



**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](http://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**





aracne

©

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

informatica inadeguati possono essere origine di ulteriori rischi determinando, ad esempio, fenomeni di *malware*, attacchi *hacker* e comportamenti inattesi dei dispositivi (Plosz and Varga, 2018). Considerando quanto presentato, alcuni ricercatori hanno definito metodi di valutazione del rischio dedicati agli AGV, che sfruttano sensori per la navigazione e per le attività di allocazione (Trenkle *et al.*, 2013). Tuttavia, la letteratura presenta ricerche ancora limitate sul tema, talvolta poco approfondite e dettagliate.

### 2.6. Realtà aumentata e realtà virtuale

L'implementazione di sistemi di Realtà Aumentata (AR) e Realtà Virtuale (VR) è spesso vantaggiosa negli ambienti di lavoro. Infatti, AR e VR permettono di tenere i lavoratori lontani da ambienti pericolosi, di supportarli durante diverse fasi di lavoro, sia fornendo *real-time* istruzioni e procedure, sia evidenziando potenziali pericoli altresì non visibili, come la presenza di amianto, radiazioni, gas e fili elettrici. Abilitano, poi, logiche di *training*, di progettazione e prototipazione virtuale. Tuttavia, l'utilizzo di sistemi AR e VR genera nuovi rischi per la SSL. In letteratura, si riscontrano rischi di tipo chimico e biologico, legati al possibile contatto tra parti superficiali del corpo degli operatori e materie plastiche o metalliche, spesso origine di reazioni cutanee e allergiche. L'inadeguata igienizzazione dei dispositivi, poi, può causare malattie oftalmiche (Sunwook *et al.*, 2016). Dal punto di vista ergonomico gli operatori possono esperire discomfort derivante sia dalle dimensioni e dal peso dei dispositivi (Gallagher and Ferrè, 2018; Marklin *et al.*, 2020; Stoltz *et al.*, 2017; Syberfeldt *et al.*, 2016), che dalla visualizzazione stereoscopica sugli schermi. Quest'ultima può causare anche fenomeni di affaticamento oculare (Stoltz *et al.*, 2017), altresì generati dalla diminuzione del tasso di ammiccamento (Marklin *et al.*, 2020). Si riscontra un generico affaticamento muscolare legato a diversi fattori: al carico di lavoro nella zona inferiore del collo, sulle spalle e sulla parte superiore della schiena, così come in mani e braccia (Friemert *et al.*, 2019; Marklin *et al.*, 2020; Stoltz *et al.*, 2017). Nell'indossare i dispositivi, poi, gli operatori subiscono una limitazione del campo visivo, che origina danni dovuti al decremento della possibilità di

vigilare l'ambiente circostante (Friemert *et al.*, 2019; Marklin *et al.*, 2020; Sunwook *et al.*, 2016; Syberfeldt *et al.*, 2016). Emergono, in aggiunta, rischi organizzativi. In primo luogo, gli ambienti di lavoro caratterizzati da livelli di luminosità variabile, portano a fenomeni di disagio visivo dovuto all'adattamento transitorio della vista, secchezza oculare e danni da abbagliamento (Friemert *et al.*, 2019; Marklin *et al.*, 2020). In secondo luogo, l'utilizzo di tali dispositivi in lunghe sessioni può generare discomfort, affaticamento oculare, nausea, vertigini, disorientamento corporeo, chinetosi, mal di testa, isolamento sociale, incremento del battito cardiaco e della frequenza di respirazione, nonché danni gastrici, danni dovuti a distrazione e conseguenze muscolo-scheletriche a lungo termine non prevedibili (Aromaa *et al.*, 2020; Barrett, 2004; EU-OSHA, 2019; Friemert *et al.*, 2019; Gallagher and Ferrè, 2018; Sahin *et al.*, 2018; Spiegel, 2018; Sunwook *et al.*, 2016). L'elevato carico informativo può portare a danni da sovraccarico cognitivo; la latenza degli schermi, rappresentata dal lento aggiornamento delle immagini a fronte di movimenti della testa, può generare mal di testa, e la sovrapposizione di immagini virtuali e oggetti reali, affaticamento oculare dovuto a fenomeni di differenza focale (Baumeister *et al.*, 2017; Friemert *et al.*, 2019; Gallagher and Ferrè, 2018; Gross *et al.*, 2018; Stoltz *et al.*, 2017; Syberfeldt *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019). Similmente, lo sfasamento tra ciò che l'utente vede e ciò che accade nel mondo reale può minare la coordinazione motoria degli utenti stessi (Gallagher and Ferrè, 2018; Syberfeldt *et al.*, 2016). Talvolta, potrebbero scomparire le informazioni sui dispositivi a fronte dell'interposizione di oggetti o persone nel campo visivo dei dispositivi e, così, in assenza di corrette indicazioni, gli operatori potrebbero commettere errori e subire dei danni (Syberfeldt *et al.*, 2016). Queste tecnologie, come anticipato, permettono di istruire i lavoratori *real-time* e, sebbene questo generi vantaggi, può anche essere causa di un sovraccarico psicofisico dovuto all'intensificazione del lavoro (Moore, 2018). In presenza di tecnologie di AR e VR, poi, si può riscontrare una despecializzazione delle mansioni e assistere alla conseguente dequalifica e al decremento delle competenze, indirettamente origine di significativi rischi. Generalmente, l'inadeguata formazione dei dipendenti può portare i lavoratori ad interfacciarsi con dispositivi di cui non conoscono

appieno le potenzialità e le possibili risposte (Moore, 2018). Stando a quanto emerso in letteratura, gli utenti potrebbero temere meccanismi di violazione della privacy dal momento che i dispositivi sono in grado di catturare immagini e registrare video (Stoltz *et al.*, 2017; Syberfeldt *et al.*, 2016). Significativi risultano essere anche i rischi di tipo psicologico, dal momento che gli operatori potrebbero abituarsi a servirsi di tali tecnologie e sviluppare meccanismi di dipendenza e ansia da separazione. L'elevato carico fisico e mentale, poi, può generare tecnostress e la generica interazione frequente con i dispositivi, fenomeni di isolamento sociale (Baumeister *et al.*, 2017; EU-OSHA, 2019; Gallagher and Ferrè, 2018; Gross *et al.*, 2018; Moore, 2019; Wang *et al.*, 2019).

In conclusione, i dispositivi di AR/VR sollevano diverse questioni relative alla SSL. In questo contesto, l'argomento più approfondito riguarda l'impatto della tecnologia sul sistema muscolo-scheletrico (Barrett, 2004; Friemert *et al.*, 2019; Johnson *et al.*, 2017; Stoltz *et al.*, 2017). È stato infatti dimostrato che alcune attività svolte durante l'utilizzo di tali dispositivi, così come le inadeguate posture che i lavoratori assumono durante le sessioni di AR/VR, possano causare consistenti disturbi muscoloscheletrici, che sul lungo termine si traducono in effetti negativi di vario genere.

### 2.7. *Digital twin*

Ad oggi, la letteratura affronta le tematiche connesse alle soluzioni tecnologiche di Digital Twin evidenziandone principalmente i benefici derivanti, come ad esempio la possibilità di ottenere un significativo incremento dell'efficienza produttiva. I principali problemi associati alle soluzioni IoS (Internet of Simulation) riguardano la scelta dell'obiettivo della simulazione, il *trade-off* tra la qualità desiderata e la velocità di esecuzione della simulazione e la valutazione dei costi. Ad esempio, vengono presentate analisi di fattibilità economica al fine di comprendere la riproducibilità della simulazione dell'ambiente in analisi, elemento che determina un impatto significativo sul realismo dei risultati ottenuti (McKee *et al.*, 2017). Tuttavia, non vengono ancora affrontate direttamente questioni riguardanti la SSL durante l'implementazione di tale tecnologia.

## 2.8. *Esoscheletro*

L'implementazione sicura di esoscheletri sul posto di lavoro solleva diversi interrogativi. A questo proposito, l'Istituto francese di Ricerca e Sicurezza per la Prevenzione degli Infortuni e delle Malattie Professionali (INRS), ha fornito una panoramica relativa ai nuovi fattori di rischio sul luogo di lavoro connessi all'utilizzo di esoscheletri (INRS, 2018). Da un lato, gli esoscheletri possono aiutare a ridurre la tensione muscolare durante le attività lavorative, assistendo fisicamente i lavoratori e prevenendo possibili Work Related Musculoskeletal Disorders (WRMSD), o supportando i lavoratori con disabilità o in età avanzata. Dall'altro, però, gli esoscheletri possono rappresentare un pericolo. In letteratura emergono, infatti, rischi elettrici derivanti dal rilascio di energia da parte dei dispositivi o dallo spegnimento dovuto alla mancanza di corrente; questi fenomeni possono danneggiare gli operatori sia generando comportamenti dei dispositivi inattesi, sia generando un rilascio incontrollato di energia (Howard *et al.*, 2020). La presenza di inadeguati sistemi di sicurezza informatica, poi, può generare danni per gli operatori dovuti a *malware*, attacchi *hacker*, errori tecnici di programmazione e fenomeni di violazione della privacy (Khakurel *et al.*, 2017). Si riscontrano anche rischi termici, dal momento che i dispositivi potrebbero eccessivamente surriscaldarsi e bruciare gli utilizzatori. Alcuni esoscheletri, poi, emettono rumori e vibrazioni che, potenzialmente, possono provocare danni rispettivamente all'udito e alle parti del corpo soggette al movimento oscillatorio. Rischi chimici e biologici sono legati al rilascio di materiali corrosivi dalle batterie implementate nei dispositivi, che può dar vita ad irritazioni della pelle, bruciate e ustioni (Howard *et al.*, 2020). Analoghe reazioni cutanee e allergiche possono derivare anche dal contatto di materie plastiche e metalliche con parti superficiali del corpo, mentre l'inadeguata igienizzazione dei dispositivi può generare infezioni (Howard *et al.*, 2020; Peters *et al.*, 2019; Steinhilber, Luger, *et al.*, 2020). Consistenti risultano essere anche i rischi ergonomici. Infatti, gli operatori che indossano gli esoscheletri possono essere limitati nella mobilità e risultare incapaci di evitare oggetti in caduta, entrandovi in collisione. Possono, altresì, effettuare movimenti oltre il normale raggio delle articolazioni, procurandosi



danni muscolari come, ad esempio, strappi. Il carico aggiuntivo apportato dai dispositivi, così come il dimensionamento e la distribuzione del peso, possono causare danni dovuti alla modifica della cinematica degli arti, minare l'apparato muscolo-scheletrico, provocare affaticamento muscolare, danni superficiali e ferite da pressione, compressione dei nervi, affaticamento respiratorio dovuto al decremento dell'escursione toracica e all'incremento della pressione sul petto (Howard *et al.*, 2020; Iranzo *et al.*, 2020; McGowan, 2018; Peters *et al.*, 2019; Rashedi *et al.*, 2014; Steinhilber, Luger, *et al.*, 2020; Steinhilber, Seibt, *et al.*, 2020; Sunwook *et al.*, 2018). Oltre a questo, possono causare un generale discomfort e un sovraccarico della spina dorsale, o generici danni legati a sforzi posturali, o alla ridotta reattività, ad esempio, in caso di incendi. Sbilanciamenti, scivolamenti, inciampi e cadute possono portare a collisioni con altri operatori o Robot e generare un'errata redistribuzione del peso in altre aree del corpo. L'incremento del carico direzionale, poi, può causare danni generici legati ad eventi dinamici (Howard *et al.*, 2020; Steinhilber, Seibt, *et al.*, 2020; Sunwook *et al.*, 2018; Theurel *et al.*, 2018). Ulteriori rischi derivano dall'ambiente di lavoro e dal microclima. Infatti, l'aumento delle temperature ambientali può portare alla proliferazione dei batteri nei dispositivi e a conseguenti infezioni (Howard *et al.*, 2020), mentre gli spazi di lavoro limitati nei quali i lavoratori che indossano gli esoscheletri operano, danni dovuti a collisioni derivanti dall'aumento volumetrico stesso degli operatori (Steinhilber, Luger, *et al.*, 2020). Dal punto di vista organizzativo, il fatto che i dispositivi possano monitorare dati personali, quali ad esempio la localizzazione, fa sorgere timori negli operatori e una diffusa percezione di violazione della privacy (Khakurel *et al.*, 2017). Il generale aumento delle potenzialità fisiche a fronte dell'utilizzo di esoscheletri può generare meccanismi di sovraccarico cognitivo. L'inadeguata formazione dei dipendenti fa sorgere incertezze e paure, sia professionali che personali. Si riscontrano, talvolta, sistemi di sicurezza informatica inadeguati che possono originare danni dovuti a malware, attacchi *hacker*, o errori tecnici di programmazione (Howard *et al.*, 2020; Khakurel *et al.*, 2017; Steinhilber, Luger, *et al.*, 2020). Nell'implementazione di questa tecnologia, emergono anche rischi psicologici. Infatti, gli operatori fanno spesso molto affidamento nei dispositivi, e questo può provocare

danni su due fronti: una ridotta vigilanza nei confronti delle misure di sicurezza e una perdita di densità muscolare (Howard *et al.*, 2020). Rimanendo in ambito psicologico, poi, l'utilizzo costante dei dispositivi può generare negli operatori il timore legato alla stigmatizzazione sul luogo di lavoro, che si verifica, ad esempio, quando i lavoratori temono di sembrare dipendenti dalla tecnologia (Peters *et al.*, 2019).

In conclusione, i rischi legati agli esoscheletri sembrano avere un impatto significativo, soprattutto sul lungo periodo. Per questo motivo, le conseguenze sulla SSL spesso vengono solamente stimate, senza essere adeguatamente specificate. In effetti, prove scientifiche ed esperienze pratiche in questo campo sono ancora limitate. Pertanto, si prevede che, grazie a studi futuri, possano emergere nuovi rischi legati all'utilizzo di esoscheletri e che, conseguenze attualmente stimate, possano trovare riprova scientifica.

## 2.9. Robot e Cobot

L'implementazione di Robot e Cobot negli ambienti di lavoro manifatturiero può aiutare a ridurre quanto più la presenza umana in ambienti di lavoro pericolosi, come spazi ristretti o in alta quota. In aggiunta, queste tecnologie consentono di eseguire compiti di routine o ripetitivi mediante macchine veloci, precise e instancabili, anche facilitando l'accessibilità al lavoro alle persone con disabilità fisiche o strutturali. Sebbene l'obiettivo dell'automazione sia quello di supportare i lavoratori in diverse circostanze, tali soluzioni possono generare numerosi rischi, specialmente nelle attività che implicino una costante collaborazione uomo-macchina o nelle attività in cui uomo e macchina lavorano in prossimità.

Dall'analisi della letteratura emergono, in primo luogo, rischi meccanici, derivanti dal movimento di parti mobili quali i bracci dei Robot/Cobot, utensili di fine corsa e altri terminali, dal movimento rotazionale di qualsiasi asse del Robot/Cobot; dall'impossibilità, per gli operatori, di uscire dalle celle dei Robot e da attività collaborative dove i lavoratori indossano abiti larghi o hanno i capelli lunghi. Tutte le fonti di rischio presentate, potrebbero portare a fenomeni di schiacciamento, cesoiamento, taglio o recisione, impigliamento, trascinarsi o

intrappolamento, impatto o perforazione, attrito e abrasione (Gualtieri *et al.*, 2020; Murashov *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2020). Rimanendo in ambito meccanico, gli operatori potrebbero subire danni dovuti alla caduta o all'espulsione di materiali, prodotti e utensili a causa dell'inadeguata presa da parte dei bracci dei Robot/Cobot. Potrebbero, entrando in contatto con spigoli o punti taglienti dei dispositivi, subire danni epidermici più o meno superficiali (Gualtieri *et al.*, 2020), così come entrare in collisione con i Robot/Cobot a causa dell'insufficiente reattività di questi ultimi nelle attività collaborative (Hoang Dinh *et al.*, 2019). Ulteriori tematiche emerse, tra i rischi meccanici, fanno riferimento a criticità in termini di leggibilità e prevedibilità da parte dell'uomo delle traiettorie del Robot/Cobot e viceversa, problematica che potrebbe generare collisioni tra i soggetti interagenti (Gualtieri *et al.*, 2020; Lasota and Shah, 2015). Critiche risultano anche le attività di manutenzione dei Robot/Cobot in altezza, laddove questi presentino consistenti dimensioni, che generano potenziali danni legati alle cadute (Murashov *et al.*, 2016; Steijn *et al.*, 2016). Un ulteriore motivo del verificarsi di collisioni risiede nell'ostruzione e/o nella limitazione dei sistemi di visione delle macchine (Bragança *et al.*, 2019). Rischi elettrici, invece, possono emergere in presenza di interferenze elettromagnetiche tra le apparecchiature e dai conseguenti malfunzionamenti delle stesse (Steijn *et al.*, 2016), da eventi di interruzione di corrente, che potrebbero causare la caduta di utensili o estrattori, dal rilascio inaspettato di energia potenziale da fonti immagazzinate, motivo di bruciature e ustioni per gli operatori (Gualtieri *et al.*, 2020; Murashov *et al.*, 2016). Danni che, in aggiunta, potrebbero derivare anche dal contatto con parti o connessioni sotto tensione e dall'esposizione all'arco elettrico (Murashov *et al.*, 2016). I rischi termici risultano unicamente connessi al surriscaldamento dei dispositivi, anch'esso origine di bruciature ed ustioni (Murashov *et al.*, 2016). Emergono anche rischi legati ad eventi di esposizione: alle vibrazioni e al rumore dei dispositivi, a radiazioni ionizzanti, a sorgenti laser ed agenti corrosivi o ad acidi provenienti dalle batterie, possibili cause di danni superficiali alla pelle, agli occhi e alle vie aeree (Bragança *et al.*, 2019; EU-OSHA, 2019; Gualtieri *et al.*, 2020; Moore, 2019; Murashov *et al.*, 2016; Steijn *et al.*, 2016). Dal punto di vista ergonomico, la presenza di interfacce non *user-friendly*

può causare discomfort e stress mentale (Gualtieri *et al.*, 2020), mentre le posizioni adottate durante le lavorazioni collaborative, danni posturali (Pérez *et al.*, 2020). Rischi organizzativi sono legati alla presenza di attività ripetitive svolte a ritmi di lavoro dettati dai Robot/Cobot, causa di affaticamento, stress muscolo-scheletrico, pressione psicologica e sovraccarico fisico per i lavoratori, origine anche di ulteriori danni riconducibili al decremento della vigilanza (Gualtieri *et al.*, 2020; Moore, 2019; Steijn *et al.*, 2016). Il monitoraggio di più Robot/Cobot contemporaneamente porta ad un sovraccarico cognitivo dei lavoratori (Jansen *et al.*, 2018; Steijn *et al.*, 2016). Al contrario, si può generare un sotto carico cognitivo, e quindi danni dovuti al decremento della concentrazione, dal momento che si verifica una diminuzione delle attività svolte dall'uomo e una conseguente diminuzione dell'attrattività del lavoro (Jansen *et al.*, 2018; Meissner *et al.*, 2020; Steijn *et al.*, 2016). Gli operatori riscontrano, poi, un elevato stress mentale nell'eseguire le lavorazioni in prossimità delle macchine, prossimità che può anche generare collisioni (Bragança *et al.*, 2019; EU-OSHA, 2019; Lasota and Shah, 2015; Moore, 2019). La velocità e la scorrevolezza di movimento dei Robot, se inadeguate, provocano discomfort, stress cognitivo e collisioni (Lasota and Shah, 2015; Rojas *et al.*, 2020). Condividendo gli spazi di lavoro, operatori e Robot possono entrare in collisione diretta o generare collisioni indirette laddove si verificano, ad esempio, cadute di oggetti (Jansen *et al.*, 2018). Talvolta, i Robot vengono utilizzati in luoghi diversi da quelli per cui sono stati originariamente progettati e questa tendenza risulta pericolosa perché responsabile di danni legati a comportamenti imprevisti delle macchine, o a collisioni legate all'inadeguatezza degli spazi di lavoro in cui si implementano i dispositivi (Steijn *et al.*, 2016). Tendenze di *outsourcing* in fase di costruzione, configurazione, installazione e programmazione delle macchine, decrementano notevolmente la conoscenza delle stesse che, operativamente, intensifica la possibilità che si verificano collisioni e l'incapacità di reagire a situazioni di emergenza (Jansen *et al.*, 2018; Steijn *et al.*, 2016). Se non adeguatamente formati, i dipendenti possono temere licenziamenti e sopraffazione a fronte dell'implementazione di Robot/Cobot, essere messi a rischio a fronte di comportamenti imprevisti delle macchine e sviluppare una forte dipendenza da terzi, come ad esempio gli

addetti alla riparazione (Bragança *et al.*, 2019; Jansen *et al.*, 2018; Meissner *et al.*, 2020; Murashov *et al.*, 2016). Inoltre, le modifiche dei parametri di configurazione dei dispositivi dovrebbero sempre passare per una fase autorizzativa, al fine di evitare che le macchine rispondano in modo imprevisto o che gli operatori commettano errori nella fase di modifica stessa o nel seguente utilizzo (Gualtieri *et al.*, 2020). Tali conseguenze possono, altresì, essere causate dall'incomprensione delle istruzioni di lavoro, se non adeguatamente trasferite (Pérez *et al.*, 2020). Talvolta, i Cobot o i Robot potrebbero effettuare movimenti non prevedibili da parte degli operatori, causando paura e shock (Meissner *et al.*, 2020; Murashov *et al.*, 2016). Tendenze tecnologiche attuali hanno introdotto macchine in grado di apprendere in modo automatico ed autonomo che, in termini di rischi, possono generare comportamenti imprevedibili e conseguenti danni (Moore, 2018). La presenza di inadeguati sistemi di sicurezza informatica all'interno delle macchine, da una parte le espone maggiormente a *malware* e attacchi *hacker*, dall'altra aumenta il rischio di collisioni dirette e indirette inaspettate e di comportamenti inattesi delle macchine. Per collisioni indirette pericolose si fa riferimento alla caduta di contenitori dei prodotti chimici e di attrezzature contundenti o radioattive (Jansen *et al.*, 2018; Moore, 2018, 2019; Murashov *et al.*, 2016; Steijn *et al.*, 2016). L'assenza di recinzioni, all'interno delle quali lasciare operare i Robot, può essere motivo di stress mentale per i lavoratori, paura e insicurezza (Bragança *et al.*, 2019; Pérez *et al.*, 2020). Significativi risultano essere anche i rischi di tipo psicologico, dal momento che l'interazione con i dispositivi e la riduzione del contatto tra colleghi umani può causare isolamento sociale. I lavoratori, poi, possono percepire una condizione di inferiorità e subordinazione nei confronti delle macchine, in grado di operare più velocemente di loro (EU-OSHA, 2019; Jansen *et al.*, 2018; Meissner *et al.*, 2020; Moore, 2018; Steijn *et al.*, 2016). L'aumento dello stress psicofisico dei lavoratori può derivare dal fatto che reputino le condizioni di sicurezza non adeguate (Lasota and Shah, 2015). Talvolta, poi, i lavoratori fanno eccessivo affidamento nelle capacità dei Robot/Cobot di riconoscere ed individuare l'uomo e di ragionare, il che aumenta il verificarsi di collisioni (Jansen *et al.*, 2018; Murashov *et al.*, 2016). Infine, l'intrinseca mutevolezza e imprevedibilità dei Robot/Cobot, fa sorgere

negli operatori sempre più stress mentale, paura e insicurezza (Bragança *et al.*, 2019; Pérez *et al.*, 2020).

Come presentato in precedenza, esistono già standard per l'implementazione di queste soluzioni, ad esempio lo Standard ISO TS 15066. Tuttavia, è possibile notare una mancanza di indicazioni operative o regolamenti che affrontino in modo completo tutte le problematiche connesse ai pericoli derivanti dall'implementazione di Robot e Cobot nei diversi contesti industriali.

### 2.10. *Dispositivi indossabili*

I dispositivi indossabili intelligenti vengono spesso utilizzati negli ambienti di produzione per monitorare le condizioni di lavoro e segnalare situazioni rischiose, quando necessario. Infatti, gli *smart wearable* possono inviare segnali di allarme a un lavoratore o alle persone preposte al monitoraggio delle condizioni di lavoro di una specifica area di produzione (Gnoni *et al.*, 2020). Secondo la letteratura esistente, è possibile implementare diverse soluzioni a riguardo. Le soluzioni più utilizzate sono il monitoraggio GPS della posizione dei lavoratori e il monitoraggio dei parametri biologici e fisici, ad esempio il monitoraggio della frequenza cardiaca mediante braccialetti intelligenti (Löow *et al.*, 2019). Altre soluzioni includono l'utilizzo di caschi e cinture intelligenti. Semplicemente implementando un sistema elettronico in un normale casco è possibile rilevare diversi parametri sul posto di lavoro, come il livello di luminosità, la temperatura e l'umidità. Inoltre, sulla superficie del casco è anche possibile inserire luci a led che si accendono ogni volta che un lavoratore opera in una zona particolarmente buia, oltre ad un amplificatore sonoro che permette di percepire segnali di allarme non acustici. Le cinture intelligenti, poi, sfruttano tecnologie RFID per controllare l'accesso dei lavoratori negli edifici e per segnalare pericoli, come cadute e contatti non dovuti con le macchine. Garantiscono, quindi, una connessione costante tra i lavoratori, maggiore accessibilità, tracciamento della posizione e il costante monitoraggio di parametri relativi alla SSL, così come il puntuale rilevamento delle condizioni operative. Tuttavia, non sono esenti da rischi. Rischi di tipo elettrico, collegati all'utilizzo di queste tecnologie, derivano dalle

interferenze elettromagnetiche tra i dispositivi, che potrebbero danneggiare gli operatori e anche causare la disattivazione di dispositivi medici sottocutanei (Asher *et al.*, 2021). L'esposizione a radiazioni elettromagnetiche, ionizzanti e non ionizzanti può causare danni superficiali e mutazioni genetiche (Vahidnia and Dian, 2020), mentre il contatto tra parti superficiali del corpo e materie plastiche o metalliche, reazioni cutanee e allergiche (Tarar *et al.*, 2020). Le inadeguate dimensioni, peso e posizionamento dei dispositivi possono generare un rischio ergonomico che si traduce in discomfort per gli operatori, danni a lungo termine, ad esempio al bicipite brachiale dominante, un generico affaticamento muscolare, perlopiù riscontrato nella zona delle spalle e danni dovuti alla destabilizzazione muscolare, ad esempio a livello della spina toracica media e della scapola (Johnson *et al.*, 2017). A livello organizzativo, si riscontra un frequente utilizzo dei dispositivi e per lunghi periodi di tempo, che di per sé genera un maggiore affaticamento muscolare dei dipendenti, danni posturali, destabilizzazione muscolare, e tecnostress. Il fatto che le condizioni di sicurezza vengano monitorate dai dispositivi può essere motivo di maggiore esposizione a rischi per gli operatori, decrementando il livello generale di vigilanza e, talvolta, anche i controlli medici (Choi *et al.*, 2017). Tale monitoraggio, d'altra parte, fa sorgere nei lavoratori il timore e la percezione di una maggiore possibilità di violazione della privacy, dal momento che i dispositivi registrano dati personali, quali ad esempio la localizzazione. Tale violazione, insieme a possibili *malware* e attacchi *hacker*, può derivare anche dalla presenza di inadeguati sistemi informatici (Khakurel *et al.*, 2017). Se non adeguatamente formati, i dipendenti potrebbero non conoscere appieno il funzionamento dei dispositivi e risultare, così, più esposti a rischi (Moore, 2019). Infine, molti lavoratori sviluppano dipendenza ed ansia da separazione nei confronti di queste tecnologie, essendo abituati a farne un largo uso.

### 2.11. Tecnologie wireless

Le tecnologie wireless vengono sfruttate principalmente per abilitare una comunicazione *real-time*, ridurre significativamente i tempi di latenza e trasmettere dati a distanze elevate e con consumi energetici

limitati. Oltre ai vantaggi presentati però, la presenza di tali tecnologie negli ambienti di lavoro, genera nuovi rischi per i lavoratori, che risultano esposti a fonti e classi di rischio diversificate.

Un rischio elettrico, derivante da possibili interferenze tra i dispositivi e conseguenti danni derivanti dal malfunzionamento degli stessi (Gummesson *et al.*, 2013); un rischio termico, dal momento che la presenza di campi elettromagnetici può indurre molto calore e portare al surriscaldamento dei tessuti, a bruciature e a ustioni (Zradzinski *et al.*, 2019). La presenza di radiazioni elettromagnetiche può anche generare danni superficiali, cellulari, cerebrali e mutazioni genetiche, danni a lungo termine non prevedibili, stress ossidativo e diminuzione degli antiossidanti. Oltre a ciò, fenomeni cancerogeni, cambiamenti neuropsichiatrici ed endocrini, alterazione nello sviluppo dei denti, sviluppo post-natale anormale, danni cardiaci e cardiovascolari, stimolazione delle cellule staminali adipose ed, infine, infertilità. Dal punto di vista chimico e biologico l'esposizione ad agenti pericolosi può causare danni a lungo termine da accumulo (Bianco *et al.*, 2019; Zradzinski *et al.*, 2019). A livello organizzativo, essendo le condizioni di SSL monitorate dai dispositivi, gli operatori potrebbero risultare più esposti a rischi a causa di un generale decremento della vigilanza (Khakurel *et al.*, 2017). Se i sistemi di sicurezza informatica implementati nei dispositivi non risultano adeguati, aumenta per gli operatori il rischio di subire danni a seguito di attacchi *hacker* (Gummesson *et al.*, 2013). Infine, si riscontrano rischi di natura psicologica: gli operatori, costantemente sorvegliati dalle tecnologie, sentono una forte pressione psicologica (Choi *et al.*, 2017; Fezzi, 2013; Gnoni *et al.*, 2020).

### **3. Evidenze e notazioni sui nuovi rischi**

Come descritto, l'innovazione digitale negli ambienti di produzione pone numerosi rischi per la SSL, introducendo nuove fonti e categorie di rischio e, di conseguenza, nuovi potenziali danni per gli operatori. Risulta quindi fondamentale indagare l'entità di pericoli e rischi derivanti dalle specifiche soluzioni tecnologiche, analizzando anche gli aspetti e fenomeni derivanti dall'utilizzo combinato di due o più tecnologie. Infatti, la combinazione di diverse soluzioni può amplificare gli effetti nocivi o



generare nuovi pericoli in modo non lineare rispetto ai pericoli generati dalle singole tecnologie. Al fine di garantire una trasformazione 4.0 sicura, gli aspetti sopra menzionati dovrebbero essere considerati fin dalle fasi iniziali di progettazione e implementazione della tecnologia, mirando a definire o ridefinire ruoli, spazi, compiti e responsabilità in modo sicuro, condiviso e consapevole. Pertanto, i lavoratori coinvolti nella trasformazione dei luoghi e degli strumenti di lavoro dovrebbero essere adeguatamente informati e formati, in modo da poter affrontare in modo favorevole e consapevole il cambiamento, cogliendone le opportunità derivanti, per migliorare le proprie competenze e le proprie condizioni. L'analisi delle otto categorie tecnologiche illustra i pericoli e i rischi esistenti per le tecnologie indagate. In generale, nonostante l'identificazione di un elevato numero di rischi specifici e trasversali, l'analisi sul tema risulta ancora poco approfondita. La limitata implementazione delle soluzioni tecnologiche, alcune più di altre, non permette di anticiparne appieno ed adeguatamente gli effetti, ad oggi indagati perlopiù sul breve periodo. Se si considera poi l'entità delle tempistiche legate all'approvazione di standard e regolamentazioni, e se si confronta questa con il rapido sviluppo tecnologico, si può comprendere una delle ragioni alla base della completa assenza di standardizzazione per alcune categorie tecnologiche. Tale assenza, inficia ancor più la SSL. Alcune tecnologie, poi, non sono state ancora analizzate in questi termini; tra le tecnologie selezionate per l'analisi, il digital twin appartiene a questa categoria. Nonostante l'assenza di rischi specifici, è risaputo in letteratura che tali tecnologie impattino sulla SSL (Bevilacqua *et al.*, 2020).

Alla luce di quanto riportato, gli sviluppi tecnologici dovrebbero mirare ad integrare sistemi di sicurezza e sistemi per l'individuazione delle condizioni del luogo di lavoro e dei lavoratori, al fine di monitorare e salvaguardare costantemente gli operatori. Inoltre, va sottolineato come i pericoli e quindi i rischi emergenti non siano solo meccanici, fisici o fisiologici, ma coinvolgono anche aspetti organizzativi e psicologici. A tal proposito, legislatori, ricercatori, psicologi e produttori di tecnologie dovrebbero collaborare in modo mirato al fine di colmare il divario relativo alla SSL in ambienti digitalizzati.

In aggiunta, molti pericoli e rischi evidenziati risultano connessi all'interazione uomo-macchina, che incrementa la complessità del

sistema sociotecnico, caratterizzato dalla coesistenza di elementi sociali e tecnologici che si influenzano l'un l'altro direttamente o indirettamente. Di conseguenza, i processi di esecuzione risultano influenzati sia dall'implementazione della tecnologia in sé che dalle azioni dell'utilizzatore. Dunque, i metodi tradizionali di identificazione e valutazione dei rischi connessi alla SSL non sempre risultano idonei a valutare il sistema nel suo complesso, considerandone tutte le proprietà. Nuovi paradigmi e metodi di safety assessment dovrebbero considerare la crescente complessità degli ambienti di lavoro (Adriaensen, Decré, *et al.*, 2019), ad esempio sfruttando logiche alla base del Resilience Engineering (RE), una disciplina volta a gestire la Safety II in un sistema sociotecnico, ingegnerizzando la sua controparte, vale a dire la resilienza (Patriarca *et al.*, 2021).

## CASO DI STUDIO: I ROBOT COLLABORATIVI

Tra le soluzioni tecnologiche analizzate, la ricerca successiva si è focalizzata sui Robot e sui Cobot. Nonostante ad oggi la percentuale di tali soluzioni sul totale delle applicazioni Robotiche sia ancora agli inizi, con una quota del 3,28% nel 2018 (IFR, 2018), si prevede una forte tendenza crescente, grazie al fatto che Robot e Cobot riducono le barriere dell'automazione per le Piccole e Medie Imprese (PMI), introducendo soluzioni dimensionalmente compatte, efficienti, a prezzi accessibili (Kim, 2020). Nell'ultimo decennio, il paradigma dell'interazione fisica uomo-macchina si è spostato dalla netta separazione alla vicinanza fisica o addirittura al contatto intenzionale come elemento essenziale per il successo delle prestazioni (Vicentini, 2021). La sfida consiste nel garantire la sicurezza dei lavoratori, attraverso l'implementazione di soluzioni complesse e versatili (Adriaensen *et al.*, 2022). Tutto questo, progettando ambienti intelligenti incentrati sull'uomo, che diano la priorità alla SSL mantenendo l'efficienza produttiva (Coronado *et al.*, 2022). Sebbene alcuni studiosi stimino che la gravità degli incidenti con i Cobot, rispetto ai Robot tradizionali, si ridurrà grazie alla loro struttura leggera, si prevede che la loro frequenza aumenterà (Kim, 2020). Allo stesso tempo, va notato che tali tecnologie siano in grado di introdurre trend positivi in termini di SSL, non misurabili esclusivamente attraverso il numero di incidenti e infortuni. Possono, infatti, fornire una riduzione significativa delle malattie professionali,

riducendo l'onere di lavorare con carichi pesanti o di eseguire compiti difficili o pericolosi per i lavoratori in ambienti ad alto rischio (Kim, 2020; Pauliková *et al.*, 2021). Garantire la SSL negli ambienti di lavoro in relazione ad applicazioni tecnologiche simili richiede di abbracciare nuovi paradigmi di sicurezza con strumenti adeguati. L'aumento della complessità e la natura mutevole dei sistemi di lavoro sono alla base del paradigma di Industria 4.0 in cui i Robot e i Robot collaborativi sono una nuova importante tecnologia, parte integrante dei sistemi cyber-socio-tecnici (Borys *et al.*, 2009; Cohen *et al.*, 2021; Costantino *et al.*, 2021; Guiochet *et al.*, 2017; Hollnagel, 2008; Patriarca *et al.*, 2021; de Roure *et al.*, 2019). Il successo della gestione di tali sistemi dipende dagli sforzi collettivi di un'organizzazione nell'interpretare i segnali deboli per affrontare condizioni operative mutevoli e impegnative. Poiché i segnali dei pericoli sconosciuti, e dei conflitti dinamici tra obiettivi possono essere difficili da riconoscere o misurare, è opportuno rivolgersi alla nozione di resilienza e di ingegneria della resilienza per ampliare la portata della gestione socio-tecnica (Hollnagel *et al.*, 2011). A tal proposito, per misurare lo stato potenziale di resilienza delle organizzazioni che implementano Robot e Cobot, il gruppo di ricerca ha realizzato uno strumento di rilevazione che risulta essere un'elaborazione del Resilience Analysis Grid (RAG), sviluppato originariamente da Erik Hollnagel per la misurazione del potenziale di Resilienza Organizzativa. In questa sede, è stato adattato allo scopo di valutare il potenziale di resilienza in relazione alla SSL.

### **1. Focus group preliminare sullo strumento di rilevazione**

Per realizzare uno strumento di rilevazione efficace ed efficiente, in via preliminare è stato predisposto un *focus group* tra le parti del progetto. L'incontro si è tenuto in via telematica, modalità forzata a causa dell'emergenza sanitaria, e ha avuto l'intento di recepire le istanze dei diversi partecipanti circa la definizione del campo di valutazione, delle unità di rilevazione oltre che della profondità delle indagini.

Il primo risultato è stato la delimitazione dei confini dell'indagine. È stato ritenuto opportuno limitare lo studio in prima istanza alle realtà industriali, escludendo dall'indagine le società di servizi

e quelle operanti, per così dire, “a distanza”. Le contingenze attuali hanno costretto molte società a digitalizzare gran parte dei processi e rilocare le postazioni dei lavoratori di ufficio al proprio domicilio. Se da un lato questo è un fenomeno certamente attuale e interessante, dall’altro si incorre nel rischio di considerare fenomeni temporanei nella valutazione della capacità di risposta delle aziende. A questo si aggiunge la difficoltà oggettiva nella valutazione del telelavoro. La restrizione esclusiva sulle imprese operanti nel settore industriale e manifatturiero della produzione di beni ha poi naturalmente indirizzato il gruppo verso l’individuazione di una tecnologia tra quelle digitali che possedesse i necessari requisiti di diffusione e maturità. A una maggiore diffusione, infatti, si associa un campione statisticamente più significativo, e a una relativa maturità, la maggior presenza potenziale di incidenti o quasi incidenti, tutti dati correlabili con gli scopi dell’indagine.

Dopo aver individuato il target, in parte perché già in atto uno studio comparativo del diritto collegato, in parte sulla base della preesistente rete di contatti dei partecipanti al progetto, si è deciso di estendere lo studio ad aziende presenti al di fuori dei confini nazionali.

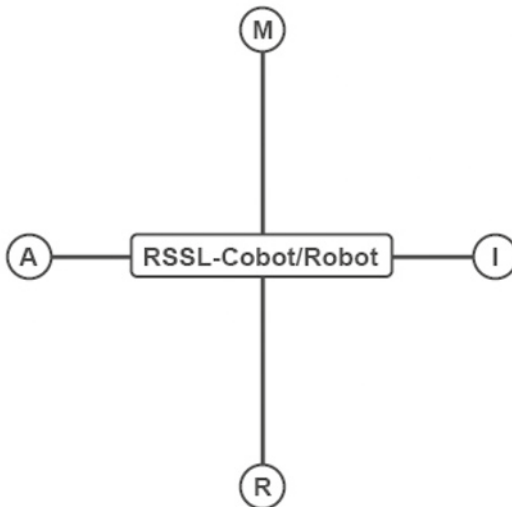
Da ultimo, contributo particolarmente apprezzato, la compagine del progetto con competenze di psicologia della formazione e dell’apprendimento ha sottolineato l’importanza di definire meglio, soprattutto in termini operativi, i concetti relativi all’abilità *cornerstone* Imparare. Il RAG di Hollnagel si correda di un questionario di base da utilizzarsi come modello, non esaustivo di tutte le casistiche, per la formulazione di partenza. Possedere una visione più approfondita del fenomeno dell’apprendimento organizzativo migliora lo strumento valutativo.

La definizione dello *scope* e degli obiettivi del modello di rilevazione, si è concretizzata in uno strumento progettato per valutare lo stato potenziale di resilienza di una realtà industriale/manifatturiera, in modo da potere essere messo in relazione alla SSL, specificatamente alla tecnologia dei Robot/Cobot. Questo, tenendo conto delle fasi del processo di apprendimento organizzativo, su un campione rappresentativo sia di aziende presenti sul territorio nazionale che di aziende appartenenti ad altri paesi europei. È stato poi progettato in modo da avere un numero limitato di domande, in versioni corrispondenti ad almeno

due lingue. Connessa alla soddisfazione dell'ultimo requisito, durante il focus group, i partecipanti hanno individuato la necessità di produrre materiale introduttivo con cui informare preliminarmente le aziende da intervistare.

## 2. Il modello di resilienza

Come già detto in precedenza, Hollnagel fornisce assieme al RAG un questionario, che rappresenta l'operativizzazione del modello sottostante, da utilizzarsi come *template* per sviluppare il proprio strumento di rilevazione. Il gruppo di ricerca ha ritenuto il *template* di Hollnagel inutilizzabile per gli scopi del progetto, ma ha valutato sostanzialmente corretto il modello sottostante basato sulle quattro *cornerstone abilities* (i.e., rispondere (R), monitorare (M), imparare (I) e anticipare (A)) e replicabile per la stima della resilienza organizzativa in merito alla SSL rispetto ai Cobot/Robot (Resilienza e SSL relativa a Cobot/Robot, vedi Figura 1).



**Figura 1.** Modello di Resilienza organizzativa in merito alla SSL rispetto ai Cobot/Robot.

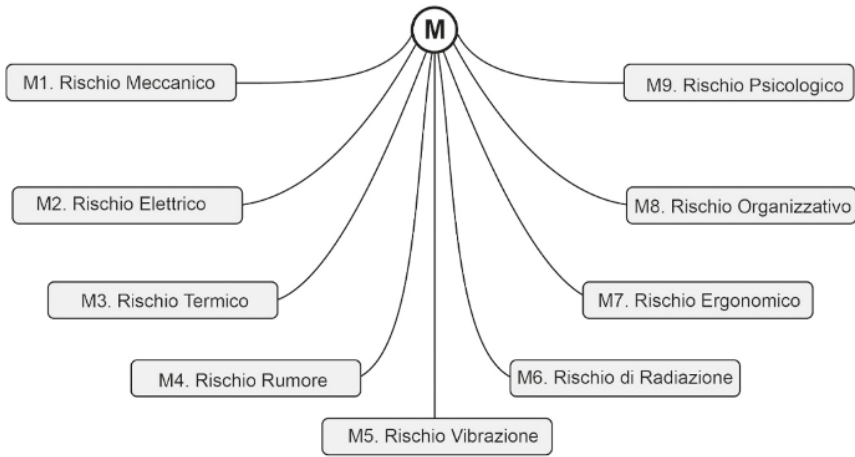
### 3. Lo strumento di rilevazione

A partire dagli output del focus group si è passati alla progettazione dello strumento di rilevazione tenendo conto della necessità di ottenere uno strumento valutativo di uso pratico in ragione agli scopi del progetto. Idealmente l'organizzazione sa riconoscere eventi rilevanti (in termini positivi o negativi) ovvero li sa immaginare; quindi, definisce concetti su cui vale la pena riflettere, eventi che vale la pena anticipare e rispetto ai quali bisogna possedere un set di risposte di sistema pronte. Infine, individua un set di variabili che vale la pena tenere sotto controllo. Tra queste ultime vanno distinte variabili che seguono gli eventi perturbativi (indicatori *lagging*) e variabili che anticipando gli eventi perturbativi, e che in qualche modo possono essere usate per predirli (indicatori *leading*). Il riconoscimento della rilevanza degli eventi si formalizza nel processo di apprendimento, da cui segue per esempio la definizione delle risposte di sistema.

Nel prosieguo si descrivono separatamente l'operativizzazione dei costrutti correlati alle quattro abilità di base.

#### 3.1. Monitorare

Nel progetto, si sono considerati rilevanti gli eventi di rischio per la SSL correlati con la tecnologia Cobot/Robot ottenuti dalla revisione sistematica della letteratura (Costantino *et al.*, 2021). La variabile latente Monitorare (M) si correla a nove variabili osservate di rischio, come indicato in Figura 2. Rispettivamente: rischio meccanico, rischio elettrico, rischio termico, rischio di rumore, rischio di vibrazione, rischio di radiazione, rischio ergonomico, rischio organizzativo, rischio psicologico.



**Figura 2.** Variabili osservate (in grigio) relate al costrutto M (in bianco).

Ogni variabile osservata è associata a diverse risposte possibili non mutuamente escludentesi. Il punteggio si compone conteggiando le diverse risposte fornite. Il punteggio associato è specifico della risposta fornita. A titolo di esempio si riporta il punteggio relativo alla variabile osservata M1 in Tabella 1:

**Tabella 1.** Esempio di punteggio composto. Il massimo punteggio ottenibile per la variabile M1 è 12, il minimo è 0.

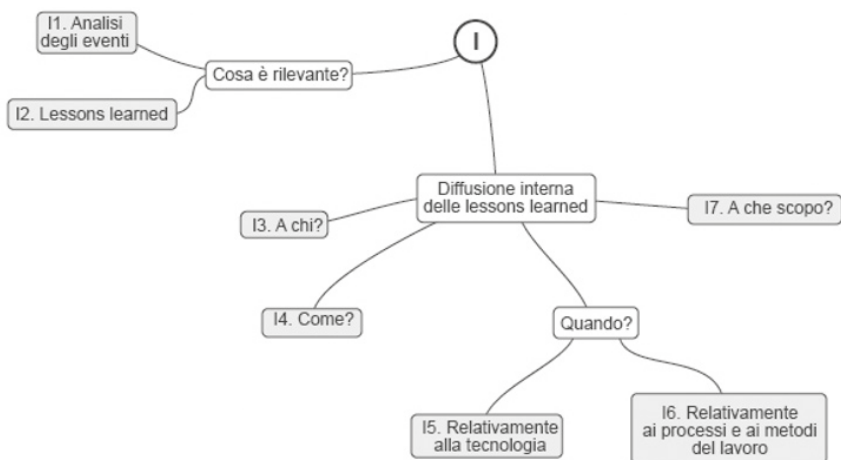
<b>M1. Rischio meccanico</b>	<b>Punteggio associato</b>
<i>L'organizzazione come monitora il rischio meccanico derivante dall'implementazione di Robot/Cobot?</i>	
<input type="checkbox"/> Non viene monitorato il rischio meccanico	0
<input type="checkbox"/> Viene monitorato il contatto inatteso dei lavoratori con il Robot/Cobot	1
<input type="checkbox"/> Viene monitorato il contatto inatteso dei lavoratori con altri oggetti causato dal Robot/Cobot	1



<input type="checkbox"/> Altro indicatore Lagging del rischio meccanico	1
<input type="checkbox"/> Vengono monitorate le traiettorie del Robot/Cobot rispetto alla posizione dei lavoratori	2
<input type="checkbox"/> Viene monitorata l'efficacia della presa del Robot/Cobot	2
<input type="checkbox"/> Vengono monitorate le traiettorie del Robot/Cobot rispetto alla posizione di altri oggetti	2
<input type="checkbox"/> Viene monitorata l'efficacia dei sistemi di visione del Robot/Cobot	2
<input type="checkbox"/> Altro indicatore Leading del rischio meccanico	2

### 3.2. *Imparare*

All'interno del progetto si è sottolineata l'importanza di valutare la fase di apprendimento organizzativo che è stata associata a due costrutti principali: la determinazione di cosa è rilevante apprendere e tutto ciò che riguarda la diffusione di essa all'interno dell'organizzazione. Il primo costrutto è stato operazionalizzato in un item riguardante le analisi degli eventi, valutando se queste abbiano luogo solo in relazione ad incidenti o anche a prescindere da essi, e un secondo item riguardante la formalizzazione delle cosiddette *lessons learned* (lezioni imparate). La diffusione di queste ultime all'interno dell'organizzazione è stata decomposta in quattro categorie (*A chi vengono diffuse? Come vengono diffuse? Quando vengono diffuse? A che scopo vengono diffuse?*) delle quali una sola (*Quando vengono diffuse?*) è stata declinata in un item relativo all'erogazione della formazione sulla tecnologia (I5) e uno relativo all'erogazione della formazione sui processi e metodi di lavoro (I6).



**Figura 3.** Variabili osservate (in grigio) relate ai costrutti (in bianco) relativi all'abilità I.

Il costrutto Imparare, oltre a variabili con modalità di risposte diverse non mutuamente escludentesi, possiede variabili con modalità mutuamente escludentesi. In tal caso, il punteggio è valutato con una scala tipo Likert. A titolo di esempio si riporta in Tabella 2 il punteggio relativo alla variabile osservata I5.

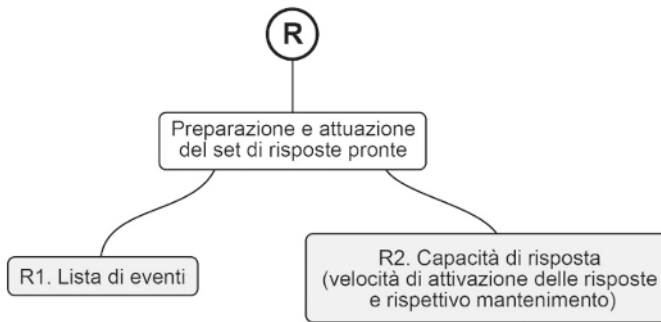
**Tabella 2.** Esempio di punteggio tipo Likert. Il massimo punteggio ottenibile per la variabile I5 è 4, il minimo è 0.

<b>I5. Erogazione della formazione sulla tecnologia</b>	
<i>In che momento l'organizzazione eroga formazione sulla tecnologia dei Robot/Cobot per far fronte ad eventi significativi in termini di SSL?</i>	<b>Punteggio associato</b>
○ Non è predefinito un momento specifico per la formazione sulla tecnologia dei Robot/Cobot	0
○ Dopo aver ripristinato le condizioni di operatività a valle di eventi con danno	1
○ Dopo aver ripristinato le condizioni di operatività a valle di eventi senza danno e con danno	2

○ Prima di aver ripristinato le condizioni di operatività a valle di eventi con danno	3
○ Prima di aver ripristinato le condizioni di operatività a valle di eventi senza danno e con	4

### 3.3. Rispondere

La capacità del sistema di rispondere in termini di SSL si concretizza, all'interno del modello, nella preparazione e attuazione del sopraccitato set di risposte pronte; questo costrutto si operazionalizza attraverso due item, come indicato in Figura 4.



**Figura 4.** Variabili osservate (in grigio) relate al costrutto "Preparazione e attuazione del set di risposte pronte" (in bianco) che si relaziona all'abilità cornerstone R. Le variabili R1 e R2 sono valutate entrambe con punteggio tipo Likert.

### 3.4. Anticipare

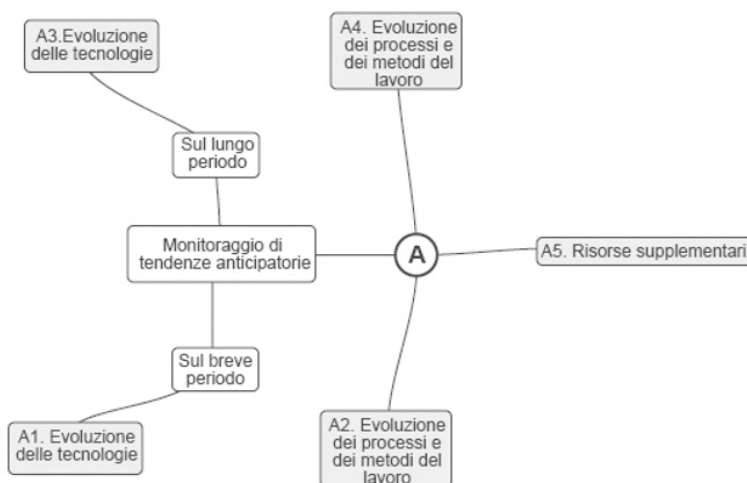
Nel modello l'abilità di anticipare si osserva nell'atteggiamento dell'organizzazione riguardo al futuro. L'organizzazione può cercare di mitigare gli effetti collegati all'incertezza del futuro, da un lato, premunendosi di risorse supplementari (*surplus di risorse*) di diverso tipo e, dall'altro, cercando di prevedere i comportamenti fenomenologici della tecnologia e delle modalità con cui viene performato il lavoro (monitoraggio

di tendenze anticipatorie). Nel modello, quest'ultimo costrutto è stato declinato su due orizzonti temporali, portando in tutto a cinque item per l'abilità Anticipare.

Il costrutto Anticipare possiede variabili con modalità di risposte diverse non mutuamente escludentesi (A1, A2, A3 e A4). L'item A5 (Tabella 3) è valutato come una variabile di tipo dicotomico.

**Tabella 3.** Esempio di punteggio tipo dicotomico. Il massimo punteggio ottenibile per la variabile A5 è 1, il minimo è 0.

<b>A5. Risorse supplementari</b>	
<i>Nell'organizzazione esistono attività che coinvolgono Robot/Cobot per le quali vengono previste più risorse (es. tempo/personel/DPI/materiali) rispetto a quanto strettamente necessario al fine di fronteggiare minacce imprevedibili per la SSL?</i>	<b>Punteggio associato</b>
○ Sì	1
○ No	0



**Figura 5.** Variabili osservate (in grigio) relate ai costrutti (in bianco) relativi all'abilità A.

### 3.5. Calcolo del punteggio per la Resilienza SSL – Robot/Cobot

Lo strumento è stato progettato per essere erogato in maniera altamente efficiente. Vale a dire, minimizzando il numero di domande a scapito della loro omogeneità, introducendo modalità di risposta differenti e variando il numero di risposte possibili da item ad item a seconda delle esigenze specifiche. Di conseguenza, è stato necessario progettare un criterio per rendere omogenei i punteggi complessivi delle diverse abilità. Il criterio individuato consiste nell'immaginare che l'importanza relativa delle abilità, a priori identica, sia uniformemente ripartita tra tutti gli item. Ciò corrisponde a considerare completa la mappatura degli item sulle abilità, come di norma si assume nei questionari. Operativamente questo si traduce prendendo per il singolo item non il punteggio assoluto, ma il suo valore riscalato secondo un gradiente che va da 0 a 7, secondo la seguente formula:

$$\begin{aligned} \text{Punteggio Riscalato}_{item} &= \text{Punteggio assoluto}_{item} \\ &\cdot \left( \frac{7}{\text{Max Punteggio assoluto possibile}_{item}} \right) \end{aligned}$$

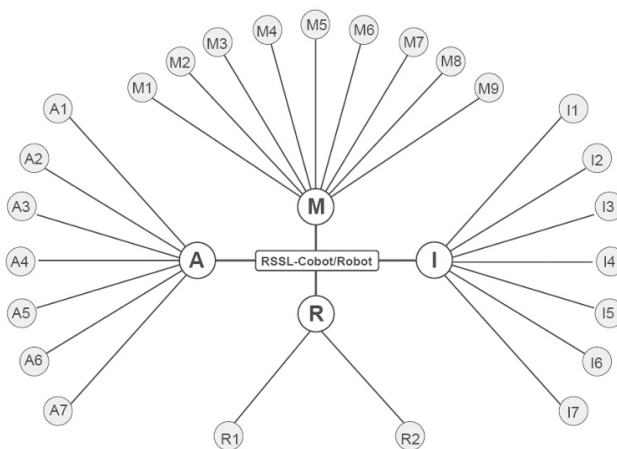
Ad esempio, se immaginiamo che per la variabile  $M_1$  si abbia un punteggio assoluto pari a 7 (Tabella 11), allora il suo punteggio riscalato sarà pari a:

$$\begin{aligned} \text{Punteggio Riscalato}_{M_1} &= \text{Punteggio assoluto}_{M_1} \\ &\cdot \left( \frac{7}{\text{Max Punteggio assoluto possibile}_{M_1}} \right) = \\ &= 7 \cdot \left( \frac{7}{12} \right) = 4.083 \end{aligned}$$

Il valore 7 del gradiente è stato scelto in considerazione del fatto che nel modello generale (Figura 6) esiste un item (R2) tipo Likert con punteggio da 0 a 7, rispetto al quale possiamo riferire tutti gli altri punteggi.

**Tabella 4.** Esempio di punteggio composto, pari a 7, realizzato per la variabile M1 il cui massimo è 12, il minimo è 0.

<b>M1. Rischio meccanico</b>	<b>Punteggio associato</b>
<i>L'organizzazione come monitora il rischio meccanico derivante dall'implementazione di Robot/Cobot?</i>	
<input type="checkbox"/> Non viene monitorato il rischio meccanico	0
<input checked="" type="checkbox"/> Viene monitorato il contatto inatteso dei lavoratori con il Robot/Cobot	1
<input checked="" type="checkbox"/> Viene monitorato il contatto inatteso dei lavoratori con altri oggetti causato dal Robot/Cobot	1
<input checked="" type="checkbox"/> Altro indicatore Lagging del rischio meccanico	1
<input type="checkbox"/> Vengono monitorate le traiettorie del Robot/Cobot rispetto alla posizione dei lavoratori	2
<input type="checkbox"/> Viene monitorata l'efficacia della presa del Robot/Cobot	2
<input checked="" type="checkbox"/> Vengono monitorate le traiettorie del Robot/Cobot rispetto alla posizione di altri oggetti	2
<input checked="" type="checkbox"/> Viene monitorata l'efficacia dei sistemi di visione del Robot/Cobot	2
<input type="checkbox"/> Altro indicatore Leading del rischio meccanico	2



**Figura 6.** Il modello di Resilienza organizzativa in merito alla SSL rispetto ai Cobot/Robot operativizzato nei suoi 25 item.

Il punteggio di abilità si ottiene considerando che il punteggio di ogni item riscalo al suo massimo dovrebbe valere 7, per cui generalmente vale:

$$\begin{aligned} & \text{Punteggio}_{\text{Abilità}} \\ &= \left( \frac{\sum_{\text{item}}^{\text{N}^\circ \text{ di item relativi all'abilità}} \text{Punteggio}_{\text{Riscalato}_{\text{item}}}}{\text{N}^\circ \text{ di item relativi all'abilità}} \right) \\ & \cdot \left( \frac{1}{7} \right) \end{aligned}$$

Ad esempio, se immaginiamo che per la variabile R1 si abbia un punteggio riscalo pari a 4.047 e per la variabile R2 si abbia un punteggio riscalo pari a 5), allora il punteggio di R sarà pari a:

$$\text{Punteggio}_R = \left( \frac{4.047 + 5}{2} \right) \cdot \left( \frac{1}{7} \right) = 0.64$$

Il punteggio di abilità si può già leggere come una percentuale. Il punteggio di RSSL-Cobot/Robot sarà semplicemente la media dei punteggi per abilità:

$$\begin{aligned} & \text{Punteggio}_{\text{RSSL-Cobot/Robot}} \\ &= \left( \frac{\sum \text{Punteggio}_{\text{abilità}}}{4} \right) \cdot (100) \end{aligned}$$





## **SOMMINISTRAZIONE DELLO STRUMENTO DI RILEVAZIONE**

A seguito della progettazione dello strumento di rilevazione è stato realizzato, in accordo con i requisiti definiti durante il focus group preliminare, il materiale di contatto e di rilevazione per le aziende, consistente nello strumento di rilevazione propriamente detto (il questionario), in un poster d'introduzione allo strumento, e un foglio di calcolo realizzato appositamente per facilitare e standardizzare il processo di raccolta dati, oltre che per minimizzare gli errori connessi alla compilazione. Il materiale è stato realizzato in tre lingue (italiano, inglese, tedesco) per raggiungere la popolazione definita durante il focus group preliminare.

Oggetto dell'analisi sono state le aziende italiane ed europee implementatrici di Robot/Cobot, e non le realtà produttrici. Nello specifico, sono stati intervistati direttamente alcuni soggetti operanti nelle aziende stesse, aventi ruoli e cariche diverse, come di seguito specificato. Tali soggetti hanno quindi rappresentato le unità statistiche delle rilevazioni. Lo strumento di rilevazione è stato pensato non per essere autosomministrato. Al contrario, la rilevazione è stata condotta da personale opportunamente preparato.

Analisi dei rischi e strumenti di mitigazione  
per la tutela e sicurezza dei lavoratori  
nei contesti lavorativi soggetti a trasformazione digitale

## UNO STRUMENTO DI RILEVAZIONE DEDICATO A ROBOT E COBOT

Il progetto di ricerca **Tra.d.a.r.s.**, risultato di una collaborazione tra INAIL, l'Università di Roma "La Sapienza", l'Università LUMSA e l'Università degli Studi di Torino, si pone come obiettivo quello di individuare rischi nuovi ed emergenti per la salute e sicurezza dei lavoratori derivanti dall'implementazione di tecnologie 4.0 negli ambienti produttivi.

Se è vero che le tecnologie 4.0 permettono di incrementare la competitività e l'efficienza delle aziende, generando maggior interconnessione e cooperazione tra le risorse, la salute e la sicurezza delle persone deve sempre assumere un ruolo primario in ogni percorso trasformativo.

La ricerca ha analizzato le tecnologie 4.0 che determinano un impatto diretto ed osservabile sui lavoratori, approfondendo la tecnologia dei Robot/Cobot. Quest'ultima, infatti, sta significativamente penetrando gli ambienti produttivi, generando nuove logiche di collaborazione uomo-macchina.

Analisi e valutazioni tradizionali dei rischi potrebbero non essere sufficienti a garantire un'implementazione sicura dei Robot/Cobot. A tal proposito, un approccio basato sul *Resilience Engineering*, in particolare sulla metodologia RAG (*Resilience Analysis Grid*), ha permesso al gruppo di ricerca di realizzare un modello di valutazione con cui le aziende possono confrontarsi per **rispondere** efficacemente ai cambiamenti, ai disturbi e alle opportunità; per **monitorare** gli eventi, le prestazioni e le attività con impatto negativo e positivo; per **anticipare** l'accadere di eventi, avversi o meno; infine, per **apprendere** affrontando il presente e imparando **sia** dai successi che dagli insuccessi, propri o di altri. Il modello di valutazione prevede la compilazione di un questionario, guidata da un membro del gruppo di ricerca per permettere alle aziende di essere supportate laddove necessario, anche nell'ottica di generare risultati affidabili.

Il coinvolgimento delle aziende nella rilevazione ha l'obiettivo di orientarle nel processo di individuazione di nuovi fattori di rischio e, di conseguenza, nella gestione dei rischi stessi. Tali attività sono centrali, ad esempio, nelle fasi di progettazione dei nuovi ambienti di lavoro, durante l'implementazione della tecnologia o nei momenti di formazione dei dipendenti. La partecipazione alla rilevazione offrirà alle aziende anche l'opportunità di prender parte a tavole rotonde dove verranno diffusi e discussi i risultati, facilitando così la condivisione di know-how e la creazione di un network di innovazione sicuro, consapevole, coeso e sempre aggiornato.



Link al sito web:  
<https://www.tradars.it/home>  
Contatti:  
francesco.costantino@uniroma1.it  
(+39) 06 4458 5260



Figura 1. Locandina di presentazione del progetto e della campagna di rilevazione.

## **1. Raccolta dati e analisi collegata**

Come anticipato, per sistematizzare la raccolta dati è stato realizzato un apposito foglio di calcolo. Tale foglio, oltre a facilitare la fase di immissione dei dati, ha consentito l'aggregazione dei dati provenienti dalle diverse fonti campionarie, il calcolo dei punteggi risultanti e la rappresentazione grafica secondo i diagrammi di Kivia, la modalità ormai divenuta standard per le analisi RAG. Alla rilevazione degli item collegati al modello si aggiunge una sezione anagrafica di 12 domande, utile a segmentare eventualmente a posteriori il campione. La realizzazione dello strumento di rilevazione non è stata un processo lineare ma ha richiesto due sessioni di focus group di valutazione, durante i quali sono state apportate sostanziali modifiche. Per quanto possibile si è cercato di eliminare le ambiguità lessicali così da separare i concetti. Tuttavia, la necessità di diminuire il numero di domande ha comportato la definizione di risposte parzialmente sovrapposte a livello semantico. Ad ogni modo, tale limite viene ridimensionato dallo scopo del questionario stesso, che non consiste nella rilevazione di un atteggiamento umano, ma quella di un comportamento di un organismo collettivo: l'azienda che implementa Cobot/Robot.

## **2. Il materiale di contatto**

La campagna di rilevazione ha previsto la redazione di un materiale di contatto costituito da due principali tipologie di documento, aventi l'obiettivo di presentare il progetto ed invitare le aziende a partecipare alla rilevazione. Nello specifico, è stata redatta una locandina, precedentemente presentata, dove è stato sinteticamente illustrato il progetto, il questionario e gli eventuali benefici derivanti dalla partecipazione alla campagna di rilevazione. È stato anche prodotto un breve video avente finalità assimilabili alla locandina, ma capace di sfruttare una modalità di comunicazione più diretta ed interattiva. Prima di condividere con le aziende il materiale, la campagna ha previsto che queste ultime venissero preventivamente contattate, per mezzo e-mail, per informarle in merito all'iniziativa, e per verificare l'eventuale interesse nella partecipazione alla rilevazione.

### 3. Il campione di rilevazione

Il coinvolgimento delle organizzazioni nella rilevazione rappresenta un'opportunità per identificare e gestire i nuovi fattori di rischio derivanti dall'implementazione di Robot e Cobot. In aggiunta, la partecipazione ad eventi di disseminazione e discussione dei risultati, vuole facilitare la condivisione di *know-how* e la creazione di un network d'innovazione sicuro, consapevole, coeso e sempre aggiornato. La selezione delle organizzazioni è partita dall'individuazione delle "Fabbriche Faro", vale a dire le "*Lighthouses* di Industria 4.0", selezionate per merito dal World Economic Forum (2022). Inoltre, dall'individuazione dei clienti di famosi produttori e venditori di Robot e Cobot. Dopo aver inviato una e-mail per presentare l'iniziativa, il questionario è stato mandato in via preliminare alle aziende, per chiarire i contenuti investigati e per permettere alle organizzazioni di selezionare il personale più idoneo a rispondere alle domande. La valutazione ha richiesto uno o più meeting online, guidati da un tutor (ovvero un membro del team di ricerca), per ogni azienda. La valutazione guidata ha permesso di verificare tempestivamente la consistenza delle risposte fornite, nonché di fornire ulteriori chiarimenti sui contenuti delle domande laddove necessario. Ogni meeting è durato in media 3 ore e l'intera rilevazione 3 mesi, da gennaio ad aprile 2022.

Inizialmente il campione era composto da 19 aziende, di cui 9 italiane e 10 estere, provenienti dal Belgio e dai Paesi Bassi. Di queste, 4 aziende implementavano Robot e 15 Cobot. Successivamente, sono state escluse dall'analisi le aziende implementatrici di Robot in quanto, da un'analisi preliminare dei risultati, è emersa una gestione tradizionale dei rischi e l'assenza di rischi ritenuti significativi per la SSL. Il campione finale, consistente quindi nelle 15 aziende implementatrici di Cobot, è stato analizzato in modo unificato. La distinzione tra aziende italiane ed estere, infatti, è stata ritenuta priva di valenza statistica, vista la numerosità limitata del campione. La scelta di unificare il campione è stata ulteriormente supportata dalla presenza di multinazionali operanti in entrambi i territori. Di seguito vengono riportati i risultati della rilevazione e le considerazioni derivanti.

#### 4. Casi di studio

Le 15 aziende intervistate sono geograficamente distribuite nel nord Italia, Italia centrale, Belgio e Paesi Bassi. Tutte operano nel settore manifatturiero, ad esclusione di tre operanti nel settore afferente alle “attività professionali, scientifiche e tecniche”. In Tabella 1 vengono sintetizzati, per ogni azienda, la dimensione, il settore principale di riferimento, la tipologia di Cobot implementata (si faccia riferimento ai commenti che seguono per le definizioni di Cobot), e il processo produttivo dove il Cobot collabora con i lavoratori.

**Tabella 1.** Profilo generale delle 15 aziende.

<b>Azienda ID</b>	<b>Dimensione</b>	<b>Settore primario</b>	<b>Tipo di Cobot</b>	<b>Processo</b>
<b>1</b>	150 < Impiegati < 250	Manifatturiero	PFL, AMR	Assemblaggio stampi
<b>2</b>	150 < Impiegati < 250	Manifatturiero	SMS, HG, PFL	Avvitamento e stiratura
<b>3</b>	< 50 Impiegati	Manifatturiero	HG	Pressofusione di alluminio
<b>4</b>	50 < Impiegati < 149	Manifatturiero	PFL	Assemblaggio
<b>5</b>	> 250 Impiegati	Manifatturiero	SSM, HG, PFL	Assemblaggio
<b>6</b>	> 250 Impiegati	Manifatturiero	PFL, AMR	Assemblaggio e logistica
<b>7</b>	> 250 Impiegati	Manifatturiero	AMR	Logistica interna
<b>8</b>	150 < Impiegati < 250	Attività professionali, scientifiche e tecniche	SMS, HG, SSM, PFL, AMR	Test cases

<b>Azienda ID</b>	<b>Dimensione</b>	<b>Settore primario</b>	<b>Tipo di Cobot</b>	<b>Processo</b>
9	150 < Impiegati < 250	Attività professionali, scientifiche e tecniche	SMS, HG, SSM, PFL, AMR	Test cases
10	< 50 Impiegati	Manifatturiero	SMS, HG	Assemblaggio e logistica
11	> 250 Impiegati	Manifatturiero	SSM, PFL, AMR	Incollaggio e logistica interna
12	> 250 Impiegati	Manifatturiero	SSM, PFL	Assemblaggio
13	> 250 Impiegati	Manifatturiero	SMS, PFL	Produzione di pneumatici personalizzati e tubi idraulici
14	> 250 Impiegati	Manifatturiero	SMS, PFL	Carico di cartoni, carico e scarico di cassette farmaceutiche plastiche
15	50 < Impiegati < 149	Attività professionali, scientifiche e tecniche	SMS, SSM, PFL	Laboratorio Ricerca e Sviluppo – applicazioni per la movimentazione

Facendo riferimento alle diverse tipologie di Cobot presentate in Tabella 1, le soluzioni *Safety-rated Monitored Stop* (SMS) sono caratterizzate dalla presenza di un software e/o un dispositivo di monitoraggio e blocco che mette in pausa il funzionamento del Robot qualora il

lavoratore si avvicini eccessivamente a questo, con lo scopo di prevenire dinamiche pericolose (*monitored standstill*); nelle soluzioni *Hand Guiding* (HG) all'operatore è consentito di movimentare il Robot da un dispositivo manuale che prevede la presenza di un pulsante di arresto di emergenza; le soluzioni *Speed and Separation Monitoring* (SSM) sono caratterizzate da un livello di sicurezza maggiore grazie alla possibilità di specificare la minima distanza protettiva da garantire tra Robot ed operatore nello spazio di lavoro collaborativo. Queste, richiedono la presenza di un sensore che permette di informare il sistema di controllo del Robot circa la distanza di separazione effettiva e, quindi, di controllare la stessa. Le soluzioni *Power and Force Limiting* (PFL) consentono il contatto Robot — operatore, previo controllo della forza e dell'inerzia del Robot; in tal modo, permettono evitare, o al limite minimizzare, danni fisici agli operatori. Infine, gli *Autonomous Mobile Robots* (AMR) possono muoversi negli impianti seguendo delle mappe definite in loco dal software o tramite planimetrie precaricate dell'impianto, richiedendo semplici modifiche per cambiare le proprie missioni. Le relative attività possono essere guidate attraverso l'interfaccia macchina o essere configurate a livello software; quest'ultimo può anche prioritizzare in modo automatico le attività tenendo in considerazione la posizione e la disponibilità del Robot.

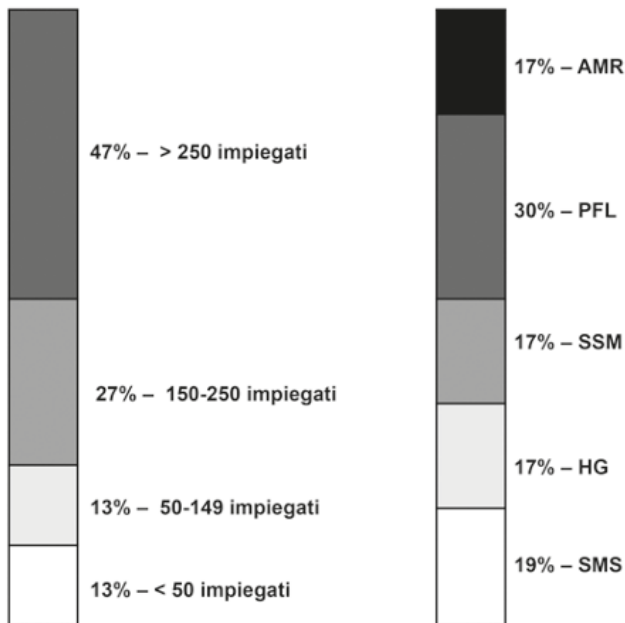
Le applicazioni dei Cobot sono state quindi ricondotte a 3 macro-categorie di processi: manipolazione, assemblaggio e trasformazione, ricerca e test (Tabella 2).

**Tabella 2.** Macroprocessi e processi dove sono applicati i Cobot nelle 15 aziende.

Macro-processi	Processi
Manipolazione	Logistica interna
	Equipaggiamento
	Carico e scarico
	Installazione di stampi

Macro-processi	Processi
Assemblaggio e trasformazione	Assemblaggio
	Lavorazione in pressofusione
	Produzione personalizzata
	Imballaggio
	Avvitatura e stiratura
Ricerca e test	Messa in servizio
	Casi di test
	Prove di laboratorio

In Figura 2 vengono sintetizzate le dimensioni aziendali del campione e le tipologie di Cobot ivi implementate.



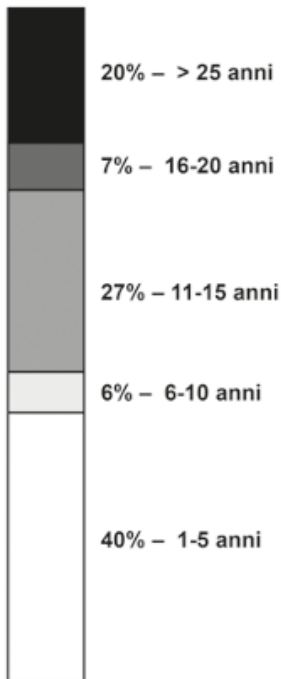
**Figura 2.** Dimensione aziendale (a sinistra) e tipologie di Cobot (a destra).



Le aziende intervistate sono prevalentemente Grandi Imprese (> 250 impiegati). Dalla Tabella 2 emerge una duplice tendenza: alcune organizzazioni implementano più di una tipologia di Cobot; altre, implementano un unico Cobot che però può avere più modalità di interazione. Tra queste, la più ricorrente è la *Power and Force Limiting* (PFL), che abilita contatti intenzionali tra Cobot e operatore, previa riduzione della forza e dell'inerzia della macchina, al fine di ridurre o minimizzare danni fisici per gli operatori. La seconda tipologia più implementata è la *Safety-rated Monitored Stop* (SMS), dove software e sensori monitorano e governano le operazioni dei Cobot se i lavoratori si avvicinano troppo a questi ultimi, per prevenire dinamiche pericolose.

## 5. I rispondenti

Il campione di rispondenti riporta un'età compresa tra i 32 e i 64 anni. La maggior parte (il 64%) lavora in azienda da almeno 6 anni. La distribuzione dell'anzianità aziendale dei rispondenti è riportata in Figura 3.



**Figura 3.** Anzianità aziendale dei rispondenti.

In Tabella 3 viene riportata una vista di dettaglio della posizione e del ruolo organizzativo ricoperto dai rispondenti, nonché il ruolo ricoperto in termini di Occupational Health and Safety (OHS). La maggior parte dei rispondenti sono manager esecutivi che ricoprono il ruolo di “figura di riferimento per Cobot” in azienda. Non tutti gli intervistati ricoprono una posizione ufficiale in termini di OHS.

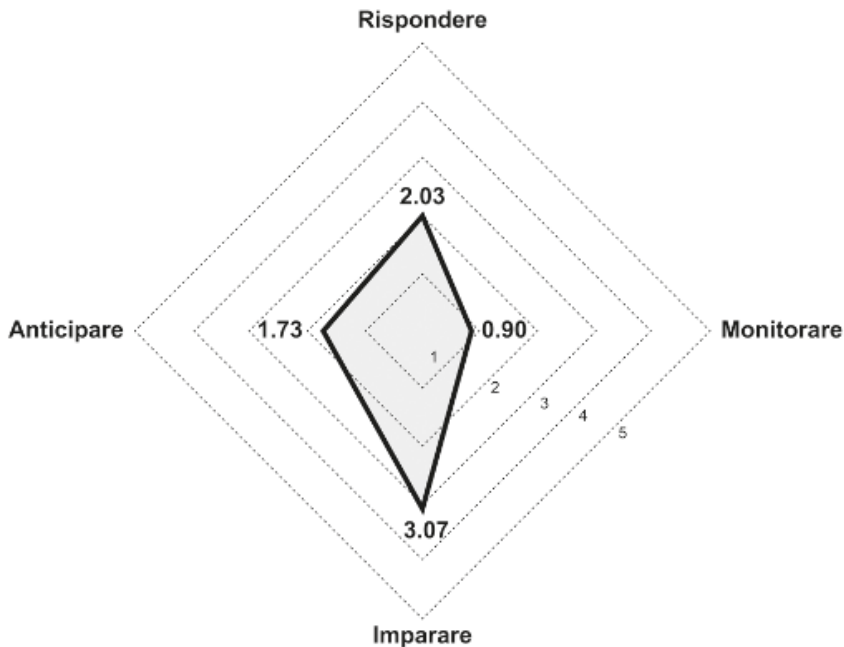
**Tabella 3.** Ruoli organizzativi dei rispondenti.

<b>Position</b>	<b>Role</b>	<b>Position in OHS</b>
Executive/Manager (6)	Figura di riferimento per Cobot (5)	Datore di lavoro (3)
Staff/Supervisor (3)	Istruttore o tutor per la formazione sui processi e sulle attrezzature (4)	Capo del servizio di protezione e prevenzione (3)
Impiegato d'ufficio (3)	Capo dipartimento (4)	Formatore in materia di SSL (2)
Ingegnere di processo (1)	Capo produzione (3)	Responsabile dei Cobot (1)
Ingegnere di progetto (0)	Utilizzatore del Cobot (3)	Responsabile della prevenzione e della protezione/Consulente per la SSL (1)
Proprietario (1)	Ingegnere di supporto (1)	Direttore/Responsabile esecutivo (1)
	Figura di riferimento per progetti di industrializzazione (1)	Responsabile della sicurezza dei progetti (1)

## 6. Risultati della rilevazione

La prima parte dei risultati riporta una visione aggregata delle risposte raccolte. Tale visione, priva di evidenza statistica, viene fornita per mettere in evidenza tendenze comuni e direzioni emerse dalla rilevazione. L'attenzione è posta sui risultati raggiunti in ognuno dei quattro potenziali sistemici del questionario: Rispondere, Monitorare, Imparare ed Anticipare. Per ogni area i risultati vengono riportati considerando in modo aggregato le risposte fornite nelle domande che costituiscono il potenziale. La seconda parte dei risultati, invece, presenta i risultati relativi ai singoli quesiti sottoposti.

Analizzando i risultati medi delle aziende, il potenziale Monitorare raggiunge il punteggio più basso, mentre quello di Imparare il punteggio più alto. La media dei punteggi delle 15 aziende è riportata in Figura 4.



**Figura 4.** Media dei punteggi raggiunti dalle 15 aziende nei 4 potenziali sistemici.

È stato poi elaborato un risultato più dettagliato dove, per ogni azienda, è stato riportato un punteggio assoluto (media normalizzata su una scala 1-5) e uno relativo (espresso in percentuale). I punteggi relativi indicano l'abilità potenziale nel Rispondere, Monitorare, Imparare ed Anticipare. Ad esempio, l'azienda 1 ha raggiunto un punteggio pari a 3 in Rispondere; questo punteggio è il risultato della valutazione dei diversi quesiti che compongono la dimensione Rispondere, ovvero l'abilità di rispondere ad una lista predefinita di eventi, e l'abilità di definire condizioni di attivazione della risposta, monitorandone la velocità di implementazione. In questo caso, stando alle risposte dell'azienda, la combinazione di queste abilità determina un potenziale di resilienza del 60% nella capacità di Rispondere.

In Figura 5 vengono illustrati, a titolo di esempio, i risultati di un'azienda. Per ogni potenziale è stato rappresentato graficamente il punteggio della singola domanda all'interno di ogni area di valutazione (*Lollipop chart*) ed infine vengono sintetizzati i risultati sulle 4 dimensioni RAG (*Radar chart*).

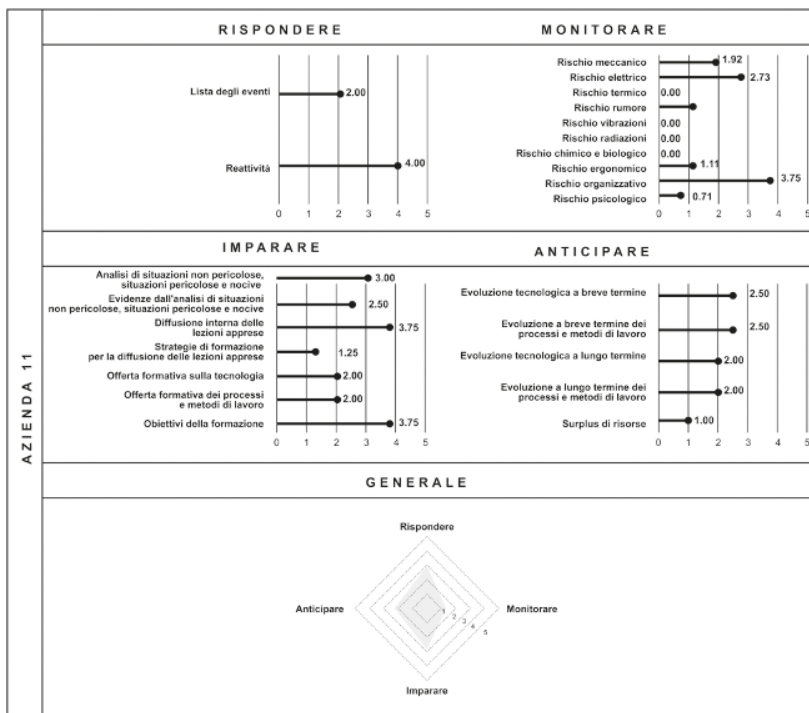


Figura 5. Esempio: risultati del questionario relativi ad un'azienda.

### 6.1. Rispondere

La dimensione Rispondere valuta l'abilità di fronteggiare il presente rispondendo ai cambiamenti, ai disturbi e alle opportunità, mediante due attributi: la presenza di una lista di eventi e la reattività.

#### R1. Lista di eventi

Una lista di eventi contiene gli eventi potenzialmente critici per la SSL. La valutazione determina se e a che livello l'azienda definisca tale lista in relazione ad eventi interni ed esterni, e come tale lista venga gestita. I risultati (Figura 6) mostrano che la maggior parte delle aziende non definisce alcuna lista.

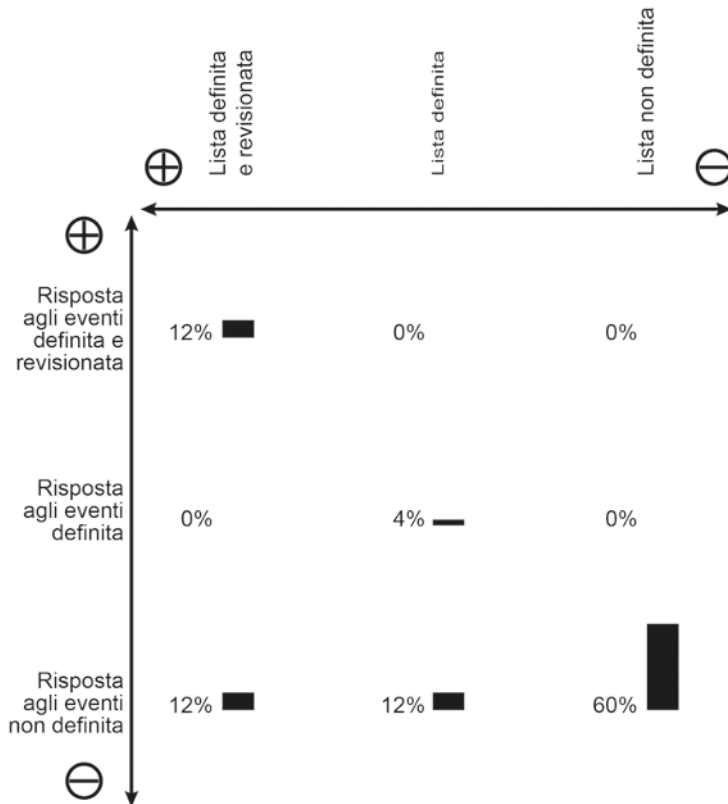


Figura 6. Risultati del questionario per la domanda R1.

## R2. Reattività

La reattività valuta l'abilità di un'organizzazione nel rispondere ad eventi critici per la SSL, considerando la presenza di condizioni di attivazione delle risposte predefinite (*trigger*), e la verifica della tempestività relativa alla risposta stessa (Hollnagel, 2019). I risultati, in Figura 7, mostrano che la maggior parte delle aziende non definisce condizioni *trigger* e non verifica la velocità di risposta a tali eventi.

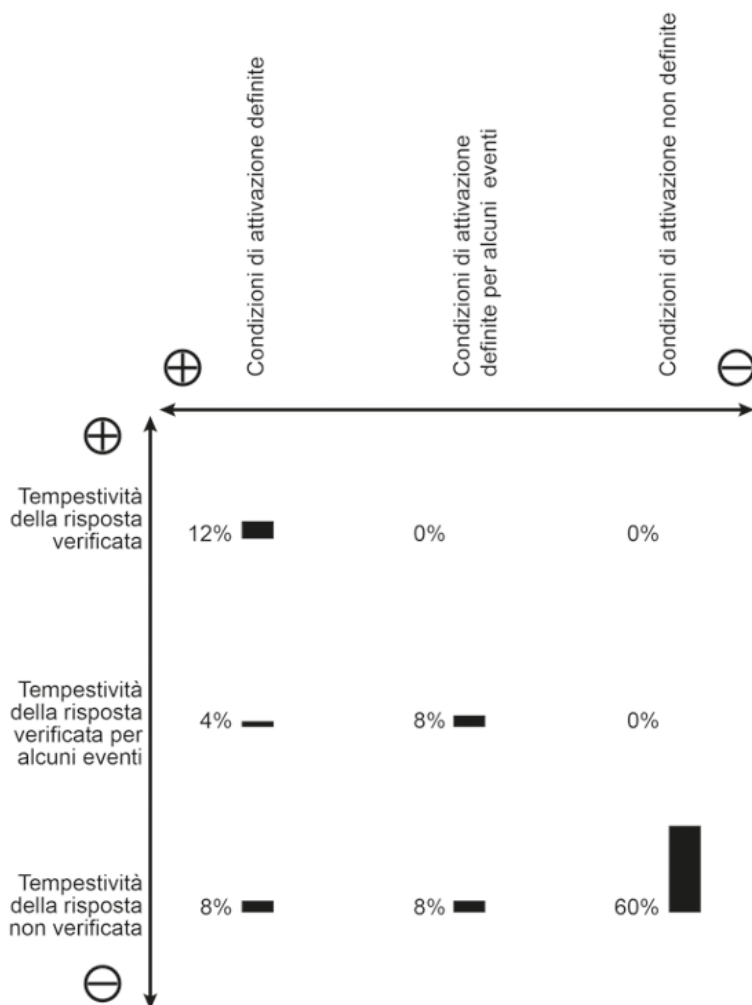


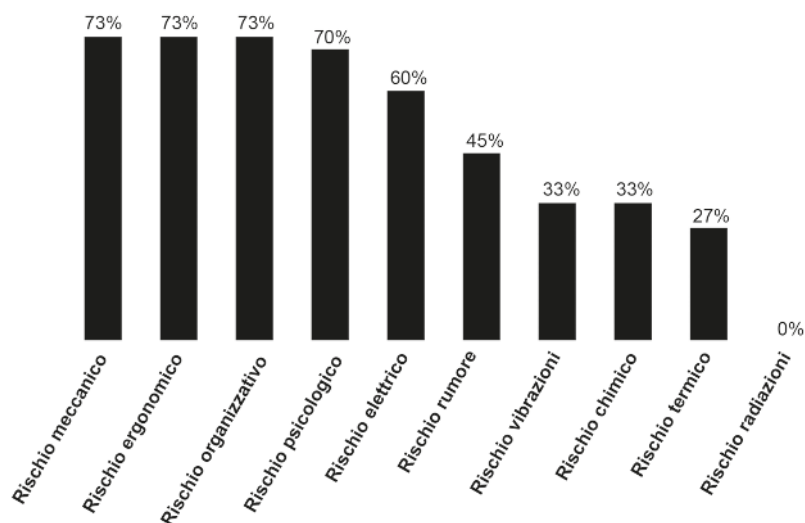
Figura 7. Risultati del questionario per la domanda R2.

## 6.2. Monitorare

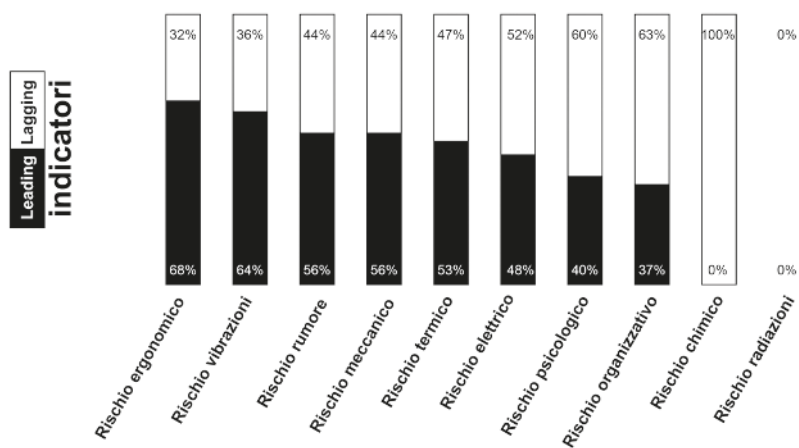
La dimensione Monitorare valuta l'abilità di fronteggiare il presente monitorando attività e performance (Hollnagel, 2019). In particolare, valuta se i rischi per la SSL vengono monitorati durante i processi produttivi, in fase esecutiva. Tale monitoraggio richiede la presenza di specifici indicatori. Facendo riferimento ai principi dei RAG, gli indicatori possono essere *Lagging* o *Leading*, se rispettivamente riferiti alle capacità reattive o proattive del sistema. Gli indicatori *Lagging* monitorano le applicazioni dei Cobot per identificare qualcosa di avvenuto e, quindi, in ritardo (*Lag*) rispetto all'evento. Gli indicatori *Leading*, invece, riconoscono comportamenti del sistema e dell'ambiente che precedono un evento critico, offrendo segnali predittivi di comportamenti che possono portare (*Lead*) a rischi o danni. Considerando il maggior potenziale in termini di resilienza degli indicatori *Leading*, il questionario attribuisce loro maggior peso. Esempio tipico di indicatore *Lagging*, riferendosi al rischio di rumore, è il numero di segnalazioni sanitarie per danni all'udito da parte del medico competente, ovviamente redatte post-danno. Al contrario, un indicatore *Leading* è rappresentato dal livello di esposizione al rumore dei lavoratori, che viene tipicamente monitorato con l'intento di prevenire il danno.

### MI – MIO. Rischi monitorati

Le categorie di rischio investigate sono 10, vale a dire quelle precedentemente identificate in letteratura in corrispondenza della tecnologia Cobot (Costantino *et al.*, 2021): meccanico, elettrico, chimico, termico, rumore, vibrazione, radiazione, ergonomico, organizzativo e psicologico. La fonte dei rischi organizzativi risiede in procedure, metodi, criteri e soluzioni organizzative non dipendenti dalle azioni dei lavoratori. La fonte dei rischi psicologici, invece, risiede in percezioni o reazioni soggettive, ad esempio la percezione di inferiorità o subordinazione rispetto alle macchine. In Figura 8 vengono mostrate le percentuali delle organizzazioni, tra le 15 intervistate, che monitorano ogni categoria di rischio. La Figura 9 mostra un'ulteriore approfondimento relativo alla percentuale (*Leading e Lagging*) di indicatori utilizzati dalle aziende, per ogni categoria di rischio monitorato.



**Figura 8.** Percentuale di aziende che monitorano ogni categoria di rischio (domande M1–M10).



**Figura 9.** Percentuali di indicatori Leading e Lagging utilizzati dalle aziende (domande M1 – M10).



I risultati mostrano che non esiste una categoria di rischio monitorata da tutte le aziende. Le categorie più monitorate sono il rischio meccanico, ergonomico ed organizzativo. Nessuna azienda monitora il rischio di radiazione. Tale aspetto, infatti, non è considerato un rischio attivo, vale a dire direttamente derivante dall'implementazione dei Cobot per le aziende intervistate.

I rischi ergonomici vengono monitorati con la percentuale più elevata di indicatori *Leading*. Al contrario, vengono utilizzati solo indicatori *Lagging* per monitorare i rischi chimici. In Tabella 4 vengono elencati gli indicatori più implementati dalle 15 aziende, per ogni categoria di rischio, mettendone in evidenza la natura *Leading* o *Lagging*.

**Tabella 4.** Indicatori più monitorati per ogni categoria di rischio.

<b>Categoria di rischio</b>	<b>Indicatore più monitorato</b>	<b>Indicatore più monitorato</b>
<i>Meccanico</i>	Contatto inatteso del lavoratore con il Cobot	Lagging
<i>Elettrico</i>	Contatto inatteso del lavoratore con parti vive del Cobot	Lagging
<i>Termico</i>	Contatto inatteso del lavoratore con parti surriscaldate del Cobot	Lagging
	Temperatura delle componenti del Cobot	Leading
<i>Rumore</i>	Danni all'udito dei lavoratori che collaborano con i Cobot	Lagging
	Livello di Esposizione al rumore dei lavoratori che collaborano con i Cobot	Lagging
	Pressione sonora/picco/livello di impulso del Cobot	Leading
<i>Vibrazione</i>	Non prevalgono indicatori	
<i>Radiazione</i>		

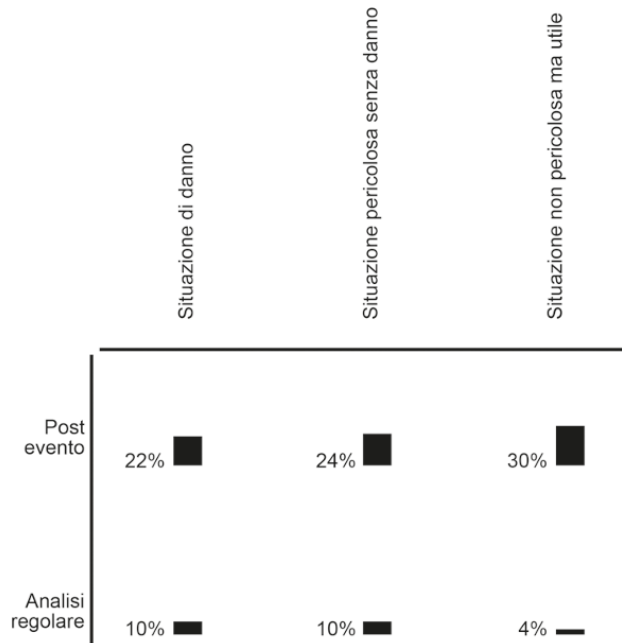
<b>Categoria di rischio</b>	<b>Indicatore più monitorato</b>	<b>Indicatore più monitorato</b>
<i>Chimico</i>	Danni per i lavoratori derivanti dal rilascio di agenti acidi o corrosivi del Cobot	Lagging
<i>Ergonomico</i>	Posizioni adottate dai lavoratori durante le attività collaborative con i Cobot	Leading
<i>Organizzativo</i>	Attacchi riusciti alla cyber-security dei Cobot	Lagging
<i>Psicologico</i>	Eventi sentinella (e.g., richieste di malattia, assenteismo da malattia, richieste di cambio dipartimento) riconducibili allo stress dei lavoratori che interagiscono con i Cobot	Lagging

### 6.3. *Imparare*

La dimensione *Imparare* valuta l'abilità di fronteggiare il presente imparando dall'esperienza, considerando successi e fallimenti (Hollnagel, 2019). Il questionario valuta tale abilità per mezzo di diversi aspetti: se l'organizzazione analizza situazioni non pericolose, pericolose o di danno; il momento relativo all'analisi, ovvero se l'analisi è post-danno o se viene effettuata con cadenza regolare, indipendentemente dal concretizzarsi di un evento. Inoltre, analizza che tipologia di evidenza (*lessons learned*) formalizzata per la disseminazione dopo l'analisi, nonché il livello, in termini di numero di dipendenti coinvolti, della disseminazione. Facendo riferimento alla formazione, si valutano le strategie per la disseminazione delle *lessons learned*; se le aziende forniscano una formazione sulla tecnologia o anche sui processi e sui metodi di lavoro toccati dalla tecnologia. Infine, si valutano gli obiettivi specifici perseguiti dalle attività formative.

#### II. Analisi di situazioni non pericolose, pericolose, e di danno

I risultati (Figura 10) mostrano che prevalgono analisi post-danno. Risultano residuali, tra le aziende intervistate, le analisi regolari relative a meccanismi, principi astratti o dinamiche ricorrenti per identificare in modo preventivo dei pericoli.



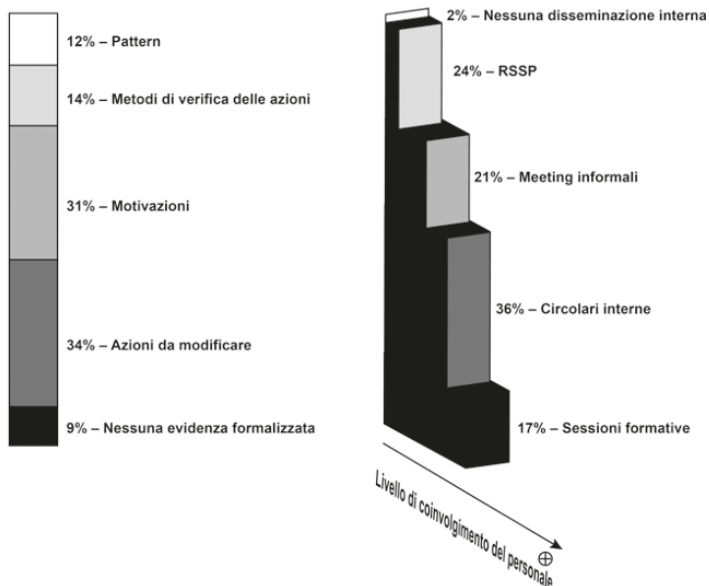
**Figura 10.** Risultati del questionario per la domanda I1.

I2. Evidenze (lessons learned) formalizzate dalle analisi di situazioni di non pericolo, pericolo e danno

La maggior parte delle aziende formalizza azioni da modificare (Figura 17 – barra di sinistra).

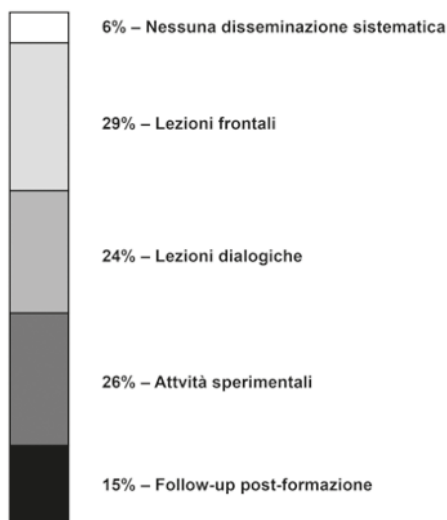
I3. Disseminazione interna delle lessons learned

Internamente prevale la disseminazione di circolari (Figura 11– barra di destra). Il livello di coinvolgimento del personale è sufficientemente elevato, considerando il coinvolgimento del solo RSSP come il livello minimo, e la definizione di sessioni formative come il massimo, essendo queste tipicamente istituite per un largo numero di dipendenti (Figura 17 – barra di destra, asse tridimensionale).



**Figura 11.** Risultati del questionario per le domande I2 (barra di sinistra); I3 (barra di destra).

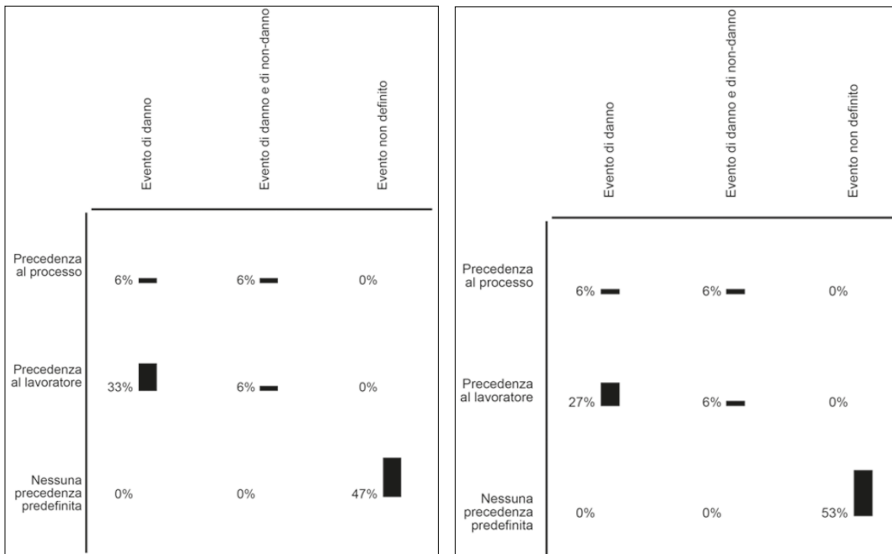
I4. Strategie formative per la disseminazione delle lessons learned  
 Quando le aziende disseminano le *lessons learned* mediante corsi di formazione specifici, prevalgono lezioni frontali (Figura 12).



**Figura 12.** Risultati del questionario per la domanda I4.

## I5 – I6. Formazione

La formazione è valutata considerandone due tipologie: formazione sulla tecnologia, e sui processi e metodi di lavoro (Figura 13). Per ognuno dei grafici riportati di seguito, l'asse delle  $x$  indica in relazione a quale evento venga effettuata la formazione (evento con danno e/o senza danno) e l'asse delle  $y$  indica se, in relazione alle attività di formazione, venga data priorità al processo, alle persone, o non venga data nessuna priorità. Emerge la tendenza a dare precedenza alle persone, e quindi interrompere le attività produttive, in corrispondenza di eventi con danno, sia per quanto riguarda la formazione sulla tecnologia che la formazione sui processi e sui metodi di lavoro.



**Figura 13.** Risultati del questionario per le domande I5 (formazione sulla tecnologia – in alto) e I6 (formazione sui processi e sui metodi di lavoro – in basso).

### I7. Obiettivi della formazione

La maggior parte delle aziende eroga la formazione con un obiettivo specifico (solo il 7% delle aziende non ha nessun obiettivo specifico). L'obiettivo più ricorrente è quello di rendere i lavoratori abili ad utilizzare i Cobot in relazione ad attività lavorative specifiche. Gli eventi imprevisti vengono presi in considerazione, seppur raramente, nei contenuti formativi (Figura 14).

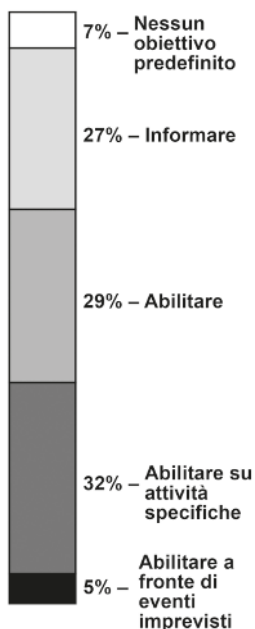


Figura 14. Risultati del questionario per la domanda I7.

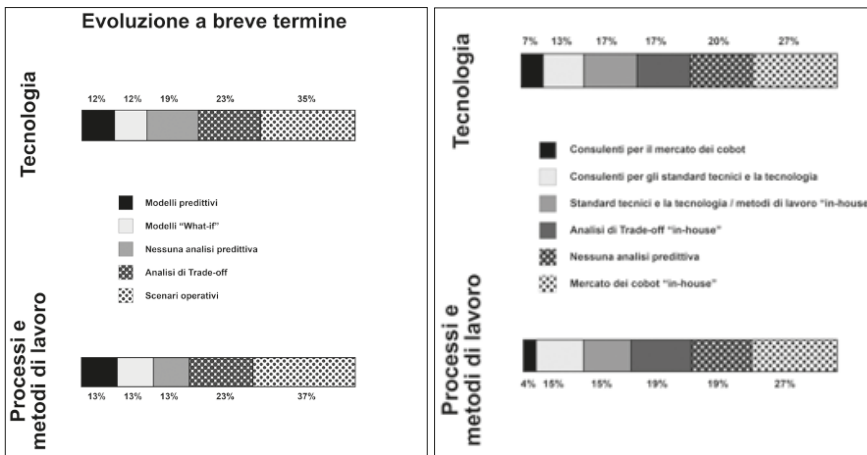
### 6.4. Anticipare

Il questionario valuta l'abilità di Anticipare rilevando la presenza di analisi predittive per anticipare due evoluzioni: l'evoluzione tecnologica dei Cobot, e l'evoluzione dei processi e metodi di lavoro connessi. Entrambe le evoluzioni sono considerate facendo riferimento ad un orizzonte temporale di breve e di lungo termine. In entrambi i casi, l'evoluzione di breve termine può prevedere l'identificazione di scenari operativi, lo sviluppo di modelli predittivi, modelli "what-if", ad

esempio simulazioni, e/o analisi di *trade-off*, come analisi costi–benefici e analisi *SWOT* (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats* – vale a dire Punti di forza, di debolezza, opportunità e minacce). Le analisi di lungo termine, ad esempio, prevedono il monitoraggio di standard tecnici e dell’evoluzione del mercato dei Cobot. In tale sede, alle aziende è stato anche richiesto se le analisi fossero effettuate internamente (“*in-house*”) o se venissero esternalizzate.

#### A1 – A4. Analisi predittive

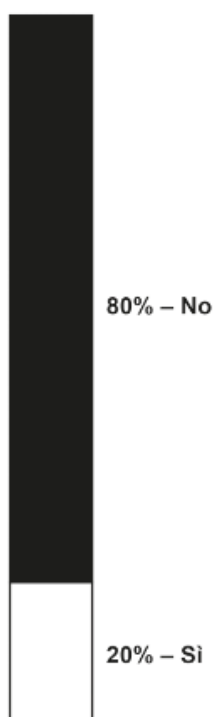
I risultati (Figura 15) mostrano che, in termini di analisi predittive, le aziende adottino strategie analoghe sia per analizzare l’evoluzione tecnologica, che l’evoluzione dei processi e metodi di lavoro. Per le analisi di breve termine vengono perlopiù monitorati gli scenari operativi, mentre per quelle di lungo termine prevalgono analisi “*in-house*” relative all’evoluzione del mercato dei Cobot.



**Figura 15.** Risultati del questionario per le domande A1 e A2 (Evoluzione a breve termine – in alto); A3 e A4 (Evoluzione a lungo termine – in basso).

### A5. Risorse supplementari

Prevedere risorse supplementari significa stanziare più risorse del necessario per fronteggiare eventi inattesi che possono avere un impatto significativo sulla SSL. Esempi ne sono l'implementazione di gruppi di continuità per evitare interruzioni impreviste e potenzialmente pericolose delle apparecchiature, e lo stanziamento di Dispositivi per la Protezione Individuale (DPI) in numero maggiore rispetto a quanto strettamente previsto per legge. Solo il 20% delle aziende intervistate stanziava tale surplus (Figura 16). Interessante notare come alcune organizzazioni forniscano meccanismi aggiuntivi di fermo macchina, non richiesti per legge o dagli standard tecnici, al fine di tutelare la SSL.



**Figura 16.** Risultati del questionario per la domanda A7.



## **7. Ulteriori considerazioni emerse dall'analisi dei potenziali sistemici**

La compilazione del questionario guidata dai tutor di progetto, oltre a verificare la consistenza delle risposte fornite dalle aziende e guidare nella comprensione dei contenuti, ha permesso di comprendere a fondo alcune tematiche che caratterizzano da vicino l'attuale panorama industriale. La compilazione guidata, infatti, si è rivelata un momento di discussione costruttivo, che ha portato alla formalizzazione di ulteriori risultati ed evidenze. Di seguito, per ogni potenziale sistemico del RAG, vengono riportate le buone pratiche emerse, nonché aspetti critici ed osservazioni generali.

### *7.1. Rispondere*

I produttori di Cobot solitamente forniscono una lista completa di eventi critici per la SSL. Per i produttori di soluzioni integrate, monitorare le operazioni dei Cobot è parte integrante dei contratti stipulati con le aziende, dal momento che sono loro stessi responsabili della sicurezza delle macchine prodotte e vendute. Tali liste includono generalmente le modalità di guasto e gli eventi inattesi che possono coinvolgere i Cobot. Tuttavia, alcuni elementi vengono ancora trascurati o sottostimati, come gli arresti di sicurezza e la gestione dei parametri di produzione non funzionanti. Alcune aziende, che hanno esplicitamente dichiarato di registrare tali parametri, hanno riferito di averne beneficiato sia in termini di produttività che di sicurezza. Questo risultato è in linea con il paradigma di RE. Di fatto, in termini di RE la gestione dinamica del rischio in risposta alle condizioni mutevoli vuole facilitare sia la gestione dell'efficienza che della sicurezza, nonché i conseguenti compromessi tra i due aspetti. Indagando la reattività, è emerso che non esiste un'esatta tracciabilità dei tempi di risposta agli eventi, soprattutto in assenza di strumenti informatici dedicati. In questi casi, si tende a definire un tempo massimo di risposta, scelta demandata alla discrezione del dipartimento di sicurezza, e così, i valori relativi alla durata effettiva, non vengono tracciati. Testimonianze di diverse aziende confermano la presenza di

un approccio CAPA (*Corrective Action, Preventive Action*), con analisi di *follow-up* dopo il verificarsi di eventi critici per la SSL. I sistemi CAPA eseguono una registrazione autonoma degli eventi per attivare un'indagine, al fine di giungere alle cause radice e mettere in atto azioni risolutive. Sebbene sia radicato nella gestione tradizionale della sicurezza, l'approccio CAPA pone l'utente di fronte a tematiche di apprendimento e anticipazione innovative, sotto forma di azioni preventive, tipiche del paradigma di RE.

### 7.2. *Monitorare*

Essendo il Cobot percepito come una tecnologia intrinsecamente sicura, spesso le aziende non monitorano certi indicatori, come la distanza effettiva tra l'uomo e la macchina. Nei sistemi dove è consentito un certo grado di avvicinamento tra i soggetti interagenti, i produttori di Cobot sono i principali responsabili della definizione dei meccanismi di sicurezza, al fine di evitare la creazione di soluzioni tecno-centriche che, concentrandosi poco sull'analisi dei compiti e sul cambiamento delle condizioni di processo, possono portare a contatti pericolosi o involontari. Dalle testimonianze, emergono poi soluzioni tecnologiche innovative, come nuove modalità di monitoraggio di soluzioni SSM, basate su scanner laser rapidi per monitorare il perimetro di azione del Cobot e innescare un rallentamento progressivo nei casi di condivisione degli spazi di lavoro. Tale monitoraggio si basa sull'equilibrio tra efficienza e sicurezza, sebbene non sia direttamente ispirato ad un approccio RE in materia di SSL. Tuttavia, dimostra come la RE sia in linea con i cambiamenti fisici ed organizzativi dei moderni sistemi di lavoro e possa, di conseguenza, apportare significativi vantaggi. I parametri attribuibili alla generazione del rischio elettrico vengono spesso monitorati con fini di sostenibilità e manutenzione predittiva. Alcune aziende tengono traccia di perdite elettriche o di assorbimenti eccessivi per garantire un impatto ambientale positivo, o per intercettare necessità di interventi manutentivi. Il rischio termico viene perlopiù monitorato con finalità diverse dalla SSL degli operatori, ma dati reali dimostrano come la misurazione di tali parametri costituisca un'opportunità estendibile anche a tematiche di sicurezza. Rimanendo in ambito termico, molte aziende

hanno affermato di condurre approfondite indagini termografiche. Le aziende sottovalutano il rischio di rumore associato ai Cobot, sottolineano che le macchine vengono generalmente progettate per emettere bassi dB. Nel caso emergesse il sospetto di livelli di dB più elevati, si tende a monitorare il rumore durante le prime fasi della messa in servizio dei Cobot. Il rischio di vibrazione, così come quello di radiazione, è considerato quasi sempre un rischio di processo, non direttamente derivante dal Cobot, quanto più da altri elementi dell'ambiente di lavoro. Il rischio chimico di solito non viene monitorato. Tuttavia, alcune aziende hanno riconosciuto tale lacuna, affermando che alcuni elementi (come le batterie degli AMR) richiedono una gestione del rischio specifica, e che in generale i Cobot potrebbero disperdere agenti pericolosi in zone di lavoro condivise. Il rischio ergonomico spesso non viene più monitorato dopo la messa in funzione delle macchine, essendo una tematica fortemente considerata in fase di progettazione. Al limite, viene riconsiderata a fronte di modifiche del processo. Molte aziende, poi, ritengono pressoché impossibile hackerare i Cobot, ignorando del tutto il rischio legato alla cyber-sicurezza. Sebbene molte realtà riconoscano l'esistenza di rischi psicologici, mancano approcci sistematici di analisi. Un'ulteriore credenza condivisa risiede nel fatto che, secondo le aziende, lo stress psicologico dell'operatore che si sente sostituito dalla macchina viene superato se l'operatore è consapevole di essere lui stesso il soggetto che fa funzionare la macchina. Complessivamente, le aziende percepiscono come positivo l'impatto psicologico dei Cobot, riconoscendo come vantaggio maggiore quello di alleggerire il carico dei lavoratori. Bisogna notare, però, come la sostituzione delle persone con i Cobot riduca la capacità di monitoraggio, di allerta e di risposta alle emergenze. Tali capacità sono insite nelle persone e possono venir potenziate grazie ad una formazione *ad hoc*, come sottolineano i principi generali di Industria 4.0 (e come riportato da Golan *et al.*, 2020). Ad esempio, un Cobot che si aggira in un magazzino è inabile a notare se un carico sta perdendo materiale. In tal senso, se le aziende adottano una visione esclusiva della tecnologia, possono perdere la capacità di intervenire in situazioni emergenziali, riducendo il proprio potenziale in termini di resilienza.

### 7.3. *Imparare*

Tendenzialmente le aziende sottolineano che la prevenzione delle situazioni di pericolo va perseguita nelle fasi di progettazione tecnologica, prima della messa in servizio. Per questo motivo, si affidano molto al contributo dei produttori, delegando a questi la responsabilità degli elementi di rischio e ritenendo esaustive le valutazioni fornite loro, sebbene riconoscano che ulteriori soluzioni di monitoraggio digitale, ad esempio dispositivi IoT, possano aumentare il potenziale di resilienza in termini di SSL. Va considerato, però, che numerosi elementi contestuali che caratterizzano e influenzano la gestione del rischio, non possono essere noti a priori ai produttori. Si faccia riferimento, ad esempio, al livello di competenza delle persone, alle interazioni delle macchine con strumenti e materiali, ai sistemi di monitoraggio attivi sui processi, nonché alla vicinanza rispetto ad altri processi. Inoltre, emerge che nella pratica l'attenzione alle tematiche di SSL dopo l'implementazione dei Cobot sia focalizzata sui "quasi incidenti" (*near misses*), e sulle situazioni in cui si riscontrano danni fisici per gli operatori. Tuttavia, la prospettiva di Resilience Engineering (RE) vuole sorpassare le analisi *Lagging* (in ritardo), puntando a creare meccanismi intrinsecamente sicuri grazie alla gestione delle incertezze e grazie a decisioni di compromesso. In tal senso, una concezione *Leading* (in anticipo) può prevenire l'interruzione dei processi, permettendo allo stesso tempo di comprendere meglio le dinamiche di sicurezza, grazie ad una visione trasversale. Tale visione, così come sanciscono gli approcci deliberati di RE per affrontare tematiche di *trade-off*, è risultata quasi del tutto inesplorata da parte delle aziende intervistate. Dal punto di vista delle *lessons learned*, è emerso che molte aziende redigono in appositi manuali le buone pratiche, basandosi sull'esperienza e servendosi della collaborazione attiva dei lavoratori. Anche l'implementazione di nuove procedure e strategie di apprendimento è fortemente orientata agli eventi critici, cioè dipende dall'importanza del danno reale o, al limite, potenziale per il lavoratore. La RE, da questo punto di vista, cerca di spostare l'analisi sul processo, partendo dal presupposto che anticipare pressioni e disturbi, comprendendo le prestazioni del processo, è un modo efficace per prevenire gli eventi indesiderati. Più efficace rispetto al fare affidamento solo ai sistemi di segnalazione tradizionali.

#### 7.4. *Anticipare*

Le aziende hanno spesso riferito di analizzare l'evoluzione della tecnologia valutando la fattibilità di scenari ottimali, ovvero situazioni in cui il Cobot interagisce in modo integrato ed efficace con i sistemi aziendali. Le esigenze intrinseche delle aziende, ad oggi testate da modelli di simulazione che indagano molteplici fattori (come i consumi e i costi della manutenzione per garantire la sostenibilità complessiva dei nuovi progetti), risultano in linea con gli obiettivi della RE. Tuttavia, la difficoltà complessiva di simulare scenari, riproducendo la varietà e la variabilità dei parametri contestuali, indica che la comprensione effettiva dei sistemi complessi può essere dimostrata solo nello specifico contesto applicativo e di utilizzo della tecnologia. Anche in questo caso, le analisi degli utenti finali dipendono fortemente dalle informazioni dei fornitori e produttori di tecnologia, così come dagli integratori e dagli enti normativi. Spesso, i Cobot vengono noleggiati e le società di leasing dovrebbero fornire conoscenze ed informazioni specifiche sulla tecnologia e sulle normative, anche considerando le diverse aree geografiche dei clienti. Molte aziende hanno fatto notare una diversa concezione delle risorse supplementari in termini di SSL: il Cobot non viene equipaggiato di risorse aggiuntive, per il semplice fatto che l'implementazione stessa del Cobot è, a volte, un'azione a favore dell'incremento della sicurezza sul lavoro, dal momento che affianca e alleggerisce le attività umane nei compiti di interazione pericolosi o faticosi. Laddove implementate, le risorse addizionali si possono concretizzare anche in interfacce utente aggiuntive, installate dopo la messa in servizio del Cobot, così come in investimenti specifici per DPI personalizzati non esplicitamente richiesti dalle normative. Questi elementi confermano la tendenza recente nel voler aumentare la SSL, promuovendo l'adattabilità dei Cobot e anticipando a breve termine gli eventi critici (Psarakis *et al.*, 2022).

### **8. Conclusioni emerse dall'analisi dei casi di studio**

Le interviste alle 15 aziende hanno fatto emergere una sostanziale assenza di normative specifiche per le applicazioni dei Cobot. Queste ultime, infatti, rientrano nella frammentazione di diverse norme

tecniche, come standard sulle machine o standard generici sui Robot (e.g., ISO 12100, ISO 12018). Le aziende esprimono in modo evidente la necessità di avere uno standard di sicurezza specifico sui Cobot, in grado di considerare le diverse tipologie di interazione, di funzionalità, e di condizioni ambientali, che incidono fortemente sui rischi (Bi *et al.*, 2021). Si noti che la norma ISO/TS 15066 (ISO (International Organization for Standardization), 2016), spesso citata come standard per i Cobot anche dalle aziende intervistate, è in realtà solo una specifica tecnica, non in grado di modellare realmente la tecnologia. Molti intervistati, infatti, hanno messo in evidenza la limitatezza delle indicazioni pratiche in termini di SSL contenute in tale norma. Di fatto, la ISO/TS 15066 tratta i Cobot come semplici evoluzioni industriali dei Robot, non considerando caratteristiche quali la navigazione mobile (Faccio *et al.*, 2022), dimostrando, cioè, una mancanza di regolamentazione delle nuove funzionalità (Liu *et al.*, 2022). La RE, tra le altre, offre un approccio positivo per coprire i rischi emergenti derivanti dai Cobot con funzionalità multiple. In tal senso, un approccio tradizionale e deterministico del rischio non è in grado di cogliere la coesistenza tra macchine e altre attrezzature o strumenti. Ad esempio, un Cobot che utilizza un laser, una sorgente di radiazione, elettrodi di saldatura e quant'altro, può generare dei rischi specifici per i lavoratori (Berx *et al.*, 2022; Chemweno *et al.*, 2020). Allo stesso modo, quando un AMR maneggia materiali pericolosi, sono necessari sistemi per rilevare cadute e fuoriuscite. Quando un lavoratore viene sostituito da un Cobot, come anticipato nella sezione relativa alle ulteriori considerazioni emerse dall'analisi dei potenziali sistemici, viene a mancare la capacità di monitorare i pericoli. In assenza di tecnologie innovative, infatti, le situazioni rischiose vengono rilevate ed intercettate dalle capacità umane, naturalmente dotate di senso del pericolo. Quando si implementano tecnologie 4.0, l'uomo potrebbe decrementare l'attenzione e la sorveglianza nei confronti di alcune attività o parti del processo produttivo. Evento che, inevitabilmente, determina nuovi rischi, che non risiedono esclusivamente nella macchina o nella tecnologia in sé, ma sono legati alla completa trasformazione delle pratiche di lavoro derivanti dall'innovazione tecnologica. Questo conferma, ancora una volta, la necessità

di servirsi di approcci di RE, dove il RAG rappresenta un valido strumento pratico, in grado di misurare e rilevare le diverse proprietà resilienti che caratterizzano i sistemi dove vengono implementati i Cobot. Tali approcci risultano ancora poco familiari per il panorama aziendale intervistato che, in tal senso, andrebbe adeguatamente formato. Le discipline di RE sono, ad oggi, perlopiù note ed utilizzate in ambiti di trasporto avanzato, come la gestione del traffico aereo (EUROCONTROL, 2009). L'analisi relativa agli indicatori *Lagging* e *Leading* ha rivelato ostacoli nel monitoraggio di elementi che determinano rischi organizzativi e psicologici. La ricerca futura potrebbe anche prevedere la creazione di materiale di supporto per le aziende, al fine di fornire metodi formali per la valutazione di questi particolari rischi. Interessante notare come certe aziende intervistate abbiano da subito agito nelle aree di miglioramento segnalate dal questionario e discusse successivamente con i ricercatori, cogliendone la potenzialità in termini di SSL. Ad esempio, riconsiderando il monitoraggio delle traiettorie del Cobot rispetto alla posizione dei lavoratori. Tale monitoraggio a livello pratico può anche aiutare nell'identificazione di sensori malfunzionanti, problemi di illuminazione e guasti agli attivatori. Altri esempi includono il mancato monitoraggio della presa del Cobot, ritenuto un pericolo meccanico potenzialmente basso, se non si considerano le caratteristiche e la complessità dell'ambiente circostante. Infatti, una mancata presa di un pezzo potrebbe danneggiare altri macchinari, o il pezzo potrebbe cadere costringendo l'operatore a recuperarlo in luoghi difficili da raggiungere e non sicuri. In termini di formazione, poi, vanno considerati tutti gli aspetti riconducibili alle tematiche di Safety-II. Rispondere unicamente ai requisiti di legge non è sufficiente per superare le criticità identificate.

Si noti che, nelle interviste raccolte, le aziende mostrano una generale accettazione dei Cobot, anche legata alle circostanze favorevoli. Le aziende intervistate, e che ad oggi investono nei Cobot, sono generalmente solide a livello finanziario, e non hanno generato ingenti licenziamenti, implementando i Cobot solo per sostituire i dipendenti nei compiti ripetitivi, noiosi e pericolosi. Inoltre, tali aziende risultano tecnologicamente avanzate e spesso hanno mostrato accesso a capacità di monitoraggio superiori allo standard, come

testimoniato dalla presenza di analisi termografiche per identificare le esigenze di manutenzione. Ciò non resterà necessariamente immutato quando tale tecnologia troverà una più ampia accettazione ed applicazione industriale. Ci si aspetta che, a fronte di una diffusione dei Cobot più capillare, la somministrazione dello stesso questionario ad un campione più ampio, genererebbe senz'altro risultati più eterogenei.



## STRUMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI DI MITIGAZIONE PER LA COLLABORAZIONE UOMO-ROBOT

### FOCUS GERMANIA

#### 1. Quadro legislativo

Il quadro normativo relativo ai temi della robotica, e ancor più alla collaborazione uomo-robot, è molto limitato, frammentario, e certamente incompleto. Basti pensare al fatto che non esiste ad oggi una definizione normativa di cosa sia un robot.

Alcuni elementi utili in una prospettiva definitoria si possono, però, ricavare dalla Risoluzione del Parlamento Europeo del 16 febbraio 2017, rubricata “Raccomandazioni alla Commissione concernenti norme di diritto civile sulla robotica”. Nel merito, le caratteristiche essenziali che, secondo tale documento, contraddistinguono un robot dotato di intelligenza artificiale sono l’assenza di vita biologica, umana od animale, senza per questo escludere una stretta interrelazione tra macchina e uomo (*abiologicità*); la presenza di un supporto fisico, nel senso che non deve trattarsi di un mero programma, per quanto intelligente come nel caso dei cosiddetti bot (*fisicità*); un’autonoma capacità di analisi e comprensione dei dati, alimentata da sensori e/o mediante lo scambio di informazioni con l’ambiente (*percezione*); la capacità di adeguare il proprio comportamento e le proprie azioni all’ambiente circostante e agli stimoli percepiti, una volta mediati attraverso una qualche rielaborazione (*cognizione*). Ancora, la capacità di apprendimento autonomo

attraverso l'esperienza e l'interazione (*autoapprendimento*) (cfr. punto 1 della Risoluzione).

Questa stessa Risoluzione propone anche alcune specifiche soluzioni regolative. Essa contempla l'istituzione di una "Agenzia europea per la robotica e l'intelligenza artificiale" (v. punto n. 16 della Risoluzione cit.), incaricata di stabilire i criteri per la classificazione dei robot, e individua alcuni criteri regolativi in materia di responsabilità civile (v. punti da n. 49 a n. 59 della Risoluzione cit.). Per ciascun robot censito ed identificato, si propone infatti di introdurre l'obbligo di una sorta di scatola nera che registri la "catena" decisionale (percezione, cognizione, decisione, azione), così da consentire una verifica *ex post* dei processi automatizzati.

Ancora, in questo stesso testo il Parlamento Europeo propone l'istituzione di una forma di assicurazione obbligatoria a carico di produttori e utilizzatori, sul modello di quella per le autovetture, per far fronte alle responsabilità che possono discendere da azioni o errori del robot, nonché — in aggiunta — la creazione di un fondo di garanzia per risarcire eventuali danni o incidenti non coperti dal regime di assicurazione obbligatoria (alimentato da un contributo *à tantum* all'immissione sul mercato del robot ovvero con versamenti periodici durante il periodo di impiego a carico di chi ne fa uso).

Infine, si propone l'individuazione preventiva di una persona fisica che agirà quale legale rappresentante e responsabile finale per ciascun robot immesso sul mercato, oltre all'istituzione di un pubblico registro con la finalità di rendere ciascuna macchina immediatamente associabile alla persona fisica che ne risponde.

Se si considera poi il caso specifico della robotica collaborativa, si può fare riferimento alla normativa ISO 8373, in cui tale tipologia di robot è definita come "robot designed for direct interaction with a human".

Da un punto di vista generale, molti robot vengono ripartiti su tre livelli: robot di primo livello, che vengono programmati per svolgere operazioni ripetitive senza alcuna variazione e con un alto grado di precisione; robot di secondo livello, molto più flessibili dei precedenti e dotati di sistemi che permettono loro di identificare l'oggetto e apportare variazioni di gestione e di traiettoria; robot di terzo livello, che per mezzo di reti neurali sono in grado di prendere decisioni in maniera autonoma, non previste dal costruttore.

Tra robot e essere umano, pertanto, esistono una molteplicità di livelli di interazione possibile. Si può avere una automazione completa, caratterizzata dalla separazione delle aree di lavoro di uomo e macchina, mediante utilizzo di recinzioni protettive, ovvero forme di interazione più consistenti. Da un punto di vista normativo, è utile distinguere tra coesistenza, cooperazione e collaborazione tra uomo e robot.

Nella coesistenza, uomo e robot lavorano fianco a fianco senza dispositivi di separazione dei rispettivi spazi di lavoro, come nel caso delle recinzioni protettive. In tali circostanze, la sicurezza è garantita ad esempio da limitazioni nei percorsi dei robot, o da limitazioni nell'energia o forza impiegata, o ancora mediante l'utilizzo di sensori o di sistemi software in grado di riconoscere se una persona entra nell'area di lavoro del robot e, qualora ciò avvenga, di far arrestare immediatamente quest'ultimo per escludere qualsiasi pericolo.

Nei casi della cooperazione, si fa riferimento ancora ad un lavoro comune di persona e robot e a un'area di lavoro altrettanto comune, ma non vi è un'interazione diretta, se non raramente, ad esempio perché, in lavori sequenziali, essere umano e robot svolgono attività differenti nell'ambito di un unico processo e in momenti diversi.

La collaborazione richiede invece di norma la gestione simultanea dello stesso componente. In questo caso, il robot e la persona, oltre a condividere lo spazio di lavoro, interagiscono attivamente e il contatto è esplicitamente richiesto dal processo. All'aumentare del grado di collaborazione inevitabilmente crescono anche i requisiti di sicurezza previsti per l'introduzione di tali tecnologie nei luoghi di lavoro.

A livello europeo, la Direttiva Macchine (2006/42/CE) ha definito gli standard per la tutela della sicurezza nell'ambito della cooperazione uomo-robot. Formalmente, i requisiti della si applicano a tutti i tipi di sistemi robotici. L'UE ha infatti regolamentato l'immissione sul mercato di qualsiasi macchinario, definendone i requisiti per la salute e sicurezza.

Se si osserva la normativa di recepimento tedesca, utilizzata come oggetto del presente focus, si può fare riferimento alla *Produktsicherheitsgesetz*. In tale testo, le tecnologie introdotte devono essere dotate di una dichiarazione di conformità e di un marchio CE

prima di essere immesse nel mercato europeo, oltre ad una valutazione dei rischi connessi con il loro utilizzo e alle istruzioni per l'uso. Poiché il robot in sé può essere privo di una specifica destinazione d'uso, è definito come una macchina 'incompleta'. Esso deve essere invece corredato di una "dichiarazione di incorporazione", che emette il produttore e che costituisce l'equivalente della dichiarazione di conformità. Sarà infine il produttore della macchina 'completa' a definire la destinazione d'uso del robot, assumendosi la responsabilità per la conformità con la Direttiva Macchine.

## **2. La normativa ISO**

La ISO 12100 delinea il quadro generale e i principi di base per la valutazione del rischio, oltre a supportare il progettista nell'identificazione dei pericoli di base. La valutazione, eseguita a partire dall'analisi del rischio, determina i requisiti di sicurezza per l'intero sistema, tenendo conto delle norme e delle leggi applicabili, e indica le misure di riduzione dei rischi. È poi prevista una valutazione con un Performance Level (PL) o un Safety Integrity Level (SIL) in relazione alla probabilità di accadimento e all'entità del danno. La marcatura CE può essere effettuata solo se la valutazione finale dei rischi conferma che è stato raggiunto il livello di sicurezza richiesto.

Con particolare riferimento all'ambito della cooperazione uomo-robot, è necessario considerare non solo l'uso previsto, ma anche gli usi 'impropri' prevedibili per quel che concerne uno specifico robot collaborativo, in modo da valutarne i pericoli connessi. Questi sono attualmente definiti in ISO/TS 15066 – Robot e Dispositivi Robotici – Robot collaborativi, in cui sono specificate le condizioni quadro necessarie all'attività collaborativa.

Durante quest'ultima, è ovviamente fondamentale che i possibili danni per la persona provenienti da interazioni non previste, e dannose, con il robot collaborativo siano ridotti al minimo. A questo proposito, vengono differenziate le tipologie di collaborazione e le tutele necessarie per i singoli pericoli. Oltre ISO/TS 15066, norme fondamentali al riguardo sono ISO 10218-1 (Robotica – Requisiti di sicurezza per i sistemi robotizzati in ambiente industriale – Robot) e ISO

ISO 10218-2 (Robotica – Requisiti di sicurezza per i sistemi robotizzati in ambiente industriale – Sistemi robotizzati e loro integrazione). Qui, vengono chiaramente e qualitativamente definiti i requisiti di salute e sicurezza applicabili a seconda della tecnologia utilizzata in termini di tipo ed esecuzione, oltre ad essere indicate le misure per il loro raggiungimento.

Con riferimento ai movimenti del robot ed ai relativi spazi, la norma ISO 10218-2 (paragrafo 3) distingue tra *maximum space* (lo spazio che può essere percorso dalle parti mobili del robot, dall'end-effector e dal pezzo in lavorazione), *safeguarded space* (lo spazio definito dai dispositivi di protezione perimetrale), *restricted space* (porzione di spazio ristretto da dispositivi specifici), *operating space* (porzione dello spazio ristretto effettivamente utilizzato durante l'esecuzione di tutti i movimenti comandati).

Come specificato in questo stesso testo normativo, la distinzione tra questi spazi di tutela è meno rigida di quel che potrebbe apparire: è infatti possibile che i sistemi collaborativi richiedano uno spazio operativo anche molto consistente che, se ristretto attraverso protezioni perimetrali per la creazione di uno spazio protetto (*safeguarded space*), possono implicare la chiusura di spazi inutilmente grandi; per ovviare a questi esiti è tuttavia possibile utilizzare dispositivi integrati o esterni che limitano il movimento del sistema robotico (con la creazione di un *restricted space*).

I mezzi con cui è possibile limitare i movimenti, e creare quindi livelli differenti di restrizioni e spazi protetti, possono essere interni al robot, esterni o misti. Oltre a ciò, i cosiddetti "*limiting devices*" possono essere ripartiti in due categorie: "*mechanical limiting devices*" e "*non-mechanical limiting devices*". I primi impediscono al robot di spingersi al di là di un limite prefissato. I secondi invece prevedono una funzione di stop attraverso il sistema di controllo del robot.

In sintesi, alcuni degli aspetti più rilevanti della normativa europea sulla salute e sicurezza nella collaborazione uomo-robot sono:

- la zona di movimento del robot deve essere limitata per mezzo di sistemi hardware o software;

- possono essere utilizzati sistemi alternativi che devono in ogni caso soddisfare determinati e specifici requisiti tecnici, tranne nel caso in cui la valutazione dei rischi giustifichi criteri differenti;
- nella valutazione degli spazi di arresto del robot si deve considerare la massima velocità di movimento, tranne nel caso in cui la velocità sia limitata da un sistema di monitoraggio;
- quando vengono utilizzati dispositivi di arresto non meccanici, deve essere tenuto in considerazione l'effettivo punto di arresto dei robot, considerando il carico reale;
- come limitazione del movimento del robot possono essere utilizzate le protezioni perimetrali, purché non possano essere deformate in modo pericoloso in caso di mancato arresto del robot; se ciò non è vero le protezioni perimetrali devono essere esterne alla zona di movimento del robot;
- l'asse primario, ovvero quello con lo spostamento maggiore, dev'essere limitato nei movimenti per mezzo di dispositivi meccanici la cui posizione deve essere regolabile;
- il secondo e terzo asse (ovvero quelli con secondo e terzo maggiore spostamento) devono poter essere limitati mediante dispositivi meccanici o non meccanici la cui posizione deve essere regolabile;
- i dispositivi di arresto meccanico devono essere in grado di fermare il movimento del robot con il carico nominale, alla massima velocità ed alla minima e massima estensione;
- la prova dei dispositivi di arresto meccanico dev'essere effettuata senza l'ausilio di sistemi di arresto assistito;
- dispositivi di arresto non meccanico possono essere utilizzati solamente se garantiscono lo stesso livello di sicurezza dei dispositivi di arresto meccanico;
- esempi di dispositivi di arresto non meccanico sono fermi posizionati elettricamente, pneumaticamente o idraulicamente, barriere fotoelettriche, laser scanner.

### **3. L'interazione e la collaborazione uomo-robot**

I tipi di interazione uomo-robot individuati dalla normativa europea sono i seguenti:

a) *Arresto monitorato di sicurezza*

In questo caso, non si tratta di una vera e propria collaborazione. Con questa misura, infatti, il robot viene fermato in sicurezza, attraverso un sistema di sorveglianza, quando una persona accede allo spazio di collaborazione. Il robot riprende poi le sue attività soltanto una volta che l'essere umano ha abbandonato lo spazio condiviso. Pertanto, fino a quando è percepita la presenza umana, il robot mantiene una posizione di sicurezza. L'interazione è unilateralmente attuata dalla persona, mentre non è previsto che il robot lavori in forma "collaborativa".

b) *Guida manuale*

Con la guida manuale, il controllo diretto del robot consente di evitare movimenti imprevisti del robot stesso, garantendo la sicurezza umana nell'intera area di lavoro. La persona utilizza un dispositivo manuale per trasmettere i comandi di movimento al robot, dotato di un arresto di emergenza e di un dispositivo di 'approvazione'. Quest'ultimo aumenta la sicurezza poiché il pulsante di approvazione dev'essere tenuto premuto durante il funzionamento affinché il robot si sposti nella direzione desiderata. La sicurezza è pertanto — letteralmente — nelle mani dell'essere umano: c'è l'elemento del consenso o della volontà della persona, secondo ISO 12100. Il robot si muove su una traiettoria e ad una velocità precedentemente programmata — determinate in anticipo in base alla valutazione del rischio — e si ferma subito dopo che l'operatore ha rilasciato il pulsante o qualsiasi altro strumento sia previsto per il controllo del robot.

c) *Monitoraggio di velocità e distanza*

In questa modalità di funzionamento, il sistema robotico e l'operatore possono muoversi contemporaneamente nello spazio di collaborazione. La tutela delle persone si realizza attraverso la garanzia permanente di una distanza di sicurezza tra i due attori: è tale distanza di sicurezza a determinare la velocità del robot. Il monitoraggio di velocità e distanza viene spesso utilizzato in applicazioni che non richiedono una stretta collaborazione con l'uomo.

#### d) *Limitazione di forza e potenza*

In questo caso, il contatto fisico fra essere umano e robot può avvenire accidentalmente o intenzionalmente. Il contatto pianificato fa parte dell'esecuzione del compito, mentre il contatto indesiderato deriva, ad esempio, da un movimento imprevisto, nonché talvolta da messaggi di errore che possono portare a collisioni. In tali modelli di interazione la potenza e la forza dei robot collaborativi non può superare valori limite ben definiti — specificati nella valutazione del rischio — al fine di ridurre il più possibile i pericoli in caso di contatto con l'uomo. Il rispetto dei valori limite è garantito, ad esempio, mediante l'uso di sensori interni. In questa categoria di interazione uomo-robot, si effettua una distinzione tra contatti quasi-statici e transitori. Nel contatto quasi-statico, una porzione del corpo umano viene schiacciata tra una parte mobile del robot e una parte fissa del sistema. In quello che è noto come contatto transitorio, una parte del corpo umano non è intrappolata, ma può svincolarsi a contatto con una parte mobile del robot. A questo proposito è importante fare riferimento all'allegato A di ISO/TR 15066, che definisce i valori limite biomeccanici per il contatto quasi statico e transitorio in modo che non si giunga a traumi durante la collaborazione, in relazione a diversi punti del corpo umano, identificando così anche i possibili gradi di lesione.

#### **4. L'evoluzione della normativa tedesca: una sintesi**

In generale, la normativa tedesca in materia di SSL è contenuta nella *Arbeitsschutzgesetz*, la “legge sulla tutela del lavoro” del 1996, che nasce come normativa di recepimento della corrispondente direttiva dell'Unione Europea. Uno degli aspetti fondamentali per la prevenzione dei rischi è la “valutazione dei rischi”, che comprende non solo i rischi fisici, chimici o biologici, ma anche tutti quelli riferibili ai singoli processi di produzione e di lavoro in generale o anche all'insufficiente qualificazione e formazione degli addetti. Emerge, in sostanza, un ruolo centrale del datore di lavoro, che dovrà assicurare una regolare e costante formazione dei dipendenti di modo che ognuno di loro abbia la capacità di svolgere i propri compiti e raggiungere gli obiettivi richiesti, il tutto in uno stato di totale sicurezza. In altri termini l'azienda dovrà realizzare



condizioni di lavoro sicure, umane e dignitose, e la valutazione dei rischi aziendali dovrà essere stimata di anno in anno, a seconda dei processi evolutivi e di eventuali cambiamenti verificatisi all'interno dell'attività, anche con riferimento all'evoluzione tecnica della produzione.

Il dipendente sarà, dal canto suo, obbligato a segnalare ogni situazione di carenza gestionale ed organizzativa, evitando ogni tipologia di rischio e pericolo nell'ambiente lavorativo. Al dipendente è infatti riconducibile la responsabilità per i propri compiti lavorativi: tale responsabilità emerge con grande chiarezza, se si vuole un esempio concreto, nel Codice etico di Porsche, in cui si legge (p. 49) non solo che il Gruppo Porsche Holding prende sul serio la propria responsabilità nei confronti della sicurezza e della salute dei dipendenti conformemente alle norme nazionali e alle regole interne in materia, tutelando e promuovendo la salute, l'efficienza e la soddisfazione professionale dei dipendenti, migliorando costantemente le condizioni di lavoro, e adottando una vasta gamma di misure di prevenzione e promozione della salute. In esso si legge altresì che è richiesto un contributo rilevante in questa prospettiva al singolo lavoratore, declinato sotto forma di una formula di impegno:

*IL MIO CONTRIBUTO – Mi attengo alle norme sulla tutela della salute e della sicurezza sul lavoro. Non metto mai a rischio la salute e la sicurezza dei miei colleghi e partner commerciali. Nei limiti delle mie facoltà, prendo tutte le misure adeguate e prescritte dalla legge per fare in modo che la mia postazione di lavoro permetta sempre di lavorare in piena sicurezza. Adottando volontariamente le misure di prevenzione e promozione della salute contribuisco attivamente a proteggere e migliorare il mio stato di salute.*

In generale, dunque, i lavoratori devono assumere atteggiamenti collaborativi e diligenti verso i corsi di formazione in materia di sicurezza e tutela della salute predisposti all'interno del proprio contesto lavorativo, avendo la più ampia libertà di avanzare proposte, idee e pareri in proposito.

Se consideriamo il tema della SSL nella legislazione tedesca è importante sottolineare come tale materia sia contraddistinta da un doppio

livello: il sistema di norme e regole rilevanti, infatti, disciplina l'operatività sia degli organismi di SSL a livello statale (organizzati secondo il sistema federale), sia l'azione di organismi privati e autonomi. L'amministrazione statale emana leggi federali, regolamenti e disposizioni, mentre gli organismi di assicurazione si occupano di dettare regole interne di prevenzione contro gli infortuni, che devono essere comunque vagliate e autorizzate dall'ente federale.

Relativamente all'intelligenza artificiale, invece, un primo intervento da considerare è la riforma del 2016, avviata nel contesto della legge di modernizzazione dei procedimenti fiscali (*Gesetz zur Modernisierung des Besteuerungs-verfahrens*), che ha portato alla modifica della legge sul procedimento amministrativo, del codice delle imposte e del libro X del codice di previdenza sociale, introducendo la possibilità di ricorrere a procedimenti amministrativi completamente automatizzati. Il legislatore federale ha previsto che il ricorso a procedimenti completamente automatizzati sia possibile solo laddove vi sia un'espressa previsione di legge e nel caso in cui il procedimento sia vincolato. È poi previsto che l'amministrazione tenga conto delle informazioni pertinenti fornite dalla persona interessata che non sarebbero prese in considerazione dalla procedura automatica.

A partire dall'anno seguente (2017), la necessità di regolare l'uso dell'intelligenza artificiale ha assunto un rilievo crescente. In quell'anno, è stata infatti istituita una commissione parlamentare di inchiesta sul tema "Intelligenza artificiale – Responsabilità sociale e potenziale economico, sociale ed ecologico", incaricata di avviare una riflessione sui problemi relativi all'intelligenza artificiale, individuando risposte sul piano tecnico, giuridico ed etico. Nella medesima prospettiva va considerato anche il documento recante la strategia del governo federale in tema di intelligenza artificiale, nel quale è stata prevista l'istituzione della *Agentur für Sprunginnovationen*: tale agenzia è stata concepita come una società di capitali a controllo statale con il compito di finanziare le innovazioni sul piano tecnologico in grado di avere un rilevante (*disruptive*) impatto sul mercato.

Con riferimento alle misure di regolazione per la gestione dei rischi riconducibili alle tecnologie di intelligenza artificiale, la strategia federale pare muoversi prevalentemente nell'ambito di un modello di

autoregolazione guidata, lasciando i profili di regolazione coattiva sullo sfondo. Misure più specifiche sono previste, ad esempio, nell'ambito delle politiche relative al lavoro: il governo federale propone l'istituzione di osservatori sull'intelligenza artificiale, incaricati di monitorare l'introduzione di tecnologie ad essa connesse e condurre valutazioni di impatto di tali tecnologie rispetto al mondo del lavoro.

Un tema fondamentale su cui si è soffermato il dibattito tedesco è la necessità di regolare i profili di responsabilità derivanti da danni cagionati dalle tecnologie di intelligenza artificiale. Il tema della responsabilità solleva non poche problematiche, giacché nell'ambito di processi decisionali poco trasparenti non è possibile delineare con certezza i profili di responsabilità attribuibili a chi ha progettato il sistema di intelligenza artificiale.

L'analisi dello stato dell'arte e delle prospettive regolative nell'ordinamento tedesco restituisce comunque un quadro piuttosto articolato e, allo stesso tempo, indefinito: la regolazione dell'intelligenza artificiale in Germania è ancora in divenire, e rispetto a precedenti interventi normativi aventi carattere episodico, l'ordinamento tedesco sembra oggi avviato a porre il tema dell'intelligenza artificiale al centro della propria attività di regolazione. A tal proposito, probabilmente, il legislatore acquisirà un ruolo sempre più rilevante negli anni a venire, anche se difficoltà di origine tecnico e la necessaria omogeneizzazione con una regolazione di carattere transnazionale possono imporre il ricorso ad un bilanciamento con strumenti di *soft law*.

## **5. Strumenti di mitigazione: progetti innovativi e buone pratiche**

Uno degli aspetti di maggiore interesse da un punto di vista giuridico è certamente quello che collega responsabilità e sicurezza. Il tema assume un ruolo centrale nel diritto lavoristico per effetto della diffusione crescente nei luoghi di lavoro dei cosiddetti Cobot, ovvero "macchine" capaci di apprendere nella e dalla interazione con l'uomo, realizzati per coordinare i propri movimenti con quelli dei lavoratori umani e destinati ad interagire con le persone senza barriere. Non a caso, negli ultimi anni, proprio per favorire la diffusione di questi nuovi prototipi, l'industria Robotica è impegnata nella enunciazione di standard nazionali ed internazionali di sicurezza.

La Risoluzione del Parlamento Europeo citata in precedenza (“Raccomandazioni alla Commissione concernenti norme di diritto civile sulla Robotica”, 16 febbraio 2017) non soddisfa pienamente i giuslavoristi perché si occupa di profili riferibili al diritto civile. Tuttavia, in ambito giuslavoristico, il tema della responsabilità del produttore sembra possa restare sullo sfondo, dato che l’impiego di Robot potenziati da intelligenza artificiale obbligherebbe contrattualmente l’imprenditore ad adottare ogni misura che, secondo tecnica, risulti necessaria per tutelare “l’integrità fisica e la personalità morale” (per rifarsi alla fattispecie codicistica italiana contenuta nell’art. 2087 c.c.) dei propri lavoratori.

Accanto alla legislazione, e in generale all’attività regolativa, l’osservazione della realtà tedesca è interessante per la presenza di progetti e buone pratiche, relative all’introduzione della robotica collaborativa e dell’intelligenza artificiale nei luoghi di lavoro.

Come si vedrà dalla descrizione di alcuni di tali progetti, elemento cruciale per il successo di questa innovazione tecnologica e per la tutela della salute e della sicurezza è l’attivazione di efficaci percorsi di formazione.

L’analisi delle best practice considerate fa emergere come un aspetto fondamentale sia anzitutto aumentare la consapevolezza sul tema della Human Robot Collaboration (HRC), riducendo così la paura e creare la necessaria accettazione. A ciò deve abbinarsi l’approfondimento di tematiche specifiche riguardanti la sicurezza sul lavoro, anche mediante strumenti di simulazione; quest’ultima si è dimostrata molto utile tanto nella progettazione e nell’organizzazione della produzione, quanto nella formazione stessa.

Le pratiche descritte non sono certamente un campione rappresentativo delle pratiche di mitigazione dei rischi per la salute e la sicurezza nel rapporto uomo–robot all’interno del mondo lavorativo tedesco. Esse tuttavia rappresentano alcuni esperimenti avanzati adottati nelle aziende tedesche, nella maggior parte dei casi nell’ambito di progetti finanziati dai ministeri (in special modo dal Ministero federale per l’Istruzione e la Ricerca – BMBF). Quest’ultimo ha infatti avviato una rilevante linea di finanziamento per quanto riguarda la ricerca e la sperimentazione nel rapporto uomo–robot, all’interno del programma

*“Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen”*  
(“Innovazioni per la produzione, i servizi e il lavoro di domani”).

Dati i fini dell'indagine, la selezione delle buone pratiche è stata focalizzata sui profili di SSL nel rapporto uomo-robot, con particolare attenzione agli aspetti più attinenti all'ambito giuridico e giurisprudenziale. A tal proposito, un'attenzione di primaria è stata data a:

1. percorsi formativi innovativi adottati in ambito tedesco per istruire il personale ad un rapporto corretto (sicuro e efficiente) con i robot;
2. sviluppi nella contrattazione aziendale e nel rapporto tra il management e i rappresentanti dei lavoratori sempre in riferimento alla collaborazione uomo-robot.

#### *5.1. Best Practice – Progetto KoMPI*

*Ambito: Cogestione all'interno dell'azienda per l'introduzione di sistemi di HRC.*

L'idea di fondo portata avanti nel progetto KoMPI è che per le aziende sia importante formare tempestivamente i propri consigli di fabbrica (*Betriebsrat*) su quel che concerne la HRC. Essi possono infatti fornire un valido supporto durante l'introduzione della HRC, soprattutto in riferimento all'accettazione.

Lo sviluppo, la progettazione e l'introduzione di soluzioni innovative per l'assemblaggio di merci complesse pongono grandi sfide per aziende, dipendenti e rappresentanze. A tal proposito, i dipendenti rappresentano un gruppo cruciale, non solo per quanto riguarda le loro competenze e capacità professionali, ma anche in riferimento alla loro motivazione a sostenere attivamente il processo di sviluppo e cambiamento.

L'idea avanzata dal progetto KoMPI è che gli organi di rappresentanza degli interessi dei lavoratori svolgano un ruolo essenziale: nell'ambito dello svolgimento delle loro funzioni, è fondamentale e auspicabile che essi siano coinvolti nella progettazione della HRC. Soprattutto, i campi in cui risulta centrale un loro coinvolgimento sono quelli connessi a formazione, protezione dei dati, termini e condizioni di lavoro, ergonomia e altre aree connesse alla salute e alla sicurezza. In Germania,

i diritti di informazione, consulenza e codecisione dei consigli di fabbrica nell'introduzione di moderni sistemi HRC sono disciplinati gli articoli 90 e 91 della *Betriebsverfassungsgesetz*. Ma non sono solo le norme a parlare in favore del coinvolgimento precoce del consiglio di fabbrica (e conseguentemente dei dipendenti) nel processo di cambiamento della realtà lavorativa. Tale coinvolgimento assicura infatti trasparenza e accettazione, elementi indispensabili per garantire un adeguato livello di sicurezza, e contribuisce al successo del processo di innovazione tecnologica.

È insomma cruciale che il consiglio di fabbrica sia sufficientemente informato sull'argomento e sia in grado di confrontarsi in modo qualificato su tale tematica, anche in riferimento a casi specifici. In queste circostanze, infatti, si sollevano numerose domande su come dovrebbero essere utilizzati i sistemi HRC e a quali opportunità e rischi siano associati per i dipendenti e l'azienda.

Nell'ambito del progetto, si sottolinea come il primo passo verso un'implementazione cooperativa della collaborazione uomo-robot sia la trasmissione delle conoscenze di base ai consigli di fabbrica. È opportuno che le aziende veicolino alle rappresentanze dei lavoratori le informazioni all'interno di un corso di formazione, che includa una panoramica dei possibili usi della HRC e la determinazione dei differenti gradi di cooperazione possibile, dalla coesistenza alla collaborazione. La pratica aziendale mostra, spesso, che l'uso di un sistema HRC prevede nella maggior parte dei casi la coesistenza: la precisa conoscenza delle caratteristiche di quest'ultima permette di valutare in modo significativo i relativi pericoli e le sollecitazioni per i dipendenti.

Al fine di evitare errori di valutazione riguardo ai potenziali pericoli, il progetto sottolinea che dovrebbero essere veicolati ai consigli di fabbrica anche informazioni relative ai concetti di sicurezza utilizzati e alle norme e linee guida per l'interazione sicura tra uomo e robot. Ciò aiuta infatti tali organismi a pianificare l'utilizzo del sistema HRC, e fugare le preoccupazioni e/o le riserve iniziali, individuando potenziali problemi. Il consiglio di fabbrica, in quanto organo rappresentativo dei lavoratori, deve insomma trasformarsi in un attore competente che, ai sensi della sua funzione di tutela dei lavoratori, protegga questi ultimi dagli effetti negativi dell'uso della HRC e, allo stesso tempo,

riconosca le opportunità offerte da tali sistemi, mettendone a conoscenza i dipendenti.

Nel quadro del progetto KoMPI, mediante workshop con i consigli di fabbrica, si è cercato di individuare gli argomenti di maggiore importanza per i rappresentanti dei lavoratori in caso di HRC. Tra i molti, alcuni sono emersi con particolare rilievo: la definizione della durata del ciclo, l'esigenza di formazione, l'analisi dei profili professionali e delle mansioni, il tema del rischio di sostituzione, l'ergonomia, lo stress mentale, i profili relativi alla remunerazione e comunicazione.

*Ambito: Codecisione del consiglio di fabbrica per la formazione in azienda*

Come già evidenziato nel paragrafo precedente, nella cornice del progetto KoMPI, è stata dedicata un'attenzione centrale al consiglio di fabbrica e al suo diritto di codecisione nell'ambito della formazione in azienda. In Germania, infatti, il consiglio di fabbrica è un attore fondamentale nella formazione delle qualifiche aziendali con ampi diritti e obblighi. L'introduzione di nuove tecnologie in azienda di solito conduce direttamente alla questione della formazione dei dipendenti. L'azienda ha un grande interesse alla corretta individuazione di chi debba ricevere una nuova qualifica, come e quando, su quali argomenti, pratiche o tecniche, in modo che la nuova tecnologia possa essere utilizzata in modo sicuro, efficiente e senza errori.

Una delle prerogative fondamentali del consiglio di fabbrica è il diritto di codecisione o cogestione. Il consiglio di fabbrica può avvalersi del diritto di negare il consenso per impedire al datore di lavoro di adottare una determinata misura. Nel caso del diritto di opposizione, il consiglio di fabbrica può opporsi ad una risoluzione, purché in maniera motivata. In entrambi i casi, il datore di lavoro non può agire senza il consenso del consiglio di fabbrica: se non è possibile raggiungere un accordo, è un collegio arbitrale a decidere sulla questione. L'esistenza di un diritto di cogestione significa quindi, per il livello gestionale, che alcune misure non possono essere adottate senza il consenso dei dipendenti.

Le qualifiche e la formazione continua svolgono un ruolo sempre più importante per i lavoratori e le aziende. Come evidenziato, in

Germania le strategie aziendali per la formazione continua non sono lasciate al solo datore di lavoro, ma il consiglio di fabbrica è un attore chiave in questo campo e può garantire che gli interessi dei dipendenti confluiscono nella pianificazione aziendale. Ovviamente, l'introduzione di un sistema di collaborazione uomo-robot interessa quest'area in quanto i dipendenti devono essere sufficientemente qualificati per lavorare in un contesto di HRC. Nell'ambito della HRC, il consiglio di fabbrica può richiedere al datore di lavoro di determinare quale sia il requisito di formazione professionale necessario per il sistema di lavoro in cui è utilizzata la collaborazione uomo-robot. Una volta identificate le esigenze di formazione, il consiglio di fabbrica ha la possibilità di sviluppare specifiche richieste ed esprimersi in favore di particolari misure di formazione.

Quando si introduce un sistema HRC, il consiglio di fabbrica può esercitare il diritto alla codecisione onde verificare se la qualifiche dei lavoratori coinvolti sono sufficienti, e se e come debba essere seguito un percorso formativo, acconsentendo alla misura o rifiutandosi di dare il suo consenso.

*Ambito: Corsi di formazione alla HRC in modalità blended.*

L'idea di fondo dell'approccio utilizzato nel progetto KoMPI è che la formazione debba svolgere un ruolo di primo piano nella HRC, e che sia necessario affidarsi ad un mix di metodi di apprendimento che uniscano agli approcci classici quelli facenti ricorso a strumenti multimediali.

Nella definizione di un percorso di formazione e al fine di consentire una qualificazione basata sui bisogni, il progetto KoMPI ha preso le mosse dalla determinazione di quali dipendenti debbano essere qualificati, quando, e in quale misura. A tal fine, vengono poste sotto esame sia le varie fasi del processo di produzione, sia i ruoli coinvolti in esso. Il processo di pianificazione sviluppato nell'ambito del progetto KoMPI consiste pertanto nei seguenti passaggi: quick check, simulazione del sistema di lavoro manuale, assegnazione di compiti a persone e robot, simulazione della postazione di lavoro HRC e valutazione ergonomica.

I partner del progetto hanno sviluppato un programma di formazione appropriato per queste fasi. L'idea di fondo è che, seppure i



dipendenti non debbano obbligatoriamente conoscere ogni dettaglio della tecnologia, la sua comprensione generale abbia un effetto positivo sull'accettazione. All'interno di KoMPI, si è quindi mirato allo sviluppo di un percorso formativo per la HRC che consente un rapido ingresso nella fase di pianificazione senza previa partecipazione a una formazione dispendiosa in termini di tempo e costi. A tal proposito, l'e-learning si è mostrato un buon approccio per implementare l'apprendimento indipendentemente dal momento e dal luogo. Tuttavia, poiché alcune componenti del processo formativo sono difficili da trasmettere utilizzando l'e-learning, è stato scelto un percorso di apprendimento misto (Blended-Learning-Konzept) che si serve di un insieme di metodi basati sull'utilizzo degli strumenti informatici, da un lato, e i metodi classici, ad esempio workshop, dall'altro.

Con l'aiuto di brevi testi, video ed esercizi, la formazione è progettata per essere interattiva e adatta a diverse tipologie di discenti. La formazione iniziale alla HRC copre tre argomenti principali: introduzione generale; salute e sicurezza; pianificazione e implementazione. In riferimento ad ogni ambito tematico, sono presenti obiettivi di apprendimento specifici per i rispettivi ruoli. Nell'introduzione generale vengono presentati in particolare i robot utilizzati, differenziandoli dai classici robot industriali, i loro ambiti di applicazione e il loro impatto sui luoghi di lavoro.

In riferimento al tema della salute e della sicurezza, vengono presentate tecnologie di sicurezza interne ed esterne ai robot. Mentre gli standard e le linee guida sono più rilevanti per il personale addetto alla pianificazione, il focus per il personale operativo è sulla cooperazione sicura con il robot: ciò favorisce una dinamica di accettazione attraverso la conoscenza e la conseguente riduzione delle paure.

Nella terza area tematica su pianificazione e implementazione, i discenti apprendono cosa devono aspettarsi e quali posizioni e ruoli sono coinvolti dalle trasformazioni o possono contribuirvi. Nella formazione per il management, inoltre, vengono discusse strategie non solo per la pianificazione tecnica, ma anche per la promozione della partecipazione e dell'accettazione da parte dei dipendenti operativi.

In conformità con la procedura di pianificazione sviluppata nel progetto KoMPI, è stato sviluppato uno strumento di controllo rapido (*quick*

*check*). Sebbene il *quick check* possa essere utilizzato anche senza formazione preliminare, un modulo di formazione aggiuntivo ne semplifica l'utilizzo corretto. Come con la formazione iniziale HRC, la formazione è progettata per essere interattiva, in modo che l'utente riceva informazioni basate sulle esigenze. Vari media vengono utilizzati per trasmettere i contenuti. Parte di entrambi i moduli di e-learning (formazione iniziale alla HRC e formazione al *quick check*) sono esercizi che servono sia per mettere in pratica quanto appreso sia per monitorare l'apprendimento. Sebbene il modulo e-learning *quick check* sia destinato ai progettisti, è possibile che anche il personale operativo sia coinvolto, ad esempio mediante workshop. Infine, i risultati emersi all'interno di KoMPI e uno studio con un piccolo gruppo di prova hanno dimostrato che la visualizzazione e l'utilizzo di impianti HRC reali aumentano in maniera rilevante l'accettazione, ed è pertanto necessario integrare le attività di formazione blended e di e-learning con attività sul campo, e mediante l'interazione con altri lavoratori già inseriti in contesti di HRC.

### 5.2. Best Practice – Progetto SafeMate

Nell'ambito del progetto SafeMate, sono state condotte 45 interviste semi strutturate con dipendenti di diverse aziende, oltre a un questionario sottoposto a 253 dipendenti. In base alle interviste e ai questionari, è stato sviluppato un modello qualitativo teso a portare in luce i fattori specifici che influenzano l'accettazione della HRC dalla prospettiva dei dipendenti.

Ciò che emerge, in generale, è che i soggetti coinvolti collegano all'introduzione della HRC sia speranze (come quella della crescita personale o di un lavoro meno usurante sotto il profilo fisico) sia paure (come quella relativa alla potenziale perdita del lavoro o quella legata all'aumento delle competenze richieste). Tali orientamenti generali sono collegati a molteplici fattori, che possono essere divisi in a) fattori dipendenti dall'oggetto, b) fattori dipendenti dal soggetto e c) fattori dipendenti dal contesto.

I fattori dipendenti dall'oggetto riguardano la conformazione del sistema HRC. L'esigenza di base per la sua accettazione sono la sicurezza e la stabilità del processo. Altri fattori centrali sono poi la controllabilità

del sistema e la possibilità di avere un flusso di lavoro stabilito o controllato dal lavoratore. Anche l'adattabilità alle persone (ad es. sotto il profilo ergonomico), al compito e all'ambiente sono considerati importanti.

I fattori riconducibili al soggetto riguardano le predisposizioni del dipendente. Esse includono tratti della personalità e valori individuali, ma anche conoscenza ed esperienza personale, per quel che concerne la tecnologia e la HRC, così come in riferimento all'azienda stessa. L'autovalutazione di come viene gestita l'implementazione della HRC, l'atteggiamento nei confronti dei robot e quello nei confronti del lavoro in generale sono fattori che giocano un ruolo cruciale nel processo di accettazione.

Infine, i fattori di contesto riguardano il quadro organizzativo. A questo proposito, il riferimento è soprattutto alla rete sociale all'interno dell'impresa, ad esempio alla relazione tra i dipendenti e tra costoro e i superiori. Oltre a questi fattori, sul lungo termine, giocano un ruolo anche la progettazione del processo di implementazione del sistema HRC, la sua comunicazione e la partecipazione.

Tra i risultati del progetto SafeMate v'è la relativa o modesta importanza di alcuni fattori personali — come età, sesso o competenza tecnica — che appaiono solo marginalmente decisivi per l'accettazione della HRC. Ciò è interessante perché, ad esempio, può favorire il superamento dell'idea secondo cui i dipendenti più anziani non sono tecnicamente competenti o non vogliono adattarsi alle innovazioni tecnologiche.

Infine, il progetto evidenzia la necessità di non lasciar fuori dal processo il contesto e la cultura aziendale. Fattori legati al contesto, come una comunicazione efficace da parte dell'impresa e lo sviluppo di dinamiche partecipative, hanno infatti un effetto significativo sull'accettazione della HRC.

*Ambito: Sviluppo di un concetto di formazione per impartire le nozioni di base riguardanti la HRC.*

La struttura del percorso di formazione, sviluppata nell'ambito del progetto SafeMate, è costruita secondo una modalità ludica, all'interno di una giornata suddivisa in tre momenti di formazione successivi.

Durante il primo round di “gioco” (45 minuti), i partecipanti hanno il compito di assemblare il maggior numero possibile di prodotti di cui si occupa l’azienda entro un tempo specificato. Al termine di ciò, e dopo un momento collettivo di riflessione e dialogo, i partecipanti ricevono un’introduzione su alcune innovazioni tecnologiche selezionate per ottimizzare la produzione e sui principi teorici della HRC. Successivamente, sulla base dei contenuti teorici trasmessi, ai partecipanti viene data la possibilità di discutere e implementare potenziali soluzioni prima del secondo round. I partecipanti godono di un alto grado di libertà durante la riprogettazione, potendo ad esempio decidere in che misura utilizzare la HRC nei successivi turni — nello specifico, sono messi a loro disposizione due robot potenzialmente inseribili nella catena di montaggio. Come ulteriore base per il processo decisionale sulla HRC, i partecipanti ricevono alcune informazioni concernenti i metodi per l’assegnazione dei compiti, lo stress ergonomico nelle singole postazioni di montaggio e i dati organizzativi generali relativi al posto di lavoro. Attraverso gli strumenti messi a disposizione, in questa fase si effettua anche un check relativo al potenziale dell’inserimento di un robot e si analizza quali sottoprocessi siano più adatti a tale innovazione. Inoltre, i partecipanti ricevono per ogni sottoprocesso una stima di quanto il tempo di ogni ciclo produttivo può essere ridotto utilizzando la HRC. Tale analisi aiuta ovviamente a valutare se il contenuto del lavoro sia adatto a tale transizione o meno.

Per quanto possibile dal punto di vista tecnico, spetta ai partecipanti stessi programmare uno dei due robot disponibili per l’utilizzo nel secondo round. Anche dopo il secondo round ha luogo una valutazione collettiva, come nel precedente. Sulla base di questa valutazione, in occasione del terzo round, viene data la possibilità di prendere ulteriori misure e anche di cambiare il robot selezionato in modo tale che la produzione nell’ultimo round venga ulteriormente ottimizzata al fine di rispettare i tempi di consegna desiderati da un cliente ipotetico.

Nell’ambito del progetto SafeMate, sono stati messi a disposizione il Panda della Franka Emika e il LBR iiwa della KUKA, in quanto idonei a rappresentare le principali possibilità tecniche offerte dai robot leggeri e dalla HRC in ambito manifatturiero. Nell’ambito del processo, i

partecipanti vengono a conoscenza di diverse tipologie di programmazione del robot e scoprono i punti di forza e di debolezza dei rispettivi sistemi. Ad esempio, i partecipanti possono mettersi nella posizione di un dipendente anziano con l'aiuto di una tuta per la simulazione dell'età, e possono percepire (fisicamente) su di sé come la HRC possa alleviare alcuni problemi legati all'invecchiamento — come la visione alterata o minori capacità motorie — e riduca il tempo di lavorazione e lo stress fisico per il lavoratore.

*Ambito: procedura esemplare per la marcatura CE.*

Nell'ambito del progetto SafeMate è anche stato sviluppato un modello di processo per la marcatura CE in cinque passaggi: individuazione delle direttive e delle leggi nazionali in vigore; definizione delle norme rilevanti per l'ambito specifico; valutazione di conformità del sistema; validazione delle funzioni di sicurezza e produzione della documentazione tecnica richiesta; ottenimento della dichiarazione di conformità CE.

Nell'ambito del progetto SafeMate, i partner hanno creato una banca dati di tutte le norme e le specifiche esistenti nel campo dell'ingegneria meccanica e lo hanno collegato a un elenco di componenti e principi operativi, che gli utenti possono utilizzare per simulare virtualmente i propri processi. Se un utente seleziona, ad esempio, un componente utilizzato nel suo processo di lavorazione, vengono immediatamente visualizzate le norme ad esso relative. La procedura di valutazione della conformità del sistema di solito inizia con la sua descrizione, ivi comprendendo le sue fasi di vita, e dovrebbe idealmente essere eseguita durante la pianificazione del sistema stesso.

Ogni fase del processo di marcatura CE deve essere documentata, e sul sito del progetto SafeMate ([www.safe-mate.de](http://www.safe-mate.de)) è presente un esempio di processo comprensivo di documentazione. Ciò anche per favorire le aziende che vogliono convertire una postazione manuale esistente in HRC, alle quali viene pertanto suggerito di ampliare la procedura di conformità già eseguita per la postazione manuale, fornendo un supporto sia documentale che in termini di processo per conseguire il risultato desiderato.

### 5.3. *Best Practice – Progetto ARIZ*

Nell'ambito del progetto ARIZ, 131 persone sono state sottoposte ad un questionario ed è stato condotto uno studio qualitativo con 66 partecipanti. Attraverso tali analisi, è stato possibile identificare tre paure di base riguardo all'automazione dei processi produttivi e alla collaborazione uomo-robot: preoccupazioni per la sicurezza, paura per la perdita del lavoro e paura dei robot in generale.

I primi due fattori menzionati sono stati citati dagli intervistati come i fattori determinanti che riducono l'accettazione. Inoltre, le persone coinvolte hanno evidenziato alcune aree prioritarie che possono influenzare positivamente l'accettazione dei robot: (a) la rilevanza dell'uso della HRC per il proprio posto di lavoro; (b) l'utilità percepita; (c) il controllo percepito sul robot; (d) la gerarchia, cioè il riconoscimento di una posizione sovraordinata del lavoratore rispetto al robot.

All'interno del progetto ARIZ, inoltre, è stato documentato e confrontato l'atteggiamento degli utenti prima e dopo il primo utilizzo di un sistema di assemblaggio collaborativo. Inevitabilmente, mentre l'atteggiamento prima dell'incontro con i robot si basa sulle aspettative, influenzate ad esempio dai media o dall'ambiente sociale, dopo l'interazione esso si fonda sull'esperienza diretta. L'analisi ha mostrato che gli atteggiamenti generali nei confronti della HRC dopo l'interazione sono più positivi rispetto alla fase antecedente, indipendentemente dal funzionamento corretto del robot o meno. Questo atteggiamento positivo è poi ulteriormente agevolato in caso di condotta conforme alle aspettative da parte del robot stesso, soprattutto attraverso movimenti prevedibili, elevato beneficio percepito e facilità d'utilizzo.

L'analisi delle interviste qualitative ha pertanto mostrato che i fattori di successo, quando si lavora con la HRC, risiedono in: a) una formazione convincente; b) una progettazione adeguata del luogo di lavoro; c) una buona distribuzione dei compiti tra esseri umani e robot.

Anche il piacere percepito nell'interazione con il robot, il senso di realizzazione e l'interesse da parte dell'utente hanno un'influenza positiva. I fattori che promuovono maggiormente l'accettazione, legati al robot in sé, sono legati alla elevata facilità d'uso e a movimenti prevedibili. La riduzione dell'accettazione si verifica, invece, quando

l'interazione è percepita come stressante (ad esempio a causa delle tempistiche di lavorazione), le istruzioni e la comunicazione con il robot sono imperfette, il robot commette errori frequenti e l'utente non riceve una formazione adeguata prima di adoperare il robot. Anche il design (a seconda di quanto sia percepito come minaccioso) può contribuire a creare barriere all'accettazione, o viceversa favorirla.

I risultati di ARIZ mostrano dunque una diffusa accettazione per le postazioni di lavoro HRC, a condizione che i dipendenti ricevano assicurazioni relative al fatto che l'introduzione di robot in azienda porterà benefici in termini di riduzione del carico, o del tempo di lavoro, o ergonomici, e non metterà in pericolo il loro posto di lavoro.

*Ambito: Apprendere la HRC sul posto di lavoro attraverso la definizione di ruoli e competenze, e mediante percorsi di apprendimento multimediali adattabili.*

Il progetto ARIZ prende le mosse da un assunto di base: nella collaborazione uomo-robot, per utilizzare tali tecnologie in modo efficiente, sono necessarie misure di formazione specifiche. L'apprendimento sul posto di lavoro, "on the job", è una di queste misure perché crea un collegamento efficiente tra la conoscenza teorica e la sua applicazione. Al fine di consentire il trasferimento delle conoscenze apprese e dei relativi processi di lavoro nell'ambiente lavorativo reale, i contenuti di apprendimento impartiti devono avere pertanto un alto livello di rilevanza pratica.

Allo stesso modo, al fine di contrastare la paura del contatto da parte dei dipendenti è importante attivare percorsi di apprendimento in ambienti sicuri e protetti, nei quali sia sperimentata una proiezione diretta delle fasi lavorative, e una condivisione pratica di istruzioni importanti per la manipolazione sicura dei robot. Gli utenti possono in tal modo ripetere le singole fasi di lavoro al "proprio ritmo" e adattarle così ai rispettivi tempi di apprendimento.

In questa prospettiva, il progetto ha sottolineato l'importanza dell'apprendimento sul posto di lavoro, specialmente per la salvaguardia della sicurezza sul lavoro. Il personale in formazione può praticare processi complessi e potenzialmente pericolosi finché non si sente

sufficientemente sicuro da eseguirli autonomamente. L'apprendimento delle singole fasi di lavoro, prese individualmente, consente inoltre un feedback costante su di esse da parte dei responsabili della formazione. Le indicazioni impartite in questi passaggi possono anche contribuire al miglioramento delle prestazioni e alla riduzione del tasso di errore.

Nell'ambito del progetto una particolare rilevanza è stata data all'identificazione di ruoli rilevanti, alla definizione di campi di competenza nel contesto della HRC, nonché ad alcuni approcci specifici per la trasmissione dei contenuti.

Un primo passo consiste quindi nell'individuazione dei ruoli interessati dall'introduzione della HRC, e nella definizione delle conoscenze e abilità richieste ai lavoratori coinvolti. In questo senso, le competenze richieste sono state classificate distinguendo: competenze generali relative alla HRC (rilevanti in maniera trasversale); competenze specifiche di ruolo (rivolte a mansioni concrete); competenze specifiche della realtà lavorativa, connesse alla HRC (rivolte a strategie e obiettivi generali). Particolare importanza hanno indubbiamente le competenze specifiche di ruolo, poiché esse riguardano in special modo a) l'organizzazione del lavoro, b) la salute e sicurezza e c) la produttività.

Dal punto di vista dell'azienda nel suo complesso, sono ritenute rilevanti quelle competenze che possono essere finalizzate alla sensibilizzazione dei dipendenti e alla riduzione delle eventuali riserve o timori relative alle nuove tecnologie. In concreto, ciò implica la capacità dell'azienda di spiegare a tutti i dipendenti il significato e lo scopo dell'introduzione della HRC e quindi gli obiettivi a breve, medio e lungo termine.

Inoltre, il progetto ha rilevato la necessità di prendere in considerazione durante il percorso formativo anche le competenze personali e sociali, utili per affrontare in modo critico le nuove tecnologie, sviluppare soluzioni creative e comunicare e lavorare efficacemente e in sicurezza all'interno di gruppi interdisciplinari.

Tra i risultati del progetto ARIZ, è emerso pertanto come adeguate misure di re-skilling o up-skilling possono essere sviluppate prendendo come punto di riferimento profili di competenza target, da raggiungere attraverso percorsi di apprendimento adattivi



multimediali. Sono stati sviluppati percorsi di formazione sulla base di “*learning nugget*”, che utilizzano vari media didattici, nei quali l’apprendimento è costruito su brevi momenti di formazione — da pochi secondi a qualche minuto — e su contenuti pragmatici e presentati con grande semplicità. L’ambizione, di norma, è che un “*learning nugget*” debba trasmettere o incrementare almeno una competenza: attraverso una grande varietà di fonti di apprendimento, i percorsi di formazione possono essere adattati al singolo utente, e anche la selezione di uno specifico “*learning nugget*” può dipendere, ad esempio, da quali conoscenze pregresse sono disponibili, da quali supporti didattici il discente preferisce e da quale attrezzatura (hardware/software) è disponibile.

Inoltre, l’apprendimento sul posto di lavoro può essere supportato da tecnologie che consentono di fornire informazioni in tempo reale. Ad esempio, con l’aiuto della realtà aumentata, oggetti virtuali come animazioni o note possono essere visualizzati nel campo visivo dell’utente. Come mostrano i risultati di uno studio condotto nell’ambito del progetto ARIZ, l’uso di mezzi di apprendimento supportati dalla realtà aumentata è generalmente percepito come positivo e di supporto, anche se esistono differenze nel grado di accettazione di tali metodi didattici, in relazione ad esempio all’età dell’utente, o delle competenze pregresse.

A partire dai “*learning nugget*” modulari, è dunque possibile implementare diversi approcci didattici; emerge comunque dal progetto che un approccio didattico orientato alla pratica, che offra ai discenti la libertà di qualificarsi autonomamente e ampie opportunità di supporto individuale, sia altamente positivo. Partendo da un esempio pratico e da una panoramica della mansione lavorativa, l’utente può infatti svolgere autonomamente i propri compiti e può accedere alle conoscenze di base o anche a conoscenze più approfondite, ove necessario. La costruzione delle unità di apprendimento basate sui “*learning nugget*” permette inoltre di scambiare in maniera flessibile i differenti moduli formativi o organizzarli in maniera innovativa per nuove unità di apprendimento.

#### 5.4. *Best Practice – Progetto ROKOKO*

*Ambito: Un nuovo concetto di apprendimento in tre fasi per la spiegazione dei processi di lavoro collaborativo uomo–robot.*

Il progetto muove dalla consapevolezza che l'innovazione tecnologica implica mutamenti nella divisione del lavoro e nuovi compiti per i lavoratori.

A tal fine, è necessario sviluppare percorsi di formazione che potenzino la comprensione dei processi di produzione, anche con riguardo ai flussi di dati e ai processi di controllo alla base della produzione. In questa prospettiva, si ritengono necessarie metodologie che supportino l'apprendimento intuitivo e coinvolgano i dipendenti nella pianificazione e ottimizzazione dei nuovi processi lavorativi. A ciò si è orientato il “Progetto di apprendimento collaborativo uomo–robot”, sviluppato dal Fraunhofer Institute for Industrial Engineering all'interno di ROKOKO, per la progettazione partecipativa e la formazione nell'ambito della HRC. È stato sviluppato un metodo in tre fasi che guida i partecipanti alla comprensione e allo sviluppo dei processi di lavoro collaborativo uomo–robot.

Nella fase iniziale, i processi lavorativi sono illustrati nello stato attuale e in quello progettato (ovvero nella forma di HRC). In tale fase l'interazione tra le persone e la tecnologia è posta in primo piano ed è presentata in modo il più possibile chiaro e comprensibile.

Nella fase 2, le sequenze del processo di produzione vengono convertite in un gioco di ruolo, in cui i partecipanti assumono i ruoli all'interno del processo precedentemente descritto (ad esempio come addetti all'assemblaggio, ma anche robot, sistemi di misurazione e controllo o tecnologie di alimentazione), immaginando e replicando l'interazione. Quando un partecipante assume il ruolo del robot, ad esempio, riceve i dati di input, esegue i movimenti del braccio del robot, riceve feedback dai sensori, esegue calcoli e, su questa base, decide come rispettare i valori target e infine invia i dati dei risultati al controllo di processo.

Nella fase 3, le fasi del processo modellato vengono sottoposte a valutazione. Questa, svolta congiuntamente dai partecipanti, rende visibili le differenze tra la postazione manuale e la HRC, ad esempio per quanto riguarda ergonomia, sicurezza, supporto funzionale, tempo o

qualità della produzione. I risultati della valutazione permettono di accrescere la consapevolezza degli obiettivi della progettazione, soprattutto dal punto di vista ergonomico, e costituiscono un punto di partenza per la successiva ottimizzazione dei processi di lavoro HRC. Inoltre, il confronto tra la realtà manuale e la postazione di lavoro HRC evidenzia quante e quali attività migrino dalle persone alla tecnologia e viceversa.

#### *5.5. Best Practice – Progetto KUKoMo*

*Ambito: Sviluppo di un centro per la formazione sulle differenti tipologie di collaborazione uomo-robot e la loro applicazione.*

Nel progetto KUKoMo, il Fraunhofer-Zentrum für internationales Management und Wissensökonomie e l'ICM hanno sviluppato un percorso di apprendimento innovativo finalizzato a preparare il personale alle nuove forme collaborative di organizzazione del lavoro. Questo percorso è stato poi implementato con il centro di formazione SchAz (Schulungs- und Anwendungszentrum – SchAz) a Chemnitz, che si occupa della formazione su tutti gli aspetti del lavoro nei sistemi di assemblaggio collaborativo, con uno specifico orientamento alle questioni rilevanti per le PMI.

Con l'aiuto di format su misura, tutti i livelli aziendali vengono sensibilizzati, informati e formati sulla collaborazione uomo-robot. Durante questi percorsi formativi, si tiene conto in special modo degli aspetti legati a salute e sicurezza, economia, e produttività. I dimostratori in loco fanno ricorso ad esempi generali, ma anche a casi specifici dell'azienda presa in considerazione e consentono ai dipendenti di effettuare autonomamente tentativi di programmazione.

Sono stati sviluppati tre formati didattici che includono eventi informativi (ad es. sotto forma di giornate a tema o che utilizzano il format del world café), workshop specifici per gruppi target, e visite in loco da parte delle aziende. Gli eventi informativi sui temi della HRC corrispondono alle prime due fasi del trasferimento delle conoscenze (“sensibilizzazione” e “problematizzazione”). Questo tipo di eventi ha l'obiettivo di muovere gli attori coinvolti ad uno scambio reciproco e aperto. Oltre a brevi presentazioni generali, vengono esplorati casi

pratici di utilizzo di determinate strumentazioni e illustrate e discusse le buone pratiche.

Il secondo livello è quello dei workshop, progettati e svolti a seconda delle necessità, con la finalità di sviluppare soluzioni concrete per i gruppi target. Nell'ambito di KUKoMo, sono stati sviluppati due tipologie di workshop, orientati ai gruppi target del progetto. Il primo ha avuto come target il management: a tale gruppo è stata fornita un'introduzione generale sui sistemi HRC, seguita dalle sfide associate all'introduzione nell'azienda specifica e dalle possibili soluzioni. La seconda tipologia di workshop si è rivolta invece a programmatori e operai, mostrando possibili strategie per coinvolgere i dipendenti nei processi di programmazione ed attuazione della HRC.

Infine, nelle visite in loco, le aziende sono state invitate a partecipare ad una visita dell'area dimostrativa dello SchAz, predisposta su misura per le loro esigenze. In questo contesto, vengono discussi esempi specifici, testate potenziali soluzioni e sviluppati possibili utilizzi per ciascuna azienda partecipante.

Attraverso questi percorsi formativi, dunque, le aziende interessate possono acquisire in modo interattivo le conoscenze necessarie per l'introduzione delle tecnologie HRC e sviluppare un punto di vista soggettivo nei confronti del lavoro collaborativo. Inoltre, al fine di migliorare progressivamente il servizio, viene attuato un continuo processo di monitoraggio e valutazione dell'efficacia dei servizi formativi offerti. La valutazione delle attività è richiesta tanto ai partecipanti (prospettiva di valutazione esterna) quanto agli organizzatori (prospettiva di valutazione interna), ed è basata su cinque fattori: il feedback (immediato) dei partecipanti, l'apprendimento accertabile degli stessi, il successivo trasferimento dei contenuti appresi nel contesto aziendale, l'impatto economico a lungo termine e gli effetti sul ritorno dell'investimento (sia per le imprese che per lo SchAz).

*Ambito: Esempio pratico di progettazione orientata all'utente di una postazione HRC*

Il progetto ha evidenziato come l'utilizzo di metodi partecipativi per la progettazione del luogo di lavoro possa favorire l'introduzione della HRC.

Il caso di studio nel progetto ha pertanto spinto le aziende e gli sviluppatori a lavorare a stretto contatto durante tutto il percorso di pianificazione, sviluppo e implementazione. Nel caso specifico, l'obiettivo era l'introduzione di un sistema di assemblaggio robotico, unito all'avviamento della HRC nell'ambito della produzione tessile. Per il partner del progetto (Neustädter Gardinenkonfektion GmbH – NeuGa) l'obiettivo era ottenere un alleggerimento del carico fisico e una migliore ergonomia per i lavoratori attraverso i robot, soprattutto per quel che concerne il processo di stiratura. Robot e dipendenti avrebbero dovuto lavorare in collaborazione, con compiti svolti congiuntamente. L'idea era che al robot fosse affidato il lavoro di spostare il ferro sul tessuto sotto la supervisione del dipendente. Quest'ultimo aveva anche la responsabilità di mettere in posizione il tessuto e di piegarlo dopo il processo di stiratura. Poiché l'obiettivo era, anzitutto, quello di potenziare il benessere delle dipendenti (tutte donne), alleviandone il carico di lavoro, le preoccupazioni sull'uso del robot e i timori legati alla possibile perdita del posto di lavoro sono risultati poco evidenti. Una volta delineata la visione d'insieme, i dettagli della sua attuazione sono stati elaborati in fase di pianificazione, durante la quale la cosiddetta analisi sugli utenti ha giocato un ruolo importante: gli utenti del sistema robotico sono stati osservati nel loro ambiente di lavoro e sono state rivolte loro domande per comprendere effettivamente il contesto di utilizzo e progettare in modo ottimale il sistema. In KUKoMo, ciò è stato fatto anzitutto nell'ambito di un workshop teso ad identificare aspetti fisicamente e psicologicamente impegnativi del luogo di lavoro e verificare il potenziale di miglioramento, al quale sono seguite analisi in loco presso le postazioni che si pensava potessero prevedere soluzioni HRC.

Una volta definiti i requisiti tecnici, e prima dell'implementazione effettiva, sono stati organizzati ulteriori workshop tra dipendenti e sviluppatori al fine di mettere in piedi un'interfaccia semplice e sicura per la HRC. Una volta disponibile una versione finale dell'intero sistema, è stato infine verificato se si fosse raggiunto il target precedentemente descritto. A questo scopo, sono state utilizzate osservazioni, analisi delle mansioni e interviste con gli utenti. È stato esaminato ad esempio in che misura l'implementazione abbia influito sullo stress fisico e psicologico e quanto si siano rivelate accettabili nella pratica le nuove soluzioni HRC. Nel

momento in cui i test hanno ricevuto esito positivo, le soluzioni HRC sono state definitivamente approvate e implementate nel lavoro.

## 6. Esperienze di contrattazione aziendale

Oltre ai progetti di ricerca menzionati, il contesto tedesco è stato analizzato per individuare esperienze significative di contrattazione aziendale aventi ad oggetto la HRC, i tempi e i modi di esecuzione delle prestazioni di lavoro, il ricorso a tipologie non ordinarie di inserimento lavorativo (contratti a termine, lavoro interinale, contratti a contenuto formativo), il ruolo della formazione continua.

È fondamentale premettere che in Germania, oltre al contratto collettivo, che si rinnova a livello dei singoli Länder, è presente una contrattazione diffusa anzitutto in alcuni grandi gruppi (ad es. Volkswagen) che contrattano a livello aziendale, e che altre imprese (di piccole e medie dimensioni) applicano mediante la clausola di uscita dai contratti collettivi firmati dalla ‘Confindustria tedesca’, talvolta con il consenso informale dei rappresentanti dei lavoratori in azienda.

### 6.1. *Caso 1: ABB*

Per quanto attiene la programmazione collettiva degli orari ordinari di lavoro, nelle unità produttive di tale gruppo è presente un Learning and development department che provvede all’offerta dei corsi di formazione. In particolare, nel Nord Reno–Westfalia vige una specifica normativa di legge per la formazione continua: ogni dipendente ha diritto a cinque giorni retribuiti all’anno per la sua formazione e trovano applicazione specifici vincoli, per i quali ad esempio la formazione continua deve essere realizzata da un istituto pubblico autorizzato. Sono anche stipulati contratti quadro con le principali università tedesche. Infine, sono state introdotte politiche retributive individuali: ABB mette a disposizione per ogni divisione un budget che definisce un certo importo e una certa percentuale per interventi mirati su lavoratori promossi a mansione superiore durante l’anno, piuttosto che su lavoratori che hanno ricevuto un risultato particolarmente positivo nella valutazione annuale delle prestazioni.

### 6.2. Caso 2: BSCCB – Brembo SGL Carbon Ceramic Brakes

In questa realtà, è di particolare rilievo il tema dell'accrescimento professionale. Gli interventi sono inseriti in un report periodico che viene reso pubblico in occasione degli incontri trimestrali con tutti i dipendenti (*Betriebsversammlung*). I percorsi sviluppati riguardano in primis la sicurezza, poi la formazione specifica per i ruoli ricoperti. Salvo alcune eccezioni (ad esempio è previsto un tirocinio standard dedicato alle persone che non hanno mai partecipato a formazione istituzionale, supportato con fondi pubblici), la formazione rimane integralmente a carico dell'azienda.

### 6.3. Caso 3: SDF – Same Deutz–Fahr

In Germania, SDF pratica un orario ordinario di 35 ore settimanali (con riduzione di orario al venerdì) ma in alcuni periodi tale orario può salire a 40/45 ore settimanali attraverso l'applicazione di un sistema contrattuale di flessibilità. La flessibilità nelle sedi tedesche di tale azienda è realizzata efficacemente anche attraverso il ricorso a forme contrattuali non ordinarie.

Gli interventi formativi vengono svolti sia in aula che *on the job*, ed i contenuti degli interventi sono definiti dalla direzione HR, localmente se si tratta di aggiornamenti, a livello centrale se si tratta di lavoratori con livelli di inquadramento elevati. I lavoratori più giovani sono supportati con percorsi di valorizzazione in quando si tende prioritariamente a utilizzare il personale interno per la copertura delle posizioni.

Il costo della formazione è interamente a carico azienda, e Same non fruisce di fondi interprofessionali o finanziamenti specifici.





## **WORKPLACE INNOVATION**

### **TRA SFIDE COGNITIVE, SKILL MISMATCHES E PROCESSI FORMATIVI PER UN LAVORO SICURO E COMPETENTE**

#### **I. Caratteristiche dei contesti soggetti a Workplace Innovation**

La Workplace Innovation (WI) è stata definita come l'implementazione di nuovi e combinati interventi nei campi dell'organizzazione del lavoro, della gestione delle risorse umane e delle tecnologie abilitanti (Pot, 2011); essa richiama dunque ambiti di intervento differenti. Proprio per la multidimensionalità e complessità delle sue prospettive, la WI è spesso definita non solo come processo economico-aziendale ma come un processo sociale e partecipativo che tende a ridisegnare l'organizzazione del lavoro e della vita lavorativa, combinandone gli aspetti umani, organizzativi e tecnologici, conseguendo simultaneamente un miglioramento delle performance organizzative e della qualità della vita lavorativa (Dhondt, Oeij, Totterdill, Howaldt, Van Hootegem & Van Gramberen, 2012; Pot e Koningsveld, 2009). Sebbene se ne comprendano e delineino le ricadute nei termini sociali e umani, la WI viene frequentemente classificata e studiata soprattutto come forma di innovazione organizzativa aziendale; poco frequenti sono gli affondi e le analisi rispetto all'impatto della WI nei termini di expertise attese o richieste nei lavoratori. Ciò rappresenta un nodo critico in quanto nella

WI competenze, tecnologia e gestione delle risorse umane coesistono e sono interdipendenti; laddove l'adozione della tecnologia è guidata dalle politiche strategiche delle risorse umane, si crea uno slancio sufficiente per cambiare il processo di lavoro e di conseguenza investire nella formazione e nell'aggiornamento delle competenze a supporto dell'innovazione. Al contrario, la mancanza di competenze, unita a una gestione statica delle risorse umane, rappresenta un ostacolo alla WI.

## **2. Le competenze che sostengono la WI**

Se si prendono in esame le classificazioni delle cosiddette tecnologie abilitati a supporto dell'Industria 4.0 o della Smart Industry e le si confronta con le competenze maggiormente richieste in alcuni comparti particolarmente investiti dai processi innovativi (Osservatorio delle Competenze Digitali, 2019), ci si rende facilmente conto che al lavoratore, più o meno smart, non basterà "conoscere" concetti né aver appreso saperi procedurali basici da ripetere pedissequamente in un contesto invece in continua trasformazione. Al lavoratore viene ora richiesto di assegnare significato a dati e situazioni, di analizzare e confrontare contesti, di valutare l'azione migliore, in funzione di un dato o uno scenario reso evidente grazie alla tecnologia etc. In conseguenza di ciò, le competenze ritenute oggi indispensabili sono: pensiero critico, capacità di analisi, *problem solving*, e abilità nell'autogestione. A queste si aggiungono altre competenze trasversali particolarmente sollecitate nel periodo pandemico e post pandemico (resilienza, tolleranza allo stress e flessibilità), oltre a competenze specialistiche ritenute trasferibili a diversi settori e ruoli e dunque percepite dalle aziende come particolarmente appetibili (competenze ascrivibili alle aree dell'Intelligenza Artificiale, Cloud Computing, Digital e Social Marketing e Human-Computer Interaction).

Di fatto anche nelle competenze digitali, competenze trasversali sempre più pervasive nel contesto della WI (Guitert, Romeu & Colas, 2020), gli studi hanno fatto emergere come risulti necessaria una sempre maggiore integrazione tra skill di natura tecnologica e soft skill, quali pensiero critico, creatività e intelligenza emotiva, capacità di leadership e di gestione del cambiamento. Le nuove necessità professionali

emergenti dovranno perciò combinare competenze tecnologiche su più fronti (protocolli industriali, IoT, Cloud Computing, Big Data, nuove app, realtà aumentata, Robotica e security) e competenze più strategiche. In particolare, nel quadro di riferimento europeo per le competenze digitali dei cittadini, il quadro DigComp 2.1 – tabella 2–3 (European Commission, 2017), delle 5 aree di competenza individuate, una riguarda proprio il *Problem solving*, ed un'altra la *Sicurezza* (le altre: *Informazione e data literacy*, *Comunicazione e collaborazione*, *Creazione di contenuti digitali*). Secondo recenti studi (The future of jobs. Report 2020, World Economic Forum) risulta però esservi nei contesti innovativi o digitalizzati un notevole disallineamento delle competenze strategiche sopradescritte con quelle possedute (*skill mismatches*) o una completa assenza delle stesse (*skill shortages*). Ed è proprio la mancanza o la fragilità nei termini di competenze (trasversali, specialistiche o cross-specialistiche) ad essere considerata come una delle principali barriere per l'introduzione in azienda di nuove tecnologie.

### **3. Le dimensioni dell'agire competente e i relativi processi cognitivi sottesi nella WI**

Per definire le dimensioni dell'agire competente e i relativi processi cognitivi sottesi nella WI è stata utilizzata una tassonomia di riferimento, con l'obiettivo di mettere a fuoco elementi importanti per la successiva riflessione sulle strategie didattiche. La tassonomia scelta, di Anderson e Krathwohl (2001), ha rivisto la precedente tassonomia di Bloom focalizzandosi sui processi di pensiero. Tali processi possono essere applicati a diverse forme di conoscenza. Gli obiettivi possono così essere rappresentati su una matrice in cui una dimensione rappresenta gli aspetti di conoscenza che costituiscono i contenuti dell'apprendimento (fattuale, concettuale, procedurale, metacognitiva) e sull'altra i processi applicabili a tali contenuti (ricordare, comprendere, applicare, analizzare, valutare, creare).

Riprendendo i risultati delle indagini sopracitate, è possibile ipotizzare che i processi cognitivi particolarmente coinvolti nella WI siano i processi cognitivi di ordine superiore, vale a dire l'analizzare, il valutare, e il creare.

Si tratta di processi particolarmente attivi nel *problem solving*, *problem analysis* e pensiero critico. Diversi autori hanno particolarmente approfondito il pensiero critico, dichiarandosi concordi nel ritenere che dietro un unico costrutto, siano in verità contemplate diverse dimensioni cognitive, che dovrebbero essere ben focalizzate prima di procedere ad una formazione della sua padronanza complessiva.

#### **4. I processi formativi da mettere in campo per supportare la WI**

A tal proposito identificando i principali aspetti della WI attraverso uno schema di input–processo–output–risultato, viene messo in evidenza come l’esperienza sul posto di lavoro rappresenti la principale fonte di innovazione. Di fatto, l’esperienza sul lavoro produce riflessione critica e quest’ultima porta a cercare nuove risposte, eventualmente anche attraverso la formazione, che deve produrre un apprendimento inteso come “*cambiamento sistematico nel comportamento o nella conoscenza informata dall’esperienza*”. In definitiva la sequenza esperienza–riflessione critica formazione–informata dall’esperienza possono portare all’apprendimento significativo, indispensabile per il cambiamento. L’apprendimento, quindi, essendo fortemente connesso alla risoluzione dei problemi e all’innovazione, richiede un passaggio da una modalità formativa tradizionale — focalizzata su routine, ottimizzazione dei mezzi e obiettivi determinati — ad una focalizzata su situazioni non ordinarie, cooperazione, partecipazione e riflessione critica sugli obiettivi di innovazione. Questa modalità di apprendimento necessita di attivare le persone in formazione attraverso cooperazione e partecipazione, per rendere l’esperienza formativa maggiormente coinvolgente e quindi significativa. Il concetto di coinvolgimento delle persone (“*engagement*”) risulta molto rilevante, in quanto rappresenta in generale uno dei fattori che maggiormente influenzano la produttività e il benessere nei luoghi di lavoro: i lavoratori “*engaged*”, emotivamente focalizzati sulla creazione quotidiana di valore per la propria organizzazione, permettono alle proprie aziende di realizzare performances superiori (Gallup, 2017). La formazione può quindi risultare più significativa ed efficace se crea coinvolgimento nei partecipanti. Relativamente al concetto di apprendimento collegato all’esperienza, in uno studio relativo alle

competenze digitali (Guitert, Romeu & Colas, 2020) per risolvere i problemi di ricerca di lavoro, viene sottolineato come le competenze di base enucleate possano essere acquisite in modo trasversale, attraverso un programma di apprendimento pratico basato su sfide, abbandonando quindi l'idea di una formazione puramente sequenziale delle competenze digitali elencate nel Framework DigComp. Dallo studio è risultato che l'adozione di tale approccio pedagogico, che ruota attorno alla pratica e consente agli utenti finali di sperimentare le competenze digitali di base, consente uno sviluppo e una distribuzione più efficiente delle competenze nelle attività di apprendimento. Risulta pertanto importante mettere in grado i formandi di risolvere problemi nuovi, mai visti in quella forma, lavorando sulle loro risorse (conoscenze, abilità/capacità, atteggiamenti, ecc.) ma anche sulla loro capacità di assegnare il giusto significato a problemi e situazioni nuove, affrontarle, e riflettere in modo sistematico sulle proprie interpretazioni ed azioni. Ciò può avvenire attraverso la predisposizione di "situazioni problema" aperte (con più soluzioni o con una sola soluzione ma alla quale si possa arrivare per strade differenti), della giusta difficoltà che chiedono ai formandi, nell'ambito di un ciclo di apprendimento esperienziale (CAE), di inventare essi stessi una soluzione, analizzarla, trarne conclusioni e regole, e riapplicarle in una nuova situazione con un livello di difficoltà più alto (Trincherò, 2012). In particolare, i cicli di apprendimento esperienziale messi a punto da Kolb (1984) sulla base delle riflessioni teoriche derivanti dall'Experiential Learning, sembrano permettere di lavorare sulle dimensioni della competenza (Le Boterf 1994; Trincherò, 2012) senza tralasciare le componenti applicative e comunicative (conoscenza e capacità di comprensione applicate; autonomia di giudizio e Abilità comunicative), dove la didattica trasmissiva rischia di fallire (Robasto, 2020). Tra i vari cicli a matrice esperienziale, l'evoluzione del ciclo di Kolb prevista da Pfeiffer e Jones presenta fasi strutturate che sembrano intercettare al meglio il lavoro didattico sull'attivazione cognitiva (Trincherò, Robasto, 2015) e sulle strutture d'interpretazione, d'azione e di autoregolazione dei partecipanti, mobilitando pertanto, direttamente nel contesto di apprendimento, quelle risorse che si sono trasferite anche utilizzando altri modelli didattici, ad esempio quelli trasmissivo-tradizionali. Tale modalità di apprendimento può favorire

lo sviluppo della cooperazione, partecipazione e riflessione critica sugli obiettivi di innovazione, stimolando il coinvolgimento e l'interconnessione dei lavoratori, affinché si faccia leva sullo sviluppo e l'utilizzo delle conoscenze dei dipendenti e la correlata possibilità di generare riflessioni e intuizioni. In generale le strategie didattiche interattive possono supportare efficacemente l'apprendimento funzionale alla WI, basandosi sulla collaborazione e partecipazione attiva delle persone in formazione (utili per svilupparne anche l'engagement all'azienda e ai compiti assegnati).

Un elemento che permea di fatto le strategie di apprendimento interattivo è l'autovalutazione, in quanto il partecipante viene coinvolto attivamente nel processo di valutazione, portandolo a riflettere sulla propria esperienza di apprendimento, prendendo le distanze dall'esperienza vissuta e osservandosi. Nei contesti di WI risulta importante sviluppare nei partecipanti alla formazione una sensibilità all'autovalutazione, che significa rendere la valutazione del proprio operato un elemento costante del proprio agire perché la sistematica autoriflessione e autoanalisi, se opportunamente stimolate da strumenti e procedure di valutazione, possono portare il soggetto a una progressiva acquisizione di consapevolezza delle strategie che lo guidano nelle scelte di processo, nell'ottica di una progressiva acquisizione di una sempre maggiore autonomia nella costruzione del proprio apprendimento (Trincherò, 2006). Per sviluppare l'autovalutazione risulta altresì importante rafforzare negli interventi formativi il meccanismo del feedback.

In senso più ampio occorre stimolare la persona in formazione a vedersi come costruttore del proprio sapere; ciò avviene particolarmente negli spazi virtuali, nei quali si muove intenzionalmente motivato dalla consapevolezza che "*conoscenza*" equivale a "*costruzione dinamica di sé alla ricerca della propria identità*"; e dove la costruzione di questa nuova conoscenza è anch'essa un processo frutto di negoziazione. In questo caso non sono le classiche piattaforme e-learning ma la Rete e l'uso didattico che ne può essere fatto a rappresentare la vera innovazione.

## 5. Sostenere lo sviluppo della WI in salute e sicurezza

Nell'ambito della SSL in contesti lavorativi soggetti a trasformazione digitale le riflessioni finora riportate risultano non solo applicabili ma anche strategiche, in quanto la condivisione di spazi e compiti con Cobot programmati, la necessità di gestire il processo di lavoro, usare la creatività per affinarlo o reinventarlo per la coppia uomo-Cobot, e costruire la squadra che lavora con i Cobot, richiedono al lavoratore l'applicazione di funzioni operative, lo sviluppo e il rafforzamento dei processi cognitivi di analisi, valutazione e creazione (non potendosi appellare solo più ai tradizionali processi di ricordo, comprensione ed applicazione) ed il continuo allenamento e affinamento delle competenze relative al pensiero critico, alla capacità di analisi, al *problem solving* ed abilità nell'autogestione, che devono essere stimolati attraverso strategie didattiche attive.

Nello specifico, facendo riferimento alle competenze digitali sopra illustrate, si segnala come nell'area di competenza relativa alla sicurezza, dove vengono raggruppate quattro competenze, una riguarda specificamente il Tutelare la salute e il benessere, inteso come: essere in grado di evitare, usando tecnologie digitali, rischi per la salute e minacce al proprio benessere fisico e psicologico; essere in grado di proteggere sé stessi e gli altri da eventuali pericoli in ambienti digitali; essere consapevoli delle tecnologie digitali per il benessere sociale e l'inclusione sociale. Il lavoratore deve pertanto saper rispondere-monitorare-prevedere-apprendere, per gestire e prevenire possibili rischi per la SSL.





## **RACCOMANDAZIONI E INDICAZIONI OPERATIVE**

### **1. Indicazioni operative per la gestione organizzativa**

Per elaborare indicazioni utili alla gestione operativa delle tecnologie in azienda, sono state analizzate le dimensioni del RAG, precedentemente riportate. La visione aggregata delle risposte, e l'analisi di dettaglio dei punteggi conseguiti dalle aziende nelle diverse performance resilienti, hanno messo in luce molteplici criticità. Tra le altre, si ricorda l'assenza di normative specifiche per la gestione dei Cobot, che ostacola la formalizzazione di riferimenti concreti sulla sicurezza della tecnologia. Inoltre, le particolari fonti di rischio, non unicamente riconducibili a caratteristiche della macchina o della tecnologia, ma legate alla complessa ed ampia trasformazione delle attività e delle pratiche di lavoro. Come sopravvivere, migliorare ed essere resilienti? È necessario servirsi di approcci di Resilience Engineering (RE), che tengano in considerazione i principi di Safety II, poco familiari per il panorama industriale odierno.

#### *1.1. Criticità ed elementi di gestione*

Le organizzazioni spendono significative risorse, materiali e immateriali, per la formazione, come anche documentato dai risultati dell'indagine (cfr. Figura 3). Il potenziale sistemico relativo all'abilità Imparare, infatti, è quello mediamente più alto, mentre il più basso risulta essere

quello di Monitorare. Tuttavia, la resilienza, o per meglio dire la performance resiliente, emerge dalla contemporanea manifestazione coordinata di tutti i quattro potenziali. Le aziende devono quindi tenere in considerazione questi quattro potenziali in modo sistemico, congiunto, senza trascurare gli effetti che un potenziale abbia sugli altri.

Dalla rilevazione, invece, emerge come spesso i risultati delle attività formative non si integrino proattivamente in favore della performance resiliente. Esempio, in tal senso, è la tendenza delle aziende del campione ad attribuire la prevenzione delle situazioni potenzialmente pericolose alla fase di progettazione tecnologica, di competenza della casa produttrice dei Cobot, e quindi estranea nei fatti alle attività internamente assolte. Sebbene le aziende del campione riconoscano che ulteriori soluzioni di monitoraggio digitale possano aumentare il potenziale di resilienza in termini di SSL, ritengono esaustive le valutazioni di rischio dichiarate dal produttore, *de facto* delegando a questi l'attività di monitoraggio del rischio.

Diversamente, le aziende devono considerare in modo esaustivo gli effetti sistemici delle interazioni presenti contestualmente nella realtà lavorativa effettiva. Se tale considerazione viene a mancare, si verifica un disallineamento informativo (*gap*), nel momento in cui diversi attori interagiscono nello stesso sistema, con obiettivi generali comuni, ma eseguendo attività distinte.

I risultati dell'indagine confermano la presenza di tale *gap*. Nella fattispecie, si concretizza nelle azioni disarmoniche e disallineate di tre principali attori: il produttore/fornitore, che progetta/fornisce la tecnologia e ne definisce alcuni aspetti critici, come possono essere i rischi per la SSL dei lavoratori che utilizzano Cobot; i manager aziendali, che si interfacciano sia con i produttori che con i lavoratori, da un lato approvando quanto loro fornito, dall'altro consegnando una tecnologia ad un lavoratore senza effettivamente svolgere l'attività; infine, gli operatori dell'azienda, che svolgono il lavoro e si interfacciano quotidianamente con la tecnologia.

Per colmare tale disallineamento, le aziende devono tenere in considerazione il concetto di "varietà del lavoro". Ovvero, il lavoro assume diverse connotazioni a seconda del contesto, del livello di astrazione e della distanza tra la persona che effettua la valutazione e la

persona che svolge l'attività (Patriarca *et al.*, 2021). Nello specifico, le aziende devono tenere in considerazione che esiste un cosiddetto *Work As Done* (WAD), ovvero un lavoro come viene effettivamente svolto nelle condizioni locali di spazio e tempo; un *Work As Imagined* (WAI), che si riferisce al lavoro come viene percepito da figure lontane dall'attività, quali progettisti, dirigenti, o manager, ma anche all'immagine irrealistica del proprio o altrui lavoro. Esiste, poi, un *Work As Prescribed* (WAP), che si riferisce al lavoro come prescritto dalle forze di regolazione interne all'organizzazione, derivante cioè dalle *best practice* interne, dalla segnaletica, dai protocolli, o da regole informali. Il *Work As Normative*, d'altro canto, è quella rappresentazione del lavoro frutto della normativa di organismi regolanti esterni, che formalizzano norme tecniche, disposizioni nazionali e leggi quadro. Il *Work As Disclosed* (WAD), si riferisce a ciò che del lavoro i lavoratori mostrano o dichiarano esplicitamente. Infine, il *Work As Observed* (WAO), è quanto del lavoro viene percepito a seguito dell'osservazione, partecipante o naturalistica.

Questa varietà dei significati del lavoro può di per sé ostacolare la performance resiliente di sistema, soprattutto se non tenuta in considerazione. Infatti, le diverse connotazioni, intrinsecamente non allineate, contribuiscono nel generare il *gap* precedentemente illustrato.

Una prima conseguenza è la mancanza di *situational awareness* (consapevolezza della situazione) a livello organizzativo che, nei fatti, si traduce in comportamenti collettivi come la deriva della cultura organizzativa, ovvero un progressivo deterioramento delle buone pratiche stabilite inizialmente. Tale aspetto, trova evidenza nel basso punteggio conseguito nell'abilità di Monitorare. Un basso livello di monitoraggio non permette alle organizzazioni di controllare appieno la situazione, vale a dire le reali condizioni operative, intercettando la presenza di possibili segnali di allerta, a cui Rispondere. Ovviamente, questo si ripercuote anche sulle altre abilità, nel momento in cui si perdono occasioni per Imparare, non generando quante *lessons learned* sarebbero state generate grazie ad un attento monitoraggio. Di conseguenza, diminuisce la capacità di Anticipare fenomeni, perché non osservati.

## 1.2. Raccomandazioni di tipo sistemico

Per favorire la performance resiliente, è necessario che le aziende analizzino ed esprimano i potenziali sistemici (Rispondere, Monitorare, Imparare ed Anticipare), mediante una rappresentazione funzionale ed interconnessa. Tra le rappresentazioni funzionali esistenti, è stata valutata idonea e replicabile, rispetto agli scopi del progetto, quella offerta dal Functional Resonance Analysis Method (FRAM) (Hollnagel, 2012, 2017). Tale metodo prevede che, definiti gli obiettivi del sistema sociotecnico, vale a dire dell'organizzazione, le quattro abilità *cornerstone* della resilienza, misurate nel campione attraverso i rispettivi potenziali, interagiscono funzionalmente.

In primis, quindi, le aziende devono definire gli obiettivi del sistema in cui operano e le funzioni che si vogliono rappresentare.

Successivamente, si devono stabilire i legami tra i potenziali che, secondo le logiche del modello, risultano essere intrinsecamente non lineari. La non linearità, è rappresentata mediante una connessione tra la funzione a monte e quella a valle. Quella a monte si connette per il tramite della porta Output (O), quella a valle per mezzo di uno delle cinque possibili porte di ingresso che modulano in maniera opportuna le interazioni monte-valle.

L'interazione sistemica è riconoscibile visivamente dalla presenza di *loop* di connessione tra i potenziali, e quindi tra le funzioni.

Quindi, in questo tipo di rappresentazione funzionale del sistema, ogni funzione, rappresentata all'interno di un esagono, interagisce con altre funzioni.

La definizione delle funzioni da parte delle aziende richiede un ulteriore sforzo concettuale. Tali funzioni, infatti, possono essere ricondotte a compiti o attività. Esiste una differenza tra compiti e attività, corrispondente alla distinzione introdotta in precedenza tra *Work-As-Imagined* (WAI) e *Work-As-Done* (WAD). Un compito descrive un lavoro facendo riferimento a come è stato progettato ed immaginato da un manager, mentre un'attività il lavoro come viene effettivamente eseguito. In questa ottica, per evitare il *gap* informativo e la perdita di *situation awareness*, le organizzazioni devono focalizzare l'analisi sulle attività (WAD). Queste ultime rappresentano i mezzi necessari per produrre

un certo risultato e, quindi, raggiungere un obiettivo. Successivamente, le aziende devono esplicitare i legami non lineari che intercorrono tra le funzioni. A tal proposito, bisogna far riferimento ai sei aspetti che caratterizzano le funzioni, che possono essere tutti definiti o definiti in modo parziale, come illustrato di seguito. Gli aspetti sono:

- *Input* (I): qualsiasi elemento avvia una funzione o è trasformato per produrre un Output (O);
- *Time* (T): condizione temporale che influenza il modo in cui la funzione viene svolta (vincolo, risorsa etc.);
- *Control* (C): qualsiasi elemento che supervisiona o regola la funzione (piano, procedura, linea guida etc.);
- *Output* (O): il risultato della funzione svolta;
- *Resource* (R): qualsiasi elemento necessario o impiegato dalla funzione (energia, competenza, tecnologia etc.);
- *Preconditions* (P): condizioni che devono verificarsi prima che la funzione possa essere svolta.

Per definire delle indicazioni operative per le aziende, il gruppo di ricerca ha sfruttato il modello illustrato. Quest'ultimo è stato declinato sul contesto in analisi, sfruttando i risultati raccolti mediante i questionari sottoposti alle aziende. La suddetta declinazione fornisce un esempio pratico di come il metodo possa essere implementato. Il risultato è una rappresentazione funzionale del modello di costrutti valutati dal RAG. In particolare:

- Gli obiettivi corrispondono a: <Assolvere lo scopo funzionale dell'organizzazione>; <Riacquistare il controllo dell'organizzazione>, ovvero conservare gli scopi per cui il sistema sociotecnico (l'organizzazione) è stato costituito, garantendo performance accettabili a fronte di un evento di disturbo;
- Le funzioni (attività) corrispondono ai quattro potenziali RAG indagati (Rispondere, Monitorare, Imparare, Anticipare);
- Gli aspetti che caratterizzano ogni funzione, definiti per ogni funzione, sono:
  - Rispondere

- *Input*: stato imprevisto; segnali di allerta (Output di Monitorare);
- *Output*: insieme di risposte.
- Monitorare
  - *Input*: andamento dei processi;
  - *Time*: frequenza del monitoraggio (Output di Imparare);
  - *Control*: aree di priorità d'intervento (Output di Anticipare);
  - *Output*: segnali di allerta (Input di Rispondere).
- Imparare
  - *Input*: Insieme di risposte (Output di Rispondere);
  - *Output*: Lessons learned (Control di Monitorare; Input di Anticipare); Frequenza del monitoraggio (Time di Monitorare).
- Anticipare
  - *Input*: Lessons Learned (Output di Imparare);
  - *Output*: Aree di priorità di intervento (Control di Monitorare).

Non sono state individuate *Preconditions* e *Resources*, al fine di definire delle indicazioni che, non risultando troppo specifiche, potessero essere sfruttate in modo flessibile dalle organizzazioni, risultando adattabili a diversi contesti tecnologici ed organizzativi.

In definitiva, dal confronto dell'analisi dei potenziali rilevati e dalla loro rappresentazione funzionale è possibile stilare delle raccomandazioni, altresì suggerite dal basso punteggio riconducibile alle attività <Monitorare> e <Anticipare>. Tali raccomandazioni vengono di seguito sintetizzate in cinque punti principali che le organizzazioni devono tenere in considerazione sulla base delle [Lessons learned].

1. *Stabilire delle priorità d'intervento per evitare i rischi individuati nelle lessons learned*

L'abilità di anticipare gli eventi e quella di imparare da essi sono fortemente collegate. Un'organizzazione che può dirsi resiliente sa usare le [Lessons learned] per impostare attività anticipatorie ragionate che si esplicano, all'atto pratico, nella prioritizzazione delle aree d'intervento.

2. *Individuare una lista generale dei processi a rischio da monitorare*

Tra i processi eseguiti dall'organizzazione per assolvere allo scopo funzionale per cui è stata costituita, va individuata una lista da tenere sotto

controllo, fra quelli potenzialmente a rischio. Perché l'organizzazione possa rispondere in maniera efficace a eventi perturbanti deve monitorare l'andamento delle performance, dunque, l'andamento dei processi.

3. *Ordinare i processi individuati al punto 2 (ranking dei processi) in termini delle priorità d'intervento stabilite al punto 1*

Il monitoraggio è un'attività piuttosto costosa, sia in termini di risorse materiali che immateriali richieste. Per questo motivo è bene evitare di monitorare qualunque processo, ma solo la quota parte effettivamente indispensabile. Il risultato della classificazione degli interventi in funzione delle necessità di anticipazione può, e deve, essere utilizzata per selezionare i processi su cui l'azienda dovrà focalizzare la propria attenzione. In tal senso, l'Output della funzione <Anticipare> regola la funzione <Monitorare>.

4. *Definire, per i processi prioritizzati al punto 3, un set di indicatori sentinella e relativi valori soglia rispetto ai quali avviare le previste azioni di risposta predeterminate*

Il monitoraggio passivo di un processo equivale a una semplice raccolta dati. L'azienda deve predisporre un set di indicatori di performance in grado di cogliere la variabilità dei processi. Tali indicatori prendono il nome di indicatori sentinella. Se possibile, gli indicatori dovrebbero essere di tipo *leading* (anticipatorio dell'evento perturbante). In ogni caso, devono essere significativi e accurati. Per ognuno degli indicatori individuati l'organizzazione deve stabilire un corrispondente valore soglia, al superamento del quale l'organizzazione possa far partire la corrispondente configurazione di risposte (<Rispondere>).

5. *Stabilire la frequenza di campionamento dei processi e il tempo di calcolo degli indicatori sentinella*

Come già richiamato, l'attività di monitoraggio è dispendiosa e generalmente non avviene in modo continuativo, ma intermittente, con una frequenza che viene detta "frequenza di campionamento". Tale frequenza di campionamento dei processi non deve essere troppo elevata, per evitare che possa risultare antieconomica, ma non deve essere neanche eccessivamente bassa, perché in tal caso rischierebbe di non permettere la

rilevazione efficace dell'indicatore e/o l'attuazione efficiente del piano di risposta. Per questo motivo la frequenza di campionamento deve essere scelta in modo tale da consentire la compensazione del ritardo tra la rilevazione del superamento del valore soglia e l'inizio delle attività di risposta, e del tempo richiesto per l'attuazione delle risposte individuate.

## **2. Indicazioni operative per la formazione: la progettazione formativa**

In base alle riflessioni sviluppate nel capitolo 5, la progettazione formativa dovrebbe porre attenzione a diversi aspetti. Innanzitutto, agli obiettivi e ai contenuti formativi, mediante meccanismi di costruzione/rafforzamento, oltre che delle conoscenze teoriche e delle competenze tecniche, anche delle competenze strategiche e dei processi cognitivi di ordine superiore, per sviluppare nei lavoratori un approccio "analitico-predittivo" alle questioni relative alla SSL, teso alla soluzione dei problemi e all'innovazione. Attenzione, poi, alla complessità dei compiti e all'interconnessione di processi. Le competenze strategiche e i processi cognitivi di ordine superiore possono essere stimolati attraverso una formazione "informata dall'esperienza", caratterizzata da modalità formative focalizzate sull'analisi di situazioni non ordinarie. Tale analisi deve essere guidata dalla propria esperienza e/o da esempi/casi proposti per permettere ai partecipanti stessi di costruire i propri apprendimenti. Ulteriori stimoli possono derivare dalla riflessione critica sugli obiettivi di innovazione: attività di analisi, valutazione e costruzione di ragionamenti e argomenti su specifiche tematiche/casistiche, al fine di sviluppare il pensiero critico e l'individuazione di soluzioni innovative alle situazioni presentate. Inoltre, da metodi e strumenti che stimolino la cooperazione e partecipazione dei lavoratori. Di conseguenza viene suggerito l'utilizzo di strategie didattiche attive e interattive.

### *2.1. Le strategie didattiche attive e interattive*

I processi cognitivi di ordine superiore e le competenze strategiche possono essere efficacemente sviluppate attraverso specifiche strategie.



### *Cicli di Apprendimento Esperienziale – CAE*

I Cicli di Apprendimento Esperienziale prevedono le seguenti fasi.

FASE 0: il momento didattico parte da un Problema Aperto (o situazione problematica), che ammette molteplici soluzioni.

FASE 1: L'impegno profuso nel risolvere il problema, all'interno di un contesto condiviso, porta l'allievo a compiere un'Esperienza (esperienza di risoluzione).

FASE 2: Ciascun gruppo o coppia viene poi chiamato a narrare la propria Esperienza (Comunicazione) tramite un'esposizione orale o scritta di quanto esperito.

FASE 3: A partire da tale frangente comunicativo esplicito, grazie all'intervento del docente e di tutto il gruppo aula, vengono individuati i punti di forza e i punti di debolezza delle diverse soluzioni proposte al problema di partenza (Analisi).

FASE 4: Il docente, insieme al gruppo dei discenti, sintetizza quindi i punti di forza delle soluzioni emerse al fine di produrre (o proporre ex novo) una o più soluzioni ottimali e su queste estrapola i principi generali su cui le soluzioni ottimali dovrebbero basarsi (Generalizzazione o fase teorica),

FASE 5: Il docente propone poi un altro problema a cui tali principi e soluzioni potranno essere applicati (Applicazione) e questo farà partire un nuovo ciclo di apprendimento esperienziale.

### *Technology Enhanced Active Learning – TEAL*

Il Technology Enhanced Active Learning è una strategia di Active Learning flessibile, che unisce presentazioni, simulazioni e attività laboratoriali con i linguaggi digitali/multimediali e l'impiego di device di vario tipo. Con il TEAL, l'ambiente formativo viene riorganizzato e l'uso delle tecnologie richiede di realizzare scelte didattiche consapevoli, facendo sì che rivoluzionare il setting d'aula diventi un processo naturale e necessario. Il TEAL permette di impiegare un'ampia varietà di tecniche e di soluzioni organizzative e didattiche, tra cui i lavori di gruppo interattivi, l'uso delle isole di lavoro e di punti di proiezione visibili da ciascuna isola di lavoro. Un pilastro fondamentale è l'uso di simulazioni bidimensionali o tridimensionali in ambienti digitali e

virtuali, con l'obiettivo di facilitare la comprensione di concetti complessi e lo studio di fenomeni, reazioni ed eventi in tempo reale e in una dimensione naturale. Alcuni dei principi fondamentali di questa metodologia sono l'apprendimento di gruppo e l'apprendimento tra pari; l'uso di "concept questions", ovvero domande interattive, con l'uso dei risponditori automatici; il feedback immediato; l'uso ampio e differenziato delle tecnologie (dispositivi mobili, proiettori per lavori di gruppo, ecc.); l'uso di griglie per l'autovalutazione.

COSA FA IL DOCENTE	COSA FA IL LAVORATORE IN FORMAZIONE
<p><i>Favorisce:</i> la sperimentazione in piccoli gruppi (hands on) la discussione, il problem solving, la ricerca attiva, l'apprendimento collaborativo (work flow) e tra pari.</p> <p><i>Propone:</i> esercizi mirati all'elaborazione di uno o più prodotti da condividere in modalità multimediale con il gruppo.</p> <p><i>Valuta:</i> con una rubrica esplicitata all'inizio dell'attività.</p>	<p><i>È favorito:</i> – nell'emancipazione della ricezione passiva dei contenuti, – nello sviluppo di competenze di comunicazione in un contesto collaborativo, – nel potenziamento di nuovi modelli di ricerca, – nella co-costruzione di un apprendimento tra pari, – nell'approfondimento di competenze espressive e critiche.</p> <p><i>È sostenuto:</i> dall'intervento e valutazione del docente.</p>
<p><b>SETTING D'AULA</b></p> <p>L'aula è predisposta architettonicamente sulla base di: – come si intende far interagire i partecipanti tra di loro e con il docente, – quale modello didattico e strategia si intendono applicare</p> <p>I partecipanti lavorano insieme, seduti ad una postazione, in gruppi di 3 o 5 (il numero dispari favorisce lo sviluppo di un accordo, in quanto non ci sarà mai una parità nelle decisioni)</p> <p>Il docente ha una postazione centrale, da cui: – Controlla l'attività dei partecipanti (anche on-line) – Proietta su schermo i contenuti che ritiene opportuni – Si muove tra le postazioni, per vigilare sulle dinamiche dei gruppi, rispondere a problemi o intervenire</p>	

*Problem Based Learning – PBL*

Il Problem Based Learning (Apprendimento basato sui problemi), è una strategia didattica che si basa sull'approccio della Flipped Classroom (sotto–descritta) e del costruttivismo. Il docente propone un problema reale/realistico costruito per stimolare argomenti specifici relativi agli obiettivi formativi che si pone; egli assume pertanto il ruolo di guida (facilitatore) e supporta i gruppi durante le fasi attive in aula: egli, quindi, non eroga una lezione sui contenuti e non aiuta a risolvere i problemi, ma si limita a guidare il gruppo nella discussione mantenendo un ruolo neutro e senza dare informazioni sui contenuti disciplinari. I contenuti vengono affrontati tramite lo studio autonomo svolto dai partecipanti mentre in aula viene svolta l'analisi e la discussione del problema. Il gruppo sviluppa e presenta un elaborato che risponda al problema proposto. Un possibile modello di applicazione del PBL prevede 10 step suddivisi in due lezioni separate:

## I° INCONTRO

- Step 1: il docente chiarisce eventuali termini ed i concetti poco chiari e non completamente compresi;
- Step 2: i partecipanti definiscono il problema;
- Step 3: i partecipanti analizzano il problema;
- Step 4: i partecipanti formulano un inventario sistematico delle spiegazioni desunte dallo step 3;
- Step 5: il gruppo formula obiettivi di apprendimento;

## STUDIO/LAVORO AUTONOMO

- Step 6: ogni partecipante deve raccogliere tutte le informazioni necessarie a rispondere agli obiettivi di apprendimento stabiliti;

## II° INCONTRO

- Step 7: il gruppo sintetizza e valuta le informazioni acquisite di recente;
- Step 8: i partecipanti rilevano l'eventuale presenza di domande aperte;
- Step 9: i partecipanti valutano il lavoro di gruppo;
- Step 10: i partecipanti valutano il lavoro personale

### *Flipped classroom*

Detta anche Classe Capovolta, è un approccio di apprendimento collaborativo che propone l'inversione dei due momenti classici (lezione e successivo studio individuale): la lezione viene spostata a casa, sostituita di fatto dallo studio individuale; lo studio individuale invece viene spostato in aula, sostituito dalla lezione in classe dove il docente può esercitare il suo ruolo di tutor al fianco dei partecipanti. L'insegnamento capovolto fa leva sul fatto che le competenze cognitive di base del partecipante (ascoltare, memorizzare) possano essere attivate prevalentemente fuori dall'aula, in autonomia, apprendendo attraverso video e podcast, o leggendo i testi proposti dai docenti o condivisi da altri docenti. In aula, invece, possono essere attivate le competenze cognitive alte (comprendere, applicare, valutare, creare) poiché l'allievo non è solo e, insieme ai colleghi e al docente al suo fianco cerca, quindi, di applicare quanto appreso per risolvere problemi pratici proposti dal docente. Tale approccio didattico valorizza le risorse digitali e le reti sociali, e trasforma i momenti tradizionali dell'apprendimento mantenendo profonde radici educative. Di fatto strategie didattiche di *problem solving teaching* e il *problem based learning* (Hattie, 2012; Marzano 2001) risultano valide per giungere ad una costruzione, autonoma o guidata, di possibili soluzioni a problemi "autentici", anziché aumentare solamente la capacità di riprodurre conoscenza concettuale (come avviene con metodi formativi più tradizionali-teorici).

A livello pratico, nella Flipped Classroom il docente avvia la lezione in aula con una presentazione di pochi minuti; successivamente, la vera lezione è spiegata al partecipante con video e materiali multimediali condivisi proprio dal docente tramite piattaforme didattiche (tale parte viene svolta in autodidattica e può essere svolta in azienda). La parte più interessante e stimolante è il compito autentico, che si esegue solitamente in gruppo, collaborando tra partecipanti e autovalutandosi, attraverso *check list* opportunamente predisposte dal docente.

### 2.2. *Utilizzo del feedback*

In tutte le strategie didattiche presentate, per stimolare i processi cognitivi di ordine superiore, nonché le competenze strategiche

soprarichiamate, risulta importante che i docenti offrano alle persone in formazione dei giusti feedback, che svolgono un importante ruolo all'interno del processo di insegnamento–apprendimento. Il feedback risulta fondamentale non solo per gli allievi ma anche per i docenti (la pratica dell'osservazione sistematica dei processi coinvolti è fondamentale, in quanto la riflessione sulle risposte fornite dagli alunni permette una rimodulazione dell'intervento didattico). Il feedback è un'azione che torna indietro rispetto ad un atto svolto. Ha un grandissimo valore nonostante venga utilizzato in maniera minore rispetto ad altri strumenti nella valutazione. È una caratteristica tipica dell'insegnamento e dell'apprendimento efficace e ha un effect size<sup>1</sup> pari +0,75, ma, purtroppo, è uno degli effetti tra i più incostanti. Lo scopo del feedback è quello di ridurre la distanza fra il punto in cui lo studente «si trova» e il punto in cui «dovrebbe arrivare» e per far ciò il docente può utilizzare, come strumento di lavoro, le pratiche di osservazione sistematica. Il feedback si basa su tre grandi domande: *dove voglio arrivare* (obiettivi)? *Come faccio ad arrivarci* (strumenti da utilizzare e progresso)? *Quale sarà il prossimo passo* (prospettiva)?

Il feedback deve essere immediato, veloce, chiaro, ma soprattutto frequente e sistematico, spiegando il perché un allievo ha fatto bene o ha fatto male. Di fatto, ha delle componenti informative, comunicative, affettivo–relazionali con un focus meta–riflessivo sulle strategie utilizzate. Inoltre, è altamente dinamico: è presente un continuo scambio tra docente e allievo con un ritorno circolare delle informazioni. Hattie (2016) distingue 4 livelli di feedback.

*Sul compito*: si tratta del feedback del docente che pone domande e commenta i compiti svolti, ma è di natura correttiva, specifico rispetto ad un determinato compito e quindi non generalizzabile.

*Sui processi*: in questo caso il docente esplicita le strategie e guida l'allunno alla ricerca di collegamenti fra le idee emerse nel compito. Questo tipo di feedback riduce il carico cognitivo perché attiva un approccio riflessivo sulle interconnessioni tra i vari argomenti e una riattivazione delle preconcoscenze.

*Autoregolazione*: in questo caso il docente usa domande come ad esempio “Quando?” “Dove?” e “Perché?” che invitano a riflettere e

verificare il processo messo in atto. È un feedback diretto al monitoraggio dei processi di apprendimento che permette un miglioramento delle capacità di autovalutazione, incoraggia la ricerca di risposte nuove e divergenti e, nel lungo periodo, offre all'alunno una maggiore sicurezza nello svolgimento del compito.

*Feedback relativo al sé:* è la tipologia di feedback maggiormente utilizzata dai docenti, ovvero quello della lode, che ha scarso effetto, perché non identifica né la qualità di un prodotto né tanto meno le riflessioni introdotte e le strategie utilizzate durante un processo di apprendimento. Il docente deve esser consapevole dell'importanza delle lodi, ma allo stesso tempo deve comprendere anche come evitare la sovrapposizione di queste al feedback, in quanto sarebbe controproducente e potrebbe sostenere il meccanismo dell'impotenza appresa.

Il feedback di secondo e soprattutto di terzo livello risulta importante nei processi formativi relativi alla SSL in quanto può stimolare un apprendimento il più possibile partecipativo e significativo.

## ELEMENTI DI INDIRIZZO NORMATIVO E LEGISLATIVO

### 1. Premessa

Al fine di descrivere il contesto normativo all'interno del quale, in Italia, si definisce la tutela della SSL nei contesti lavorativi soggetti a trasformazione digitale, è opportuno prendere le mosse dai principali contesti e fattori di rischio, evidenziati nella letteratura giuridica e nei testi di *soft law* a livella nazionale e internazionale.

Ulteriore aspetto da considerare è che non solo la legislazione italiana ha conosciuto una accelerazione importante negli ultimi anni, ma che un incremento particolarmente consistente è stato stimolato, come è noto, delle misure di contenimento della pandemia da SARS-CoV-2. Nelle misure di contrasto alla pandemia, infatti, il ruolo dello sviluppo tecnologico in relazione all'ambito lavorativo ha giocato un ruolo di assoluto primo piano.

#### 1.1. *Workplace Innovation – Sfide normative e rischi per la SSL*

Come evidenziato nella comunicazione della Commissione europea EU Strategic Framework on Health and Safety at Work 2014-2020 del 6 giugno 2014, i rischi derivanti dalle nuove tecnologie possono essere annoverati tra le sfide più importanti della contemporaneità in materia di SSL. In tale documento si sottolinea, da un lato, come i cambiamenti nell'attuazione e nell'organizzazione della vita lavorativa derivanti dalle

nuove tecnologie abbiano apportato indubitabili benefici al benessere dei lavoratori e alle loro condizioni di lavoro: si riconoscono le opportunità create dagli strumenti che consentono una connettività pressoché continua, in riferimento ad aspetti come quelli della flessibilità e dell'interattività del lavoro. D'altro canto, queste opportunità possono trasformarsi in rischi (in particolare correlati allo stress e all'ergonomia) se le loro conseguenze non sono valutate in maniera ponderata e garantendo i diritti dei lavoratori. Da ciò deriva l'auspicio della Commissione: «[s]pecific attention should be given to addressing the impact of changes in work organization in terms of physical and mental health».

L'analisi della letteratura giuridica consente di identificare i principali rischi legati all'innovazione digitale in ambito lavorativo, da un lato, e di tracciare alcune direttrici su cui instradare il percorso di mitigazione degli stessi, dall'altro. Emerge, in questa prospettiva, una sostanziale sintonia della dottrina nell'individuazione di una serie di aree di rischio, peraltro coincidenti con quelle descritte nel documento "Foresight on new and emerging occupational safety and health risks associated with digitalisation by 2025", redatto dalla European Agency for Safety and Health at Work (2018).

I rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori derivanti dall'innovazione digitale possono dunque essere suddivisi in sei aree principali:

- I. 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;
- II. Opacità degli algoritmi sottostanti e delle interfacce uomo-macchina;
- III. Alterazione del ritmo di lavoro (per come, dove e quando è svolto e per come viene gestito e supervisionato) e conseguente aumento dello stress correlato al lavoro, in particolare a seguito dell'impatto di un maggiore monitoraggio dei lavoratori reso possibile dai progressi e dalla crescente ubiquità degli ICT-ET indossabili;
- IV. Rischi di cybersecurity dovuti ad un aumento dell'interconnessione di cose e persone e perdita di controllo dei lavoratori sui propri dati;
- V. Crescita del numero di lavoratori trattati (a torto o ragione) come lavoratori autonomi e che potrebbero non rientrare nella normativa vigente in materia di SSL;



VI. Rischi di natura ergonomica dovuti al crescente utilizzo di strumenti tecnologici, in particolar modo in luoghi esterni all'ufficio e/o non adeguatamente attrezzati.

In molte di queste aree di rischio il legislatore è intervenuto in modo più o meno tempestivo; in altre l'intervento del legislatore appare meno significativo e meno puntuale

*1.2. Focus: la SSL nell'ambito della Human Robot Collaboration.*

La questione della robotica collaborativa e dell'impatto di tale innovazione nei contesti di lavoro, con particolare riguardo ai profili della salute e sicurezza, rappresenta un ambito specifico all'interno del quale l'intervento del legislatore è ancora molto limitato, e che la stessa dottrina ha considerato solo in poche occasioni. Tuttavia, l'innovazione tecnologica ha favorito l'introduzione della robotica collaborativa nei luoghi di lavoro: la prospettiva di benefici economici e organizzativi offerta dai robot collaborativi ha condotto a una organizzazione di processi produttivi basata sulla condivisione di competenze umane e robotiche (V. Villani, F. Pini, F. Leali, and C. Secchi, 2018).

In questo contesto, uno degli aspetti di maggiore interesse per i giuristi con riguardo alla robotica è certamente quello che collega responsabilità e sicurezza. Ciò che emerge dall'osservazione dei contesti di implementazione della robotica collaborativa è l'importanza dello sviluppo di efficaci percorsi di formazione per l'accettazione delle nuove tecnologie e il loro corretto utilizzo da parte dei lavoratori. Dal momento che l'introduzione di sistemi di collaborazione uomo-robot porta con sé importanti modifiche in ogni ambito dell'impresa, ciò si traduce in un'esigenza globale di formazione che investe l'intera struttura del personale e tutte le funzioni di un'azienda. Questo risultato — in una prospettiva regolativa — potrebbe secondo alcuni osservatori prodursi mediante un maggior coinvolgimento delle RSA/RISU, con specifico riferimento alla formazione (Tiraboschi M., Seghezzi F., 2016).

È importante notare che anche a livello normativo l'importanza della formazione è stata riconosciuta. Si può menzionare la risoluzione del Consiglio dell'Unione Europea 2011/C 372/01 che ha riconosciuto

allo sviluppo delle competenze e al *lifelong learning* un ruolo chiave per una crescita intelligente, sostenibile, inclusiva e sicura. A questa risoluzione si è affiancata la raccomandazione del Consiglio del 22 maggio 2018 (2018/C 189/01) sul lifelong learning. In questi termini, si conferma preziosa la centralità del welfare aziendale che ha arricchito le coordinate tradizionali del patto lavoro/retribuzione, facendovi rientrare non solamente la soddisfazione economica del dipendente, ma anche il suo benessere, che passa anche attraverso il suo maggior coinvolgimento consapevole in azienda (Engblom S., 2017; Magnani M., 2021).

## 2. Principali fattori di rischio e strategie di mitigazione

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.*

Un primo problema che la letteratura in materia sottolinea da tempo (Garofalo, 2019; Kaplan, 2016 e 2017; Maio, 2018; Simoncini, 2018), è quello della disoccupazione ciclica, ovvero della ciclicità con cui le persone perderanno il lavoro e saranno costrette a reinventarsi e a sviluppare nuove competenze per trovare una nuova occupazione.

Con riferimento alla questione della sicurezza, soprattutto sociale, dei lavoratori, l'analisi della letteratura (ad esempio, Kaplan, 2016 e 2017) evidenzia, anzitutto, due effetti diretti dell'automazione sul mondo del lavoro: la riduzione della manodopera necessaria e l'obsolescenza delle competenze.

Rispetto a tali rischi, parte della dottrina individua tre principali direttrici di mitigazione: 1) abbandonare la classica distinzione tra *white* e *blue collar*, basata sulla considerazione/reputazione sociale, in quanto per la IA sono a rischio lavori che potrebbero ricomprendere entrambe le categorie, indistintamente; 2) enfatizzare il valore del contatto umano e dell'empatia nello svolgimento di alcune professioni, onde ridurre il rischio di sostituzione (si citano, ad esempio, mestieri come avvocato, psicologo, etc.); 3) ribadire la centralità della formazione, che consente il migliore *re-skilling/up-skilling* dei lavoratori, garantendo una formazione continua dei dipendenti (Ichino, 2017 e Santoro-Passarelli, 2019 e Garofalo, 2019).

## *2.2. Opacità degli algoritmi*

Il rischio relativo all'opacità degli algoritmi dipende dalla possibilità di dotare un dispositivo robotico non più solo di un algoritmo inerziale, che ne governa i processi e ne delimita le potenzialità, ma anche della capacità di verificare, modificare, aggiornare, sviluppare, rielaborare autonomamente i propri algoritmi, così da poter adattare il proprio comportamento agli stimoli esterni e saper affrontare e risolvere problemi nuovi.

La letteratura concorda sulla necessità di sviluppare un modello di responsabilità che coinvolga i diversi soggetti attivi nella realizzazione del prodotto dotato di intelligenza artificiale. In ragione di ciò, l'algoritmo dovrebbe poter essere considerato una componente della entità intelligente e il suo autore corrispondentemente responsabilizzato (Ruffolo, 2019). A queste due figure si suggerisce poi di unire la categoria dell'utente qualora l'evento dannoso non sia esclusivamente imputabile ad un difetto di fabbricazione (Maio, 2018; Moro Visconti, 2018).

Alcuni autori (Frattari, 2020) sostengono anche l'utilità di una cumulabilità e non alternatività delle responsabilità dei diversi soggetti coinvolti nella catena di produzione e distribuzione, per evitare un significativo abbassamento degli standard di tutela del consumatore. Altri (Capilli, 2019) suggeriscono invece di ricondurre la responsabilità per danno provocato da robot nell'ambito della disciplina della sicurezza dei prodotti e della responsabilità del produttore in quanto si tratta di aree normative fortemente connesse. Altri ancora (Finocchiaro, 2020) ritengono infine necessario sviluppare un nuovo modello di responsabilità oggettiva e collettiva, ripartita su più soggetti, indipendentemente dalla infruttuosa e dispendiosa ricerca dell'errore.

L'opacità, tuttavia, non incide solo sul piano delle responsabilità: la trasparenza delle decisioni degli algoritmi ha un impatto sui lavoratori, ad esempio in riferimento alla selezione dei candidati ad una posizione lavorativa. Su questo tema, alcuni autori (Costantini 2019) sottolineano come nel caso di semplice profilazione sia sufficiente informare l'interessato sulla logica complessiva applicata (artt. 13, 14 e 15 GDPR), mentre altri (Moro Visconti 2018) ritengono che nel caso di decisione unicamente automatizzata sia necessario un livello maggiore

di garanzia, ottenuta o con un ricorso all'intervento umano. Anche in quest'ultimo caso, però, si ribadisce (Messinetti 2019) il diritto del titolare dei dati personali ad avere comunicazione di tutti i dati personali che lo riguardano, quindi anche di quelli cosiddetti derivati.

### 2.3. *Alterazione del ritmo di lavoro mediante il controllo da remoto*

Ampia dottrina (Caruso, 2019; Ingraio, 2019; Sandulli, 2019; Tiraboschi, 2017) ha messo in evidenza i rischi dell'utilizzo di impianti e applicazioni per il controllo a distanza dell'attività dei lavoratori. Accanto a ciò, si ribadisce la necessità di affermare il diritto dell'individuo alla protezione dei suoi dati personali implementando nuovi strumenti di tutela, non più unicamente o principalmente demandati al singolo, e tali da rendere possibile un rafforzamento non solo formale del potere decisionale dei soggetti cui si riferiscono i dati.

Inoltre, la letteratura esaminata (Gaeta, 2018) consente di individuare alcuni strumenti di mitigazione del rischio di violazione (formale o anche in concreto) dei dati personali dei lavoratori: si richiama infatti la necessità della pseudonimizzazione dei dati mediante: a) crittografia con chiave segreta; b) funzione di hash; c) tokenizzazione.

### 2.4. *Mutamento dei modelli di business e stress lavoro-correlato*

La dottrina ha evidenziato come il crescente ruolo dell'IA nei contesti di lavoro, e la correlata capacità di elaborare grandi quantità di dati personali e in conseguenza di ciò di assumere decisioni parzialmente o totalmente autonome, possa produrre un mutamento nei modelli di lavoro e una gestione impersonale del business.

Secondo alcuni (Maio 2018, 2019) per mitigare il rischio di stress lavoro correlato è auspicabile prevedere — da parte del legislatore — l'obbligo di informare il lavoratore se una decisione che impatta direttamente sul suo rapporto di lavoro sia, in tutto o in parte, e in quale e quanta parte, riconducibile alla valutazione automatizzata di un robot intelligente. Ancora, potrebbe essere opportuna la previsione di un obbligo per il datore, che deleghi ampi spazi di potere all'IA, di darne corretta informazione alle rappresentanze sindacali, garantendo alle

medesime organizzazioni un efficace potere di interdizione.

Su queste basi, emerge dall'analisi condotta come possano costruirsi altre forme di mitigazione come, ad esempio, la creazione di comitati paritetici misti datore/rappresentanti dei lavoratori con il compito di valutare e correggere, oltre agli eventuali errori dell'IA, anche i "sovraccarichi" di valutazione robotica, quando idonei ad arrecare danno a sicurezza, libertà e dignità umana (Maio, 2018).

Infine, come ribadito di recente dall'Agenzia europea in materia di SSL (EU-OSHA), la partecipazione e il coinvolgimento attivo dei dipendenti costituisce una misura essenziale per prevenire gli impatti negativi dell'AI e della robotica collaborativa sulla SSL e, conseguentemente, sulla base di una più accentuata consapevolezza condivisa, per individuare le possibili opportunità che ne derivano.

### *2.5. Crescita del numero di lavoratori inquadrati come lavoratori autonomi e rischio di esclusione dalla normativa vigente in materia di SSL*

Tale rischio riguarda in particolare i lavoratori che svolgono prestazioni lavorative mediante piattaforme digitali, cosiddetti *platform, gig o crowd workers*. La dottrina italiana (Lai, 2017) ha individuato almeno quattro rischi cui sono esposti i *gig workers*: 1) esclusione dal livello salariale riservato ai lavoratori subordinati; 2) esclusione dal sistema assistenziale riservato ai lavoratori subordinati; 3) rischi legati alla salute/sicurezza determinati da una riduzione dei costi per attrezzature; 4) autosfruttamento in assenza di un orario massimo di lavoro prestabilito.

La dottrina sottolinea come gli interventi legislativi che si sono susseguiti tra il 2015 e il 2019 hanno determinato la palese eccedenza di fattispecie astrattamente attingibili, e come l'intervento della Giurisprudenza non si sia rivelato pienamente efficace in rapporto a tale questione.

Secondo alcuni (Rampazzo, 2015), occorrerebbe prendere atto dell'impossibilità di rincorrere normativamente il progresso, e perseguire il più concreto obiettivo di predisporre un set di clausole fondamentali aperte e flessibili (Ranchordas, 2015), verso il superamento della nozione di subordinazione come categoria unitaria (Santoro-Passarelli,

2019). Oltre a ciò, alcuni (Ciucciovino 2018), ritengono necessario procedere ad un ripensamento del ruolo e degli strumenti del sindacato, quale principale promotore del diritto del lavoro in termini di tutela e miglioramento delle condizioni dei lavoratori.

### 3. Quadro normativo: una panoramica

L'analisi del quadro normativo può essere condotta in modo coerente con la categorizzazione e con la disamina dei rischi messe in luce dalla dottrina.

#### 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*

Alla luce delle disposizioni dell'art. 30 del D.lgs. 81/2008, le attività di informazione e formazione — effettivamente attuate — rappresentano uno dei requisiti centrali per la costruzione di un sistema efficace di gestione della salute e sicurezza, alla base del modello di organizzazione e di gestione di cui al D.lgs. 231/2001.

Anche le istituzioni europee hanno fatto ampio riferimento al tema della formazione dei lavoratori per confrontarsi con i cambiamenti del mondo del lavoro: con la risoluzione del Consiglio UE 2011/C 372/01 l'Unione ha riconosciuto allo sviluppo delle competenze e al *lifelong learning* un ruolo chiave per una crescita intelligente, sostenibile, inclusiva e sicura. A questa risoluzione si è affiancata la raccomandazione del Consiglio UE del 22 maggio 2018 (2018/C 189/01) sul *lifelong learning*.

Il riferimento alla formazione permanente è presente anche a livello di *soft law* europea. A questo proposito, un esempio importante è l'Agenda digitale presentata dalla Commissione europea come una delle sette iniziative faro della strategia Europa 2020.

In proposito, il legislatore italiano ha creato uno strumento inedito nel "panorama" normativo italiano: il cosiddetto contratto di espansione (art. 1 c. 349 Legge di bilancio 2021 e art. 41 D. Lgs. n. 148/2015), allo scopo di favorire il ricambio generazionale nelle grandi imprese interessate da processi di riorganizzazione e reindustrializzazione. Si tratta

di un accordo collettivo aziendale, che presuppone l'accompagnamento verso la pensione di una quota di lavoratori più anziani e l'assunzione di una quota di nuove risorse professionali, nel più ampio contesto di un processo di ammodernamento produttivo o di sviluppo tecnologico delle imprese. La legge di bilancio 2021 ha ampliato il perimetro delle imprese che possono utilizzare il contratto di espansione. Di contro, una componente fondamentale del mercato del lavoro è costituita da lavoratori che, se formati, hanno piena possibilità di confrontarsi competitivamente con gli sviluppi tecnologici. Proprio a queste persone si rivolge il PNRR.

### 3.2. *Opacità degli algoritmi*

Se a livello europeo non può non farsi riferimento al Regolamento generale per la protezione dei dati personali n. 2016/679 (GDPR), in ambito nazionale si segnalano in proposito: la legge n. 4/2019 della Regione Lazio, la quale riconosce il principio — anche nei lavori digitali — di parità di trattamento e non discriminazione nel rating reputazionale; la legge n. 128/2019, la quale, all'art. 47-quinquies (Capo V-bis), stabilisce che «ai lavoratori di cui all'articolo 47-bis si applicano la disciplina antidiscriminatoria e quella a tutela della libertà e dignità del lavoratore previste per i lavoratori subordinati, ivi compreso l'accesso alla piattaforma [...]. L'esclusione dalla piattaforma e le riduzioni delle occasioni di lavoro ascrivibili alla mancata accettazione della prestazione sono vietate».

Quanto alla giurisprudenza europea sul tema, molto ampia soprattutto relativamente al profilo dei cd. algoritmi «assunzionali» o «comportamentali», vale a dire che monitorano l'efficienza del dipendente, meritano certamente menzione le sentenze CGUE C-157/15 e C-188/15.

Quanto alla normativa non vincolante (la cosiddetta *soft law*), merita un richiamo la Carta di Bologna del 2018, che suggerisce di estendere la disciplina antidiscriminatoria anche al lavoro digitale.

Emerge pertanto come la disciplina interna stia cercando di orientarsi in modo simile a quanto già sta facendo la giurisprudenza nazionale ed europea, pur con un carattere emergenziale che ne rende ancora insufficiente l'apporto.

### 3.3. *Alterazione del ritmo di lavoro mediante il controllo da remoto*

Relativamente a tale rischio, occorre distinguere la normativa ante e post pandemia da Sars-CoV-2.

Nel novero delle norme ante pandemia, è importante ricordare la Legge 191/1998, anche detta legge Bassanini ter, con annesso regolamento attuativo (DPR n. 70/1999), che disciplina il telelavoro (articolo 4) nell'ambito delle amministrazioni pubbliche e soprattutto la L. n. 81/2017, che regola il lavoro agile.

Per effetto della pandemia si è poi verificato un moltiplicarsi delle norme in proposito. L'emergenza sanitaria ha infatti indotto il Governo a varare una serie di misure che hanno, via via, agevolato gli strumenti di esternalizzazione della prestazione dei lavoratori (in specie, lo smart working). La materia è ampiamente demandata agli accordi individuali e aziendali.

Le indicazioni possono essere sinteticamente descritte con riguardo a due diverse direttrici d'intervento: 1) si esorta ad una immediata implementazione del sistema di protezione dei luoghi di lavoro; 2) si introducono misure straordinarie di gestione del rapporto di lavoro con richiamo ad istituti — in specie, il ricorso al lavoro agile e alle ferie pregresse — finalizzati alla forte riduzione del numero di persone presenti nei luoghi di lavoro.

È importante, infine, evidenziare due questioni ulteriori connesse alla disciplina del lavoro agile e del telelavoro. La prima è di natura interpretativa e riguarda la sorte dei controlli occulti. Le soluzioni prospettate devono necessariamente essere ripensate alla luce della sentenza della Grande Camera della Corte europea dei diritti dell'uomo, relativa al caso López Ribalda c. Regno di Spagna del 17 ottobre 2019 (caso quasi gemello Köpke c. Germania), che impone di esaminare l'obbligo di informazione preventiva nella prospettiva del giudizio di bilanciamento convenzionale tra diritto alla protezione della riservatezza (art. 8 CEDU) rispetto al contrapposto, ma pari ordinato, diritto alla protezione della proprietà (art. 1 del Protocollo addizionale del 20 marzo 1952).

La seconda questione, relativa al lavoro agile/telelavoro attivato quale misura di sicurezza in fase emergenziale, attiene ai limiti e alle condizioni d'uso di strumenti personali del lavoratore. Gli strumenti di



lavoro devono rispondere alle esigenze di sicurezza e garantire che i dati aziendali siano protetti, identificando — ai fini della loro sicurezza — i rischi, tenendo conto delle specificità del contesto e determinando le misure da attuare come, del resto, espressamente previsto dalla Circ. n. 1/2020 del 4 marzo 2020 del Ministro per la Pubblica Amministrazione.

*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*

Riferimento in merito al rischio di perdita di controllo dei lavoratori sui propri dati è il già menzionato Regolamento generale per la protezione dei dati personali n. 2016/679 (General Data Protection Regulation o GDPR), che rappresenta la normativa europea vigente in materia di protezione dei dati.

In merito alla protezione dei dati personali in ambito nazionale è necessario menzionare il decreto legislativo 196 del 30 giugno 2003 e successive modificazioni (soprattutto ad opera del D.lgs. n. 101/2018), che corrisponde al codice italiano in materia di protezione dei dati personali. Oltre a questo, deve farsi riferimento alla legge n. 124/2015, con annesso D.lgs. n. 179 del 26 agosto 2016 con cui il Parlamento italiano ha delegato il governo a intervenire, attraverso uno o più decreti legislativi, sulla disciplina contenuta nel Codice dell'Amministrazione Digitale (CAD).

A questo quadro legislativo vanno poi uniti gli atti di *soft law* previsti dalla nuova disciplina, ricordando che già l'art. 40 del GDPR ha introdotto lo strumento dei “codici di condotta” che possono essere elaborati e sottoposti alle autorità di controllo, le quali hanno poi il compito di valutarli, registrarli e pubblicarli. Ad esempio, l'art. 2 quater del decreto legislativo n. 196/2003 riguarda le regole deontologiche, di cui il Garante promuove l'adozione sulla base del principio di rappresentatività.

Sono numerosi gli ambiti in cui è prevista l'adozione di dette regole deontologiche: i trattamenti svolti in esecuzione di un obbligo legale (art. 6, par. 1, lett. c) GDPR); i trattamenti effettuati per l'esecuzione di un compito di interesse pubblico o connesso all'esercizio di pubblici poteri (art. 6, par. 1, lett. c) GDPR); il trattamento di dati biometrici, genetici

o relativi allo stato di salute (art. 9 par. 4 GDPR); i trattamenti previsti al capo IX del GDPR (il trattamento dei dati personali nel settore del giornalismo, dell'accesso ai documenti amministrativi, del numero di identificazione nazionale, dei rapporti di lavoro, dell'attività di archiviazione scientifica, storica o statistica, inerenti ad attività ricoperte dal segreto professionale e quelli effettuati da chiese e associazioni religiose).

La previsione generale circa l'adozione delle regole deontologiche per i settori di cui al capo IX del GDPR viene poi specificata nell'ambito del Codice Privacy in cui si disciplina l'utilizzo di dati provenienti da archivi, registri, elenchi, atti o documenti tenuti da soggetti pubblici (art. 61), i trattamenti a fini di archiviazione nel pubblico interesse o ricerca storica (art. 102), quelli a fini statistici o di ricerca scientifica (art. 106), quelli inerenti i rapporti di lavoro (art. 111) e quelli relativi alle attività di giornalismo (art. 139).

### *3.5. Crescita del numero di lavoratori inquadrati come lavoratori autonomi e rischio di esclusione dalla normativa vigente in materia di SSL*

La normativa nazionale di riferimento è il decreto legislativo n. 81/2015 e il DL n. 101 del 3 settembre 2019, convertito, con modificazioni, dalla L. n. 128/2019. All'interno del DL n. 101/2019, il Legislatore ha introdotto la prima disciplina italiana del fenomeno *gig economy*.

In generale, si interviene con una disposizione di carattere interpretativo e specificativo relativa all'ambito di applicazione della disciplina in merito alle collaborazioni etero-organizzate; nel settore della *delivery*, la disciplina si interessa di alcuni nodi fondamentali relativi al corrispettivo, alla copertura assicurativa e agli oneri in materia di salute e sicurezza, dettando una disciplina di default applicabile a prescindere dalle tipologie contrattuali utilizzate dalle piattaforme. In generale, il disposto normativo si segnala per una difficile interpretabilità tanto sul piano delle singole disposizioni, quanto sugli effetti di carattere sistematico.

Nel panorama normativo italiano, si è poi inserito anche il primo CCNL del comparto *delivery*, il CCNL stipulato tra Assodelivery e UGL il 15 settembre 2020.

Nell'ambito della *soft law*, si segnala la nota critica n. 9430 del 17 settembre 2020 del Ministero del Lavoro in merito al CCNL *delivery*.

Anche su questo tema è centrale l'apporto della giurisprudenza: sul tema, è di rilievo la sentenza della Corte di Cassazione n. 1663/2020, in cui si sostiene la compatibilità della prestazione resa dai riders di Foodora con le forme di collaborazione etero-organizzate dal committente ai sensi dell'art. 2, c. 1, D.Lgs. n. 81/2015.

#### **4. Prospettive di modulazione dei rapporti di lavoro per la mitigazione dei rischi da WI**

Sono soprattutto le istituzioni europee ad aver prestato attenzione al tema dell'ergonomia. Anche in relazione all'innovazione digitale, l'indirizzo della Commissione appare comunque orientato a migliorare la protezione rendendo maggiormente esplicito l'obbligo del datore di lavoro di assicurare la tutela da questa tipologia di rischio, includendolo all'interno del risk assessment process concernente la specifica realtà lavorativa.

A tal fine, si considera la necessità di valutare in modo approfondito i profili ergonomici, ovvero l'effetto diretto del carico di lavoro sulle condizioni psicofisico del lavoratore. Alcuni contributi recenti in dottrina (Lorenzini *et al.* 2023) hanno cominciato a porre il problema di come adattare gli strumenti di valutazione ergonomica esistenti e le tecnologie di monitoraggio disponibili al comportamento di un robot collaborativo e al contesto di HRC.

Allo stato attuale, tuttavia, e nonostante la crescente attenzione per gli aspetti ergonomici della HRC sia dal punto di vista fisico che cognitivo, non sono state individuate soluzioni condivise, e ancor meno sono state elaborate strategie normative. Tra i molti temi ancora da affrontare, da un punto di vista normativo, v'è sicuramente quello del monitoraggio del lavoratore effettuato per ragioni di tutela della sua salute, e del bilanciamento di questo con i profili relativi alla privacy delle persone monitorate.

Come è emerso dall'analisi della dottrina e delle esperienze analizzate nel contesto tedesco, uno dei principali fattori di successo per l'accettazione delle nuove tecnologie e il loro corretto utilizzo da parte dei lavoratori è rappresentato dallo sviluppo di efficaci percorsi di formazione. Attraverso la formazione possono essere arginati importanti

problemi riguardanti la salute e la sicurezza: sia quelli fisici connessi alla vera e propria cooperazione con il robot, sia quelli di natura psicologica, dovuti alla non (o ad una parziale) accettazione dei nuovi strumenti di lavoro.

Ora, poiché l'introduzione di sistemi di collaborazione uomo-robot porta con sé importanti modifiche in ogni ambito dell'impresa, si manifesta un'esigenza di formazione che investe l'intera struttura del personale e tutte le funzioni di un'azienda. È necessario che le aziende determinino con precisione le esigenze formative dei differenti profili al fine di rendere il proprio personale idoneo alle sfide tecniche e organizzative attraverso corsi di formazione su misura.

In questo contesto, il welfare aziendale può costituire un elemento idoneo a realizzare (o a concorrere a realizzare) una mitigazione efficace del rischio incentivando, ad esempio, la formazione continua dei dipendenti onde evitare l'obsolescenza della loro professionalità per effetto dell'innovazione digitale, ovvero la ridefinizione della struttura del contratto collettivo di lavoro, da intendersi come contratto ibrido, ossia formato da due parti, una collettiva e solidarista e un'altra che ha ad oggetto aspetti che riguardano attualmente solo la contrattazione individuale (orari e quote di salario). Quello della formazione professionale, quindi, appare destinato a divenire uno dei terreni elettivi di sperimentazione di nuove politiche attive del lavoro e di nuovi strumenti normativi.

Considerando la "valutazione dei rischi" uno degli aspetti fondamentali per la prevenzione dei rischi stessi, si conferma nuovamente il ruolo centrale del datore di lavoro e dell'intera azienda, che devono effettuare la valutazione tenendo conto dell'evoluzione dei processi produttivi e di eventuali cambiamenti nelle attività. Allo stesso tempo, si conferma anche la prioritaria assunzione di responsabilità da parte del dipendente, tenuto a segnalare ogni situazione di pericolo e rischio per la SSL nell'ambiente lavorativo.

#### 4.1. *Autoresponsabilità nella salvaguardia della SSL*

Il datore di lavoro ha un ruolo centrale nell'assicurare una costante formazione dei dipendenti di modo che ognuno di loro abbia la capacità di svolgere i propri compiti in totale sicurezza.

L'importanza della responsabilizzazione del dipendente rispetto ai propri compiti lavorativi emerge chiaramente nel codice di condotta di alcune grandi aziende: ad esempio, nel Codice etico di Porsche si legge (pag. 49) da un lato che il Gruppo Porsche Holding prende sul serio la propria responsabilità nei confronti della sicurezza e della salute dei dipendenti conformemente alle norme nazionali e alle regole interne. Dall'altro, è richiesto anche un contributo al singolo lavoratore, declinato sotto forma di formula di impegno: "mi attingo alle norme sulla tutela della salute e della sicurezza sul lavoro. Non metto mai a rischio la salute e la sicurezza dei miei colleghi e partner commerciali. Nei limiti delle mie facoltà, prendo tutte le misure adeguate e prescritte dalla legge per fare in modo che la mia postazione di lavoro permetta sempre di lavorare in piena sicurezza. Adottando volontariamente le misure di prevenzione e promozione della salute contribuisco attivamente a proteggere e migliorare il mio stato di salute".

Ai lavoratori è richiesto dunque di assumere atteggiamenti collaborativi e proattivi verso i corsi di formazione in materia di sicurezza e tutela della salute predisposti all'interno del proprio contesto lavorativo.

#### *4.2. Cogestione nell'ambito dell'introduzione di sistemi di collaborazione uomo-Robot*

Un aspetto importante che emerge dall'analisi dei questionari effettuata nel progetto, e confermata dall'esame della situazione in Germania, è la necessità di formare tempestivamente i lavoratori sulle specifiche caratteristiche della HRC. In questa prospettiva, le rappresentanze dei lavoratori possono fornire un supporto soprattutto in riferimento all'accettazione di pratiche specifiche di lavoro e strategie di mitigazione dei rischi, negli ambiti della formazione, della protezione dei dati, rispetto alle condizioni di lavoro, relativamente all'ergonomia e ad altre aree connesse alla salute e alla sicurezza.

Dall'analisi della realtà industriale tedesca emerge ad esempio che laddove il datore di lavoro discute l'uso del sistema HRC, è cruciale che il consiglio di fabbrica sia sufficientemente informato sull'argomento

e sia in grado di confrontarsi in modo qualificato. Il primo passo verso un'implementazione cooperativa della collaborazione uomo-robot è pertanto ritenuta la corretta trasmissione delle conoscenze di base ai consigli di fabbrica, attraverso corsi di formazione.

In particolare, è necessario veicolare ai lavoratori e alle rappresentanze sindacali le informazioni relative: alla definizione della durata del ciclo (si ritiene che la durata del ciclo del robot debba allinearsi ai processi lavorativi dell'operaio); alla formazione (tesa all'utilizzo del robot in modo professionale e allo sviluppo di abilità sociali e metodologiche, ad esempio per la gestione riflessiva dell'affaticamento, dello stress o della percezione di isolamento); ai profili professionali e mansioni (integrazione e arricchimento dei profili professionali in seguito all'introduzione della HRC e conseguente miglioramento nella valutazione del posto di lavoro/aumento salariale); al rischio di sostituzione; ai profili di ergonomia, stress mentale, salute e sicurezza sul lavoro; alla remunerazione e comunicazione (se la rilevanza dell'argomento "remunerazione" è già evidente in riferimento ai "profili professionali", non meno importante è il tema della "comunicazione" e l'informazione continua tra il datore di lavoro e il consiglio di fabbrica).

#### *4.3. Codecisione nell'ambito dell'organizzazione della formazione in azienda*

La cooperazione tra lavoratori e datore di lavoro implica che la definizione delle strategie aziendali per la formazione continua non siano lasciate al solo datore di lavoro, ma coinvolgano le organizzazioni dei lavoratori in modo da garantire che gli interessi dei dipendenti confluiscono nella pianificazione aziendale.

È importante che, da un lato, il datore di lavoro possa determinare le esigenze di formazione professionale dei dipendenti, e che i lavoratori siano consultati e possano dare suggerimenti, attuando un vero e proprio diritto all'informazione e alla consulenza, nonché alla possibilità di fare proposte. L'analisi del contesto tedesco mostra come – art. 97 BetrVG – il datore di lavoro debba consultarsi con il consiglio di fabbrica sulla creazione e introduzione di strutture e/o misure di formazione professionale interna e sull'eventuale partecipazione a misure

di formazione professionale esterna. Una particolarità del comma 2 riguarda il fatto che se il datore di lavoro ha adottato misure nell'azienda che modificano le attività di un dipendente in modo tale che le sue qualifiche esistenti non siano più sufficienti, il consiglio di fabbrica ha il diritto di partecipare all'introduzione di misure di formazione. L'articolo 98 BetrVG sancisce infatti il diritto di codecisione tanto per le misure di formazione che avvengono in azienda, quanto per quelle che avvengono al di fuori di essa.

#### 4.4. *Implementazione di corsi di formazione alla HRC specifici*

La necessità di formazione specifica sulla HRC e sui profili di rischio legati alla salute e sicurezza può ovviamente trovare attuazione in differenti modalità. L'analisi del contesto tedesco consente di individuare alcune proposte meritevoli di attenzione:

- *Formazione basata sull'unione fra approcci classici e strumenti multimediali.* Si sviluppa un percorso formativo per la HRC che consente un rapido ingresso nella fase di pianificazione. La formazione iniziale alla HRC tende a coprire tre aspetti: 1) introduzione generale (presentazione dei robot utilizzati, dei loro ambiti di applicazione e del loro impatto sui luoghi di lavoro); 2) salute e sicurezza (presentazione delle tecnologie di sicurezza interne ed esterne ai robot); 3) pianificazione e implementazione (i discenti apprendono cosa devono aspettarsi e quali posizioni e ruoli sono coinvolti dalle trasformazioni);
- *Percorsi di formazione concentrati.* Sono stati osservati percorsi di formazione di un giorno, suddivisi in tre momenti: un momento pratico, in cui partecipanti hanno il compito di assemblare manualmente il maggior numero possibile di prodotti di cui si occupa l'azienda entro il tempo di consegna specificato; uno spazio per la valutazione collettiva e l'implementazione di potenziali soluzioni, in cui sono messi a loro disposizione robot potenzialmente inseribili nella catena di montaggio; infine, i partecipanti ricevono alcune informazioni concernenti la divisione del lavoro, lo stress ergonomico e i dati organizzativi generali relativi al posto di lavoro;

- *Percorsi di formazione “on the job”*. Tali percorsi mirano a creare un collegamento tra la conoscenza teorica e la sua applicazione. La formazione sul posto di lavoro permette una proiezione diretta delle fasi lavorative, consentendo la condivisione pratica delle istruzioni per la manipolazione sicura dei robot. Gli utenti possono ripetere le singole fasi di lavoro al “proprio ritmo” e adattarle così ai rispettivi tempi di apprendimento. Le competenze oggetto della formazione sono sia competenze generali relative alla HRC (rilevanti in maniera trasversale), sia competenze specifiche del ruolo, sia competenze relative ad una specifica realtà lavorativa, connesse alla HRC (rivolte a strategie e obiettivi a breve, medio e lungo termine).

Tra i risultati di tali percorsi di formazione emerge come adeguate misure di qualificazione possono essere sviluppate prendendo come punto di riferimento profili di competenza target, da raggiungere attraverso percorsi di formazione che si adattano alle capacità di apprendimento individuali e sono costruiti sulla base di “*learning nugget*”, che utilizzano vari media didattici, hanno una durata breve e si fondano su contenuti pragmatici.

#### 4.5. *La proposta di un sistema di mitigazione universale: il welfare aziendale*

L’analisi del contesto e delle necessità formative confermano che il welfare aziendale può costituire un efficace elemento di mitigazione efficace del rischio in commento incentivando, ad esempio, la formazione continua dei dipendenti. Interventi di welfare aziendale o contrattuale possono avere ad oggetto infatti la formazione continua dei dipendenti, in modo tale da evitare l’obsolescenza della loro professionalità per effetto dell’innovazione digitale. Accanto a ciò, tali interventi possono anche portare ad una ridefinizione della struttura del contratto collettivo di lavoro, da intendersi come contratto ibrido, nel quale ad una parte collettiva e solidarista se ne affianca un’altra che ha ad oggetto aspetti come gli orari e le quote di salario, attualmente oggetto della contrattazione individuale.



In altre parole, quello della formazione professionale appare destinato a divenire uno dei terreni elettivi di sperimentazione di nuove politiche attive del lavoro e di nuovi strumenti normativi, in grado di ridurre drasticamente i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori, specialmente in contesti soggetti a rapida evoluzione come quelli segnati da innovazione tecnologica.



## CONCLUSIONI

L'innovazione digitale negli ambienti produttivi può introdurre nuovi rischi per la SSL. Occorre, perciò, indagare l'entità e la magnitudo di tali rischi, anche derivanti dall'implementazione combinata di più tecnologie. La combinazione di diverse soluzioni tecnologiche, infatti, può amplificare gli effetti nocivi o generare nuovi pericoli in modo non lineare rispetto ai singoli componenti. Per garantire una transizione digitale sicura e antropocentrica, fin dalle prime fasi di progettazione e implementazione tecnologica, vanno definiti o ridefiniti ruoli, spazi, compiti e responsabilità in modo condiviso e consapevole. Gli stessi lavoratori, operanti ad ogni livello, devono essere coinvolti nei processi trasformativi per poter affrontare in modo favorevole il cambiamento e coglierlo come un'opportunità per migliorare le proprie condizioni e competenze.

Così, gli ambienti produttivi permeati dall'Industria 4.0, rivelano un'elevata complessità a livello sistemico, perlopiù legata alla crescente interazione uomo-macchina. Questo porta a parlare di veri e propri sistemi sociotecnici, dal momento che includono una forma di partecipazione umana in almeno una delle fasi del loro ciclo di vita. I tradizionali metodi di identificazione e valutazione dei rischi per la SSL potrebbero non essere adeguati ad affrontare le proprietà del sistema, rendendo necessari nuovi paradigmi e metodi di valutazione. L'evoluzione dell'attuale paradigma della sicurezza porta alla luce l'Ingegneria della

Resilienza (Resilience Engineering – RE): una nuova disciplina volta a gestire la “safety II” (sicurezza di tipo II) nei sistemi sociotecnici, ingegnerizzando la sua controparte, cioè la resilienza. Un nuovo approccio che, considerate le numerose interazioni non lineari tra le parti del sistema, analizza unitamente tutti gli aspetti tecnici, tecnologici e sociali di un sistema, evidenziando la complementarità tra lavoratori e macchine.

Da tutto ciò, si può intuire come rispondere unicamente ai requisiti di legge non sia sufficiente per superare le criticità identificate. Oltre ai nuovi approcci sistemici, risulta anche fondamentale riuscire a coniugare in modo vantaggioso *usability* e *learnability*: la capacità di fare propria la tecnologia, di avere familiarità e di saperla utilizzare in maniera vantaggiosa, deve corrispondere ad un’altrettanta facilità e rapidità di apprendimento della nuova tecnologia stessa.

Come è tipico dell’innovazione, sono tanti i rischi e gli aspetti da migliorare, ma non si possono negare i promettenti benefici. In questo senso, facendo riferimento al focus tecnologico della ricerca presentata, bisogna ricordare che implementare un Cobot non significa solamente rendere il processo più efficiente e tecnologicamente avanzato per le fasi produttive strettamente coinvolte nell’utilizzo del Cobot stesso, ma permette anche di effettuare analisi termografiche per identificare tempestivamente necessità di manutenzione. Talvolta, poi, il Cobot stesso può essere implementato come una misura extra di sicurezza, per le attività che prevedono interazioni pericolose. Per molte ragioni, tra cui i motivi evidenziati, il Cobot sta sempre più assumendo la dimensione di prima tecnologia abilitante verso l’evoluzione 4.0 in ambito manifatturiero. Le potenzialità di altre tecnologie, dedicate al monitoraggio e all’analisi dei dati, sono ad oggi incorporate in queste soluzioni, e i benefici complessivi, in termini di sicurezza, efficienza e resilienza organizzativa, suggeriscono che il Cobot sia forse la scelta più completa.

## BIBLIOGRAFIA

- “3D Printing 2019–2029: Technology and Market Analysis: IDTechEx”.  
(n.d.).
- Adriaensen, A., Costantino, F., Di Gravio, G. and Patriarca, R. (2022),  
“Teaming with industrial cobots: A socio–technical perspective on safety  
analysis”, *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, Vol. 32 No.  
2, pp. 173–198.
- Adriaensen, A., Decré, W. and Pintelon, L. (2019), “Can complexity–thin-  
king methods contribute to improving occupational safety in industry 4.0?  
A review of safety analysis methods and their concepts”, *Safety*, Vol. 5 No.  
4, available at:<https://doi.org/10.3390/safety5040065>.
- Adriaensen, A., Patriarca, R., Smoker, A. and Bergström, J. (2019), “A so-  
cio–technical analysis of functional properties in a joint cognitive system:  
a case study in an aircraft cockpit”, *Ergonomics*, available at:<https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1661527>.
- Anderson, L.W., and D. Krathwohl (2001). *A Taxonomy for Learning,  
Teaching and Assessing: a Revision of Bloom’s Taxonomy of Educational  
Objectives*. Longman, New York.
- Aromaa, S., Vääänen, A., Aaltonen, I., Goriachev, V., Helin, K. and  
Karjalainen, J. (2020), “Awareness of the real–world environment when  
using augmented reality head–mounted display”, *Applied Ergonomics*, Vol.  
88, available at:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103145>.

- Asher, E.B., Panda, N., Tran, C.T. and Wu, M. (2021), "Smart wearable device accessories may interfere with implantable cardiac devices", *HeartRhythm Case Reports*, Vol. 7 No. 3, pp. 167–169.
- Barrett, J. (2004), "Side Effects of Virtual Environments: A Review of the Literature", *Psychology*.
- Baumeister, J., Ssin, S.Y., Elsayed, N.A.M., Dorrian, J., Webb, D.P., Walsh, J.A., Simon, T.M., *et al.* (2017), "Cognitive Cost of Using Augmented Reality Displays", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 23 No. 11, pp. 2378–2388.
- Bell, J., MacDonald, B.A., Ahn, H.S. and Scarfe, A.J. (2016), "An Analysis of Automated Guided Vehicle Standards to Inform the Development of Mobile Orchard Robots", *IFAC–PapersOnLine*, Elsevier B.V., Vol. 49 No. 16, pp. 475–480.
- Berx, N., Decré, W., Morag, I., Chemweno, P. and Pintelon, L. (2022), "Identification and classification of risk factors for human–robot collaboration from a system–wide perspective", *Computers & Industrial Engineering*, Pergamon, Vol. 163, p. 107827.
- Bevilacqua, M., Bottani, E., Ciarapica, F.E., Costantino, F., Donato, L.D., Ferraro, A., Mazzuto, G., *et al.* (2020), "Digital twin reference model development to prevent operators' risk in process plants", *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 12 No. 3, available at:<https://doi.org/10.3390/su12031088>.
- Bi, Z.M., Luo, M., Miao, Z., Zhang, B., Zhang, W.J. and Wang, L. (2021), "Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems in manufacturing", *Robotics and Computer–Integrated Manufacturing*, Vol. 67 No. April 2020, available at:<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102022>.
- Bianco, P.M., Di Ciaula, A., Gentilini, P., Odorifero, E. and Tiberti, M. (2019), "Rapporto indipendente sui campi elettromagnetici e diffusione del 5G", *European Consumer*.
- Borys, D., Else, D. and Leggett, S. (2009), "The fifth age of safety: The adaptive age", *Journal of Health Services Research and Policy*, VIOSH Australia, University of Ballarat, University Drive, Mt Helen, VIC, Australia, Vol. 1 No. 1, pp. 19–27.
- Bragança, S., Costa, E., Castellucci, I. and Arezes, P. (2019), *A Brief Overview of the Use of Collaborative Robots in Industry 4.0: Human Role and Safety*, *Studies in Systems, Decision and Control*, Vol. 202, available at:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-14730-3\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14730-3_68).

- Capilli G. 2019. “Responsabilità e Robot”. *La Nuova Giurisprudenza Civile Commentata* 3: 621ss.
- Caruso, B. 2019. “Il lavoro digitale e tramite piattaforma: profili giuridici e di relazioni industriali. I lavoratori digitali nella prospettiva del pilastro sociale europeo: tutele rimediali legali, giurisprudenziali e contrattuali”. *Dir. rel. Ind.*, 4: 1005ss.
- Chan, F.L., House, R., Kudla, I., Lipszyc, J.C., Rajaram, N. and Tarlo, S.M. (2018), “Health survey of employees regularly using 3D printers”, *Occupational Medicine*, Vol. 68 No. 3, pp. 211–214.
- Chemweno, P., Pintelon, L. and Decre, W. (2020), “Orienting safety assurance with outcomes of hazard analysis and risk assessment: A review of the ISO 15066 standard for collaborative robot systems”, *Safety Science*, Vol. 129, available at:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104832>.
- Choi, B., Hwang, S. and Lee, S.H. (2017), “What drives construction workers’ acceptance of wearable technologies in the workplace?: Indoor localization and wearable health devices for occupational safety and health”, *Automation in Construction*, Elsevier, Vol. 84 No. December, pp. 31–41.
- Ciucciovino, S. 2018. “Analisi e proposte sul diritto del lavoro nel tempo di industria 4.0. Le nuove questioni di regolazione del lavoro nell’industria 4.0 e nella gig economy: un problem framework per la riflessione”. *Dir. rel. ind.* 4: 1043ss.
- Cohen, Y., Shoval, S., Faccio, M. and Minto, R. (2021), “Deploying cobots in collaborative systems: major considerations and productivity analysis”, *International Journal of Production Research*, available at:<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1870758>.
- Coronado, E., Kiyokawa, T., Ricardez, G.A.G., Ramirez–Alpizar, I.G., Venture, G. and Yamanobe, N. (2022), “Evaluating quality in human–robot interaction: A systematic search and classification of performance and human–centered factors, measures and metrics towards an industry 5.0”, *Journal of Manufacturing Systems*, Elsevier Ltd, Vol. 63 No. April, pp. 392–410.
- Costantini, F. 2019. “Profilazione e «Automated Decision Making» in Ambito Lavorativo nella Giurisprudenza Italiana”. *Il Lavoro nella Giurisprudenza* 11: 984ss.
- Costantino, F., Falegnami, A., Fedele, L., Bernabei, M., Stabile, S. and Bentivenga, R. (2021), “New and emerging hazards for health and safety

- within digitalized manufacturing systems”, *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 13 No. 19, available at:<https://doi.org/10.3390/su131910948>.
- Dhondt S., Oeij P., Totterdill P., Howaldt J., Van Hootehem G., Van Gramberen M. (2012). The DortmundBrussels Position Paper on Workplace Innovation. Dortmund/Brussels: TNO, sfs–Dortmund.
- D’Souza, F., Costa, J. and Pires, J.N. (2020), “Development of a solution for adding a collaborative robot to an industrial AGV”, *Industrial Robot*, Vol. 47 No. 5, pp. 723–735.
- Duda, T. and Raghavan, L.V. (2016), “3D Metal Printing Technology”, *IFAC–PapersOnLine*, available at:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.111>.
- Engblom, S. (2017). Una prospettiva sindacale su digitalizzazione e gig economy. *Riv. Giur. Lav.*, I: 357–365.
- EU–OSHA (2019), “Digitalisation and occupational safety and health ( OSH )”.
- EUROCONTROL (2009), *A White Paper on Resilience Engineering for ATM, Cooperative Network Design*, Brussels, Belgium.
- European Commission (2017). DigComp 2.1 The Digital Competence Framework for Citizens – With eight proficiency levels and examples of use. Publications Office of the European Union DOI: 10.2760/38842.
- Faccio, M., Granata, I., Menini, A., Milanese, M., Rossato, C., Bottin, M., Minto, R., *et al.* (2022), “Human factors in cobot era: a review of modern production systems features”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer US, available at:<https://doi.org/10.1007/s10845-022-01953-w>.
- Ferraro, A., Pirozzi, M., Annacondia, E. and Di Donato, L. (2020), “Powder bed fusion/sintering machines: Safety at workplaces”, *Procedia Manufacturing*.
- Fezzi, M. (2013), “Le nuove frontiere di controllo sui lavoratori – chip RFID”, *DL Online*.
- Finocchiaro, G. 2020. “Intelligenza Artificiale e Responsabilità”. *Contratto e Impresa* 2: 713ss.
- Frattoni, N. 2020. “Robotica e Responsabilità da Algoritmo. Il Processo di Produzione dell’Intelligenza Artificiale”. *Contratto e Impresa* 1: 458ss.
- Friemert, D., Kaufmann, M., Hartmann, U. and Ellegast, R. (2019), *First Impressions and Acceptance of Order Pickers towards Using Data Glasses at a Simulated Workstation, Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture*



- Notes in Bioinformatics*), Vol. 11581 LNCS, available at:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1_19).
- Gaeta, M.C. 2018, “La protezione dei dati personali nell’internet of things: l’esempio dei veicoli autonomi”. *Diritto dell’informazione e dell’informatica*, 1: 147ss.
- Gallagher, M. and Ferrè, E.R. (2018), “Cybersickness: A Multisensory Integration Perspective”, *Multisensory Research*, Vol. 31 No. 7, pp. 645–674.
- Gallup (2017). Report: State of the Global Workplace. New York, Gallup Press.
- Garofalo, D. 2019. “Rivoluzione Digitale e Occupazione: Politiche Attive e Passive”. *Il Lavoro nella Giurisprudenza* 4: 329ss.
- Gnoni, M.G., Bragatto, P.A., Milazzo, M.F. and Setola, R. (2020), “Integrating IoT technologies for an ‘intelligent’ safety management in the process industry”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 42, Elsevier B.V., pp. 511–515.
- Golan, M., Cohen, Y. and Singer, G. (2020), “A framework for operator–workstation interaction in Industry 4.0”, *International Journal of Production Research*, Taylor and Francis Ltd., Vol. 58 No. 8, pp. 2421–2432.
- Gross, B., Bretschneider–Hagemes, M., Stefan, A. and Rissler, J. (2018), *Monitors vs. Smart Glasses: A Study on Cognitive Workload of Digital Information Systems on Forklift Trucks*, *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Vol. 10917 LNCS, available at:[https://doi.org/10.1007/978-3-319-91397-1\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91397-1_46).
- Gualtieri, L., Palomba, I., Wehrle, E.J. and Vidoni, R. (2020), *The Opportunities and Challenges of Sme Manufacturing Automation: Safety and Ergonomics in Human–Robot Collaboration, Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements*, available at:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4_4).
- Guiochet, J., Machin, M. and Waeselynck, H. (2017), “Safety–critical advanced robots: A survey”, *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier B.V., Vol. 94, pp. 43–52.
- Gummeson, J., Priyantha, B., Ganesan, D., Thrasher, D. and Zhang, P. (2013), “EnGarde: Protecting the mobile phone from malicious NFC interactions”, *MobiSys 2013 – Proceedings of the 11th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, pp. 445–458.

- Hattie John, (trad. 2012 a cura di G. Vivonet). Apprendimento visibile, insegnamento efficace. Trento, Erickson.
- Hattie, J. (2016). Apprendimento visibile, insegnamento efficace. Erickson: Trento.
- Hoang Dinh, K., Oguz, O.S., Elsayed, M. and Wollherr, D. (2019), “Adaptation and Transfer of Robot Motion Policies for Close Proximity Human–Robot Interaction”, *Frontiers in Robotics and AI*, Frontiers Media S.A., Vol. 6, p. 69.
- Hollnagel, E. (2008), “The Changing Nature of Risks”, *Ergonomics Australia Journal*, Vol. 22 No. 1–2, pp. 33–46.
- (2012), *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method\_ Modelling Complex Socio–Technical Systems*, CRC Press, Surrey.
- (2017), *Safety–II in Practice: Developing the Resilience Potentials*, *Safety–II in Practice: Developing the Resilience Potentials*, Routledge, available at:<https://doi.org/10.4324/9781315201023>.
- (2019), “Epilogue: RAG – The Resilience Analysis Grid”, *Resilience Engineering in Practice*, available at:<https://doi.org/10.1201/9781317065265-19>.
- Hollnagel, E., Pariès, J., Woods, D. and Wreathall, J. (2011), *Resilience Engineering in Practice: A Guidebook*, *Resilience Engineering in Practice: A Guidebook*.
- Hollnagel, E. and Woods, D.D. (2005), *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*, *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*.
- Howard, J., Murashov, V., Lowe, B.D. and Lu, M. (2020), “Industrial exoskeletons: Need for intervention effectiveness research”, *American Journal of Industrial Medicine*, Wiley–Liss Inc., Vol. 63 No. 3, pp. 201–208.
- Ichino, P. 2017. “Le conseguenze dell’innovazione tecnologica sul diritto del lavoro”. *Riv. It. Dir. lav.* 4: 525ss.
- Ingrao, A. 2019. “Il bracciale elettronico tra privacy e sicurezza del lavoratore”. *Dir. rel. ind.* 3: 895ss.
- IFR. (2018), *Global Industrial Robot Sales Doubled over the Past Five Years – International Federation of Robotics*.
- INRS. (2018), “Acquisition et intégration d’un exosquelette en entreprise: Guide pour les préventeurs”, *Références En Santé Au Travail*, pp. 1–36.
- Iranzo, S., Piedrabuena, A., Jordanov, D., Martinez–Iranzo, U. and Belda–Lois, J.M. (2020), “Ergonomics assessment of passive upper–limb

- exoskeletons in an automotive assembly plant”, *Applied Ergonomics*, Elsevier Ltd, Vol. 87, p. 103120.
- ISO (International Organization for Standardization). (2016), *ISO/TS 15066 Robots and Robotic Devices — Collaborative Robots*.
- Jansen, A., Beek, D. van der, Cremers, A., Neerincx, M. and Middelaar, J. van. (2018), “Emergent Risks To Workplace Safety ; Working in the Same Space As a Cobot”, No. August.
- Johnson, M.E., Conrardy, B., Kohama, Z. and Piper, A.K. (2017), “Repetitive upper extremity musculoskeletal risks utilizing wearable sensor arm band versus keyboard and mouse for input”, *67th Annual Conference and Expo of the Institute of Industrial Engineers 2017*, No. May 2019, pp. 1332–1338.
- Kaplan, J. 2016. *Le persone non servono*. Roma: LUISS University Press.
- 2017. *Intelligenza Artificiale. Guida al Futuro Prossimo*. Roma: LUISS University Press.
- Khakurel, J., Pöysä, S. and Porras, J. (2017), *The Use of Wearable Devices in the Workplace – A Systematic Literature Review, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social–Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, Vol. 195 LNICST, available at:[https://doi.org/10.1007/978-3-319-61949-1\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61949-1_30).
- Kim, W. (2020), *The Risk Analysis for the Introduction of Collaborative Robots in the Republic of Korea*, Iowa State University Ames, Iowa.
- Kolb (1984). *Experiential Learning: Experience As The Source Of Learning And Development*. Prentice–Hall.
- Lai, M. 2017. “Evoluzione tecnologica e tutela del lavoro: a proposito di smart working e di crowd working”. *Dir. rel. ind.* 4: 985ss.
- Lasota, P.A. and Shah, J.A. (2015), “Analyzing the effects of human–aware motion planning on close–proximity human–robot collaboration”, *Human Factors*, SAGE Publications Inc., Vol. 57 No. 1, pp. 21–33.
- Le Boterf G. (1994), *De la competence: essay sur un attracteur étrange*. Paris, Les Edition d’Organization.
- Liu, L., Guo, F., Zou, Z. and Duffy, V.G. (2022), “Application, Development and Future Opportunities of Collaborative Robots (Cobots) in Manufacturing: A Literature Review”, *International Journal of Human–Computer Interaction*, Taylor & Francis, Vol. 0 No. 0, pp. 1–18.
- Lööw, J., Abrahamsson, L. and Johansson, J. (2019), “Mining 4.0 – The impact of new technology from a workplace perspective”, *Mining Engineering*,

- Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Vol. 71 No. 12, pp. 47–48.
- Lorenzini, M., Lagomarsino, M., Fortini, L., Gholami, S., & Ajoudani, A. (2023). Ergonomic human–robot collaboration in industry: A review. *Frontiers in Robotics and AI*, 9.
- Lunetto, V., Catalano, A.R., Priarone, P.C. and Settineri, L. (2019), *Comments about the Human Health Risks Related to Additive Manufacturing, Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 130, available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04290-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04290-5_10).
- Magnani M. (2019). Nuove tecnologie e diritti sindacali. *Lab. Law Iss.*, 2: 1–8.
- Maiorani, V. 2018. “Il Diritto del Lavoro e le Nuove Sfide della Rivoluzione Robotica”. *Argomenti di Diritto del Lavoro* 6: 1414ss.
- 2019. “Il lavoro per le piattaforme digitali tra qualificazione del rapporto e tutele”. *Arg. Dir. Lav.* 3: 118ss.
- Marklin, R.W., Toll, A.M., Bauman, E.H., Simmins, J.J., LaDisa, J.F. and Cooper, R. (2020), “Do Head–Mounted Augmented Reality Devices Affect Muscle Activity and Eye Strain of Utility Workers Who Do Procedural Work? Studies of Operators and Manhole Workers”, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, SAGE Publications Inc., Vol. 00 No. 0, p. 001872082094371.
- Marzano, R.J., Pickering, D.J., & Pollock, J.E. (2001). Classroom instruction that works: Research–based strategies for increasing student achievement. Alexandria.
- McGowan, B. (2018), “Industrial exoskeletons: What you’re not hearing”, *Occupational Health and Safety*, No. October.
- McKee, D.W., Clement, S.J., Almutairi, J. and Xu, J. (2017), “Massive–Scale Automation in Cyber–Physical Systems: Vision & Challenges”, *Proceedings – 2017 IEEE 13th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, ISADS 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 5–11.
- Meissner, A., Trübswetter, A., Conti–Kufner, A.S. and Schmidtler, J. (2020), “Friend or Foe Understanding Assembly Workers’ Acceptance of Human–robot Collaboration”, *ACM Transactions on Human–Robot Interaction*, Vol. 10 No. 1.
- Messineti, R. 2019. “La Tutela della Persona Umana Versus l’Intelligenza Artificiale”. *Contratto e Impresa* 3: 861ss.

- Moore, P.V. (2018), *LA SSL E IL LAVORO DEL FUTURO VANTAGGI E RISCHI DEGLI STRUMENTI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE NEI LUOGHI DI LAVORO* – *Work, European Agency for Safety and Health At.*
- (2019), *OSH and the Future of Work: Benefits and Risks of Artificial Intelligence Tools in Workplaces, Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Vol. 11581 LNCS, available at:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1_22).
- Moro Visconti, R. 2018. “L’Intelligenza Artificiale: Modelli di Business e Profili di Valutazione”. *Diritto Industriale* 5: 421ss.
- Murashov, V., Hearl, F. and Howard, J. (2016), “Working safely with robot workers: Recommendations for the new workplace”, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 13 No. 3, pp. D61–D71.
- Patriarca, R., Falegnami, A., Costantino, F., Di Gravio, G., De Nicola, A. and Villani, M.L. (2021), “WAX: An integrated conceptual framework for the analysis of cyber–socio–technical systems”, *Safety Science*, Vol. 136, available at:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105142>.
- Pauliková, A., Babel’ová, Z.G. and Ubárová, M. (2021), “Analysis of the impact of human–cobot collaborative manufacturing implementation on the occupational health and safety and the quality requirements”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 18 No. 4, pp. 1–15.
- Pérez, L., Rodríguez–Jiménez, S., Rodríguez, N., Usamentiaga, R., García, D.F. and Wang, L. (2020), “Symbiotic human–robot collaborative approach for increased productivity and enhanced safety in the aerospace manufacturing industry”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 106 No. 3–4, pp. 851–863.
- Peters, M., Wischniewski, S. and (EU–OSHA). (2019), “The Impact of Using Exoskeletons on Occupational Safety and Health”, pp. 1–10.
- Petretta, M., Desando, G., Grigolo, B. and Roseti, L. (2019), “3D printing of musculoskeletal tissues: impact on safety and health at work”, *Journal of Toxicology and Environmental Health – Part A: Current Issues*, Vol. 82 No. 16, pp. 891–912.
- Plosz, S. and Varga, P. (2018), “Security and safety risk analysis of vision guided autonomous vehicles”, *Proceedings – 2018 IEEE Industrial Cyber–Physical Systems, ICPS 2018*, IEEE, pp. 193–198.

- Pot, F.D. and Koningsveld E.A.P. (2009). Quality of working life and organizational performance – two sides of the same coin?. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, Vol. 35 No. 6, pp. 421–428.
- Pot, F.D. (2011). Workplace Innovation for better jobs and performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, pp. 404–405. doi: 10.1108/17410401111123562.
- Psarakis, L., Nathanael, D. and Marmaras, N. (2022), “Fostering short-term human anticipatory behavior in human–robot collaboration”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Elsevier B.V., Vol. 87, available at: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103241>.
- Rampazzo, M. 2015. “Rifkin e Uber: dall’età dell’accesso all’economia dell’eccesso”. *Dir. dell’informazione e dell’informatica* 6: 957ss.
- Ranchordas, S. 2015. “Does sharing mean caring? Regulation innovation in the sharing economy”. *Tilburg law school legal studies research paper series*: 155.
- Randolph, S.A. (2018), “3D Printing: What Are the Hazards?”, *Workplace Health and Safety*.
- Rashedi, E., Kim, S., Nussbaum, M.A. and Agnew, M.J. (2014), “Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work”, *Ergonomics*, Taylor and Francis Ltd., Vol. 57 No. 12, pp. 1864–1874.
- Rojas, R., Wehrle, E. and Vidoni, R. (2020), “A multicriteria motion planning approach for combining smoothness and speed in collaborative assembly systems”, *Applied Sciences (Switzerland)*, MDPI AG, Vol. 10 No. 15, available at: <https://doi.org/10.3390/app10155086>.
- de Roure, D., Page, K.R., Radanliev, P. and van Kleek, M. (2019), “Complex coupling in cyber–physical systems and the threats of fake data”, *IET Conference Publications*, Vol. 2019.
- Ruffolo, U. 2019. “Intelligenza Artificiale e Diritto – Intelligenza Artificiale, *Machine Learning* e Responsabilità da Algoritmo”. *Giurisprudenza Italiana* 7: 1657ss.
- Sahin, N., Keshav, N., Salisbury, J. and Vahabzadeh, A. (2018), “Safety and Lack of Negative Effects of Wearable Augmented–Reality”, *Clinical Medicine*.
- Sandulli S. 2019. “Controlli a Distanza e *Privacy* dei Lavoratori”. *Corriere Giuridico* 11: 1334ss.
- Santoro–Passarelli, G. 2019. “Trasformazioni socioeconomiche e nuove frontiere del diritto del lavoro. Civiltà giuridica e trasformazioni sociali nel diritto del lavoro”. *Dir. rel. Ind.* 2: 417ss.

- Simoncini, G. R. 2018. "L'Incidenza della Rivoluzione Digitale nella Formazione dei Lavoratori". *Il Lavoro nella Giurisprudenza* 1: 39ss.
- Spiegel, J.S. (2018), "The Ethics of Virtual Reality Technology: Social Hazards and Public Policy Recommendations", *Science and Engineering Ethics*, Springer Netherlands, Vol. 24 No. 5, pp. 1537–1550.
- Steijn, W., Luijff, E. and Beek, D. van der. (2016), "Emergent risk to workplace safety as a result of the use of robots in the work place", No. November, p. 54.
- Steinhilber, B., Luger, T., Schwenkreis, P., Middeldorf, S., Bork, H., Mann, B., von Glinski, A., *et al.* (2020), "The use of exoskeletons in the occupational context for primary, secondary, and tertiary prevention of work-related musculoskeletal complaints", *IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, Taylor and Francis Ltd., Vol. 8 No. 3, pp. 132–144.
- Steinhilber, B., Seibt, R., Rieger, M.A. and Luger, T. (2020), "Postural Control When Using an Industrial Lower Limb Exoskeleton: Impact of Reaching for a Working Tool and External Perturbation", *Human Factors*, SAGE Publications Inc., Vol. 00 No. 0, p. 001872082095746.
- Stoltz, M.-H., Giannikas, V., McFarlane, D., Strachan, J., Um, J. and Srinivasan, R. (2017), "Augmented Reality in Warehouse Operations: Opportunities and Barriers", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 50 No. 1, pp. 12979–12984.
- Sunwook, K., Nussbaum, M.A. and Gabbard, J.L. (2016), "Augmented Reality 'Smart Glasses' in the Workplace: Industry Perspectives and Challenges for Worker Safety and Health", *IEE Transaction on Occupational Ergonomics and Human Factors*.
- Sunwook, K., Nussbaum, M.A. and Mokhlespour Esfahani, M.I. (2018), "Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II – 'Unexpected' effects on shoulder motion, balance, and spine loading", *Applied Ergonomics*.
- Syberfeldt, A., Holm, M., Danielsson, O., Wang, L. and Brewster, R.L. (2016), "Support Systems on the Industrial Shop-floors of the Future – Operators' Perspective on Augmented Reality", *Procedia CIRP*, Vol. 44, pp. 108–113.
- Tarar, A.A., Mohammad, U. and Srivastava, S.K. (2020), "Wearable Skin Sensors and Their Challenges: A Review of Transdermal, Optical, and Mechanical Sensors", *Biosensors*.



- Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T. and Savescu, A. (2018), “Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks”, *Applied Ergonomics*, Vol. 67, pp. 211–217.
- Tiraboschi, M. 2017. “Smart working e digitalizzazione del lavoro. Il lavoro agile tra legge e contrattazione collettiva: la tortuosa via italiana verso la modernizzazione del lavoro”. *Dir. rel. ind.* 4: 921ss.
- Tiraboschi, Michele, and Francesco Seghezzi. “Il Piano nazionale Industria 4.0: una lettura lavoristica.” *Labour & Law Issues* 2.2, I. (2016): 1–41.
- Trenkle, A., Seibold, Z. and Stoll, T. (2013), “Safety requirements and safety functions for decentralized controlled autonomous systems”, *2013 24th International Conference on Information, Communication and Automation Technologies, ICAT 2013*, available at:<https://doi.org/10.1109/ICAT.2013.6684063>.
- Trincherò, R. (2006). *Valutare l'apprendimento nell'e-learning*. Trento, Erickson.
- (2012). *Costruire, valutare, certificare competenze*, Milano Franco Angeli.
- Vahidnia, R. and Dian, F.J. (2020), “Radiation Safety Hazards of Cellular IoT Devices”, *11th Annual IEEE Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference, IEMCON 2020*, pp. 116–120.
- Vicentini, F. (2021), “Collaborative Robotics: A Survey”, *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, Vol. 143 No. 4, pp. 1–20.
- Walter, J., Baumgärtel, A., Hustedt, M., Hebisch, R. and Kaierle, S. (2018), “Inhalation exposure to hazardous substances during powder-bed processes”, *Procedia CIRP*, Vol. 74, pp. 295–299.
- Wang, C.H.C.–H.C.H., Tsai, N.H.N.–H., Lu, M. and Wang, M.–J.J.M.J.J.M.–J.J. (2019), “Usability evaluation of an instructional application based on Google Glass for mobile phone disassembly tasks”, *Applied Ergonomics*, Elsevier, Vol. 77 No. January, pp. 58–69.
- Robasto (2020), *Evaluate critical and creative thinking in higher education, Form@re – Open Journal per la formazione in rete*, ISSN 1825–7321, vol. 20, n. 1.
- Robasto D., Trincherò R. (2015) (a cura di), *Strategie per pensare. Attività evidence-based per migliorare la didattica e gli apprendimenti in aula*, Milano, Franco Angeli.



- Villani, V., Pini, F., Leali, F., & Secchi, C. (2018). Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics*, 55, 248–266.
- World Economic Forum. (2022), “Shaping the Future of Advanced Manufacturing and Value Chains”.
- Yamamoto, H. and Yamada, T. (2013), “Production simulation of decentralized autonomous FMS and AGVs route interference avoidance using mind”, *Cognitive Science*.
- Zradzinski, P., Karpowicz, J. and Gryz, K. (2019), “Electromagnetic Energy Absorption in a Head Approaching a Radiofrequency Identification (RFID) Reader Operating at 13.56 MHz in Users of Hearing Implants Versus Non–Users”, *National Lybrary of Medicine*.





Finito di stampare nel mese di marzo del 2023  
dalla tipografia «The Factory S.r.l.»  
via Tiburtina, 912 — 00156 Roma