



INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



UNIVERSITÀ
DI TORINO



LUMSA
UNIVERSITÀ

Il presente volume è stato realizzato con il contributo finanziario dell'Inail nell'ambito del Bando Bric 2019 – ID50 “Analisi dei rischi e strumenti di mitigazione per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori nei contesti lavorativi soggetti a trasformazione digitale” – www.tradars.it

TRASFORMAZIONE DIGITALE

TRA OPPORTUNITÀ, RISCHI E MITIGAZIONE

a cura di

**FRANCESCO COSTANTINO, FABIO MACIOCE
DANIELA ROBASTO, SARA STABILE**

Contributi di

**ROSINA BENTIVENGA, MARGHERITA BERNABEI, FRANCESCO COSTANTINO
DAVIDE DELLA RINA, ANDREA FALEGNAMI, LORENZO FEDELE
MARCO ISCERI, ROBERTO LUPPI, FABIO MACIOCE, ELENA MAULE
EMMA PIETRAFESA, DANIELA ROBASTO
EDVIGE SORRENTINO, SARA STABILE**





©

ISBN
979-12-218-0617-5

PRIMA EDIZIONE
ROMA 31 MARZO 2023

INDICE

- 9 *Introduzione*
- 13 **Rischi nuovi ed emergenti per la SSL**
1. Identificazione delle tecnologie impattanti sulla SSL, 14 – 2. Definizione della logica di classificazione dei rischi, 15 – 2.1. *Le fonti di rischio*, 16 – 2.2. *Le classi di rischio*, 16 – 2.3. *Le conseguenze per i lavoratori*, 17 – 2.4. *Additive Manufacturing*, 17 – 2.5. *AGV*, 19 – 2.6. *Realtà aumentata e realtà virtuale*, 21 – 2.7. *Digital twin*, 23 – 2.8. *Esoscheletro*, 24 – 2.9. *Robot e Cobot*, 26 – 2.10. *Dispositivi indossabili*, 30 – 2.11. *Tecnologie wireless*, 32 – 3. Evidenze e notazioni sui nuovi rischi, 32
- 35 **Caso di studio: i robot collaborativi**
1. Focus group preliminare sullo strumento di rilevazione, 36 – 2. Il modello di resilienza, 38 – 3. Lo strumento di rilevazione, 39 – 3.1. Monitorare, 39 – 3.2. Imparare, 41 – 3.3. Rispondere, 43 – 3.4. Anticipare, 43 – 3.5. Calcolo del punteggio per la Resilienza SSL – Robot/Cobot, 45
- 49 **Somministrazione dello strumento di rilevazione**
1. Raccolta dati e analisi collegata, 51 – 2. Il materiale di contatto, 51 – 3. Il campione di rilevazione, 52 – 4. Casi di studio, 53 – 5. I rispondenti, 57 – 6. Risultati della rilevazione, 59 – 6.1. Rispondere, 61 – 6.2. Monitorare, 63 – 6.3. Imparare, 66 –

6.4. Anticipare, 70 – 7. Ulteriori considerazioni emerse dall'analisi dei potenziali sistemici, 73 – 7.1. Rispondere, 73 – 7.2. Monitorare, 74 – 7.3. Imparare, 76 – 7.4. Anticipare, 77 – 8. Conclusioni emerse dall'analisi dei casi di studio, 77

81 **Strumenti legislativi e normativi di mitigazione per la collaborazione uomo–robot. Focus Germania**

1. Quadro legislativo, 81 – 2. La normativa ISO, 84 – 3. L'interazione e la collaborazione uomo–robot, 86 – 4. L'evoluzione della normativa tedesca: una sintesi, 88 – 5. Strumenti di mitigazione: progetti innovativi e buone pratiche, 91 – 5.1. Best Practice – Progetto KoMPI, 93 – 5.2. Best Practice – Progetto SafeMate, 98 – 5.3. Best Practice – Progetto ARIZ, 102 – 5.4. Best Practice – Progetto ROKOKO, 106 – 5.5. Best Practice – Progetto KUKoMo, 107 – 6. Esperienze di contrattazione aziendale, 110 – 6.1. Caso 1: ABB, 110 – 6.2. Caso 2: BSCCB – Brembo SGL Carbon Ceramic Brakes, 111 – 6.3. Caso 3: SDF – Same Deutz–Fahr, 111

113 **Workplace Innovation. Tra sfide cognitive, skill mismatches e processi formativi per un lavoro sicuro e competente**

1. Caratteristiche dei contesti soggetti a Workplace Innovation, 113 – 2. Le competenze che sostengono la WI, 114 – 3. Le dimensioni dell'agire competente e i relativi processi cognitivi sottesi nella WI, 115 – 4. I processi formativi da mettere in campo per supportare la WI, 116 – 5. Sostenere lo sviluppo della WI in salute e sicurezza, 119

121 **Raccomandazioni e indicazioni operative**

1. Indicazioni operative per la gestione organizzativa, 121 – 1.1. Criticità ed elementi di gestione, 121 – 1.2. Raccomandazioni di tipo sistemico, 124 – 2. Indicazioni operative per la formazione: la progettazione formativa, 128 – 2.1. Le strategie didattiche attive e interattive, 128 – 2.2. Utilizzo del feedback, 132

135 **Elementi di indirizzo normativo e legislativo**

1. Premessa, 135 – 1.1. Workplace Innovation – Sfide normative e rischi per la SSL, 135 – 1.2. Focus: la SSL nell'ambito della Human Robot Collaboration, 137 – 2. Principali fattori di rischio e strategie di mitigazione, 138 – 2.1. Problema dell'inadeguatezza e correlato rischio della sostituzione dei lavoratori privi delle competenze necessarie per l'utilizzo degli ICT–ET e per affrontare i cambiamenti del mondo del lavoro, 138 – 2.2. Opacità degli algoritmi, 139

– 2.3. Alterazione del ritmo di lavoro mediante il controllo da remoto, 140
– 2.4. Mutamento dei modelli di business e stress lavoro-correlato, 140 –
2.5. Crescita del numero di lavoratori inquadrati come lavoratori autonomi e
rischio di esclusione dalla normativa vigente in materia di SSL, 141 – 3. Quadro
normativo: una panoramica, 142 – 3.1. Problema dell'inadeguatezza e correlato
rischio della sostituzione dei lavoratori privi delle competenze necessarie per
l'utilizzo degli ICT-ET e per affrontare i cambiamenti del mondo del lavoro,
142 – 3.2. Opacità degli algoritmi, 143 – 3.3. Alterazione del ritmo di lavoro
mediante il controllo da remoto, 144 – 3.4. Rischi di cyber security dovuti
all'aumento dell'interconnessione di cose e persone e alla perdita di controllo
dei lavoratori sui propri dati, 145 – 3.5. Crescita del numero di lavoratori
inquadrati come lavoratori autonomi e rischio di esclusione dalla normativa
vigente in materia di SSL, 146 – 4. Prospettive di modulazione dei rapporti di
lavoro per la mitigazione dei rischi da WI, 147 – 4.1. Autoresponsabilità nella
salvaguardia della SSL, 149 – 4.2. Cogestione nell'ambito dell'introduzione
di sistemi di collaborazione uomo-Robot, 149 – 4.3. Codecisione nell'ambito
dell'organizzazione della formazione in azienda, 150 – 4.4. Implementazione
di corsi di formazione alla HRC specifici, 151 – 4.5. La proposta di un sistema
di mitigazione universale: il welfare aziendale, 152

155 *Conclusioni*

157 *Bibliografia*

INTRODUZIONE

L'innovazione digitale negli ambienti di produzione rappresenta un paradigma non più trascurabile, da perseguire per rimanere competitivi sul mercato. Una trasformazione in grado di aumentare l'efficienza delle aziende, dotandole di nuovi strumenti, mezzi e logiche produttive. Come tutte le trasformazioni, però, richiede che gli interi processi vengano rivalutati, al fine di garantire un cambiamento consapevole e sicuro. Di fatto, le tecnologie 4.0 pongono i lavoratori di fronte a continue sfide e i nuovi rischi per la Salute e Sicurezza dei Lavoratori (SSL) che ne possono derivare rappresentano un elemento da prendere in considerazione. Tra questi, alcuni rischi sono trasversali, derivano, cioè, dall'interazione di più tecnologie. Altri, possono essere ricondotti a soluzioni digitali specifiche. Da un punto di vista tecnologico-organizzativo, è necessario considerare nuove fonti e categorie di rischio, anche di natura non tradizionale.

L'interazione uomo-macchina e la non linearità degli effetti derivanti da tale interazione, rendono necessari approcci di valutazione dei rischi non tradizionali. Tra questi, appaiono promettenti gli aspetti legati alla cosiddetta Safety II, nonché i principi di Resilience Engineering (RE).

Grazie a questi strumenti, e partendo dall'identificazione sistematica dei rischi legati a specifiche soluzioni digitali, i ricercatori hanno definito i presupposti teorici per lo sviluppo di uno strumento di

rilevazione, progettato per misurare lo stato potenziale di resilienza delle organizzazioni coinvolte nella trasformazione digitale. Lo strumento è stato somministrato ad un campione di aziende italiane ed estere, dopo aver selezionato una tecnologia di particolare rilevanza industriale, sulla quale è stato modellato lo strumento stesso: i Robot e i Cobot. Il panorama industriale mostra come le applicazioni di tale tecnologia siano in netta crescita, grazie all'evoluzione tecnologica che ne aumenta le funzionalità e ne riduce i costi. Tali soluzioni possono essere implementate, ad esempio, per studiare da vicino la natura, permettendo di acquisire conoscenze lì dove gli ambienti sono particolarmente ostili. Possono, poi, supportare direttamente persone, anziane o con inabilità fisiche di diverso tipo, oltre che le attività di cura ed educative. Infine, esiste la categoria dei Robot e Cobot produttivi che può supportare nella realizzazione di beni, o nell'erogazione servizi per l'industria e il commercio e che rientra nell'ambito di interesse della presente ricerca. L'implementazione di Robot e Cobot produttivi evita che gli operatori svolgano attività anche solo potenzialmente nocive. Inoltre, poiché le prestazioni dei sistemi robotici sono elevate, le imprese riescono ad ottenere un miglioramento di produttività, con aumento di velocità e riduzione di difetti o errori. L'attuale livello di mercato e diffusione dei Cobot colloca questa tecnologia dell'Industria 4.0 tra le più pervasive. Tale diffusione evidenzia la necessità di ragionare sulle capacità e competenze richieste agli operatori che si trovano ad utilizzarli, così come sui modelli formativi più adatti a garantire le condizioni di salute e sicurezza per le persone. Tendenzialmente, le aziende valutano l'introduzione dei Robot e dei Cobot nei propri processi con una tradizionale valutazione costi-benefici e di ritorno sull'investimento richiesto. Ma il successo dell'introduzione di questa tecnologia dipende soprattutto da come il datore di lavoro la introduce e i lavoratori la utilizzano. A tal proposito, quindi, è stato progettato un questionario, elaborazione del Resilience Analysis Grid (RAG). Tale questionario rappresenta un modello per misurare il potenziale di resilienza organizzativa in relazione alla SSL delle organizzazioni che implementano Robot e Cobot. Per resilienza s'intende l'abilità intrinseca di un sistema di aggiustare il proprio funzionamento in presenza di disturbi o di cambiamenti imprevisti, interni o esterni a esso. A livello storico, il RAG fu ideato da Erik

Hollnagel, il quale si propose di valutare lo stato potenziale di resilienza di un sistema sociotecnico, basato su una definizione operativa di resilienza. In tale ottica, la resilienza fu definita come la composizione di quattro abilità di base dette *cornerstone abilities*: Rispondere (*Respond*), Monitorare (*Monitor*), Anticipare (*Anticipate*) e Imparare (*Learn*).

I risultati dell'indagine evidenziano alcune criticità confermate anche da studi precedenti, mostrando complessivamente come la legislatura attuale tenda ad adattare caratteristiche di specificità delle tecnologie collaborative alla normativa e agli standard presenti, con evidenti limitazioni. Da un punto di vista formativo, poi, le modalità tradizionali non considerano situazioni non ordinarie e cooperative, sottovalutando riflessioni partecipative e critiche sugli obiettivi di innovazione.

Il coinvolgimento del lavoratore rappresenta un fattore che influenza la produttività e il benessere nei luoghi di lavoro.

Tutto ciò ha permesso di formulare indicazioni operative e raccomandazioni per la gestione innovativa e sicura dei Robot e dei Cobot. Da un punto di vista ingegneristico risulta fondamentale ricorrere a rappresentazioni funzionali del sistema, per allineare gli attori a livello informativo ed operativo, evidenziando relazioni non lineari e dando priorità al monitoraggio dei processi a maggior rischio, in relazione ai quali definire indicatori sulla base di frequenze di campionamento. Oltre a ciò, per mitigare i rischi, ruoli e responsabilità aziendali si devono fondere all'autoresponsabilità del lavoratore, e al ruolo delle rappresentanze sindacali, per permettere di integrare nel quadro normativo tematiche di cogestione, codecisione e implementazione di corsi di formazione specifici. Gli aspetti formativi devono essere così rinnovati, ripensandone gli obiettivi e sviluppando strategie didattiche interattive ed esperienziali che valorizzino il feedback e l'autovalutazione.

RISCHI NUOVI ED EMERGENTI PER LA SSL

Le nuove tecnologie 4.0 offrono benefici significativi per le organizzazioni, che possono sfruttare la digitalizzazione per aumentare la propria competitività globale, rendendo i processi più efficienti, performanti, interconnessi e sicuri. Il cambiamento coinvolge l'intero panorama industriale, ivi compreso il settore manifatturiero, dove si trasformano le attività, i ruoli, gli strumenti e gli ambienti di lavoro e, di conseguenza, le competenze richieste ai lavoratori. Tipicamente il lavoratore assume un maggior potere decisionale, divenendo un anello strategico atto a monitorare e garantire il buon funzionamento del processo digitalizzato, concetto noto in letteratura come *“human in the loop”* che, di fatto, determina una costante interazione tra uomo e tecnologia. In vista di ciò, le conseguenze delle tecnologie 4.0 sulla SSL sono sia positive che negative, ed entrambe richiedono un'approfondita analisi. Infatti, se da un lato alcune tecnologie 4.0 risultano progettate per incrementare la SSL, si pensi agli esoscheletri in grado di alleggerire il carico sollevato durante le attività ripetitive, dall'altro emergono nuovi rischi di cui è necessario tener conto per garantire l'affermazione di una trasformazione sicura e attenta ai risvolti della digitalizzazione sui lavoratori.

Per comprendere in che modo le singole tecnologie generino nuovi elementi di rischio per i lavoratori, in primo luogo è necessario identificare le tecnologie altamente o direttamente impattanti sulla SSL. Negli ultimi anni, il panorama scientifico ed industriale guarda a queste

soluzioni anche con occhio critico. Non mancano, infatti, ricerche focalizzate sugli elementi di rischio tecnologico. Identificare tali rischi in modo sistematico, considerando sia gli effetti delle singole soluzioni 4.0, che gli effetti derivanti dall'interazione di più tecnologie, proponendone una classificazione confrontabile ed omogenea, può guidare gli implementatori di tecnologia nel farne un utilizzo sicuro, in fase di progettazione, implementazione e controllo. La ricerca mostra come quasi tutte le tecnologie indagate presentino un numero significativo di rischi nuovi ed emergenti per la SSL, rischi di natura ordinaria e non. Di conseguenza, è necessario che vengano riviste le procedure volte a garantire la sicurezza sui luoghi di lavoro, tra cui le modalità di identificazione dei rischi, la formazione degli operatori, la progettazione dei layout e degli spazi di lavoro, nonché il quadro normativo vigente.

1. Identificazione delle tecnologie impattanti sulla SSL

Il processo di trasformazione in Industria 4.0 è caratterizzato dall'implementazione di un vasto numero di tecnologie, con differenti caratteristiche e livelli di trasversalità, che spesso si rispecchiano in differenti logiche di classificazione delle tecnologie.

La logica adottata nella prima fase della ricerca ha previsto che venissero selezionate tutte e sole le tecnologie aventi un impatto diretto sulla SSL. Alcune tecnologie, infatti, guidano il processo di digitalizzazione in modo trasversale e rappresentano soluzioni alla base di soluzioni più specifiche. Per questa categoria di tecnologie, composta principalmente da soluzioni quali Internet of Thing (IoT), Big Data & Analytics, Cloud e Intelligenza Artificiale, risulta critico attribuire direttamente dei rischi per i lavoratori, dal momento che questi dipendono dalla specifica applicazione, dal contesto e dal connubio con altre tecnologie.

A partire da tali considerazioni, sono state selezionate le tecnologie per le quali fosse possibile identificare dei rischi dipendenti dall'implementazione della singola tecnologia e dove l'impatto sui lavoratori fosse osservabile e diretto. In particolare, sono state definite otto categorie tecnologiche, e un numero variabile di sottocategorie per ogni soluzione: Additive Manufacturing (AM), AGV (Automated/Automatic Guided Vehicle), AR/VR (Realtà Aumentata e Virtuale), Digital Twin,

Esoscheletro, Robot/Cobot, Dispositivi indossabili e Tecnologie wireless. La ricerca, strutturata per identificare nuovi rischi per i lavoratori in corrispondenza di ogni soluzione tecnologica, ha previsto due passaggi logico-concettuali. Dapprima, la ricerca di pericoli, rischi e conseguenze negative; successivamente, la classificazione sistematica ed omogenea di tali elementi. I database indagati sono stati principalmente due, selezionati sulla base della relativa rilevanza tecnica e scientifica (Scopus e Pubmed-Medline). I risultati sono poi stati combinati per produrre un'analisi unificata.

La ricerca è stata progressivamente perfezionata per mezzo del metodo PRISMA. Dapprima, attraverso un'analisi degli abstract di sintesi delle pubblicazioni scientifiche, e successivamente mediante la lettura dell'intero corpo dei documenti. Tale rifinitura ha permesso di eliminare dal campione iniziale di pubblicazioni quelle che non presentassero caratteristiche significative per la ricerca. Si fa riferimento, ad esempio, alle pubblicazioni in cui erano presenti il termine "drones", apparentemente legato all'italiano "droni", ma utilizzato nei documenti come sinonimo di "male bees" ("api maschio"), evidentemente fuori dallo scopo della ricerca. Ad essere eliminati, sono stati anche i documenti incentrati su tematiche terapeutiche, diagnostiche, farmaceutiche o su questioni relative alla sicurezza in ambito prettamente medico. In tal modo, solo i documenti contenenti almeno un'occorrenza relativa a pericoli o rischi per la SSL in ambito manifatturiero, e quindi produttivo, sono stati inclusi nel campione definitivo oggetto di analisi.

2. Definizione della logica di classificazione dei rischi

Per ogni elemento di rischio identificato in letteratura, l'analisi ha previsto che venissero definite tre tipologie di informazioni: la/le fonte/i di rischio, la tipologia di rischio e la/le conseguenza/e per la SSL.

2.1. Le fonti di rischio

Sebbene spesso in letteratura venga presentato il rischio specifico per la SSL, non sempre viene esplicitata la fonte di rischio. Ma per definire strategie per eliminare, mitigare o rispondere ai rischi, è fondamentale

conoscerne la fonte. Quindi, laddove tale elemento non venisse esplicitato nella documentazione analizzata, i ricercatori hanno provveduto ad un'attenta analisi del contesto, al fine di identificare e formalizzare per ogni rischio una o più fonti effettive o potenziali.

2.2. *Le classi di rischio*

I rischi identificati necessitano di essere classificati, per comprenderne la tipologia e per fornire una panoramica omogenea, confrontabile e standardizzata dei risultati.

Complessivamente sono state definite ex ante dieci classi di rischio: meccanico, elettrico, termico, rumore, vibrazione, radiazione, chimico e biologico, ambiente di lavoro e microclima, organizzativo e psicologico. La procedura per il consolidamento di tali classi ha previsto che venissero selezionate a partire dallo Standard ISO12100:2010 (*Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction*), le sole categorie significative per l'analisi, rinominandole ove necessario al fine di renderle più vicine al contesto in analisi e più eloquenti rispetto ai contenuti presentati. Queste, sono state integrate con due ulteriori classi di rischio: il rischio organizzativo e il rischio psicologico. Dall'analisi della letteratura, infatti, emerge che le tecnologie 4.0 implementate in ambito manifatturiero, generino conseguenze non unicamente attribuibili a questioni fisiche o tangibili, ma di fatto impattino anche la sfera psicofisica e psicologica del lavoratore. Tali effetti, richiedono di essere formalizzati e di essere considerati parimenti rispetto alle classi di rischio tradizionali. Dal momento che spesso le conseguenze derivanti da rischi organizzativi e rischi psicologici risultano sovrapponibili ed assimilabili, la logica di classificazione ha previsto che la distinzione tra i due elementi si basasse sulla fonte di rischio. A tal proposito, la fonte di rischio, per i rischi organizzativi risiede in procedure, metodi, criteri e soluzioni organizzative non collegati alle azioni dei lavoratori. Ad esempio, rischi analoghi sono legati alla presenza di attività ripetitive svolte a ritmi di lavoro dettati dalle macchine, alla diminuzione delle attività svolte dall'uomo e alla conseguente diminuzione dell'attrattività del lavoro. Ma anche alla progettazione degli spazi di lavoro, all'utilizzo di tecnologie in condizioni diverse da quelle per

cui sono state progettate, e all'inadeguata formazione dei dipendenti. D'altra parte, per i rischi psicologici la fonte di rischio risiede in percezioni soggettive dei lavoratori riguardo aspetti connessi all'interazione con la tecnologia e riguardo vigenti procedure, metodi, criteri e soluzioni organizzative. Ad esempio, rischi analoghi sono legati alla riduzione del contatto tra colleghi umani e alla percezione di inferiorità e subordinazione dei lavoratori nei confronti delle tecnologie.

Anche la classe di rischio, così come la fonte di rischio, non sempre è un elemento esplicitato in letteratura. In alcuni casi, a partire dalla fonte di rischio presentata, i ricercatori hanno definito le classi di rischio effettive o potenziali associabili e, per completezza, le possibili conseguenze per i lavoratori. In altri casi, procedendo a ritroso, è stata indagata la fonte di rischio responsabile della conseguenza o del danno presentato in letteratura e questo passaggio ha reso possibile la definizione della/e relativa/e classe/i di rischio.

2.3. Le conseguenze per i lavoratori

In analogia rispetto a quanto presentato per la fonte e per la classe di rischio, in letteratura non risultano esplicitate le conseguenze specifiche per la SSL dei rischi emersi. Ancora una volta, i ricercatori hanno dovuto formalizzarle, per abilitare la comprensione chiara e completa della magnitudo di certi fenomeni, nonché per intercettare segnali allarmanti, da monitorare e da analizzare per minimizzarne l'impatto. Alla luce di quanto riportato, di seguito vengono presentati i risultati collezionati in corrispondenza di ogni tecnologia indagata.

2.4. Additive Manufacturing

La tecnologia di Additive Manufacturing (AM) rivoluziona il paradigma di manifattura tradizionale. La produzione, infatti, avviene mediante un assemblaggio *layer by layer* di strati di materiali, e non più secondo logiche sottrattive tradizionali. Il tutto, a partire da un modello 3D virtuale dell'oggetto da produrre (Duda and Raghavan, 2016). I materiali utilizzati in questo contesto sono vari, da quelli plastici, termoplastici e metallici, capaci di raggiungere alte temperature e soggetti a rilevanti

fenomeni di sollecitazione meccanica; a materiali di altro tipo, in grado di replicare proprietà di altri materiali, come i polimeri acrilici. Ad oggi, tale tecnologia rappresenta un mercato in costante crescita. Come presentato in un rapporto della IDTechEx (“3D Printing 2019–2029: Technology and Market Analysis: IDTechEx”), si prevede una forte crescita del mercato globale, visti i numerosi vantaggi che comporta a livello produttivo, ad esempio un costo per parte inferiore, l’avanzamento non presidiato della produzione, l’eliminazione di sfridi e scarti e la realizzazione di geometrie particolarmente complesse. Tuttavia, l’implementazione di soluzioni di Additive Manufacturing richiede la conoscenza e il possesso di tecnologie, processi, macchine e competenze non convenzionali, che di fatto generano nuovi rischi per la SSL. Nello specifico, si riscontrano rischi di tipo meccanico, dal momento che gli operatori potrebbero entrare in contatto con dispositivi dotati di parti mobili, rimanendo intrappolati, con bordi taglienti, angoli o superfici ruvide, riportando danni epidermici superficiali o profondi, o potrebbero entrare in collisione con la caduta e la proiezioni di oggetti (Chan *et al.*, 2018; Ferraro *et al.*, 2020; Petretta *et al.*, 2019; Randolph, 2018). Rischi di tipo elettrico possono, invece, derivare dal malfunzionamento delle apparecchiature, motivo di bruciature e/o ustioni, da fenomeni elettrostatici prodotti da polveri e dall’accumulo di carica nelle plastiche, eventi che possono provocare fenomeni di rilascio incontrollato dell’energia, incendi o esplosioni (Ferraro *et al.*, 2020; Randolph, 2018). In aggiunta, gli operatori potrebbero subire danni causati da cavi rotti divenuti conduttori o da eventi imprevisti legati ad interferenze elettromagnetiche tra le apparecchiature e dal conseguente malfunzionamento dei dispositivi. In letteratura si riscontrano anche rischi di tipo termico, causa di bruciature ed ustioni in condizione di eccessivo surriscaldamento dei dispositivi utilizzati. Tali bruciature possono anche derivare da rischi chimici e biologici, legati, cioè, all’esposizione ad agenti infiammabili e reattivi (Lunetto *et al.*, 2019). L’alimentazione dei macchinari con pompe a vuoto e compressori ad aria può provocare danni all’udito (Petretta *et al.*, 2019), mentre l’esposizione a radiazioni ionizzanti e sorgenti laser, danni superficiali e, a lungo termine, mutazioni genetiche. Gli operatori che sfruttano tale tecnologia, inoltre, risultano esposti ad agenti chimici pericolosi, quali polveri ultrafini,

monomeri, composti organici e gas inerti; tale esposizione può essere motivo di danni o affaticamento oculari, lesioni alla pelle, sensibilizzazione cutanea e dermatiti da contatto, così come danni alle mucose nasali e, in presenza di prolungate esposizioni, al sistema nervoso centrale, riproduttivo e cardiovascolare (Walter *et al.*, 2018). Possono, poi, presentarsi fenomeni di asma, rinite allergica o altre conseguenze di eventi respiratori e polmonari, avvelenamento da metalli, perdita di coordinamento, mal di testa e nausea (Randolph, 2018).

È evidente come i processi legati all'AM generino pericoli significativi per la SSL. La letteratura evidenzia anche che l'assenza di appropriati standard legislativi e tecnologici in merito, ostacolo all'implementazione sicura e regolamentata della tecnologia.

2.5. AGV

Gli Automated/Automatic Guided Vehicle (AGV) sono veicoli implementati in ambito industriale per movimentare e trasportare prodotti all'interno di uno stabilimento. Tipicamente, i computer di bordo degli AGV vengono utilizzati per comunicare con il sistema di controllo sfruttando connessioni wireless, consentendo così al veicolo di muoversi in sicurezza all'interno degli stabilimenti. Pertanto, gli AGV offrono la possibilità di rivoluzionare principi logistici e produttivi. Garantiscono manovre efficienti e flessibili con un impiego di manodopera minimo, un'elevata produttività a costi contenuti e operazioni di movimentazione continue. Inoltre, gli AGV possono essere progettati per interagire con altri sistemi automatizzati, come i sistemi di archiviazione e recupero, garantendo una flessibilità ancora maggiore (D'Souza *et al.*, 2020). L'agilità, la versatilità, la riduzione dei danni derivanti dall'errore umano, dei costi operativi e di manutenzione, così come la possibile operatività 24/7, costituiscono solo alcuni tra i vantaggi che tali tecnologie comportano. Ma, anche in questo contesto, risulta critico implementare sistemi flessibili e automatizzati garantendo al contempo la sicurezza delle persone che operano nella stessa area.

In letteratura, emergono rischi di tipo meccanico derivanti dall'instabilità dei dispositivi, che può causare l'intrappolamento degli operatori o danni dovuti allo sbilanciamento e alla caduta dei dispositivi. Si

potrebbero generare collisioni in presenza di guasti ai sistemi di monitoraggio della velocità della macchina e ai freni di emergenza, o laddove i sistemi di visione laser risultino incapaci di individuare gli ostacoli in ombra. Inoltre, i carichi potrebbero cadere dalle macchine, quando queste frenano, colpendo gli stessi operatori (Jansen *et al.*, 2018; Trenkle *et al.*, 2013). Dal punto di vista elettrico, si possono generare collisioni dovute a malfunzionamenti dei dispositivi, ad esempio a seguito di interferenze elettromagnetiche (Plosz and Varga, 2018; Yamamoto and Yamada, 2013). Un rischio termico riscontrato è legato al surriscaldamento dei dispositivi e a possibili conseguenti bruciature ed ustioni. Il rilascio di agenti corrosivi o acidi dalle batterie introdotte nei veicoli può generare danni da contatto, esponendo i lavoratori a rischi chimici e biologici (Jansen *et al.*, 2018). I rischi legati a questa tecnologia afferiscono anche all'ambito organizzativo. Infatti, è possibile che si verifichino collisioni a fronte dell'inadeguata definizione delle traiettorie dei veicoli, del mal calibrato peso e dimensionamento degli stessi o in presenza di cambiamenti planimetrici non registrati dalle macchine (Bell *et al.*, 2016; D'Souza *et al.*, 2020; Jansen *et al.*, 2018; Plosz and Varga, 2018; Trenkle *et al.*, 2013; Yamamoto and Yamada, 2013). L'avanzamento tecnologico ha portato anche allo sviluppo di veicoli in grado di supportare meccanismi di interazione verbale con l'uomo, e di riconoscimento visivo. Questa caratteristica può tradursi in un rischio per gli operatori a fronte dell'incomprensione dei messaggi trasmessi, che potrebbe generare azioni inaspettate. L'inadeguata formazione dei dipendenti, poi, rappresenta una fonte di rischio organizzativo per i dipendenti stessi, che potrebbero subire danni derivati da comportamenti non conosciuti delle macchine, ma anche dal decremento della soddisfazione lavorativa (Jansen *et al.*, 2018). L'implementazione di interfacce uomo-macchina non *user-friendly* può essere causa di sensazioni di insicurezza e pericolo (Adriaensen, Patriarca, *et al.*, 2019; Hollnagel and Woods, 2005; Jansen *et al.*, 2018), mentre l'incremento delle attività di controllo nei confronti dei dispositivi, ed errori nelle manovre, possono generare stress psicofisico (Jansen *et al.*, 2018). Talvolta, gli operatori potrebbero essere vittime di una limitata osservabilità delle condizioni operative, che porta a danni quali bruciature ed ustioni (Jansen *et al.*, 2018). Infine, la presenza di sistemi di sicurezza