatica, ecco vantaggi e limiti».

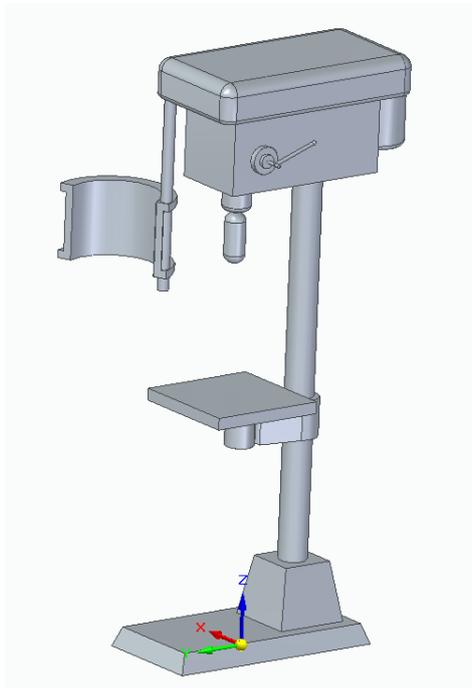
## 5. CAPITOLO 4: TRAPANO A COLONNA

Il trapano a colonna è una macchina utensile composta da un basamento sul quale è fissata una colonna; su questa è applicato il piano di lavoro, ovvero una tavola in ghisa dove si fissano i pezzi da lavorare che può scorrere in senso verticale e ruotare.

All'estremità superiore della colonna è posizionata la testata del trapano, dove sono collocate tutte le parti meccaniche in movimento.

Vi è il gruppo cambio velocità, che può essere a cinghie o ad ingranaggi. Solitamente la trasmissione a cinghia è utilizzata per trapani con avanzamento manuale oppure con punte di diametro inferiore a 30 mm, mentre la trasmissione ad ingranaggi si utilizza solitamente su trapani automatici, oppure là dove le punte superano il diametro di 30 mm, questo perché la trasmissione a cinghia sfrutta principalmente una forma di attrito volvente e tende a slittare se sottoposta a carichi molto alti.

Questo strumento consente di effettuare dei lavori di grandissima precisione.

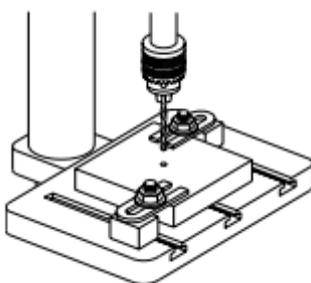


I trapani a colonna presentano una vasta gamma di pericoli, non ultimo quello dovuto alla rotazione dello strumento.

La protezione degli operatori e delle altre persone dal contatto con utensili da taglio o con le rapide rotazioni del mandrino è di grande importanza.

Questo utensile è uno strumento dalla grande utilità che consente di eseguire una svariata serie di lavori ma, come ogni macchina che esercita una grande forza e che lavora attraverso l'impiego di parti in movimento, può risultare pericoloso se non vengono seguite le giuste procedure di sicurezza durante l'utilizzo.

Alcuni operai sono soliti muovere o tenere fermo il pezzo su cui si deve lavorare utilizzando esclusivamente la mano, senza utilizzare gli appositi supporti, questo può esporre al rischio.



20

I pericoli nell'utilizzo di queste macchine non si riducono esclusivamente alla possibilità di errore umano, esistono tutta una serie di altri fattori.

È importante indossare sempre la mascherina e abiti protettivi, è facile che durante questi lavori la forza generata dalla macchina faccia saltare in aria alcune piccole parti del pezzo che si sta lavorando, potenzialmente pericolosi per parti delicate del corpo come gli occhi. Il rischio che queste parti volanti finiscano negli occhi è alto e l'utilizzo di appositi occhiali è fondamentale.

Importante fare attenzione anche quando si ha a che fare con parti elettroniche della macchina. Gli operatori potrebbero essere sottoposti al pericolo di entrare in contatto con parti soggette ad alta tensione. Per evitare questo pericolo è importante operare sulla macchina solo quando è spenta e staccata dalla corrente elettrica.

Spesso questi macchinari producono un grandissimo rumore, a seconda della loro tipologia e del pezzo che si sta lavorando. È essenziale proteggere il proprio udito attraverso l'utilizzo di cuffie insonorizzate o tappi per le orecchie. L'esposizione prolungata a questi suoni di grande intensità può portare ad uno stress eccessivo alla superficie del timpano causandone lesioni.

---

<sup>20</sup> «impresa sicura.pdf».

Un eccessivo rumore potrebbe essere dovuto dal mandrino asciutto, da un cuscinetto rotto, da dei bulloni o dalle cinghie allentate. In questo caso l'operatore interviene o lubrificando il mandrino, o sostituendo il cuscinetto o tirando le cinghie.

Durante la lavorazione, questi utensili, emettono un gran numero di vibrazioni ad elevata intensità, che vengono inevitabilmente assorbite dall'utente che le adopera. Prolungate nel tempo possono causare problematiche e danneggiare la struttura ossea e delle articolazioni, neurologici o muscolari.

Esistono delle norme che permettono di diminuire il rischio di incidenza di incidenti che dovrebbero essere rispettate ovunque sia necessario adoperarli:

I pavimenti su cui appoggiano gli operatori devono essere fissi e stabili questo per scongiurare il pericolo di caduta e di finire erroneamente a contatto con la parte operante della macchina.

È importante mantenere la zona in cui si opera ordinata in modo tale da non rendere difficoltoso alcun movimento all'operatore che non sarà quindi costretto ad effettuare movimenti insoliti o pericolosi per muoversi all'interno della zona di lavoro.

Per rendere ancora più sicura l'area di lavoro si inserisce una cella intorno all'utensile, in modo tale da limitarne l'accesso solo a determinate persone.

Queste celle, formate da barriere fisse o mobili interbloccate e poste a distanza adeguata, sono dotate di sensori di presenza che possono essere barriere luminose, tappetini sensibili alla pressione o sistemi di visione.

Gli ambienti monitorati per mezzo di laser o sistemi di visione, al fine di tracciare la posizione dei lavoratori, sono divise in zone di sicurezza graduate in modo che il macchinario possa reagire in modo diverso in base alla posizione dell'operatore.

Se un lavoratore entra nella cella e si avvicina al trapano, quest'ultimo diminuirà la sua velocità, fino ad arrestarsi, non in emergenza, nel momento in cui l'operatore accede all'area chiamata "rossa" nei pressi della macchina.

La macchina resta in attesa finché non riceve un feedback per poter riprendere il suo compito.

È necessario apportare agli ambienti di lavoro la giusta illuminazione, che sia questa naturale o artificiale. È importante che l'operatore sia in grado di vedere in modo chiaro la superficie su cui sta lavorando poiché lavorare senza che la visione sia chiara può portare a gravi errori durante le operazioni.

Eeguire il cambio di pezzo su cui si sta lavorando, o le regolazioni, solo quando questo è opportunamente spento. Operare sull'attrezzo ancora in movimento può essere molto pericoloso, durante il cambiamento il pezzo potrebbe sfuggire di mano facendo entrare in contatto l'utente con la punta ancora in movimento.

Quando si opera indossare abiti aderenti, ancora meglio se abiti specifici per il lavoro. Questo perché se si indossano abiti larghi può succedere che una parte vada ad impigliarsi nelle parti in movimentazione.

Inoltre l'utensile deve essere protetto o da un riparo fisso o da un riparo mobile che impedisca l'accesso diretto alla zona di lavoro.

Non modificare o intervenire in alcun modo con gli impianti di sicurezza, questi sono studiati appositamente per creare tutta una serie di basi di sicurezza nell'utilizzo, la loro manomissione potrebbe renderle inefficaci.

Tutti questi accorgimenti vengono descritti sia nella norma europea per la sicurezza di macchine utensili UNI EN 12717, sia nella direttiva macchine prima citata.

Il trapano a colonna è dotato di dispositivi di sicurezza che non vanno mai manomessi o rimossi, come lo schermo di protezione che fa da barriera tra l'operatore e il mandrino in movimento.<sup>21</sup>



22

---

<sup>21</sup> «Indicazioni di sicurezza per lavorare con il trapano a colonna Dinamitek, tra normative e usanze».

<sup>22</sup> «manuale\_utente.pdf».

Un sistema di sicurezza di emergenza è dato dal “fungo rosso” che consente l’arresto immediato della macchina in situazioni, appunto, di emergenza.

Lo stop lascia comunque qualche secondo al mandrino che rallenta fino ad arrestarsi completamente. Fino ad allora non si deve entrare in contatto con la parte rotante, anche se sembra che la rotazione sia sufficientemente debole.

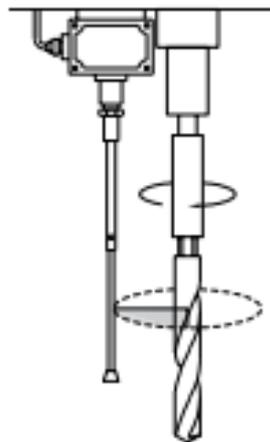
Un’ottimizzazione della sicurezza si ha attraverso l’inserimento di appositi sensori.

I sistemi di sicurezza lavorano in serie ovvero certe componenti si bloccano e si sbloccano in base alla posizione degli altri.

Ad esempio se il vano pulegge è dotato di un sensore di movimento non si può aprire finché lo schermo di protezione è in posizione. In caso di apertura del vano si attiverà il microprocessore di sicurezza che interromperà l’alimentazione del motore del trapano.

La chiusura del riparo non sta però ad indicare l’avvio della macchina.

Laddove il riparo è sostituito da un dispositivo di protezione quale ad esempio un dispositivo sensibile telescopico, questo deve essere posto a non più di 150mm dal diametro esterno di ogni mandrino della macchina e nel primo quadrante di rotazione rispetto alla posizione dell’operatore.



L'impianto frenante del mandrino associato ad un dispositivo sensibile deve assicurare le seguenti caratteristiche minime:

numero di giri/min del mandrino	numero di giri max. per l'arresto
$n \leq 250$	1
$250 < n \leq 1000$	2
$1000 < n \leq 1500$	3
$n > 1500$	4

23

Per aumentare la precisione del lavoro potrebbe essere opportuno inserire un amperometro, il quale è uno strumento necessario alla misurazione dell'intensità della corrente elettrica che attraversa la sezione di un corpo conduttore.

Come gli altri strumenti destinati alla misurazione di grandezze elettriche, si caratterizza per tre parametri fondamentali: la classe di precisione, la portata e la risoluzione.

Quando si utilizza un amperometro è bene tenere presente il tipo di corrente che si intende misurare; per quella continua serve uno strumento diverso rispetto a quello da utilizzare per la corrente alternata.

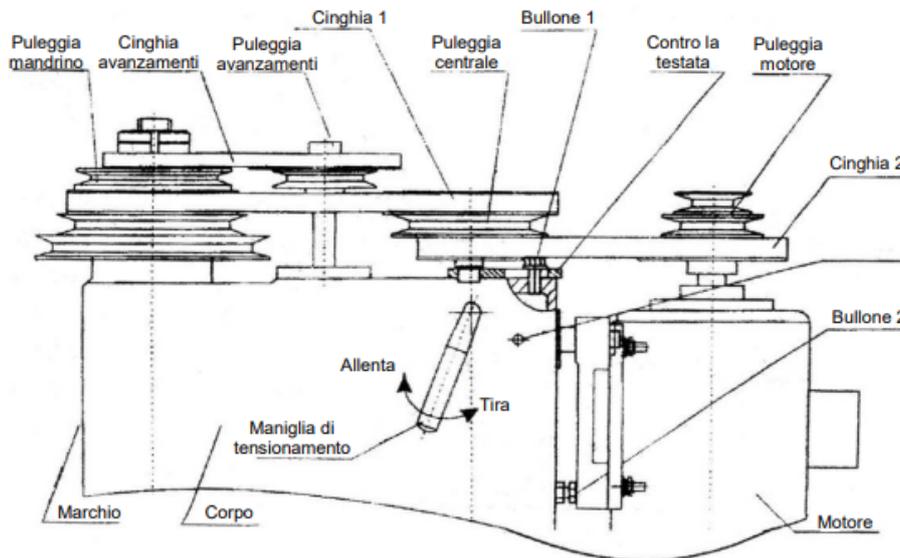
Questo strumento permette di evitare che la lavorazione avvenga in maniera errata poiché se l'utensile è fuori centro o si sposta durante la lavorazione, il foro apportato può non essere rotondo. Quindi la presenza dell'amperometro ci permette di far in modo che il pezzo in lavorazione non venga scartato a causa di operazioni errate.

Ricevuto il segnale, l'operatore interviene per riposizionare l'utensile o per sostituirlo.

---

<sup>23</sup> «impresa sicura.pdf».

Le macchine prevedono 8 differenti velocità di rotazione del mandrino. Il motore gira a velocità costante e le macchine sono dotate di un apposito sistema di trasmissione a cinghie per la variazione della velocità del mandrino. Quest'ultima può essere impostata spostando le cinghie sulle gole delle pulegge del sistema di trasmissione.

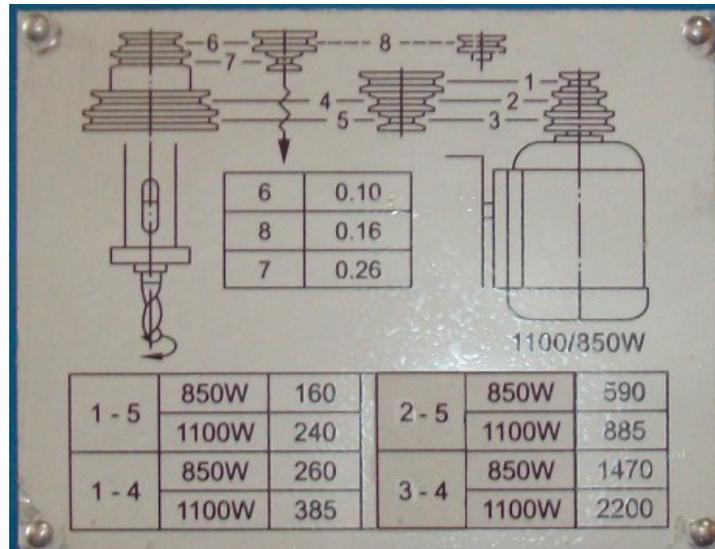


Per regolare la velocità di rotazione del mandrino occorre sbloccare ed aprire il vano pulegge. Questa operazione va fatta solo a macchina spenta e non quando è in azione. Se nel vano pulegge è presente un sensore, questo permette l'arresto del motore anche nel caso in cui sia in funzione nel momento dell'apertura del vano, in modo tale da evitare rischi all'operatore.

Occorre poi accedere alle cinghie di trasmissione e alle pulegge, allentare manualmente le due viti di bloccaggio posizionate ai lati della testata, allentare la tensione delle cinghie ruotando la maniglia di tensionamento in senso orario ed in fine impostare la velocità desiderata modificando la posizione delle cinghie secondo le indicazioni della targa di indicazione delle velocità del mandrino applicata sulla macchina. Porre in tensione le cinghie ruotando la maniglia di tensionamento in senso antiorario e verificare il corretto tensionamento.

Cambiando la tensione delle cinghie, si modifica la velocità del mandrino.

Su ogni macchinario è applicata la targa di indicazione delle velocità di rotazione del mandrino, corrispondenti alle possibili configurazioni del cambio di velocità. In base alla posizione delle cinghie si possono ottenere velocità diverse.



La velocità di rotazione, indicata con giri/min, esprime il numero di giri compiuti dal pezzo in un minuto. Il suo valore dipende dalla velocità di taglio impostata e dal diametro del pezzo: in particolare, fissata la velocità di taglio, la velocità di rotazione (frequenza) dovrà essere tanto più alta quanto più piccolo sarà il diametro e viceversa.

Per far in modo che la lavorazione avvenga in maniera corretta può essere introdotto un sensore che individui la velocità di rotazione del mandrino.

La velocità del mandrino è influenzata anche dal pezzo in lavorazione poiché, considerando l'utensile come "un albero" aggiuntivo dell'albero motore, nel caso in cui trovi una resistenza nel momento in cui il pezzo viene forato, va a costituire quella che è una forza resistiva rispetto al movimento del motore.

Se la resistenza esercitata è eccessiva potrebbe provocare danni al motore.

Essendo un macchinario che lavora ad alte velocità, si potrebbe creare una temperatura eccessivamente elevata sul mandrino o all'interno del vano pulegge dovuto allo scorrere delle cinghie. Per questo è utile inserire un sensore che riveli e monitori la temperatura della macchina, in modo che nel caso in cui superi il valore limite, avvenga l'arresto del trapano.

Un altro problema si ha nel carico di sovracorrente ovvero quando la corrente elettrica assorbita da un carico, e quindi la potenza, supera quella che può essere fornita e sopportata dalla linea.

Può essere risolto con l'introduzione di un interruttore termico che è un dispositivo elettrotecnico in grado di interrompere un circuito in caso di sovracorrente da sovraccarico, ma deve essere accompagnato dal fusibile per la protezione dai cortocircuiti.

Il fusibile è un dispositivo elettrico in grado di proteggere un circuito dalle sovracorrenti (causate per esempio dai cortocircuiti). Il funzionamento è estremamente semplice: il fusibile è composto di una cartuccia, attraversata da un sottile filo conduttore nel quale passa la corrente nominale del circuito da proteggere, quando sopraggiunge una sovracorrente, il filamento fonde provocando l'apertura del circuito e quindi il fermo macchina.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> «manuale-uso-manutenzione-0252.pdf».

## 6. CONCLUSIONE

La trasformazione digitale, iniziata con l'avvento dell'Industry 4.0, ha raccolto tutta una serie di tecnologie abilitanti capaci di innovare e digitalizzare processi, oggetti e risorse.

Il beneficio principale del Digital Twin è la possibilità di prendere decisioni immediate basandosi su indicazioni o dati ottenuti in tempo reale. La numerosità dei dati raccolti e le analisi su di essi, garantiscono una scelta mirata ed efficace.

Anche la possibilità di registrare e certificare in modo quasi del tutto automatico le lavorazioni e le attività necessarie alla produzione e la possibilità di ricevere suggerimenti e indicazioni automatici riguardo la conformità dei processi rispetto al settore rappresentano un grande sviluppo per il mondo della trasmissione delle informazioni, del digitale e del mondo industriale.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- «← COSA SI INTENDE PER SICUREZZA SUL LAVORO». Consultato 22 settembre 2020. <https://www.puntosicurezzaar.com/definizione-sicurezza-sul-lavoro/>.
- Bevilacqua, Maurizio, Eleonora Bottani, Filippo Emanuele Ciarapica, Francesco Costantino, Luciano Di Donato, Alessandra Ferraro, Giovanni Mazzuto, et al. «Digital Twin Reference Model Development to Prevent Operators' Risk in Process Plants». *Sustainability* 12, n. 3 (gennaio 2020): 1088. <https://doi.org/10.3390/su12031088>.
- Cadlog. «Digital Twin: la nuova era dell'Industria 4.0». *CADLOG* (blog), 27 marzo 2018. <https://www.cadlog.it/2018/03/27/digital-twin-la-nuova-era-industria-4-0-segue-il-ciclo-di-vita-del-prodotto/>.
- . «Digital Twin: la nuova era dell'Industria 4.0». *CADLOG* (blog), 27 marzo 2018. <https://www.cadlog.it/2018/03/27/digital-twin-la-nuova-era-industria-4-0-segue-il-ciclo-di-vita-del-prodotto/>.
- «Che cos'è l'Industria 4.0 e perché è importante saperla affrontare | Economyup». Consultato 4 settembre 2020. <https://www.economyup.it/innovazione/cos-e-l-industria-4-0-e-perche-e-importante-saperla-affrontare/>.
- Visual Communication. «Cos'è l'Industria 4.0 e perché si parla di Quarta rivoluzione industriale?», 31 marzo 2017. <https://www.visualcomm.it/cose-lindustria-4-0-perche-si-parla-quarta-rivoluzione-industriale/>.
- Industry 4 Business. «Digital twin, come e perché creare una copia digitale della realtà», 27 marzo 2020. <https://www.industry4business.it/industria-4-0/digital-twin-come-e-perche-creare-una-copia-digitale-della-realta/>.
- Agenda Digitale. «Digital twin per la sicurezza informatica, ecco vantaggi e limiti», 3 marzo 2020. <https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/digital-twin-per-la-sicurezza-informatica-ecco-vantaggi-e-limiti/>.
- «Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio,... - EUR-Lex». Consultato 23 settembre 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/LSU/?uri=celex%3A32006L0042>.

«impresa sicura.pdf», s.d.

Dinamitek S.r.l. «Indicazioni di sicurezza per lavorare con il trapano a colonna Dinamitek, tra normative e usanze». Consultato 25 settembre 2020. [https://www.dinamitek.com/it/blog/post/dinamitek-consiglia-come-lavorare-in-sicurezza-con-il-trapano-a-colonna?page\\_type=post](https://www.dinamitek.com/it/blog/post/dinamitek-consiglia-come-lavorare-in-sicurezza-con-il-trapano-a-colonna?page_type=post).

«linea-guida-linee-guida-per-la-sicurezza-dei-macchinari-sei-fasi-per-la-sicurezza-delle-macchine-a-cura-dall-azienda-sick-ag--419.pdf». Consultato 25 settembre 2020. <https://www.vegaengineering.com/linea-guida-linee-guida-per-la-sicurezza-dei-macchinari-sei-fasi-per-la-sicurezza-delle-macchine-a-cura-dall-azienda-sick-ag-419.pdf>.

«manuale-uso-manutenzione-0252.pdf». Consultato 28 settembre 2020. <https://www.utensileriaonline.it/media/manuale-uso-manutenzione-0252.pdf>.

«manuale\_utente.pdf», s.d.

Melesse, Tsega Y., Valentina Di Pasquale, e Stefano Riemma. «Digital Twin Models in Industrial Operations: A Systematic Literature Review». *Procedia Manufacturing*, International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019), 42 (1 gennaio 2020): 267–72. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.084>.

«Sicurezza, metodologie e applicazioni in “Enciclopedia della Scienza e della Tecnica”». Consultato 21 settembre 2020. [https://www.treccani.it/enciclopedia/metodologie-e-applicazioni-sicurezza\\_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/metodologie-e-applicazioni-sicurezza_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)).

«Sicurezza sul lavoro: le 10 cose più importanti da sapere». Consultato 21 settembre 2020. <https://www.gms-srl.it/focus/dettaglio-focus/sicurezza-sul-lavoro-le-10-cose-piu-importanti-da-sapere-iNews1-14.php>.

ANFOS. «Sicurezza sul lavoro, l'importanza della formazione dei lavoratori», 21 ottobre 2009. <https://www.anfos.it/sicurezza-sul-lavoro-limportanza-della-formazione-dei-lavoratori/>.

Srl, Open Factory Edizioni. «Siemens ci guida alla scoperta dei benefici ottenibili dal “Digital Twin” nell’industria manifatturiera». Open Factory Edizioni Srl.  
Consultato 25 settembre 2020.  
<https://www.tecnelab.it/approfondimenti/speciali/siemens-ci-guida-alla-scoperta-dei-benefici-ottenibili-dal-digital-twin-nellindustria-manifatturiera>.