



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente e
nei Luoghi di Lavoro

Industria 5.0: nuove sfide per la tutela della salute e della sicurezza sul lavoro

Relatore:

Prof.ssa Bianca Maria Orciani

Tesi di Laurea di:

Jowel Enrique Severino Medina

A.A. 2022/2023

INDICE

INDICE	1
INTRODUZIONE	3
1.CAPITOLO INDUSTRIA 5.0 UN NUOVO PARADIGMA PRODUTTIVO	9
Definizione	9
1.2 I pilastri dell'Industria 5.0	9
1.3 Differenze tra Industria 4.0 e Industria 5.0	11
1.4 Tecnologie chiave dell'Industria 5.0	13
1.4.1. Intelligenza Artificiale (IA)	13
1.4.2 Machine Learning (ML).....	17
1.4.3 Cobot.....	19
1.4.4 Internet of Things (IoT)	21
1.4.5 Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (AR):	22
1.4.6 Stampa 3D e Additive Manufacturing	23
1.4.7 Big Data Analytics	24
1.4.8 Analisi delle immagini	25
2. CAPITOLO IMPATTO DELL'INDUSTRIA 5.0 SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO	28
2.1 Centralità del lavoratore e collaborazione uomo-macchina	30
2.2 Ergonomia: soluzioni e nuove sfide	32
2.3 Nuovi rischi psicologici	35

2.4 Rischio disoccupazione ed esclusione sociale: gli impatti dell'automazione sulla manodopera meno qualificata	41
2.5 IA E ML: Quadro Normativo Europeo	42
2.5.1. Norme Di Diritto Civile Sulla Robotica.....	42
2.5.2 Regime di responsabilità civile per l'intelligenza artificiale	45
2.5.3. Regolamento (UE) 2023/1230 del Parlamento Europeo e del Consiglio	47
3. CAPITOLO APPLICAZIONI DELL' INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN EDILIZIA: FOCUS SU SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO	50
3.1 Riduzione dei rischi per la salute e sicurezza in cantiere	53
CAPITOLO 4. LA CULTURA DELLA SICUREZZA 5.0: UN NUOVO PARADIGMA.....	56
CONCLUSIONI.....	62
6.BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	64

INTRODUZIONE

A partire dal XVIII secolo, quando prese avvio la Prima Rivoluzione Industriale, ad oggi con la cosiddetta Industry 5.0, lo sviluppo economico ha comportato una radicale trasformazione non solo nella produzione di beni, ma nella vita quotidiana delle masse. Lo sviluppo della tecnica è stato un fattore essenziale di questa trasformazione ed è stato accompagnato dal nascere di questioni relative alla sicurezza e all'igiene sul lavoro, che ha portato all'emanazione di leggi speciali e all'applicazione di norme tecniche, volte all'implementazione delle condizioni di sicurezza ed igiene nei luoghi di lavoro.

La Prima Rivoluzione Industriale, che prese avvio nella seconda metà del '700 con l'invenzione della macchina a vapore e l'introduzione della spoletta volante, interessò principalmente il settore tessile e metallurgico². Si ebbe non solo un profondo ed irreversibile cambiamento del sistema produttivo ed economico, ma ci fu un coinvolgimento della società nel suo insieme, con la nascita della classe operaia e dei capitalisti, vale a dire gli imprenditori proprietari della fabbrica e dei macchinari. Se da una parte si realizzò una rapida crescita della produzione di beni e capitale, dall'altra gli operai si ritrovarono in condizioni di pericolo e sfruttamento. Gli stabilimenti erano spesso malsani, scarsamente illuminati e scarsamente ventilati, con macchinari di lavoro pericolosi e ritmi di lavoro troppo intensi. Per migliorare le condizioni di lavoro nelle fabbriche e arginare lo sfruttamento minorile in Inghilterra il Parlamento promulgò a partire dal 1802 una serie di leggi definite Factory Act: ad esempio nel 1833 il Labour of Children, etc. proibì l'impiego dei bambini di età

inferiore ai nove anni nel settore tessile, vietò il lavoro notturno fino al compimento dei 18 anni, introdusse l'obbligo di certificazione medica che garantisse l'idoneità dei ragazzini al lavoro in fabbrica, rilasciata da un medico competente e firmata da un magistrato, venne costituito un ispettorato per il controllo delle fabbriche.

La Seconda Rivoluzione Industriale convenzionalmente viene fatta partire dal 1870 con l'introduzione dell'elettricità, dei prodotti chimici e del petrolio²⁹. È in questa fase che è iniziata la cosiddetta "produzione in serie" che ha determinato un grandioso aumento della produzione. Tuttavia queste novità hanno introdotto pericoli nuovi per la salute e la sicurezza dei lavoratori. L'esposizione lavorativa a sostanze chimiche pericolose ha portato alla comparsa di nuove malattie professionali, ad esempio, intossicazioni da piombo e mercurio. Alle patologie dovute all'esposizione al rischio chimico, vanno aggiunti i danni provocati dall'esposizione prolungata al rumore, la mancanza d'aria e di luce nelle fabbriche, gli effetti dannosi a carico dell'apparato osteoarticolare e la fatica mentale legati al lavoro ripetitivo. A partire dal 1886 con una serie di leggi si iniziò a regolamentare il lavoro nelle miniere e l'impiego dei bambini, dando vita alle prime norme sull'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni e le malattie professionali; vennero emanate norme atte a regolamentare l'uso di gas e sostanze esplosive.

L'epoca dell'automazione e dell'informatica ha segnato l'inizio della Terza Rivoluzione Industriale, che si è tradotta in un significativo incremento di produttività e nella nascita di nuovi comparti. Convenzionalmente viene fatta partire dal 1970 con l'utilizzo massiccio dell'elettronica e delle telecomunicazioni e l'avvento dell'informatica²². Le automazioni hanno ridotto il numero dei gesti

ripetitivi e pericolosi, conferendo grande sollievo ai lavoratori come nel caso della movimentazione manuale dei carichi. Tuttavia, hanno fatto sorgere nuovi pericoli, collegati all'uso di macchine complesse e problemi di ergonomia relativa alla postazione di lavoro. È in questa fase che si delinea il concetto moderno di sicurezza sul lavoro. Fino ad allora la legislazione in materia di igiene e sicurezza sul lavoro era estremamente frammentata. Proprio il 20 maggio 1970 venne promulgata la Legge numero 300, che introduceva lo Statuto dei Lavoratori. Nel 1978, venne istituito il Servizio Sanitario Nazionale con la Legge numero 833 del 23 dicembre, che assegnava alle Unità Sanitarie Locali il compito di controllare e tutelare l'igiene ambientale per prevenire infortuni sul lavoro e malattie professionali. Alla fine degli anni '80, l'Italia si trovò a dover dare attuazione alle direttive del Consiglio Europeo riguardanti la sicurezza e la salute dei lavoratori. Con la Direttiva 89/391/CEE del Consiglio dei Ministri del 2 giugno 1989, si introdusse il principio della programmazione, pianificazione e prevenzione, insieme alla massima sicurezza tecnologica possibile, al fine di promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro. Un elemento chiave per la protezione della salute e sicurezza dei lavoratori fu l'obbligo di valutare i rischi ai quali erano esposti durante il loro lavoro. In risposta alle direttive comunitarie, l'Italia emanò il Decreto Legislativo 15 agosto 1991, numero 277, riguardante la protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro. La direttiva 89/391/CEE, mirante a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro, fu recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 19 settembre 1994, numero 626, sebbene

con cinque anni di ritardo. Questo decreto segnò una svolta fondamentale nell'approccio alla prevenzione, ponendo al centro la tecnica, l'organizzazione e, soprattutto, l'uomo. L'ordinamento basato principalmente sulla prevenzione tecnologica fu superato dopo cinquant'anni, e si adottò un nuovo approccio che riconosceva l'importanza dell'uomo nella creazione di un ambiente di lavoro sicuro. Il decreto introdusse l'obbligo per il datore di lavoro di valutare i rischi, una novità significativa per la protezione dei lavoratori. Tra le altre innovazioni, il Decreto introdusse il Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza, un rappresentante eletto dai lavoratori, e istituì il Servizio di Prevenzione e Protezione e l'obbligo della nomina del Medico Competente, incaricato di svolgere la sorveglianza sanitaria dei lavoratori. Si sancì il principio dell'autotutela per i lavoratori, responsabilizzandoli nella cura della loro sicurezza e di quella degli altri soggetti presenti sul luogo di lavoro.

Il termine industria 4.0 indica una tendenza dell'automazione industriale che integra alcune nuove tecnologie produttive per migliorare le condizioni di lavoro e aumentare la produttività e la qualità produttiva degli impianti²⁶. La Quarta Rivoluzione Industriale si centra sull'adozione di alcune tecnologie definite abilitanti; alcune di queste sono "vecchie" conoscenze, concetti già presenti ma che non hanno mai sfondato il muro della divisione tra ricerca applicata e sistemi di produzione veri e propri; invece grazie all'interconnessione e alla collaborazione tra sistemi, il panorama del mercato globale sta cambiando portando alla customizzazione di massa, diventando di interesse per l'intero settore manifatturiero. La fabbrica intelligente prodotta dall'Industria 4.0, nella quale si compenetrano la tecnologia digitale, la tecnologia fisica e la biotecnologia, dà effettivamente prova

di mutar radicalmente il modo di lavorare. Alcune delle nuove opportunità per la sicurezza del lavoro sono il controllo in tempo reale di tutte le parti dove si opera per mezzo di un sistema di sensori, l'impiego di robot che cooperano col lavoratore e l'utilizzo dei dati per prevedere e di conseguenza, prevenire gli infortuni. Ad un tempo, se da una parte l'Industria 4.0 promette di far lavorare senza pericoli, dall'altro, pone nuovi problemi per la sicurezza quali tutela dei sistemi informatici potenziali oggetto di attacchi hacker, mantenimento del segreto professionale, valutazione e riduzione dei rischi psico-fisici che derivano dal lavoro digitale e dall'incessante traffico dell'informazioni.

L'Industria 5.0, ancora in fase di sperimentazione, punta a superare i confini dell'Industria 4.0, ponendo l'attenzione sull'uomo e sulla sostenibilità. Si prefigura come un modello di impresa caratterizzato dalla cooperazione tra macchine ed esseri umani, con l'obiettivo di fornire valore aggiunto alla produzione, creando prodotti personalizzati che rispettino l'ecosistema e le esigenze dei lavoratori. Il termine "Industry 5.0" è comparso per la prima volta nel 2015 in un articolo dello studioso e fondatore della società ISCO Michael Rada, in cui si sosteneva il ritorno alla centralità dell'ambiente e delle persone nel processo industriale. Successivamente, il termine è stato formalizzato dalla Commissione Europea nel 2021, mettendo specificamente la ricerca e l'innovazione al servizio della transizione verso un'industria europea sostenibile, incentrata sull'uomo e resiliente.

L'obiettivo della presente tesi è quello di analizzare le nuove sfide per la tutela della salute e della sicurezza sul lavoro nell'industria 5.0

Nel capitolo 1 si presenta l'industria 5.0, i pilastri e tecnologie chiave su cui si fonda e si analizzano le differenze rispetto all'industria 4.0.

Nel capitolo 2 si valuta l'impatto dell'Industria 5.0 sulla salute e sicurezza sul lavoro con particolare riferimento alla collaborazione uomo-macchina, alle novità in tema di ergonomia, ai nuovi rischi psico-sociali e alle normative europee che disciplinano le Norme di diritto civile sulla robotica, il regime di responsabilità civile per l'Intelligenza Artificiale e il Nuovo Regolamento Macchine 2023/1230.

Nel capitolo 3 si parla delle applicazioni dell'intelligenza artificiale nel settore edile e di come queste concorrano alla riduzione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori nei cantieri.

Il capitolo 4 approfondisce il concetto di "Cultura della Sicurezza 5.0", fondato sull'importanza della formazione continua e dell'aggiornamento, sulla condivisione dei saperi e sulla responsabilizzazione di tutti gli attori coinvolti nei processi produttivi.

1.CAPITOLO:

INDUSTRIA 5.0

UN NUOVO PARADIGMA PRODUTTIVO

Definizione

L'industria 5.0 si prefigura come un modello di impresa caratterizzato dalla cooperazione tra macchine ed esseri umani, con il fine ultimo di fornire valore aggiunto alla produzione creando prodotti personalizzati che rispettino l'ecosistema e le esigenze dei consumatori¹⁵.

1.2 I pilastri dell'Industria 5.0

Nel gennaio 2022 la Commissione Europea ha pubblicato un documento intitolato "*Industria 5.0: verso un'industria europea sostenibile, umano-centrica e resiliente*"¹⁰. L'attenzione passa dal valore per gli azionisti a quello degli stakeholders e mette il benessere del lavoratore al centro del processo di produzione ed usa le nuove tecnologie per fornire prosperità oltre i posti di lavoro e la crescita, rispettando i limiti di produzione del pianeta.

Il gruppo di ricerca della Commissione Europea ha fondato il modello "Industria 5.0" su 3 pilastri:

1. Human-Centric
2. Sostenibilità
3. Resilienza

Il **primo pilastro** dell'Industria 5.0 consiste nell'assumere un approccio capace di mettere l'uomo al centro dei processi produttivi. Rispetto all'Industria 4.0, che in molti casi ha accentuato il concetto di

sostituibilità dell'uomo da parte delle macchine, l'Industria 5.0 ripropone l'uomo come soggetto centrale di quanto avviene nel processo produttivo, con la sua ineliminabile peculiarità di possedere quelle competenze tipicamente umane quali la creatività, il pensiero critico, l'empatia e la capacità di affrontare e di risolvere situazioni complesse, orientando l'azione verso la messa a punto di un ambiente di lavoro in cui i dispositivi tecnologici provvedano a fare da amplificatori, anziché a far da surrogati. Il fine, in altri termini, è di indurre la macchina a cooperare con l'uomo, con la tecnica di punta, la robotica collaborativa e l'impiego dell'intelligenza artificiale, allo scopo di alleggerire i lavoratori dalle gravose operazioni meccaniche ripetitive, pericolose od estenuanti, canalizzando invece la loro attitudine in altri compiti di maggior valore, quali la progettazione, l'innovazione, il contatto coi clienti.

Per quanto riguarda il **secondo pilastro**, la sostenibilità, l'accento è posto sull'economia circolare e sull'efficienza energetica, in particolare. Società e Industria 5.0 devono facilitare il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile adottati dall'ONU (Agenda ONU 2030). L'Industria 5.0 ha la missione di far calare l'impronta ecologica sull'industria. L'uso di tecnologie e processi a ridotto impatto sull'ambiente, l'efficienza energetica, l'economia circolare, sono volte, in definitiva, a modellare un tipo di imprenditoria e di consumo in cui l'attrattività sugli equilibri ecologici e sulle ricchezze naturali svolge un ruolo preminente. In tale prospettiva, l'impiego delle energie rinnovabili, la programmazione di prodotti eco-compatibili, la limitazione degli scarti e l'agevolazione dell'impiego delle risorse costituiscono gli obiettivi principali. L'Industria 5.0 si propone di dare

all'apparato industriale non solo una valenza di redditività, ma di attore socialmente responsabile, atto a fornire ai consumatori di oggi senza togliere ai loro eredi le facoltà di soddisfarsi.

Il **terzo pilastro**, la resilienza, si riferisce alla necessità di sviluppare un più alto grado di robustezza nella produzione industriale, armandola meglio contro le interruzioni e assicurandosi che possa fornire e sostenere infrastrutture critiche in tempi di crisi. L'Industria 5.0 si pone quale obiettivo quello di rendere più solida, nel complesso, la produzione industriale, per evitare le problematiche che le crisi di tipo geopolitico o naturale finiscono per generare a livello globale. Per raggiungere questo obiettivo è necessario ripensare profondamente la catena di lavoro delle forniture, grazie a modelli di produzione realmente capaci di produrre in funzione della domanda, oltre a privilegiare l'azione dei comparti locali dell'industria europea.

1.3 Differenze tra Industria 4.0 e Industria 5.0

L'Industria 5.0 punta all'evoluzione dell'Industria 4.0. L'industria 4.0 si fonda sull'automazione e la digitalizzazione, l'industria 5.0 è caratterizzata da una visione più ampia e sostenibile dell'industria, dove la tecnica è al servizio dell'uomo e dell'ambiente e la sicurezza e l'igiene del lavoro sono parte integrante di questa evoluzione¹⁵.

L'impatto dell'evoluzione dell'industria è sempre stato anteposto a quello della sicurezza e della salute dei lavoratori. L'Industria 4.0, determinando l'integrazione di nuovi dispositivi tecnologici, ha escluso una quantità di rischi tradizionali, quali, ad esempio, quelli della movimentazione manuale dei carichi e delle esposizioni ad agenti pericolosi. Ha creato però nuovi problemi, come l'insorgenza dei rischi legati all'interazione uomo/macchina, dell'induzione allo

stress da sovraccarico cognitivo, dell'isolamento sociale, della dipendenza dalla tecnica. L'Industria 5.0, cercando di affrontare questi problemi in maniera più compiuta ed efficace, pone come punto cardinale della trasformazione industriale la salute e la sicurezza dei lavoratori.

Di seguito i punti principali che differenziano i due paradigmi:

- **Prevenzione vs. Reazione:** spesso nell'Industria 4.0 il problema della sicurezza è stato affrontato con un atteggiamento reattivo, tendendo più a mitigare i pericoli che non a prevenirli. L'Industria 5.0, invece, cerca di procedere per via preventiva. Questa via preventiva si concretizza con l'utility dei dati raccolti dai sensori e dai "wearable"; con l'impiego delle tecniche di monitoraggio in tempo reale e con la formazione continua del personale.
- **Umanesimo tecnologico:** se nell'industria 4.0 l'uomo si trova talvolta sostituito da macchine e robot, i quali gli fanno temere la perdita del lavoro e la sua degradazione professionale, nell'industria 5.0 la macchina è un compagno di lavoro. Le macchine sono progettate per assistere i lavoratori, migliorando le loro condizioni di lavoro e liberandoli da compiti pericolosi, ripetitivi o usuranti, consentendo loro di concentrarsi su attività che richiedono creatività, pensiero critico e interazione sociale.
- **Collaborazione dell'uomo con la macchina:** l'Industria 5.0 promuove la sinergica collaborazione dell'uomo con la macchina piuttosto che la sostituzione umana con la tecnologia, in modo che l'operaio si trasformi in una sorta di supervisore, programmatore e risolutore di problemi, con il quale la macchina si concerta per operare. La collaborazione dell'uomo

con la macchina può condurre ad una maggiore efficienza, produttività e soddisfazione del lavoro.

- **Salute e Benessere:** l'Industria 5.0 presenta delle novità rispetto al passato, spostando l'attenzione da una preoccupazione primaria, quella della sicurezza del lavoro, ad una preoccupazione di rango ancora più elevato, quella della salute e del benessere complessivo del lavoratore. Essa consiste nella costruzione di spazi di lavoro ergonomici, nella tendenza ad incentivare uno stile di vita sano ed alla cura della salute mentale. Essa mira a fare in modo che le condizioni del lavoro non siano solo sicure, ma siano soprattutto condizioni favorevoli a quell'equilibrio fisico e psichico che è la essenza del benessere.

1.4 Tecnologie chiave dell'Industria 5.0

Si è già detto nel paragrafo precedente come il concetto di Industria 5.0 si allontani nettamente dalla formula di Industria 4.0, ponendo l'accento non più su una semplice automazione o digitalizzazione, bensì su una stretta collaborazione fra l'uomo e la macchina, col benessere e la sostenibilità dell'individuo posta al centro di questa sinergia. Tale visione rivoluzionaria trae appoggio da un gruppo di tecnologie chiave, le quali per lo più fungono da catalizzatrici per l'evoluzione del mondo dell'industria¹⁵.

1.4.1. Intelligenza Artificiale (IA)

Nata come disciplina informatica, l'Intelligenza Artificiale (IA) ha forti legami con l'elettronica, la robotica, le neuroscienze, la psicologia, la linguistica e l'analisi visiva²⁵. Le fondamenta dell'AI furono poste nel

1936 dal matematico e filosofo inglese Alan Turing, il quale ipotizzò la possibilità di costruire una macchina ideale in grado di svolgere qualsiasi calcolo¹⁵. L'espressione Artificial Intelligence venne utilizzata per la prima volta nel 1956 dall'informatico John McCarthy per indicare gli studi che mirano a "far fare alle macchine delle azioni che richiederebbero l'intelligenza se fossero fatte dagli uomini". L'intelligenza artificiale nasce, dunque, dal tentativo di automatizzare la capacità speculativa-razionale e la presa di decisioni tramite algoritmi informatici. Il vero e proprio fulcro dell'Industria 5.0 sono ritenuti l'Intelligenza Artificiale (IA) e il Machine Learning (ML). L'Intelligenza Artificiale (IA) e il Machine Learning (ML) rappresentano due principi fondatori dell'odierna rivoluzione tecnico-scientifica: l'IA, l'arte di dare alle macchine la capacità di simulare la conoscenza umana apre la breccia a novità inaudite in un universo di attività; il ML, ramo dell'IA, permette ai sistemi di apprendere dai dati e di limare le proprie prestazioni in assenza di espliciti programmi.

Attraverso di essi le macchine sono in grado non solo di eseguire compiti predefiniti, ma di "apprendere" dai dati, di prendere decisioni autonome ed adattarsi a scenari complessi e mutevoli. L'IA nell'Industria 5.0 diviene non più un mero strumento di ottimizzazione, ma un vero e proprio partner "collaborativo", capace d'assistere l'uomo nel tracciare i piani strategici e nell'attività creativa, gettando le basi di feconde genialità, supportando l'uomo, e, dunque, nuove possibili forme d'innovazione e di risoluzione del problema.

Mediante la capacità di analizzare un ingente volume di dati prelevati da sensori e macchine, l'IA consente di individuare pattern e anomalie non visibili all'occhio umano così da facilitare un'attività manutentiva predittiva e la riduzione dei fermi macchina; l'analisi in tempo reale di

immagini e video permette, inoltre, di rilevare difetti produttivi difficilmente rilevabili con controlli tradizionali; mediante l'analisi dei dati di domanda, di scorta, di trasporti e di logistica, l'AI consente l'ottimizzazione dell'intera filiera di fornitura.

L'IA si articola essenzialmente in due tipi di approccio²⁵:

- IA debole: sono sistemi che possono agire con successo in alcune funzioni complesse umane. Ad esempio, è impiegata nel riconoscimento vocale, nella traduzione automatica, nella guida autonoma. Lavora straordinariamente bene in compiti specifici, ma l'intelligenza che manifesta non si estende al di fuori della sfera in cui è stata progettata. Sono strumenti specializzati, ma non hanno una vera comprensione e neppure coscienza.

- IA forte: mira a creare macchine dotate di intelligenza, in grado di comprendere, apprendere e ragionare in modo simile agli esseri umani e potenzialmente di superarli in termini di capacità cognitive. Per raggiungere questi obiettivi, l'IA si avvale delle seguenti tecniche²⁵:

- *Rappresentazione della conoscenza*: è uno strumento che consente ai calcolatori di conoscere e di ragionare sul mondo esterno, ricorrendo alle ontologie, alle reti semantiche e ad altre strutture atte a dare conto di informazioni e relazioni. Questo consentirà alla macchina di rispondere a domande complesse, tradurre lingue e fornire consulenza legale. La rappresentazione della conoscenza acquista importanza quale strumento che risulta irrinunciabile al fine di mettere a punto, con il computer, sistemi esperti capaci di interagire con l'uomo in modo naturale e di fornire il sostegno decisionale richiesto in ambiti specialistici.

- *Ragionamento automatico*: permette di far deduzioni logiche tramite un insieme di premesse, utilizzando regole d'inferenza e altri sistemi di calcolo logico. Questo è fondamentale per il perfezionamento di sistemi esperti in grado di fornire consulenza e supporto alla decisione in settori specialistici, quali la medicina, la finanza, l'ingegneria.
- *Elaborazione del linguaggio naturale (NLP)*: consente ai calcolatori di comprendere e produrre linguaggio parlato, innalzando di molto l'efficienza e la naturalezza delle interazioni²⁵. Il NLP sta alla base di chatbot, di assistenti virtuali, di sistemi di traduzione automatica. Il NLP consente ai calcolatori di penetrare il significato delle parole, di percorrere il contesto delle frasi, di discernere le tonalità della scrittura, aprendo in questo modo la strada ad una comunicazione uomo-macchina assai più efficiente e assai più agile.
- *Visione artificiale*: ciò che rende possibile alle macchine interpretare e comprendere immagini e video, aprendo la via ad applicazioni come il riconoscimento facciale, la guida autonoma, la "diagnostic imaging", il controllo della qualità nei processi industriali e la sorveglianza. Essa abilita meccanismi elettronici a "vedere" ciò che si trova negli ambienti in cui vengono posti, a riconoscere oggetti, persone, scene, e a provvedere opportuni atti di adattamento immediato a seconda delle informazioni visuali che ricevono.

1.4.2 Machine Learning (ML)

La disciplina del Machine Learning (ML), che è un sottocampo dell'Intelligenza Artificiale, si pone come obiettivo lo sviluppo di algoritmi che consentano alle macchine di apprendere²⁵. I modelli di macchine che si fondano sulle tecniche del ML non vengono programmati esplicitamente per affrontare ogni possibile situazione, bensì migliorano le proprie prestazioni via via che hanno a disposizione una massa maggiore di dati, scoprono in qualche modo loro stessi gli schemi nascosti, si adattano sempre meglio a nuovi ed analoghi contesti, in fin dei conti acquisendo una specie di "esperienza" e diventando, per ciò stesso, più abili nello svolgimento del compito che loro è affidato¹⁶.

L'apprendimento automatico può essere suddiviso in 3 classi:

1. *Apprendimento supervisionato*: il set di dati di apprendimento è costituito da esempi etichettati, ossia ciascuno degli esempi è associato a un'etichetta o ad una risposta corrispondente. L'obiettivo è quindi far sì che la macchina sia in grado di prevedere l'etichetta giusta per casi nuovi. Si potrebbe dire che la macchina ha come maestro la matrice degli esempi di addestramento e la corrispondente matrice degli esempi etichettati. Questa procedura, nella quale il macchinario viene regolato cosicché dia la risposta giusta, viene applicata ad interessanti problemi di classificazione, di riconoscimento di immagini, di riconoscimento di voci, di previsione di serie temporali, ecc.
2. *Apprendimento non supervisionato*: la macchina apprende un insieme di dati che non vengono etichettati, senza precedenti

risposte corrette da cui trarre, mira a scovarvi strutture e schemi celati come a raggruppare istanze affini o a scovare anomalie.

3. *Apprendimento mediante rinforzo*: la macchina interagisce con l'ambiente in cui è immersa e ottiene punteggi, in base alle azioni che essa compie. Lo scopo è quello di arrivare a giocare in maniera tale da ottenere il massimo del rendimento nel lungo periodo, sviluppando appunto una strategia ottima.

Il Machine Learning, con le sue inedite soluzioni, sta influenzando molti settori, potenziando l'efficientamento in molteplici ambiti¹²:

- **Industria 5.0**: manutenzione predittiva, ottimizzazione del ciclo produttivo, controllo della qualità per mezzo di telecamere e automazione, impiego di robot collaborativi e introduzione del market place, conduzione della catena dei fornitori (Supply Chain Management)
- **Agricoltura di precisione**: tecniche colturali avanzate e monitoraggio delle colture, precisi allarmi di malattie, localizzazione puntuale per l'irrigazione e misura sicura per lo sfruttamento dell'acqua.
- **Energetica**: prospettive sulla produzione energetica, revisione delle linee di alta tensione, sfruttamento dei raggi solari, utilizzazione del calore terreno ed economia dei combustibili.
- **Trasporti e logistica**: studio dei piani di consegna, disciplina del traffico, sistemi per conseguire l'efficienza massima della circolazione del materiale, ammodernamento dei macchinismi, l'automatismo della locomozione, previsioni dei lavori di trasporto.

- **Formazione:** adozione e realizzazione di percorsi formativi personalizzati, organizzazione di itinerari formativi interattivi, offerta di tutor a distanza, ricorso alla analisi dei dati e autovalutazione per aumentarne l'efficacia.
- **Ambiente:** monitoraggio della qualità dell'aria e dell'acqua, previsioni meteorologiche per l'attuazione di interventi tempestivi, volte alla conservazione delle risorse naturali e alla sostenibilità ambientale.

1.4.3 Cobot

La spinta principale al diffondersi dei robot nelle industrie proviene dal desiderio di innalzare l'efficienza nel processo della produzione, poiché essi sanno operare con notevole precisione e rapidità in operazioni ripetitive, faticose o pericolose, superando le limitazioni fisiche, fisiologiche e psicologiche che limitano la prestazione umana. Del resto, il possibile superamento del lavoro del braccio umano e della intelligenza dell'uomo mediante il lavoro artificiale del robot, comporta una maggiore produttività del lavoro con conseguenze positive sul costo di produzione e specialmente sulla qualità del prodotto finito¹⁰.

Un cobot, secondo la prescrizione dello standard ISO/TS 15066:2016, "*Robots and robotic devices – Collaborative robots*", è un robot industriale progettato per interagire direttamente con l'essere umano all'interno di uno spazio di lavoro comune. Questa definizione ne rivela la natura essenzialmente integrante, distintiva rispetto ai robot industriali canonici, assiduamente sbarrati da schermi di protezione¹⁴. I cobot si differenziano dai tradizionali robot industriali poiché sono progettati per operare in sicurezza insieme agli esseri

umani, condividendo lo spazio lavorativo e interagendo direttamente con loro. Questa peculiarità li pone in condizione di svolgere incarichi e mansioni che richiedono grande precisione oppure ripetitività costante nella esecuzione.

L'intervento dell'Intelligenza Artificiale e del Machine Learning nei cobot segna una svolta di straordinaria portata: il cobot, guidato dall'IA, è capace di apprendere dagli eventi, di adeguare le proprie reazioni alla mutabilità delle circostanze e perfino di decidere autonomamente, sviluppando per giunta una sua capacità di efficienza ed elasticità egregia. Il Machine Learning consente al cobot di accrescere, via via, la propria abilità, di elevare a un più alto grado la propria efficienza, di ridurre a minima parte gli errori.

Il progetto dei cobot si fonda su precisi canoni, tra i quali spiccano:

1. *Sicurezza intrinseca*: i cobot sono dotati di sensori e comandi altamente evoluti che consentono a essi di riconoscere la presenza dell'uomo e che prevengano in anticipo le collisioni con gli operatori.
2. *Facilità di programmazione ed impiego*: obiettivo fino ad oggi perseguito, è rendere facile la programmazione dei cobot e possibile il loro utilizzo anche da parte del personale non specializzato, così da ridurre i tempi occorrenti per la configurazione e accrescere la flessibilità d'impiego.
3. *Flessibilità applicativa*: l'adeguamento del cobot alle diverse operazioni è conseguenza logica della sua facilità di trasporto da un lavoro all'altro, a seconda delle esigenze di produzione.

Nell'adottare qualsiasi tipo di sistema robotico, la valutazione del rischio rappresenta un aspetto di grandissima rilevanza, soprattutto,

se si tratta di cobot. Questo processo critico consente di individuare con metodo i rischi possibili, di pesarli e valutarne la probabilità e di prescrivere quelle cautele atte a eliminarli. La valutazione del rischio deve condursi con metodo rigoroso, dovendosi tener presenti le speciali circostanze di ambiente e di lavoro.

1.4.4 Internet of Things (IoT)

L'IoT (Internet of Things) è considerato il tessuto connettivo dell'Industria 5.0, permettendo una comunicazione in tempo reale tra oggetti fisici, macchinari, sensori e dispositivi con interscambio dei dati. L'interconnettività fra questi soggetti genera un flusso incessante di documenti, fonte d'intelligenza artificiale, e consente una conduzione previsiva, efficiente e personalizzata dei cicli produttivi. Grazie all'IoT si ottiene un'officina intelligente e pronta ad adattarsi velocemente alla variabilità del contesto, col conseguente sfruttamento massimo delle forze e il minore spreco⁵.

Grazie al monitoraggio continuo offerto dal sistema IoT è possibile tenere costantemente sotto controllo lo stato delle macchine, rilevando eventuali irregolarità od anomalie così da evitare guasti e/o infortuni. L'Internet of Things consente anche un'ottimizzazione dell'efficienza energetica. Infatti, può essere impiegato per monitorare i consumi di impianti e macchinari, consentendo di individuare le inefficienze energetiche così da poter risparmiare energia. L'IoT inoltre, permette di seguire un prodotto dalla fabbricazione, lungo tutta la filiera, fino alla consegna al consumatore finale, consentendo una tracciabilità lungo tutto la catena di produzione/distribuzione. L'IoT consente di realizzare stabilimenti intelligenti e flessibili, capaci

di adattarsi prontamente alle esigenze variabili del mercato e di produrre lotti a richiesta personalizzati¹³.

1.4.5 Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (AR):

Il mercato della realtà Estesa (XR) è costituito da Realtà Aumentata (AR), Realtà Virtuale (VR) e Realtà Mista (MR). Trattasi delle tecnologie abilitanti più rappresentative del concetto di fusione tra mondo reale e mondo virtuale che caratterizza l'Industria 5.0. Le aziende che le utilizzano stanno ottenendo importanti risultati sia nell'attrarre lavoratori qualificati sia nell'aumento del livello di soddisfazione dei propri dipendenti, riducendo i tempi e i costi di formazione, manutenzione, addestramento e diagnostica remota. Il modello digital twin che le accompagna permette di stabilire una descrizione passo passo di tutti gli elementi che compongono il macchinario o impianto, trasferendo conoscenze utili a tutti coloro che devono lavorare su di essi. Pur condividendo molte tecnologie operative (device mobili, HMI, telecamere, software 3D) e alcuni scenari di impiego (formazione, supporto, manutenzione), mentre la Realtà Virtuale permette l'immersione nel mondo digitale indipendentemente dal contesto fisico, la Realtà Aumentata consente la sovrapposizione alla realtà fisica, fornendo agli utenti delle informazioni aggiuntive difficilmente reperibili¹⁵.

VR e AR possono avere molteplici applicazioni:

- Insegnamento e addestramento: servono per emulare in maniera verosimile e dinamica gli ambienti produttivi e i processi di lavoro e addestramento.

- **Progettazione e Prototipazione:** permettono di visualizzare e interagire con modelli 3D di prodotto e le sue componenti in corso di progettazione.
- **Intervento di Assistenza e Manutenzione:** servono per affiancare, a distanza, interventi di assistenza e di formazione in tempo reale; per la manutenzione di macchine e di impianti.
- **Esercitazioni avvincenti e personalizzate:** servono per il coinvolgimento dell'utente finale mediante nuovi tipi di esercitazione da realizzarsi in una ambientazione virtuale che sia veramente "viva" e "reale".

1.4.6 Stampa 3D e Additive Manufacturing

La stampa 3D, nota anche come produzione additiva, costituisce una svolta in termini di concezione e realizzazione di oggetti di natura fisica. Diversamente dai tradizionali approcci di lavorazione sottrattiva, che si fondano sulla rimozione di materiale da pezzi grezzi, il processo adottato dalla stampa 3D conduce a risultati positivi, accodando materiali carica su uno strato di base, trasformando modelli digitali in forme tridimensionali.

Le caratteristiche della produzione con la stampa 3D sono:

- **Prototipazione veloce:** permette di produrre velocemente e a costi contenuti prototipi funzionali.
- **Produzione di componenti sovrapposti e personalizzati:** è in grado di realizzare su forme originali ed intricati dettagli e disegni non realizzabili per mezzo degli apparecchi ordinari.
- **Produzione divisa e "on-demand":** offre la possibilità di diversificare la produzione, di produrre direttamente nel sito di destinazione e quindi di abbreviare le distanze fra il luogo ove si fabbrica e quello

ove si adopera. Si evitano così numerosi passaggi di materiali, andando quindi a ridurre per numero e volume la movimentazione merci e si evita ad un tempo il sovraffollamento dei magazzini.

- **Industria Sostenibile:** contribuisce alla salubrità dell'ambiente diminuendo i rifiuti di materiali, riducendo lo spreco materiale¹⁵.

1.4.7 Big Data Analytics

I Big Data, come raccolta di informazioni strutturate e non strutturate d'origini diverse, rappresentano un ricco serbatoio di preziose notizie per l'Industria 5.0. L'approccio di analisi a essi rivolto mediante le nuove e più raffinate metodologie del Big Data Analytics è tale da permettere l'estrazione di cognizioni e intuizioni al fine di migliorare i processi e personalizzarne la produzione. Quando si tratta di migliorare l'efficienza dei processi produttivi, vale la pena riflettere su come l'elaborazione delle informazioni provenienti da sensori e da macchine di processo possa mettere chiaramente in evidenza colli di bottiglia, inefficienze, nonché reali e vantaggiose occasioni di correzioni a favore della intensificazione della produzione. Grazie all'analisi dei dati provenienti dai sensori montati sui macchinari, è possibile conoscere i guasti e le anomalie destinate a manifestarsi e, quindi, praticare in tempo una manutenzione preventiva basata su una prognosi scientifica. Allo stesso modo, l'utilizzo dei dati di domanda e mercato consente una previsione della domanda futura e migliora i livelli di magazzino. Questo alla fine ridurrà i costi di holding, tali come costi di immagazzinamento e i rischi di obsolescenza⁵.

1.4.8 Analisi delle immagini

L'analisi delle immagini presieduta dalla intelligenza artificiale (IA) rappresenta uno strumento ineludibile per la rilevazione e la gestione dei rischi in diversi ambiti applicativi¹².

L'origine delle immagini è varia: telecamere di sorveglianza, droni, sensori, dispositivi mobili, satelliti, persino micro fotocamere. La qualità delle riprese è una condizione di base per risultati precisi e certi: in essa devono essere contemplati fattori quali risoluzione, illuminazione, stabilità, prospettiva. Tecniche complesse come l'acquisizione multispettrale o l'immagine termica arricchiscono i dati utili all'analisi. Le immagini sono di solito sottoposte a una serie di operazioni di pre-elaborazione che hanno lo scopo di adeguarle per le elaborazioni successive, il cosiddetto pre-processing²⁷. Le operazioni interessate comprendono operazioni di ridimensionamento, correzioni di colore, segmentazioni o normalizzazioni dell'intensità. Lo scopo che si propone di raggiungere con tali operazioni è quello di migliorare la qualità dei dati, abbattere il rischio degli errori, facilitare l'estrazione delle caratteristiche significative. Gli algoritmi di Machine Learning hanno il compito di estrarre automaticamente caratteristiche significative dalle immagini, tra le quali si possono annoverare i bordi, le forme, la tessitura, i modelli, i particolari degli oggetti, i rapporti spaziali, la mobilità interna, secondo la natura dell'indagine e lo scopo prefisso¹⁷. Le caratteristiche estratte vengono sfruttate per etichettare le immagini in categorie prefissate (ad esempio "normale" e "patologico") o per identificare particolari oggetti o anomalie al loro interno²¹. Questa fase rappresenta il nucleo dell'analisi, poiché è qui che l'algoritmo "decide"

sulla visione e individua il potenziale pericolo o la patologia. Per realizzare la classificazione o l'identificazione si fa ricorso a tecniche unanimemente utilizzate come il Supporto alle Macchine Vettoriali (SVM), le Reti Neurali Artificiali (ANN) o gli Alberi Decisionali. Infine si procede all'elaborazione dei risultati per ricavare dai dati informazioni utili. Gli esiti dell'esame vengono esposti in modo chiaro e preciso, mettendo in risalto le parti o gli elementi dell'immagine che reclamano un attento esame¹¹. È questa la fase essenziale per rendere utilizzabile e veramente fruttuosa l'indagine, per fornire agli utenti quegli elementi di giudizio sui quali basare decisioni sicure e tempestive. Si otterranno rappresentazioni grafiche, carte tematiche, notizie scritte particolareggiate, che potranno essere usati in tempo reale o successivamente in base alle circostanze.

L'analisi delle immagini fatta dall'IA sta rivoluzionando interamente il modo di scoprire e di gestire i rischi in un gran numero di ambiti:

- *Sicurezza sui luoghi di lavoro*: individuare i comportamenti potenzialmente dannosi, quali la mancata o scorretta adozione di dispositivi di protezione individuale, posture incongrue, la presenza di ostacoli o l'uso improprio degli ausili, in modo da potere intervenire tempestivamente per evitare danni accidentali, sorvegliare luoghi pericolosi o difficilmente accessibili quali cantieri o stabilimenti, onde assicurare la sicurezza degli operatori.
- *Manutenzione predittiva*: rilevamento di anomalie o segni di usura in macchinari o infrastrutture, come crepe, perdite, surriscaldamenti, vibrazioni anomale o corrosione, consentendo di pianificare interventi di manutenzione mirati ed evitare costosi fermi macchina o guasti improvvisi, ispezione di

componenti critici o difficilmente accessibili, come pale eoliche, ponti o condutture, per garantire la loro integrità e sicurezza.

- *Controllo qualità:* individuazione di vizi o difetti della fabbricazione entro il ciclo produttivo o a conclusione degli svariati lavori, quali graffi, variazioni di colori, contaminazioni o dislocazioni di pezzi, in conseguenza dei quali si scartano i pezzi difettosi e si eleva la qualità esteriore e di insieme del prodotto. Consente l'esame automatizzato d'un gran numero di pezzi prodotti, per verificarne la conformità alle regole stabilite e abbattere i costi di controllo.
- *Sicurezza stradale:* può essere incrementata effettuando il monitoraggio del traffico per rilevare diverse infrazioni quali eccesso di velocità, inosservanza della segnaletica, guida distratta, veicoli contromano, contribuendo quindi a migliorare quella stessa sicurezza e a ridurre il numero degli incidenti, oppure ancora per cogliere situazioni pericolose quali ad esempio un incidente, ostacoli sulla carreggiata, condizioni meteorologiche avverse, comportamenti di guida rischiosi, e quindi intervenire senza indugio a prevenire o a mitigare le conseguenze.

2. CAPITOLO

IMPATTO DELL'INDUSTRIA 5.0 SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO

L'avvento dell'Industria 5.0 non rappresenta soltanto un avanzamento tecnologico, bensì un'effettiva trasformazione nei processi produttivi e nell'assetto del lavoro. Indirizzata dall'interazione fra uomo e macchina, dalla personalizzazione di massa e dalla valorizzazione del lavoratore, rimodellando la scena industriale, pone in atto nuove pretese e nuovi interessi per la tutela della salute e della sicurezza sul lavoro³.

L'applicazione dell'Intelligenza Artificiale e del Machine-Learning a macchine e impianti industriali presenta prospettive di utilità e di miglioramento, anzi di sicurezza crescenti¹⁰. In questa ottica salta all'occhio l'efficacia predittiva dei sistemi di IA, la qual cosa li porterà a smascherare le anomalie e a segnalare l'imminenza del guasto. Si potrà intervenire tempestivamente con la manutenzione preventiva, in modo da allontanare il fantasma dell'incidente. Tuttavia, ad ogni innovazione si associano anche nuovi pericoli e complicazioni che richiedono un approccio di carattere interdisciplinare. Tra le misure da adottare vi è in primis una esauriente valutazione di tutti i rischi. Nel far ciò il datore di lavoro dovrà essere affiancato da varie figure professionali, quali ingegneri, informatici, tecnici della prevenzione, medico competente, rappresentante dei lavoratori per la sicurezza. È imprescindibile che avvenga una valutazione accurata e completa dei rischi specifici connessi all'IA e al ML, non soltanto in fase di lancio sul mercato, bensì nell'intero arco di vita della macchina, al fine di tenere conto dell'evoluzione del sistema e dei possibili mutamenti del

contesto di impiego. La sicurezza deve essere un concetto insito sin dal principio nell'elaborazione di progetti di macchine, secondo un approccio di "security and safety by design". Ciò comporta il ricorso a metodologie di sviluppo sicuro, la scelta di algoritmi consistenti e tracciabili oltre che l'inserzione di strumenti di controllo e di intervento umano dove necessario. Ad esempio, il robot collaborativo potrebbe, nel suo design, dotarsi di sensori anti-intrusione, nonché di assetti di fermo d'emergenza atti a impedire collisioni con l'operatore.

La formazione e l'aggiornamento in itinere devono essere previsti per tutti gli operatori, per i controllori, per tutti coloro che abbiano un qualsiasi contatto con le macchine munite di IA; la formazione dovrà infatti riguardare i pericoli specifici, il funzionamento dei sistemi, i mezzi e le misure di protezione e di prevenzione. Bisognerà curare e rinnovare il contenuto del programma di formazione secondo l'avanzamento della tecnica e secondo i risultati tratti dalla pratica. È utile preparare i lavoratori a situazioni critiche o di avaria delle macchine, organizzando esercitazioni e simulazioni pratiche.

Il ruolo dell'uomo nel controllo e sorveglianza delle macchine rimane un fattore prioritario: anche nelle macchine autonome migliori, diventa indispensabile un'attiva sorveglianza e controllo da parte di un operatore qualificato in grado di intervenire in caso di guasti, di errori, di circostanze impreviste. Così, ad esempio, un sistema di guida automatica potrebbe prevedere la possibilità di far passare la macchina sotto il controllo manuale in presenza di condizioni meteorologiche e/o stradali avverse o di traffico intenso.

Inoltre i sistemi di IA devono essere trasparenti e intuitivi, almeno in applicazioni critiche per la sicurezza. È importante inoltre monitorare costantemente il funzionamento delle macchine dotate di IA,

raccogliendo dati sulle prestazioni, sugli eventuali incidenti o quasi incidenti, e sulle interazioni uomo-macchina. Questi dati possono essere utilizzati per migliorare la sicurezza dei sistemi, identificare potenziali rischi e sviluppare nuove misure di prevenzione e protezione. L'analisi dei dati potrebbe rivelare, ad esempio, che un determinato tipo di errore si verifica più frequentemente in determinate condizioni operative, consentendo di implementare misure correttive mirate.

2.1 Centralità del lavoratore e collaborazione uomo-macchina

Nella nuova Industria 5.0, il lavoratore è ormai protagonista, non più solo operatore passivo ma consapevole e partecipa alla progettazione, gestione e miglioramento dei processi produttivi; la sua creatività, capacità di affrontare i problemi, le sue competenze speciali, le sue doti professionali diventano capitali preziosi di cui si avvale l'azienda³. Da questa nuova posizione consegue un'attenzione maggiore al suo benessere psicofisico. La tecnologia rileva eventuali condizioni di sovraccarico, previene gli infortuni, lo indirizza ad un regime di vita sano, favorisce un ambiente di lavoro confortevole e benefico. Per svolgere questa funzione di monitoraggio e prevenzione si avvale ad esempio di sensori indossabili, che possono rilevare livelli di fatica, stress e posture, consigliando pause o esercizi correttivi. Inoltre, l'IA può analizzare i dati raccolti per identificare e prevenire possibili pericoli. Ad esempio, in un deposito l'IA può osservare i movimenti del personale, individuando posture scorrette che potrebbero comportare infortuni e inviare suggerimenti per migliorare l'ergonomia del lavoro. Contemporaneamente, occorrerà che i lavoratori assumano diretta

responsabilità per la gestione della propria sicurezza e per un uso consapevole delle tecnologie, imparando a riconoscere potenziali pericoli, a segnalare eventuali anomalie, ad operare per collaborare attivamente alla costruzione di un ambiente di lavoro sicuro e salubre. È dovere dei lavoratori prendere parte attiva nella progettazione e nell'applicazione delle nuove tecnologie, facendo ricorso al proprio sapere e alle proprie esperienze. Tale metodo partecipativo si assicura che i provvedimenti adottati siano sicuri, efficaci e conformi alle reali necessità degli operai, creando un senso di appartenenza e responsabilità. La cooperazione fra lavoratori, imprese e istituzioni sarà determinante per assicurare che la nuova Industria 5.0 porti a tutto vantaggio, promuovendo un avvenire del lavoro più equo, più inclusivo, più giusto.

L'Industria 5.0 supera la dicotomia uomo-macchina tipica delle rivoluzioni industriali precedenti. In essa gli esseri umani e le macchine collaborano in sinergia, le tecnologie avanzate non sembrano sostituirci l'uomo, ma tendono anzi ad accrescerne le capacità, a rendere l'ambiente di lavoro più sicuro, più efficiente e più stimolante³.

Il cobot, una forma di robotica collaborativa, è dotato di sensori e di sistemi di sicurezza di estremo rigore e affianca il lavoratore liberandolo da mansioni faticose e pericolose. Il lavoratore può occuparsi quindi esclusivamente di operazioni a maggior contenuto intellettuale, come la sorveglianza, il controllo e la supervisione. La Realtà Aumentata fornendo informazioni in tempo reale al lavoratore, ne migliora la precisione e l'efficienza, ad esempio un tecnico manutentore può vedere nel proprio campo visivo le istruzioni

dettagliate, passo per passo, per rimettere in funzione una macchina complessa²⁹.

2.2 Ergonomia: soluzioni e nuove sfide

Con l'avvento dell'Industria 5.0 il modello di produzione di massa standardizzata lascia il posto alla personalizzazione di massa, che modula prodotti e servizi sulle specifiche esigenze dell'utente. Questa variante comporta esigenze più elevate di flessibilità dei cicli produttivi e della struttura del lavoro arricchiti da tecnologie come la stampa 3D, la produzione additiva e la robotica evoluta¹⁵.

Tuttavia, questa varietà crescente di prodotti e la necessità di rispondere rapidamente alle esigenze del mercato creano nuove sfide di natura ergonomica e organizzativa. La gestione di carichi di lavoro variabili, il ricorso a tecnologie innovative, la riconfigurazione frequente dei processi produttivi, possono comportare rischi di disturbi muscolo-scheletrici, stress e affaticamento mentale e rendono indispensabile osservare determinate misure preventive: predisposizione ergonomicamente concepita dei posti di lavoro, addestramento nell'uso corretto delle apparecchiature, promozione delle pause e dell'attività fisica, creazione di un ambiente di lavoro elastico e stimolante¹⁵.

L'industria 5.0, forma di organizzazione industriale costruita intorno all'uomo e alla sostenibilità, non manca d'avere ripercussioni sulla salute e sicurezza dei lavoratori, in particolare per ciò che riguarda i pericoli ergonomici e fisici. Uno dei contributi più rilevanti che la Manifattura 5.0 apporta alla sicurezza professionale consiste nella possibilità di automatizzare attività che, per loro natura, rappresentano fonte di pericolo, infortuni, malattie professionali o

stress cronico. Il ricorso a tecnologie di punta come la robotica collaborativa e l'intelligenza artificiale permette di disporre di un ausilio per sottrarre ai lavoratori compiti in cui il rischio per la propria salute e sicurezza è particolarmente alto.

Ad esempio in settori come edilizia o logistica, l'impiego di cobot che possono sostituire la manualità umana per compiti che comportano il sollevamento di pesi ingombranti, l'esposizione a vibrazioni, il lavoro in ambienti pericolosi o il lavoro in quota, riducono, spesso in modo drastico, l'insorgenza di lesioni muscolo-scheletriche, di incidenti e altre alterazioni del benessere determinabili dall'esposizione ad agenti nocivi³¹.

Un altro esempio pratico si offre nell'uso dei robot per il movimento di materiali in alta temperatura o in ambiente a collocazione controllata nelle industrie manifatturiere, e ciò al fine di evitare che gli operai si esponano al pericolo di ustioni o d'inalazione di gas velenosi; nell'industria mineraria i robot possono servire alla ricerca e alla estrazione in condizioni di pericolo per crollo o per presenza di gas tossici, e quindi a proteggere i minatori da pericoli gravissimi.

Oltre alla riduzione dei rischi fisici, l'automazione può intervenire per migliorare l'ergonomia degli ambienti di lavoro eliminando posture scomode, movimenti ripetitivi, lavori prestati in condizioni di stress fisico prolungato. Per esempio, nell'industria alimentare, i cobot possono essere impiegati per eseguire compiti ripetitivi di confezionamento o imballaggio, riducendo il rischio di disturbi muscolo-scheletrici legati a movimenti ripetitivi degli arti superiori. Nel settore sanitario gli esoscheletri sono capaci d'assistere gli operatori sanitari nel sollevamento e nello spostamento dei malati, diminuendo il rischio lesivo per la colonna vertebrale.

L'intelligenza artificiale può servire ancora per tenere costantemente sotto controllo la postura degli operatori, fornendo un feedback e favorendo una maggior autoconsapevolezza intorno all'ergonomia personale. I sistemi di visione artificiale sono in grado di scoprire posture scorrette ed avvertire in tempo reale i lavoratori al fine di adottare pose più ergonomiche e scongiurare pertanto l'acquisizione di posture viziate in cronico o infortuni, con conseguenti danni a carico dell'apparato muscolo-scheletrico. Inoltre, l'IA si può rivelare d'aiuto per personalizzare le postazioni di lavoro in conseguenza alle singole misure fisiche dei vari lavoratori, onde consentire il migliore adattamento possibile e diminuire pure in tal modo le possibilità di insorgenza di disturbi muscoloscheletrici.

Nonostante i progressi nell'ergonomia e la progettazione di tecnologie user-friendly, l'interazione prolungata con macchine e dispositivi digitali può comportare rischi per la salute fisica dei lavoratori. L'uso costante di computer, tablet e smartphone, spesso in posture scorrette e per lunghi periodi di tempo, può causare disturbi muscoloscheletrici, affaticamento visivo, problemi posturali e sindrome del tunnel carpale. La postura statica, la tensione muscolare derivante dall'uso costante del mouse e della tastiera, e l'esposizione prolungata alla luce blu possono portare a dolori al collo, alla schiena, alle spalle, ai polsi e agli occhi, compromettendo la sua capacità di lavorare in modo efficiente e confortevole. L'art.173 del D.Lgs. 81/2008 definisce "videoterminale" uno schermo alfanumerico o grafico a prescindere dal tipo di procedimento di visualizzazione utilizzato, mentre è considerato "videoterminalista" colui che utilizza un'attrezzatura munita di videoterminali, in modo sistematico o abituale, per almeno venti ore settimanali. Per questi lavoratori sulla

base di quanto stabilito dall'art.176 e dall'art.177 del suddetto decreto è prevista la sorveglianza sanitaria da parte del medico competente ed apposita formazione ed informazione²⁸.

Anche l'uso prolungato di dispositivi di realtà virtuale o aumentata potrà dar luogo a disturbi della vista, a cefalee e a vertigini.

Da considerare inoltre che l'impiego continuato di schermi e la necessità di elaborare notevoli masse di dati è connessa di sovente la comparsa di un certo grado di affaticamento non solo visivo, ma anche mentale, con conseguente diminuzione della attenzione, della capacità di lavoro e dello spirito di decisione.

Per quanto riguarda i cobot, questi vanno progettati intorno all'uomo e per l'uomo, perché se è vero che da una parte possono aiutare gli operatori nella movimentazione carichi e/o nei lavori ripetitivi, dall'altra se non progettati secondo precisi standard ergonomici e di sicurezza per quanto concerne limiti di peso, posture, ritmi di lavoro, dispositivi di sicurezza rischiano di causare infortuni e problemi di sovraccarico fisico e mentale, con conseguenti ripercussioni sul benessere e sulla salute dei lavoratori³¹.

2.3 Nuovi rischi psicologici

Le innovazioni tecnologiche caratterizzanti l'industria 5.0, che promettono di migliorare le condizioni di lavoro e di realizzare uno sviluppo sostenibile e centrato sull'uomo, segnano un punto di svolta nel processo evolutivo dell'attuale assetto produttivo²⁸. Tuttavia, l'impiego in tutti i livelli della produzione di tecnologie avanzate come l'IA, il machine learning, la robotica collaborativa, se da un lato offrono vantaggi indiscussi, d'altro lato, comportano l'insorgenza di nuovi

rischi, sia nell'ambito dell'ergonomia sia in ambito psicologico, che richiedono un attento studio e valutazione⁸.

Lo stress causato dall'uso prolungato o eccessivo di tecnologie e strumenti informatici si definisce tecnostress¹⁹.

Il termine tecnostress è stato coniato nel 1984 da Craig Brod, per indicare lo stress indotto dall'utilizzo di nuove tecnologie soprattutto informatiche, derivato spesso dal malfunzionamento delle stesse¹⁹.

Nel 1997 Michelle Weil e Larry Rosen hanno ampliato il significato del termine, definendo il tecnostress come "ogni conseguenza negativa che abbia effetto su attitudini, pensieri, comportamenti o psiche, causata direttamente o indirettamente dalla tecnologia". Il tecnostress è una sindrome da stress causata dall'utilizzo delle ICT (Information and Communication Technologies), è una forma di stress causata da un utilizzo eccessivo, smodato e disfunzionale di tali tecnologie che impatta significativamente sia sulla vita sociale che su quella lavorativa dell'individuo. Il tecnostress è correlato ad alcuni fattori come la gestione di un numero ingente di informazioni, un uso eccessivo degli apparecchi, la richiesta di una sempre crescente velocità nell'esecuzione delle operazioni. L'esposizione al tecnostress può far insorgere patologie e disturbi differenti, che si manifestano a più livelli (soggettivo, comportamentale, cognitivo, fisiologico ed organizzativo) con un ampio range di sintomi ed effetti: apatia, irritabilità, disturbi del comportamento alimentare, uso di alcool e droghe, tendenza all'isolamento, stanchezza cronica, disturbi gastrointestinali, assenteismo, antagonismo sul posto di lavoro, aumentato tasso di incedenti. Nel 2007 il tecnostress è stato riconosciuto come malattia professionale con una sentenza della Procura di Torino e nel 2014 l'INAIL lo ha inserito nell'elenco delle

malattie professionali non tabellate, cioè quelle per le quali l'onere della prova spetta al lavoratore. Di conseguenza analizzarne le cause e gli effetti rientra nell'obbligo di valutazione dei rischi previsti dal D.Lgs 81/08 e s.m.i⁶. L'INAIL ha proposto una metodologia per la valutazione del rischio basato sul modello Management standards approntato dall'Health and safety executive (Hse). Tramite questo modello viene effettuata un'analisi dell'uso delle ICT al lavoro prendendo come riferimento sette dimensioni organizzative chiave: domanda, controllo, supporto del management, supporto dei colleghi, relazioni, ruolo, cambiamento. Le misure primarie di prevenzione del rischio da tecnostress si svolgono su due livelli: a livello individuale (strategie di problem solving) e a livello organizzativo (ad es. diminuendo il numero delle richieste poste ai lavoratori e implementando il supporto tecnico e la formazione).

Il professor T.S.Ragu-Nathan dell'Università di Toledo in Ohio ha identificato sei specifici fattori che inducono il tecnostress¹⁹:

1. *Techno-invasion*: la connettività costante estende la normale giornata lavorativa e induce i dipendenti a lavorare negli orari più disparati esponendoli alla possibilità di essere contattati ovunque e in qualsiasi momento; ciò può scatenare un malessere tale da scatenare l'angoscia di essere costretti a rispondere sempre; la reperibilità costante e la necessità di essere sempre "online" possono offuscare i confini tra lavoro e tempo libero, portando a un senso di insoddisfazione e burnout.
2. *Techno-overload*: incapacità di gestire il sovraccarico di informazioni in entrata dovuto al sommarsi di strumenti di comunicazione mobile come laptop e smartphone nonché di applicazioni software per lavorare in team. Aumentare la

velocità per portare a compimento tutto il lavoro è una delle conseguenze più comuni e causa di forte stress;

3. *Techno-complexity*: tecnologie sempre più complesse obbligano i lavoratori a investire parte del proprio tempo nel tentativo di padroneggiarle: in queste circostanze non è raro che si manifestino avversione, paura e ansia di non essere all'altezza;
4. *Techno-insecurity*: si lega alla repentina evoluzione tecnologica, che può generare nei lavoratori la paura di diventare obsoleti e di essere sostituiti da macchine o algoritmi più efficienti. Questa ansia costante può influire negativamente sulla motivazione, sull'autostima e sulla fiducia nel futuro professionale;
5. *Techno-uncertainty*: la fatica generata dallo star dietro a tutte le implementazioni e modifiche delle applicazioni informatiche spesso anche in assenza di supporto tecnico;
6. *Multitasking*: si cerca di ottenere sempre di più in meno tempo rispondendo a più richieste attraverso l'utilizzo di uno o più strumenti tecnologici contemporaneamente; a ciò corrisponde una crescita esponenziale dello stress.

Gli inibitori del tecnostress rappresentano le variabili situazionali e descrivono i meccanismi organizzativi che hanno il potenziale per ridurre gli effetti del tecnostress. Poiché le nuove TIC vengono spesso introdotte a un ritmo rapido, gli utenti finali necessitano di formazione e guida su come utilizzare i nuovi sistemi, soprattutto durante i primi giorni, per ridurre la loro ansia.

Un altro meccanismo per ridurre gli effetti del tecnostress consiste nel coinvolgere gli utenti finali durante le fasi di pianificazione e

implementazione del sistema; comunicare i cambiamenti (ad es. cambiamenti del flusso di lavoro e dei processi), i vantaggi e le opportunità che accompagnano l'introduzione di nuove TIC riduce lo stress e aiuta gli utenti superare la paura e l'ansia legate ad esse.

L'impiego sempre più diffuso di apparecchiature automatiche e tecnologie dell'intelligenza artificiale può produrre l'effetto di una rarefazione nel campo dei rapporti umani. Da ciò può derivare un isolamento sociale considerato sotto il profilo psicologico, una diminuzione del senso del legame solidaristico, di appartenenza al gruppo ed un ricorso esagerato ai provvedimenti tecnici, a fronte del bisogno di connessione e appartenenza¹⁹.

Una persona che nella sua attività di lavoro entra in rapporto, per lo più, con macchine e sistemi automatici, od opera da remoto, isolato dagli altri, manca di un ampio ventaglio di occasioni di socialità e di scambio con i colleghi e ciò nel medio e lungo periodo conduce ad un senso d'isolamento.

La comunicazione mediata dalla tecnologia, per quanto preziosa e comoda si riveli, può supplire, ma mai sostituire veramente, il contatto umano, le interazioni umane e la diversificata molteplicità di emozioni, sentimenti, di cui essa è priva.

Già Aristotele nel IV secolo a.C. ha affermato la tendenza dell'essere umano alla socialità. Siamo per natura portati a stare in contatto con l'altro, che addirittura è parte essenziale del definirsi della nostra identità.

L'essere umano è estremamente sensibile alle influenze provenienti dall'ambiente socio culturale che modificano costantemente i suoi circuiti nervosi, l'organizzazione plastica del suo cervello e conseguentemente le sue funzioni mentali. In particolare sono proprio

le relazioni sociali che influiscono su sentimenti ed emozioni e questi inevitabilmente influiscono sul corpo.

È ormai ampiamente condiviso il fatto che il benessere o malessere fisico condizionano la sfera emotiva, e viceversa lo stato psichico ha ripercussioni sullo stato fisico. I fattori psico-sociali sono strettamente correlati allo stato di salute o di malattia fino alla morbidità cronica o addirittura alla mortalità. Le relazioni infatti possono essere fonte di appagamento, senso di stabilità e sicurezza, se al contrario, sono disfunzionali l'individuo si sente insicuro, ne può derivare uno stato di ansia con conseguente perdita della capacità di adattamento sociale, lavorativo e fisico fino alla comparsa di malattia fisica o mentale che può trasformarsi in una patologia cronica. Quindi emozioni e stress hanno un effetto grandissimo sul nostro stato fisico. Uno degli aspetti più importanti della socialità è quello di farci sentire l'appartenenza a un gruppo. Un gruppo può essere definito come un insieme di persone che interagiscono tra loro con una certa regolarità. Le interazioni tra i componenti del gruppo si fondano su una serie di aspettative circa il comportamento dei membri, forme di comportamento che non si richiedono a chi non appartiene al gruppo in questione.

La dipendenza da dispositivi digitali per la comunicazione anche in ambito lavorativo è causa di ulteriore riduzione delle interazioni sociali nella vita reale. La necessità costante di controllare notifiche, email e social media, interferisce nella vita privata, nel sonno, nelle relazioni, con danno della salute mentale e del benessere complessivo³⁰.

Infine, un potenziale effetto deleterio dell'automazione e digitalizzazione in contesti lavorativi può risultare nella frammentazione dei processi e nella minore condivisione di

esperienza e conoscenze che ciò comporta, con conseguente indebolimento del senso di coesione e appartenenza di team. Tale scadimento può a sua volta finire per pregiudicare la motivazione, la partecipazione attiva e l'adeguamento ad ambienti di lavoro e influenzare negativamente attitudini e sentimenti del personale³⁰.

2.4 Rischio disoccupazione ed esclusione sociale: gli impatti dell'automazione sulla manodopera meno qualificata

Nonostante la promessa di una collaborazione sinergica uomo/macchina e l'enfasi sull'uomo, a fianco al grande vantaggio di potenziare radicalmente l'output umano incombe l'insidiosa ombra del pericolo di accrescere le disuguaglianze sociali e professionali e di penalizzare specialmente i lavoratori meno qualificati⁸.

L'automatizzazione avanzata e l'intelligenza artificiale, tecnologie chiave della quinta rivoluzione industriale, se da un lato rendono possibile il sollevamento dei lavoratori da compiti gravosi, pericolosi e ripetitivi, com'è stato discusso nei precedenti capitoli, dall'altro lato possono determinare la sostituzione di intere categorie professionali. Addetti a mansioni di tipo routinarie e carenti di apporto di competenze, quali gli operai delle catene di montaggio, i cassieri, gli operatori dei callcenter, gli addetti alla logistica, i magazzinieri, potrebbero presto benissimo esser sostituiti da robot e da algoritmi sempre più sofisticati⁹.

Questa prospettiva induce al timore che una larga parte dei lavoratori, privi d'istruzione, inabili ad adeguarsi alle continue trasformazioni del lavoro e ad acquisire le nuove competenze; rimarrà fuori del mondo del lavoro, senza mezzi di sussistenza e senza speranza di reinserirsi, incidendo quindi non solo sulle condizioni economiche

degli individui, ma avrà ripercussioni anche dal punto di vista psicologico e sociale: la perdita del posto può comportare depressione e altri disturbi mentali, ed è innesco di un circolo vizioso di povertà e d'isolamento.

2.5 IA E ML: Quadro normativo europeo

L'applicazione in tutti gli ambiti della vita economica e sociale dell'Intelligenza Artificiale e della robotica ha portato all'esigenza di adattare il quadro normativo alle nuove questioni sorte in relazione agli aspetti di responsabilità civile e salute e sicurezza sul lavoro.

2.5.1. Norme Di Diritto Civile Sulla Robotica

La delibera del Parlamento Europeo del 16 febbraio 2017 recante raccomandazioni alla Commissione concernenti norme di diritto civile sulla robotica è incentrata sul progetto di creare norme in materia di diritto civile, attinenti il settore della robotica²³. L'andamento attuale che tende a sviluppare macchine autonome e intelligenti, in grado di apprendere e prendere decisioni in modo indipendente, genera nel lungo periodo non solo vantaggi economici ma anche una serie di preoccupazioni circa gli effetti diretti ed indiretti sulla società nel suo complesso. Lo sviluppo della robotica e dell'intelligenza artificiale eserciterà sicuramente un'influenza sul modo del lavoro, il che potrebbe dar luogo a nuove preoccupazioni in materia di responsabilità ed eliminarne altre; occorre pertanto chiarire la responsabilità giuridica per quanto concerne sia il modello di impresa sia le caratteristiche dei lavoratori, in caso di emergenza o qualora sorgessero problemi. La tendenza all'automazione esige che i soggetti coinvolti nello sviluppo e nella commercializzazione di

applicazioni dell'intelligenza artificiale integrino gli aspetti relativi alla sicurezza e all'etica fin dal principio

La prima questione da affrontare in ambito normativo è proprio quella della responsabilità civile. Infatti nell'attuale quadro giuridico i robot non possono essere considerati responsabili in proprio per atti o omissioni che causano danni a terzi. Le norme esistenti in materia di responsabilità coprono i casi in cui la causa di un'azione o di un'omissione di un robot può essere fatta risalire ad uno specifico agente umano, ad esempio il fabbricante, l'operatore, il proprietario o l'utilizzatore e laddove tale agente avrebbe potuto prevedere ed evitare il comportamento nocivo del robot. Nell'ipotesi in cui un robot possa prendere decisioni autonome, le norme tradizionali non sono sufficienti per attivare la responsabilità per i danni causati da un robot. La delibera enfatizza l'importanza di definizioni europee comuni di sistemi cibernetici, di sistemi autonomi e di agenti robotici intelligenti autonomi, prendendo in considerazione le caratteristiche di autonomia grazie a sensori, interconnettività e scambio e analisi di dati, adattamento del proprio comportamento all'ambiente, almeno un supporto fisico minore e l'assenza di vita in termini biologici.

Si raccomanda che a livello dell'Unione Europea sia adottato un sistema di registrazione dei robot avanzati, al fine di monitorarne la diffusione e l'applicazione delle disposizioni.

Riveste la massima importanza il problema della responsabilità civile per i danni cagionati dai robot. Si prospetta l'opportunità di valutare l'adozione di un regime di responsabilità oggettiva o di gestione dei rischi, nonché d'introdurre una obbligatorietà assicurativa.

Si propone una "Carta per la robotica" contenente un codice deontologico per gli ingegneri robotici, un codice per i comitati etici operanti nella ricerca sulle scienze e modelli di licenza per progettisti e utilizzatori. Quanto alla sicurezza, si mette in rilievo la necessità di garantire la sicurezza dei sistemi robotici, compresa l'integrità dei dati in essi contenuti e dei flussi di dati, onde prevenire eventuali sovrapposizioni e salvaguardare la tutela degli interessi dei soggetti privati.

Esempi di aree specifiche di applicazione sono:

- *Veicoli autonomi*: Diviene urgente l'adozione di norme a livello UE e mondiale che mettano in attuazione del veicolo autonomo, affrontando nella loro complessità aspetti come la responsabilità civile, la sicurezza stradale, l'ambiente, l'occupazione.
- *Droni*: Appare decisiva l'adozione di un quadro normativo comunitario per l'utilizzo dei droni, che garantisca un equilibrio fra l'esigenza di preservare sicurezza e privacy dei cittadini.
- *Robot per l'assistenza agli anziani e/o persone con disabilità*: si riconosce l'enorme potenziale che hanno in termini di aiuto fisico ed ergonomico, ma rimane imprescindibile l'importanza del contatto umano e la necessità di un'adeguata formazione dei caregivers.
- *Robot in campo medico-chirurgico*: consentono sempre maggiori progressi in materia, ma rimane ferma la necessità di garantire il rispetto e la sicurezza del paziente.

Si sottolinea la necessità di investire nell'istruzione e nella formazione per preparare la forza lavoro alle sfide poste dall'automazione e dalla robotica.

Si incoraggia lo sviluppo di robot a basso impatto ambientale, che promuovano l'efficienza energetica e la riduzione dei rifiuti.

La risoluzione invita la Commissione europea a presentare una proposta di direttiva su norme di diritto civile sulla robotica, basata sulle raccomandazioni contenute nel documento.

Si sottolinea l'importanza di un approccio europeo comune per promuovere l'innovazione e la competitività dell'industria europea, garantendo al contempo la sicurezza e il benessere dei cittadini.

In sintesi, il documento fornisce un'analisi completa delle sfide e delle opportunità poste dalla robotica e dall'IA, proponendo un quadro giuridico ed etico per guidare lo sviluppo e l'uso di queste tecnologie in modo responsabile e sostenibile.

2.5.2 Regime di responsabilità civile per l'intelligenza artificiale

La Risoluzione del Parlamento Europeo del 20 ottobre 2020 recante raccomandazioni alla Commissione su un regime di responsabilità civile per l'Intelligenza Artificiale affronta la delicata questione della responsabilità civile inerente l'uso di sistemi di Intelligenza Artificiale (IA), sottolineando la necessità di un impianto normativo robusto e adattabile, atto a rispondere efficacemente alle nuove sfide di una tecnologia in costante evoluzione²⁴.

Il Parlamento Europeo propone un regime di responsabilità civile che consideri la natura intrinsecamente complessa e spesso opaca dei sistemi di IA. La difficoltà nell'individuare una causa specifica per un danno causato da un sistema di IA richiede un'analisi approfondita

dei diversi livelli di interazione tra uomo e macchina. Il documento esplora diverse opzioni per l'attribuzione della responsabilità, considerando sia la responsabilità oggettiva che quella per colpa, e sottolineando l'importanza di una precisa ripartizione del rischio tra gli attori coinvolti nello sviluppo, nella distribuzione e nell'utilizzo dei sistemi di IA.

Il documento definisce gli "operatori" dei sistemi di IA come coloro che esercitano un controllo effettivo sul funzionamento del sistema, attribuendo loro la responsabilità primaria per i danni causati. Gli operatori hanno l'obbligo di garantire la sicurezza e l'affidabilità dei sistemi di IA, di adottare misure di gestione del rischio e di fornire informazioni chiare e complete agli utenti. Per i sistemi ad alto rischio, si prevede l'obbligo di stipulare un'assicurazione di responsabilità civile o di costituire un fondo di garanzia. Tale categorizzazione si fonda soprattutto sulla misura di fattori quali: la capacità di autonomia del meccanismo, la capacità di apprendimento, l'impatto sulle libertà fondamentali e la gravità dei potenziali danni.

Il documento affronta anche la responsabilità dei produttori di sistemi di IA, sottolineando il loro ruolo nel garantire la conformità dei sistemi ai requisiti di sicurezza e nel fornire supporto tecnico agli operatori. I produttori hanno l'obbligo di collaborare con le autorità competenti in caso di indagini su incidenti o danni causati dai loro sistemi.

Il regime di responsabilità proposto copre un'ampia gamma di danni, inclusi danni alla vita, alla salute, al patrimonio e danni non patrimoniali. Si definiscono inoltre i termini di prescrizione per le azioni legali relative ai danni causati dai sistemi di IA, tenendo conto della complessità delle indagini e della necessità di garantire un'adeguata tutela delle vittime.

Il documento del Parlamento Europeo rappresenta un passo significativo verso la creazione di un quadro giuridico chiaro e completo per la responsabilità civile nell'ambito dell'IA. Le raccomandazioni contenute nel documento forniscono una base solida per lo sviluppo di una legislazione europea che promuova l'innovazione responsabile nell'IA, garantendo al contempo la protezione dei diritti e della sicurezza dei cittadini. Si auspica che la Commissione Europea dia seguito a queste raccomandazioni con una proposta legislativa concreta che affronti le sfide specifiche poste dall'IA e contribuisca a creare un ambiente normativo favorevole allo sviluppo e all'utilizzo etico e responsabile di questa tecnologia.

2.5.3. Regolamento (UE) 2023/1230 del Parlamento Europeo e del Consiglio

Nel 2023 il parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione europea hanno adottato il nuovo Regolamento Macchine (2023/1230) che abroga la direttiva 2006/42/CE. Questo regolamento è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 29 giugno 2023 ed è entrato in vigore il 19 luglio 2023. Il Regolamento si applica a partire da gennaio 2027, ma alcune sue parti sono già vigenti. Il Regolamento Macchine 2023/1230 assume un ruolo di rottura rispetto al passato e non semplifica il diritto, si adatta piuttosto alle sfide dell'innovazione e traccia strade nuove. In esso si affrontano per la prima volta in modo penetrante e a tutto campo le questioni dell'IA e del ML, viste con il loro potenziale effetto positivo e negativo sulla sicurezza delle macchine. Sono fissate prescrizioni proprie per le macchine integrate di sistemi di Intelligenza Artificiale a tutti gli effetti,

premiando l'importanza di un'esatta e seguita valutazione del rischio. E non basta già più ormai considerare rischi meccanici o elettrici consueti, ma occorre pure pensare ai rischi innovatori dal lato dell'autonomia, dalla complessità e dalla possibile oscurità dei sistemi d'IA. Inoltre, il regolamento imprime l'obbligo di assicurare la trasparenza e la comprensibilità dei sistemi di IA in modo da consentire un controllo efficace da parte degli operatori, degli incaricati della manutenzione e delle autorità competenti. Questa trasparenza si rivela essenziale per instaurare e consolidare la fiducia nell'IA, fattore imprescindibile per una sua adozione sicura e responsabile⁷.

A differenza della Direttiva, il Regolamento è direttamente applicabile in tutti gli Stati membri, eliminando la necessità di recepimento nazionale e garantendo uniformità di applicazione.

L'ambito di applicazione viene esteso alle nuove tecnologie come la robotica avanzata e l'intelligenza artificiale (IA), con particolare attenzione ai sistemi con comportamento evolutivo e apprendimento automatico. Pone maggiore enfasi sulla sicurezza informatica, introducendo requisiti specifici per la protezione da minacce informatiche, come la corruzione dei dati e gli accessi non autorizzati, al fine di garantire la sicurezza del sistema di controllo²⁰.

Nel Regolamento si trovano definizioni aggiornate di "macchina", "componente di sicurezza" e "quasi-macchina" per riflettere l'evoluzione tecnologica, includendo il software e i dispositivi digitali. Vengono inquadrati in modo più dettagliato gli obblighi di fabbricanti, importatori e distributori lungo l'intera catena di approvvigionamento, introducendo anche la figura del mandatario.

Per quanto attiene le procedure di valutazione della conformità, mantiene un sistema di moduli di valutazione, ma con maggiore attenzione alle nuove tecnologie e alla partecipazione degli organismi notificati per le categorie di macchine a rischio più elevato.

Prevede un sistema di vigilanza del mercato più efficace, con procedure di salvaguardia per intervenire in caso di prodotti non conformi o che presentano rischi.

Richiede agli Stati membri di stabilire sanzioni efficaci, proporzionate e dissuasive per le violazioni del Regolamento.

L'allegato III del Regolamento elenca i RES (Requisiti essenziali di sicurezza e tutela della salute) che le macchine devono soddisfare, coprendo aspetti come la progettazione, la costruzione, i sistemi di comando, le misure di protezione, la manutenzione e le informazioni fornite.

Documentazione tecnica: Il fabbricante deve redigere una documentazione tecnica completa che dimostri la conformità della macchina ai RES e deve rilasciare una dichiarazione di conformità UE che attesti il rispetto dei RES.

Le macchine conformi devono essere contrassegnate con la marcatura CE.

Le nuove norme puntano a ridurre gli incidenti e i rischi per la salute e la sicurezza degli utilizzatori di macchine.

Si punta ad armonizzazione del mercato interno all'UE, infatti il nuovo Regolamento garantisce la libera circolazione delle macchine conformi all'interno dell'UE.

3. CAPITOLO

APPLICAZIONI DELL' INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN EDILIZIA: FOCUS SU SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO

L'edilizia è un settore chiave dell'economia italiana, che vale il 5-6% del PIL e dà lavoro a oltre il 1,7 milioni di persone, circa il 6,6% del totale dell'occupazione. Il settore è fortemente correlato agli altri comparti industriali. Includendo le attività collegate, rappresenta indirettamente il 20% del PIL, con una filiera che coinvolge quasi il 90% dei settori. Dei 1,7 milioni di occupati nelle costruzioni, il 59% è impiegato nei lavori di costruzione specializzati, il 35% nella costruzione di edifici, il rimanente 6% nelle grandi opere. La quota di lavoratori indipendenti è molto alta (circa un terzo), come anche quella stimata degli irregolari (circa il 15%). È un settore in forte crescita che si stima richiederà circa 210.000 nuove persone entro 5 anni. Attualmente gli occupati sono costituiti per il 92% da uomini, con la quota degli over 50 in costante crescita, così come quella dei lavoratori stranieri¹.

In edilizia si individuano due macrocategorie:

1. Edilizia pesante: demolizioni, scavi, movimento terra, fondazioni, murature, strutture in cemento armato, pavimentazioni e rivestimenti in ceramica e materiali lapidei naturali o artificiali
2. Edilizia leggera: pitture, vernici, decorazioni, tappezzerie, impermeabilizzazioni e isolamenti, superficie in resina, opere in cartongesso, strutture a secco in acciaio e in legno.

A queste vanno aggiunte le opere collaterali, che comprendono opere in ferro/vetro/acciaio/alluminio, idraulica, elettricità ed elettrotecnica, impiantistica di condizionamento e trattamento aria, lavorazione marmi, falegnameria, arredamento ed architettura da interni.

Le figure professionali coinvolte sono diverse, ognuna con un proprio ruolo all'interno del processo produttivo. Si parte dall'operaio non qualificato, addetto a lavorazioni generiche (dal trasporto materiali alle pulizie), passando per l'operaio qualificato, addetto a lavorazioni specifiche, sotto la guida del capomastro, che a sua volta dialoga con il direttore dei lavori, la figura professionale responsabile della corretta esecuzione dei lavori in base al progetto approvato.

A Differenza Oggi il settore dell'edilizia è scarsamente interessato dalle innovazioni digitali, posizionandosi al penultimo posto, superando solo l'agricoltura. Si tratta di un limite evidente dal momento che Molte innovazioni tecnologiche possono impattare positivamente sulla produttività e creare nuove professioni e contemporaneamente possono migliorare i livelli di sicurezza nei cantieri, riducendo l'incidenza di infortuni e malattie professionali. L'INAIL⁴ attraverso il periodico Dati INAIL nr. 12 di dicembre 2023 analizza i dati infortunistici nel settore costruzioni nel biennio 2021-2022. Nel 2022 gli infortuni sul lavoro del settore Costruzioni al 30 aprile 2023, sono stati 40.135, in aumento del 3,4% dal 2021. La crescita delle denunce è coerente con l'incremento dell'occupazione che nell'ultimo anno si attesta al +3,9% rispetto al 2021.

Anche per il 2022 resta elevato il contributo in termini di vite perse: il settore si colloca al secondo posto in valore assoluto dopo il

manfatturiero, con una differenza di appena due casi, e per il 2022 registra 175 decessi.

La maggior parte degli infortuni professionali e dei decessi si verifica nelle fasi di demolizione/preparazione del cantiere, nei lavori di impiantistica elettrica ed idraulica e in generale nelle opere di costruzione specializzata, il resto accade nella costruzione di edifici e nelle opere di ingegneria civile. La quota di infortunati di origine straniera è più elevata che nella media degli altri settori e rappresenta il 26% delle denunce e il 21% dei mortali del 2022.

Per quanto riguarda invece le malattie professionali nel 2022 sono state protocollate al 30 aprile 2023, 10.238 malattie di origine professionale con un significativo aumento (20,2%) rispetto alle 8.516 del 20¹⁸.

Tra le diverse innovazioni tecnologiche che iniziano ad essere impiegate in edilizia ci sono robot da demolizione, robot da muratura, saldatura automatizzata, droni, esoscheletri, realtà aumentata, stampa 3D e l'utilizzo di nuovi materiali (come cemento prodotto con rifiuti, materie plastiche riciclate, resine a base vegetale...).

Ad oggi le abilità più ricercate sono curare l'avanzamento del lavoro, lavorare in ergonomia, risolvere problemi, rispettare le procedure di salute e sicurezza, utilizzare le attrezzature in sicurezza, ispezionare i materiali, avere conoscenze informatiche, saper lavorare in squadra. Le competenze trasversali più richieste sono: reagire agli imprevisti, rispettare le scadenze, dare informazioni sulle riparazioni, monitorare gli standard di qualità, assistere i clienti, definire i criteri di qualità, essere autonomo, flessibile e assicurare la conformità.

Nell'edilizia del futuro saranno richiesti nuovi profili che accompagneranno l'innovazione del settore. Nel breve termine

saranno richiesti ingegneri meccatronici, specialisti della riqualificazione urbana e del recupero del patrimonio immobiliare, bioarchitetti, impiantisti di domotica, addetti alla logistica inversa per il recupero dei materiali. Nel medio e lungo termine saranno richiesti specialisti di edge computing per smart building, specialisti di ingegneria predittiva, addetti alla programmazione macchine robotiche, digital twin modelist, addetti allo sviluppo di edifici cognitivi, addetti alla prevenzione delle perdite, tecnici di scansione 3d, impiantisti IoT, sviluppatori VR/AR, dronisti per la mappatura cantieri, manutentori settore energy.

3.1 Riduzione dei rischi per la salute e sicurezza in cantiere

L'intelligenza artificiale può identificare potenziali rischi e vulnerabilità in fase di progettazione edile, aiutando a sviluppare strategie di mitigazione e piani di contingenza. I sistemi di IA possono essere integrati nei gestionali aziendali per sviluppare piani di risk management, con notevole guadagno in termini di affidabilità della previsione, rigorosa compliance alle normative e rispetto dei tempi di realizzazione¹.

L'intelligenza artificiale può portare a significativi miglioramenti in termini di prevenzione e riduzione degli incidenti, sia attraverso analisi ex ante in fase di progettazione della sicurezza, sia mediante il monitoraggio in tempo reale delle operazioni e l'assistenza alle attività. In primo luogo, l'IA può contribuire a monitorare e garantire la conformità nei confronti delle normative di sicurezza, gestendo in maniera integrata ed efficace le informazioni specifiche del singolo progetto insieme coi requisiti richiesti dalla legislazione e con le eventuali buone pratiche disponibili. In tal modo, programmi o moduli

customizzabili possono anche suggerire azioni preventive o correttive.

In fase di esecuzione dei lavori, sfruttando la tecnologia Laser Scanner associata all'IA diventerà possibile la verifica step by step del rispetto del PSC (Piano di Sicurezza e Coordinamento) e del POS (Piano Operativo di Sicurezza).

Dotando il cantiere di sensori, telecamere intelligenti e altri dispositivi IoT (Internet of Things), si possono identificare in tempo reale potenziali rischi e prevenire incidenti. Ad esempio, l'IA può identificare e segnalare comportamenti a rischio, non conformi o situazioni di emergenza, come l'accesso non autorizzato a zone pericolose o l'uso improprio di attrezzature.

Con specifico riguardo alle macchine e alle attrezzature di lavoro, saranno sempre più utili gli strumenti di analisi funzionali alla loro manutenzione predittiva. L'intelligenza artificiale, sempre attraverso i sensori, potrà prevedere il momento in cui le attrezzature o le strutture potrebbero richiedere manutenzione, evitando guasti improvvisi che potrebbero causare situazioni pericolose.

L'intelligenza artificiale può essere impiegata per automatizzare processi che comportano rischi significativi per la sicurezza. Robot sempre più performanti e collaborativi lavoreranno a stretto contatto con gli esseri umani assumendo proprio quei compiti specifici, riducendo il rischio di incidenti e migliorando la sicurezza sul luogo di lavoro. Oltre a questo, con l'intelligenza artificiale diventerà possibile dotare l'operatore di cantiere di dispositivi indossabili che possono fornire feedback in tempo reale ai lavoratori, avvisandoli di potenziali rischi oppure fornendo istruzioni per eseguire compiti in modo sicuro.

Sebbene l'uso di nuove tecniche e tecnologie possa aiutare a ridurre il rischio sui cantieri è necessario contribuire a definire procedure di valutazione del rischio in cantieri di nuova generazione, siano essi grandi o piccoli, di opere pubbliche o private, che tengono conto della presenza e dell'utilizzo delle nuove tecnologie che modificano di fatto le condizioni di sicurezza e finiscono con l'avere ricadute che sono rilevanti sulla salute degli operai, ma che non sembrano ancora identificabili in maniera completa ed organica.

D'altra parte, sia l'analisi del rischio derivante dall'uso di tecniche e strumenti costruttivi a forte connotazione digitale che la diffusione e la disseminazione delle pratiche più meritorie sono al centro delle attività di chi si occupa di contribuire ad introdurre elementi di innovazione, ricerca e trasferimento tecnologico nel settore produttivo, per aumentarne la sicurezza.

CAPITOLO 4.

LA CULTURA DELLA SICUREZZA 5.0: UN NUOVO PARADIGMA

La necessità di una cultura della sicurezza legittima la formazione e l'aggiornamento continuo dei lavoratori, nonché la promozione di una diversa e più ampia competenza di fondo. L'Industria 5.0 non segna solo una fase nuova nell'evoluzione tecnica: essa è un radicale mutamento di prospettive nei concetti del lavoro e della produzione in quanto pone al centro il concetto di collaborazione sinergica tra uomo e macchina. L'approccio verso la cultura della sicurezza 5.0 deve essere in grado di adattarsi alle particolarità proprie dell'Industria 5.0. I nuovi rapporti uomo-macchina, l'impiego di tecnologie avanzate (IA, machine learning e robotica collaborativa) e la sempre più spinta digitalizzazione dei processi produttivi esigono un inedito modo di concepire la prevenzione e la tutela. Ad esempio in un magazzino automatizzato in cui gli operatori lavorano fianco a fianco con i Mobile Robot (AMR) che si muovono autonomamente e trasportano la merce. In questo contesto il tema della sicurezza non è più limitato agli aspetti della prevenzione dei danni fisici, ma deve estendersi anche alla gestione dei rischi che emergono dall'interazione con gli AMR, come scongiurare le collisioni, assicurare l'efficienza della comunicazione uomo-macchina, saper affrontare, infine, eventuali imprescindibili contrattempi, quali ad esempio una sospensione del servizio del robot⁷.

Questa cultura innovativa andrà dunque a radicarsi in ogni parte dell'organizzazione, dai dirigenti agli operai, e dovrà essere fondata

sui principi dell'intervento personale, del prestito della responsabilità, della continuità del progresso. Ognuno dovrà riconoscersi unito agli altri e solidale con essi nel rispondere dell'incolumità personale e altrui e la direzione dovrà creare un ambiente dove gli errori siano la base dello studio e del miglioramento e non solo della ricerca del colpevole.

La formazione continua e l'aggiornamento dei lavoratori costituiscono presupposti fondamentali per garantire una transizione fluida e sicura verso l'Industria 5.0. I lavoratori devono essere in grado di utilizzare in sicurezza le nuove tecnologie e di interagire con esse in modo efficiente; ciò richiede di conoscere il funzionamento tecnico delle macchine, di saper individuare i rischi potenziali, di adottare comportamenti sicuri e di reagire prontamente in caso di emergenza. Ad esempio un tecnico responsabile della manutenzione di un impianto industriale dotato di sensori IoT e di sistemi di monitoraggio predittivo basati sull'IA deve non solo presidiare la riparazione di guasti meccanici, ma anche sapersi muovere al fine di interpretare i dati sensibili, utilizzare software diagnostici, coordinare la propria attività con quelli dell'IA per individuare le cause dei malfunzionamenti e per provvedere a evitare che il malfunzionamento si ripresenti.

Inoltre, un'adeguata formazione non può limitarsi alla dimensione prettamente tecnica (saper usare il nuovo strumento), ma deve includere aspetti legati alla sicurezza psicologica (gestire lo stress associato alle nuove tecnologie, saper affrontare situazioni di conflitto e di frustrazione, adattarsi ai cambiamenti e lavorare in un contesto sempre più uomo-macchina). Per esempio l'addetto al call-center che adotta un chatbot basato sull'IA per la gestione delle richieste da parte dei clienti deve essere formato non soltanto sull'uso dello strumento,

ma anche sulle modalità per gestire interazioni a volte complesse fra il cliente e il chatbot, affrontare adeguatamente situazioni di conflitto e di frustrazione, mantenere un equilibrio psicologico in un ambiente di lavoro ormai sempre più digitalizzato.

Sarà fondamentale e strategico prevedere a tutti i livelli nuovi piani di formazione sull'intelligenza artificiale, sia in ambito accademico che in quello aziendale, in ottica di formazione permanente ("lifelong learning"). A livello accademico, sono già diversi i corsi e i percorsi disponibili mirati a fornire competenze specifiche sugli argomenti alla base dell'IA, a cavallo tra ingegneria, matematica e fisica (senza trascurare la business administration). Temi come big data, machine learning, deep learning, o d'altra parte la robotica avanzata e smart per le tecnologie dell'automazione e la computer vision, sono sempre più diffusi nelle università. Accanto a una formazione di stampo maggiormente generalista, certamente necessaria e intersettoriale, serviranno specializzazioni profonde nei settori economici, tra cui le costruzioni, prevedendo laddove possibile di integrare le conoscenze digitali ormai consolidate, come il Building Information Modeling (BIM), con moduli avanzati di IA. Ciò che più occorre, in generale ma in modo ancora più marcato con questi nuovi strumenti, è assicurare il "matching" tra offerta e domanda di formazione, cioè tra il mondo dell'istruzione tecnica superiore (ITS) e dell'università e il mercato del lavoro.

Secondo una ricerca dell'Osservatorio Artificial Intelligence della School of Management del Politecnico di Milano, in Italia nel complesso dei settori la quota più significativa del mercato dell'Intelligenza Artificiale (34%) è legata a soluzioni per analizzare ed estrarre informazioni dai dati (Intelligent Data Processing),

soprattutto per realizzare previsioni in ambiti come la pianificazione aziendale, la gestione degli investimenti e le attività di budgeting.

Nel Capitolo 3 si è visto come l'integrazione dell'IA nell'edilizia presenti alcune complessità e peculiarità. La gestione attenta di questi aspetti è essenziale per massimizzare i vantaggi, ma la formazione del personale e l'adozione di best practice nella sicurezza e nell'etica dell'IA sono cruciali per garantire un progresso positivo in questo settore. Perché l'intelligenza artificiale possa portare i benefici attesi, ancor più in edilizia, occorre che siano disponibili grandi quantità di dati strutturati e il più possibile in formato aperto e interoperabile, e che i sistemi parlino un linguaggio comune. Senza dati su cui "allenarsi" e apprendere, l'intelligenza artificiale non può operare.

Sarà, anche per questo, fondamentale sviluppare una piattaforma nazionale digitale delle costruzioni, che favorisca la crescita digitale dell'intera filiera dell'edilizia e in cui la gestione strutturata del dato sia pienamente integrata con la IA, aumentando il beneficio su larga scala per Pubblica Amministrazione, imprese e cittadini.

L'etica e la governance sono argomenti non di secondo piano, ma centrali quando si tratta di Intelligenza Artificiale. Si richiede che essi vengano adeguatamente integrati nei percorsi sulla leadership, per formare nuovi manager davvero illuminati e non solo eccellenti tecnici di impresa.

Parallelamente alla formazione universitaria, sarà prioritario l'aggiornamento continuo degli operatori e dei lavoratori già in azienda, compreso il re-skilling. Questo anche per evitare che le competenze digitali e sull'intelligenza artificiale si segmentino progressivamente con l'avanzare dell'età, configurando da una parte

giovani specializzati e dall'altra meno giovani sempre più ai margini dei velocissimi progressi tecnologici.

Per un'opera simile, aziende e imprese non potranno fare da sole, ciascuna per sé: serviranno non soltanto un coordinamento e una guida a livello associativo o di corpi intermedi, ma dovrà pensarsi una vera e propria strategia con un indirizzo del Governo, compresi adeguati fondi e incentivi per permettere un accesso equo e pervasivo dei percorsi formativi all'interno del tessuto economico (caratterizzato da una maggioranza di piccole e medie imprese).

In sintesi, occorrerà lavorare su due piani: l'istruzione superiore e la formazione accademica da un lato, e l'aggiornamento continuo in azienda dall'altro. Maggiore sarà il coordinamento tra queste iniziative, con un approccio bottom-up basato sulle vere richieste del mercato, più incisivo sarà il processo di alfabetizzazione sull'IA.

Allo sviluppo della Manifattura 5.0 è condizione essenziale anche l'acquisizione di nuove competenze, sia tecniche che trasversali, particolarmente importanti, queste ultime, su fronti nuovi, per esempio per professioni aggiunte ai compiti delle macchine; di competenze tecniche comprendenti l'uso e la programmazione di tecniche avanzate per l'analisi dei dati, l'impiego di strumenti di simulazione virtuale che trovano utilità nel campo della verifica preventiva dei rischi, della soluzione di problemi complessi. La rilevanza delle competenze trasversali, denominate anche soft skills, è altrettanto imprescindibile. Esse rendono infatti possibile ai lavoratori adattarsi alle trasformazioni con rapidità, innovare, decidere con accortezza e partecipare attivamente all'attività produttiva in un contesto che si fa ogni giorno più vario e più spinoso. È prevedibile che l'industria 5.0 vedrà affermarsi un nuovo ruolo chiave in produzione: il Chief

Robotics Officer (CRO)¹⁵. Un CRO è un professionista con esperienza nella comprensione dei robot e delle loro interazioni con gli esseri umani. Il CRO sarà responsabile di prendere decisioni per macchine o robot da aggiungere o rimuovere dall'ambiente di fabbrica e per ottenere prestazioni ed efficienza ottimale.

CONCLUSIONI

L'Industria 5.0, nuova frontiera dell'automazione industriale, si configura come una rivoluzione non solo tecnologica ma profondamente sociale, in grado di rimodellare il mondo del lavoro e il rapporto tra uomo e macchina. Essa non si limita all'implementazione di nuove tecnologie, ma pone al centro l'uomo, la sostenibilità e la resilienza, promuovendo un'industria più attenta al benessere del lavoratore, all'ambiente e alla capacità di adattamento alle sfide globali.

L'adozione di tecnologie abilitanti come l'Intelligenza Artificiale, il Machine Learning, la robotica collaborativa, l'Internet of Things, la realtà virtuale e aumentata, la stampa 3D e l'analisi dei big data, promette di migliorare la sicurezza sul lavoro, riducendo i rischi tradizionali e ottimizzando l'efficienza dei processi produttivi. Tuttavia, l'Industria 5.0 porta con sé anche nuove sfide, come la necessità di gestire i rischi ergonomici e psicologici legati all'utilizzo delle nuove tecnologie, lo stress da lavoro correlato, il tecnostress, la paura dell'obsolescenza e l'isolamento sociale.

Per affrontare queste sfide è essenziale un approccio olistico che integri la formazione continua e l'aggiornamento dei lavoratori, la promozione di una nuova cultura della sicurezza, lo sviluppo di nuove competenze e la creazione di un ambiente di lavoro sano, inclusivo e stimolante. Solo così l'Industria 5.0 potrà realizzare il suo pieno potenziale trasformativo, gettando le basi per una società più equa, sicura e prospera.

In questo contesto, le novità normative a livello europeo in tema di norme di diritto civile per la robotica e di responsabilità civile per

l'Intelligenza Artificiale forniscono un'analisi completa delle sfide e delle opportunità poste dalla robotica e dall'IA, proponendo un quadro giuridico ed etico per guidare lo sviluppo e l'uso di queste tecnologie in modo responsabile e sostenibile.

Il nuovo Regolamento Macchine 2023/1230 assume un ruolo chiave, affrontando in modo specifico le questioni dell'IA e del Machine Learning e fissando prescrizioni per garantire la sicurezza delle macchine e la trasparenza dei sistemi di IA.

L'Industria 5.0 rappresenta un'opportunità unica per costruire un futuro del lavoro in cui la tecnologia sia al servizio dell'uomo e non viceversa. Per cogliere questa opportunità è necessario un impegno congiunto di istituzioni, imprese e lavoratori, per promuovere un'innovazione responsabile e sostenibile, che metta al centro il benessere e lo sviluppo delle competenze di tutti. Solo così l'Industria 5.0 potrà davvero contribuire a creare una società più giusta, sicura e inclusiva.

6.BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. **Associazione Nazionale costruttori Edili**, *Indagine sul rapporto tra intelligenza artificiale e mondo del lavoro*, 2024
2. **Battilossi, S.**, *Le Rivoluzioni Industriali*. Carocci., 2002
3. **Breque, M., et al.**, *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union, 2021.
4. **Dati Inail** *Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali*, n.12, 2023
5. **De Felice, F., & Petrillo, A.**, *Effetto digitale. Visioni d'impresa e Industria 5.0*. Franco Angeli, 2022.
6. **Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81** *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*.
7. **Dossier n°145 Ambiente e Lavoro**, *Il regolamento 2023/1230: la legislazione europea sulle macchine nell'era digitale*, 2024.
8. **EU-OSHA. 2022a.** “*Advanced robotics and automation: implications for occupational safety and health.*”, <https://osha.europa.eu/en/publications/advanced-robotics-and-automation-implicationsoccupational-safety-and-health>
9. **EU-OSHA. 2022ee.** “*Artificial intelligence for worker management: implications for occupational safety and health.*” <https://osha.europa.eu/en/publications/artificial-intelligence->

worker-managementimplications-occupational-safety-and-health

10. **European Commission**, *Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*, 2021.
11. **Everingham, M., Van Gool, L., Williams, C. K., Winn, J., & Zisserman, A.**, *The pascal visual object classes (voc) challenge. International journal of computer vision*, 88(2), 303-338., 2010.
12. **Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A.** *Deep Learning*. MIT Press., 2016.
13. **INAIL.**, *Industria 5.0 e sfide per la sicurezza sul lavoro: Relazioni INAIL*, 2023.
14. **ISO/TS 15066:2016**, *Robots and robotic devices — Collaborative robots*, 2016.
15. **Martin, A.**, *Industria 5.0: Guida introduttiva alla quinta rivoluzione industriale*. Editoriale Delfino, 2022.
16. **Ng, A.** ,2018. *Machine Learning Yearning*. DeepLearning.AI. <https://info.deeplearning.ai/machine-learning-yearning-book>
17. **Perez, L., & Wang, J.** *The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning* ,2017. <https://arxiv.org/pdf/1712.04621>
18. **Passerini J., Pieroni C., Principi M. e Fiorindi M.**, *L'applicazione dell'intelligenza Artificiale per la riduzione del rischio di investimento in ambiente industriale*, Ambiente e Lavoro n. 84/2024

19. **Ragu-Nathan, T.S. et al**, *Exploring the Impact of Technostress on Productivity*. University of Toledo, 2005.
20. **Regolamento (UE) 2023/1230 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 14 giugno 2023, relativo alle macchine**. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, L 181/1, 2023.
21. **Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J.** *Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks*. *Advances in neural information processing systems*, 28,2015. <https://arxiv.org/pdf/1506.01497>
22. **Rifkin, J.** *La terza rivoluzione industriale: come il "potere laterale" sta trasformando l'energia, l'economia e il mondo*. (P. Canton, Trad.). Arnoldo Mondadori Editore, 2011
23. **Risoluzione del Parlamento europeo del 16 febbraio 2017 recante raccomandazioni alla Commissione concernenti norme di diritto civile sulla robotica (2015/2103(INL))**.
24. **Risoluzione del Parlamento europeo del 20 ottobre 2020 recante raccomandazioni alla Commissione su un regime di responsabilità civile per l'intelligenza artificiale (2020/2014(INL))**.
25. **Russell, S., & Norvig, P.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach* , 4a ed. Pearson, 2020
26. **Schwab, K.** *La Quarta Rivoluzione Industriale*. Franco Angeli, 2019
27. **Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M.** *A survey on image data*

augmentation for deep learning, 2019,
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s40537-019-0197-0.pdf>

28. **Urzi Brancati M.** *Digital technologies at work and psychosocial risks: evidence and implications for occupational safety and health Report* © Agenzia Europea per la Sicurezza e la Salute sul Lavoro (EU-OSHA), 2024
29. **Vasta, M.** *Innovazione tecnologica e capitale umano in Italia (1880-1914). Le traiettorie della seconda rivoluzione industriale.* Il Mulino, 1999
30. **World Economic Forum.** *The Future of Jobs: Report* , 2020.
<https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/>
31. **World Federation of Robotics.** *World Robotics 2023 - Industrial Robots*, 2023,
https://ifr.org/img/worldrobotics/2023_WR_extended_version.pdf