

Robotica avanzata e automazione: ripercussioni per la sicurezza e salute sul lavoro

Sintesi

Autori: Patricia Helen Rosen, Istituto federale per la sicurezza e salute sul lavoro (BAuA); Eva Heinold, Istituto federale per la sicurezza e salute sul lavoro (BAuA); Elena Fries-Tersch, Milieu Consulting SRL; Sascha Wischniewski, Istituto federale per la sicurezza e salute sul lavoro (BAuA).

Gestione del progetto: Ioannis Anyfantis, Annick Starren, Emmanuelle Brun (EU-OSHA).

Questo documento è la sintesi di una relazione commissionata dall'Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro (EU-OSHA). I suoi contenuti, incluse le opinioni e/o conclusioni formulate, appartengono esclusivamente agli autori e non riflettono necessariamente la posizione dell'EU-OSHA.

L'Agenzia europea, o chiunque agisca in suo nome, declina ogni responsabilità per l'uso dei contenuti che seguono.

© Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro, 2023

Riproduzione autorizzata con citazione della fonte.

L'uso o la riproduzione di fotografie o di altro materiale non protetti dal diritto d'autore dell'EU-OSHA devono essere autorizzati direttamente dal titolare del diritto d'autore.

Indice

Indice	2
1 Introduzione e obiettivi	3
2 Metodologia	3
3 Robotica avanzata e tipi di attività	3
3.1 Piena automazione (sostituzione) delle attività con sistemi di robotica avanzata	3
3.1.1 Attività concernenti le persone	3
3.1.2 Attività concernenti gli oggetti	4
3.2 Semi-automazione (assistenza) delle attività con sistemi di robotica avanzata	4
3.2.1 Attività concernenti le persone	4
3.2.2 Attività concernenti gli oggetti	4
3.2.3 Attività concernenti le informazioni	5
3.3 Impatto sul lavoro	5
3.4 Impatto sui settori	5
4 Implicazioni per la SSL	6
4.1 Effetti psicosociali	6
4.1.1 Pianificazione dell'attività	6
4.1.2 Pianificazione dell'interazione	7
4.1.3 Utilizzo e supervisione	8
4.2 Conseguenze a livello fisico	9
4.3 Conseguenze a livello organizzativo	9
4.4 Norme	10
4.5 Valutazione dei rischi	10
5 Sintesi e conclusione	10
Riferimenti bibliografici	13

1 Introduzione e obiettivi

Questa sintesi fa parte dello studio condotto dall'EU-OSHA sul tema: «Panoramica delle politiche, della ricerca e delle pratiche in materia di robotica avanzata e sistemi di automazione delle attività basati sull'IA e sicurezza e salute sul lavoro». Scopo della presente relazione è presentare le criticità e le opportunità per la sicurezza e salute sul lavoro (SSL) poste dall'automazione di attività manuali mediante sistemi robotici, facendo riferimento alla tassonomia elaborata nella relazione dell'EU-OSHA dal titolo «Robotica avanzata, intelligenza artificiale e automazione delle attività: definizioni, usi, politiche e strategie e sicurezza e salute sul lavoro» (EU-OSHA, 2022a). Le moderne tecnologie robotiche come i robot mobili, i robot di montaggio e gli esoscheletri robotici sono perlopiù impiegate a supporto o in sostituzione delle attività manuali, e la gamma di attività manuali e funzioni che esse sono in grado di sostenere è in continua espansione. La presente relazione descrive, inoltre, un ventaglio di settori economici e professioni in cui le attività manuali sono interamente automatizzate o semi-automatizzate. Per concludere, il documento illustra l'impatto della loro automatizzazione tramite sistemi robotici sugli aspetti fisici, psicosociali e organizzativi della SSL sul lavoro, esaminando altresì le criticità e le opportunità attuali e future per la SSL.

2 Metodologia

La metodologia applicata e le principali fonti di dati utilizzate per redigere la presente relazione comprendono sistematiche revisioni e meta-analisi nonché una rassegna della letteratura grigia e una ricerca delle citazioni successive per individuare ulteriori pubblicazioni scientifiche. Gli ambiti principali trattati nelle revisioni sono stati l'intelligenza artificiale (IA), l'interazione uomo-macchina (IUM) e l'automazione delle attività, nonché la seguente stringa di ricerca specifica: popolazione-esposizione-esito. Sono stati passati al vaglio complessivamente 4 070 risultati, di cui 111 contenevano informazioni pertinenti per il progetto in questione. A integrazione dei risultati è stata effettuata un'ulteriore revisione della letteratura in vari settori. Per raccogliere altri dati qualitativi in materia di automazione delle attività manuali sono state inoltre condotte interviste semi-strutturate di un gruppo selezionato di esperti nel campo della robotica avanzata, per un totale di nove interviste.

3 Robotica avanzata e tipi di attività

I risultati della ricerca sono stati successivamente classificati in attività concernenti la persona, attività concernenti le informazioni e attività concernenti gli oggetti; è stata fatta inoltre una suddivisione in attività interamente automatizzate o semi-automatizzate. A loro volta, ove possibile, le attività automatizzate sono state suddivise in attività routinarie o non routinarie. Dall'analisi è emerso che nella letteratura passata in rassegna non sono rappresentate tutte le possibili combinazioni di tali categorie. Attualmente, i sistemi disponibili supportano prevalentemente le attività routinarie. In futuro, tuttavia, grazie all'evoluzione delle capacità tecnologiche, l'automazione di attività meno routinarie sarà più probabile.

3.1 Piena automazione (sostituzione) delle attività con sistemi di robotica avanzata

3.1.1 Attività concernenti le persone

Un'attività concernente le persone è caratterizzata da una certa forma di interazione tra l'uomo e la tecnologia. Tale interazione non è limitata, specificamente, all'utente e alla tecnologia, ma può estendersi anche al di là di questi partecipanti. I sistemi robotici che assistono gli infermieri nel sollevamento dei pazienti sono un ottimo esempio di automazione di un'attività concernente le persone.

Attività routinaria

Per essere classificato come attività routinaria, il processo automatizzato deve contenere un elemento procedurale ripetitivo che non subisce variazioni di esecuzione in esecuzione. Da una prospettiva tecnologica, la definizione di routine è di gran lunga più limitata rispetto alla prospettiva umana. Esempi di attività manuali di tipo routinario concernenti le persone sono frequenti soprattutto nel settore **sanitario**. Gli **assistenti sanitari** robotizzati aiutano gli infermieri a eseguire operazioni non complesse, con effetti sul carico di lavoro sia mentale che fisico. Tra queste vi è l'inserimento dell'ago per il **prelievo di sangue** o per l'iniezione di farmaci. I robot più sofisticati in ambito sanitario sono in grado di **sollevare**

i pazienti dal letto e di trasferirli su una sedia a rotelle o di aiutarli ad alzarsi in piedi, senza che sia necessario l'intervento di un infermiere (Kyrarini *et al.*, 2021). Anche operazioni quali **assistere i pazienti nella deambulazione e afferrare oggetti** possono essere interamente automatizzate. Un'altra attività che solitamente richiede un elevato dispendio di tempo e di energie in ambito sanitario consiste nell'aiutare i pazienti a **bere e mangiare** (Kyrarini *et al.*, 2021). I **robot chirurgici** specializzati assistono e supportano il personale medico in una molteplicità di mansioni. L'esecuzione di suture durante un intervento chirurgico è un compito svolto in via routinaria dal chirurgo ed è indispensabile per il successo generale dell'intervento (Manolesou *et al.*, 2021).

3.1.2 Attività concernenti gli oggetti

Le attività manuali concernenti gli oggetti rappresentano presumibilmente la forma di applicazione più nota dei sistemi robotici. I robot industriali capaci di eseguire operazioni quali raccogliere e posizionare oggetti sono stati i primi sistemi interamente automatizzati introdotti negli ambienti di lavoro.

Attività routinaria

Attività industriali quali **saldare, assemblare, verniciare a spruzzo, imballare e sistemare, tagliare, movimentare e levigare** possono essere interamente automatizzate ed eseguite da sistemi robotici (Iqbal *et al.*, 2016). Si tratta delle stesse attività menzionate dagli esperti intervistati, che a queste hanno anche aggiunto il **sollevamento di oggetti pesanti**, attività manuali di precisione come **raccogliere e posizionare oggetti**, e la produzione di piccole componenti per l'assemblaggio in un'ampia gamma di prodotti e attività di precisione. Nel **settore della logistica e dei trasporti** i sistemi robotici trovano spesso applicazione nei magazzini, negli ospedali e nei supermercati. Svariate sono, infine, le applicazioni della robotica nel settore dell'**estrazione mineraria**, dove si ricorre all'automazione per il controllo di macchinari pesanti e per le attività di **sollevamento, movimentazione di materiali di scarto, scavo e trasporto**, nonché **trivellazione** e, verosimilmente, **manipolazione di esplosivi** (Plotnikov *et al.*, 2020).

3.2 Semi-automazione (assistenza) delle attività con sistemi di robotica avanzata

Se alcuni sistemi robotici hanno già un livello di sofisticazione tecnologica adeguato per svolgere operazioni in maniera pienamente autonoma, vi sono alcune attività che beneficiano di un'automazione parziale, che prevede ancora la partecipazione attiva del lavoratore nel processo, ma non con funzioni di supervisione.

3.2.1 Attività concernenti le persone

Attività routinaria

L'ambiente di lavoro medico è caratterizzato da una serie di piccole attività manuali che vengono ordinariamente eseguite per i pazienti. Altre mansioni nel campo dell'infermieristica per le quali si è fatto ricorso ai robot sono l'assistenza del paziente nel **vestirsi e nelle operazioni di igiene personale** (Kyrarini *et al.*, 2021). Se è vero che la procedura di per sé può variare da paziente a paziente, la gestione manuale del paziente in termini di movimentazione e **sollevamento** è un'attività al tempo stesso faticosa e altamente ripetitiva. Il personale infermieristico che utilizza sistemi automatizzati può semplicemente assistere il paziente onde evitare il rischio di cadute o lesioni (Hu *et al.*, 2011). Sebbene tali operazioni possano essere interamente automatizzate, attualmente nel settore prevale l'uso di sistemi semi-automatici.

3.2.2 Attività concernenti gli oggetti

Attività routinaria

Soprattutto in ambito manifatturiero, per alcune attività si sta consapevolmente transitando dalla non automazione a uno stato di semi-automazione, con l'introduzione di sistemi robotici. In campo industriale e manifatturiero la robotica avanzata è usata per svolgere numerose attività tra cui la **raccolta, l'imballaggio e la pallettizzazione delle merci, la saldatura e l'assemblaggio degli articoli** e la **movimentazione dei materiali** fino all'**ispezione dei prodotti** (Matheson *et al.*, 2019). Al momento, queste operazioni sono eseguite con un grado di coinvolgimento variabile dell'uomo, che va dall'intervento collaborativo alla supervisione. Alcune di tali attività sono strettamente correlate al settore

edile. Si pensi, per esempio, ai lavori automatizzati di **muratura e allo spostamento di materiali e oggetti pesanti** con bracci robotici completi di pinze, manovrati da operai specializzati, o alle pompe per calcestruzzo dotate di speciali sensori che consentono di tener conto di variabili operative fondamentali come l'orientamento, le angolature, le profondità e le distanze.

3.2.3 Attività concernenti le informazioni

Attività routinaria

Come si è detto per le attività interamente automatizzate, nella letteratura presa in esame non esistono studi di casi di attività manuali concernenti le informazioni eseguite da sistemi robotici avanzati. Tuttavia, l'analisi di effettive applicazioni di sistemi robotici ha consentito di individuare sistemi che utilizzano sensori per la raccolta di informazioni dall'ambiente, dotati altresì di capacità di elaborazione che potrebbero permettere loro di suggerire interventi, mettere a punto azioni o, semplicemente, lanciare un allarme. Nonostante vi siano esempi di impiego di sistemi robotici avanzati con riferimento ad attività concernenti le informazioni, mancano a tutt'oggi studi sull'impatto di tali tecnologie sulla SSL, a livello sia cognitivo che fisico.

3.3 Impatto sul lavoro

Nell'arco temporale di un decennio, si è registrata una crescita dell'occupazione di lavoratori altamente qualificati con mansioni più analitiche e che sono in grado di apprendere rapidamente, adattandosi al progresso tecnologico. La riqualificazione professionale e la riconversione delle competenze dei lavoratori sono considerate una conseguenza e, al tempo stesso, una tappa necessaria per garantire la crescita continua dell'industria (de Vries *et al.*, 2020). Questa prospettiva è coerente con la narrazione diffusa secondo cui gli attuali cambiamenti legati all'adozione dei sistemi robotici comporteranno il bisogno di ripensare gli obiettivi formativi dei lavoratori, promuovendo l'idea dell'apprendimento continuo e dell'acquisizione di competenze adeguate, adattive e aggiornate (Kim e Park, 2020).

Il ricorso all'automazione per l'esecuzione di operazioni manuali sarà avvertito nelle professioni **sanitarie**. Le professioni ospedaliere che non richiedono perlomeno una laurea di primo livello sono destinate a scomparire, in favore di una transizione verso attività più cognitive e fondate sulle conoscenze (Terminino e Rimbau Gilabert, 2018). Il vantaggio principale percepito dal personale infermieristico in seguito all'automatizzazione delle attività manuali tramite sistemi robotici riguarda la riduzione dello stress fisico generale (Denault *et al.*, 2019). Lo studio di Sen *et al.* (2020) sui disturbi muscolo-scheletrici correlati all'attività lavorativa nel settore **minerario** ha dimostrato che i lavoratori di tale settore beneficerebbero dell'automatizzazione dei processi di lavoro in termini di riduzione sia dei disturbi muscolo-scheletrici sia dell'esposizione generale ai rischi sul luogo di lavoro. Anche i **magazzini** possono essere ambienti pericolosi. I pericoli più comuni per la sicurezza dei lavoratori sono rappresentati dal rischio di scivolamento, inciampi e cadute dall'alto. Utilizzando i robot in modo da ridurre il numero di attività in quota o manovrare apparecchiature a rischio elevato come carrelli elevatori, gli operatori potrebbero ottenere vantaggi significativi sotto il profilo della sicurezza. Quanto ai lavoratori del settore **edile**, uno dei principali vantaggi offerti dalla robotica è la capacità di tali tecnologie di assistere il personale nello svolgimento di attività ripetitive o pericolose nei cantieri. Questa transizione, tuttavia, comporterebbe l'obbligo per tutti gli operai di acquisire nuove abilità per imparare sia a manovrare che a sovrintendere al funzionamento delle macchine.

3.4 Impatto sui settori

Dall'analisi delle attività manuali automatizzate nei vari settori emerge che un elevato numero di mansioni automatizzate o supportate riguarda il comparto della **salute umana e dei servizi sociali**, in particolare in contesti ospedalieri. La molteplicità di possibili applicazioni dei sistemi robotici fa pensare che, in un futuro prossimo, l'installazione di robot in questi ambienti di lavoro subirà un incremento. A livello settoriale, è probabile che il comparto sanitario e dei servizi sociali acquisti sempre più rilevanza e, di conseguenza, diventi uno dei principali ambiti di applicazione dei sistemi robotici.

Il secondo settore a essere maggiormente coinvolto è quello **manifatturiero**. Gli esperti sono concordi nel riconoscere che il settore manifatturiero è, al momento, il principale ambito di impiego della robotica avanzata. Vi sono numerosi esempi di contesti produttivi quasi interamente automatizzati in campi quali l'industria automobilistica.

Altrettanto frequentemente menzionato nella letteratura scientifica, così come dagli esperti intervistati, è l'ambito generale dei **trasporti e della logistica**. Il mercato della logistica, in particolare, sta cambiando rapidamente a fronte della diffusione del commercio elettronico, della personalizzazione di massa e della filosofia «just-in-time». Il processo di sostituzione della manodopera con sistemi di automazione e robotica è in crescita anche nei moderni processi di **estrazione mineraria**. Meno presenti nella letteratura scientifica ma citati dagli esperti sono, invece, l'**edilizia** e l'**agricoltura, la silvicoltura e la pesca**.

4 Implicazioni per la SSL

4.1 Effetti psicosociali

Indipendentemente dal tipo di attività specifica sono altresì discussi numerosi aspetti psicosociali, che possono essere trasferiti, in certa misura, anche alle attività manuali. La revisione preliminare della letteratura sull'interazione uomo-macchina e sulla salute sul lavoro mette a fuoco categorie di interazioni uomo-macchina pertinenti per le analisi delle conseguenze riconducibili all'automazione delle attività. Tali categorie sono «*l'attribuzione delle funzioni, la progettazione dell'interfaccia e dell'interazione nonché l'utilizzo e la supervisione di macchine e sistemi*» (Robelski & Wischniewski, 2018). Per quanto riguarda l'attribuzione delle funzioni nell'ambito dell'automatizzazione delle attività, tale aspetto comporta che sia l'attività stessa a determinare quali funzioni assegnare all'uomo e quali alla macchina, in questo caso i sistemi robotici avanzati (Robelski & Wischniewski, 2018). Un fenomeno che si osserva frequentemente in caso di automatizzazione delle attività è quello del cosiddetto «compiacimento» (*complacency*) dell'automazione: gli studi dimostrano che l'esperienza e la formazione non riducono il verificarsi di tale fenomeno. Come riportato in sintesi da Parasuraman e Manzey (2010), la letteratura scientifica è concorde nell'individuare tre fattori principali che contribuiscono alla diffusione del condizionamento da automazione. Il primo riguarda una propensione degli esseri umani, osservata nei processi decisionali, a seguire la strada dello sforzo cognitivo minimo. Il secondo descrive la tendenza degli utenti a sovrastimare le prestazioni e l'autorità dei sistemi di automazione. Il terzo fattore che concorre al condizionamento da automazione è un fenomeno presente anche nelle attività umane condivise. Si tratta della diffusione della responsabilità, che porta a una condizione di «pigrizia sociale», vale a dire la propensione degli esseri umani a ridurre il proprio impegno quando lavorano in gruppo (Parasuraman e Manzey, 2010).

Fiducia

Un elevato numero di studi ha esaminato i fattori antecedenti che concorrono a creare fiducia nei sistemi robotici. I ricercatori concordano che i fattori che influenzano in maniera significativa la fiducia umana verso i sistemi robotici possono riguardare l'uomo, la macchina o il contesto e, pertanto, devono essere attentamente valutati quando si utilizzano sistemi robotici per l'automazione delle attività (Hancock *et al.*, 2011; Hancock *et al.*, 2020). Per quanto concerne i fattori antecedenti riguardanti la macchina, ad avere il maggiore impatto sulla fiducia sono gli attributi della macchina e le sue prestazioni. È importante, tuttavia, non solo prestare attenzione agli aspetti che accrescono la fiducia, ma anche tener conto del fatto che alcuni aspetti potrebbero avere effetti deleteri sul completamento dell'attività o su altre questioni (Hancock *et al.*, 2020). Un antropomorfismo inappropriato può dar luogo a situazioni pericolose quali comportamenti inattesi, l'incapacità di riconoscere l'errore della macchina o una risposta troppo lenta all'errore della macchina (Papadimitriou *et al.*, 2020).

4.1.1 Pianificazione dell'attività

Controllo del lavoro

Il concetto di controllo del lavoro, in cui rientrano le dimensioni della latitudine decisionale, delle tempistiche e dello stesso controllo del metodo, vanta una lunga storia nel campo della psicologia del lavoro. Gli effetti positivi che il controllo del lavoro può avere sul benessere, la motivazione, la soddisfazione e la salute mentale dei lavoratori, soprattutto come supporto per controbilanciare richieste elevate nell'ambiente di lavoro, sono stati ampiamente descritti nella letteratura scientifica (Bakker & Demerouti, 2007; Karasek, 1979, 1998). Per quanto riguarda le caratteristiche delle attività lavorative e i livelli di controllo del lavoro che subiscono modifiche con l'introduzione della robotica avanzata per l'automazione o semi-automazione delle attività, gli esperti intervistati hanno accennato anche al rischio di perdita di fiducia nei propri mezzi derivante dai cambiamenti apportati ai processi di lavoro o dalle nuove attività richieste. Tuttavia, se non si definiscono chiaramente i compiti e i limiti del sistema, si

corre il rischio di lasciare che il controllo del lavoro o la latitudine decisionale siano eccessivi, con conseguenti situazioni di stress o perdita di benessere.

Senso di controllo

Le caratteristiche dell'attività definite dal livello di controllo del lavoro possono essere percepite diversamente dai lavoratori. Strettamente correlato alla nozione di controllo del lavoro, pertanto, è il senso di controllo soggettivo, anch'esso un concetto ben consolidato in psicologia (Spector, 1998). La crescente autonomia dei sistemi robotici potrebbe incentivare i lavoratori ad assegnare alle macchine mansioni che il sistema è in grado di eseguire, senza con ciò perdere la sensazione di avere la situazione sotto controllo. Il rischio di perdere il controllo, sia questo una sensazione soggettiva o una circostanza oggettiva, è stato anche esplicitamente menzionato dagli esperti intervistati, i quali hanno inoltre sottolineato che il principio dell'«uomo in controllo» dovrebbe essere tra le principali linee guida della pianificazione dei compiti.

Intensità del lavoro e dequalificazione delle mansioni

In relazione alla pianificazione delle attività lavorative, una condizione psicosociale legata al lavoro che molto spesso viene discussa e affrontata è l'intensità del lavoro, per esempio descritta con riferimento al controllo del lavoro nel modello domanda/controllo (Karasek, 1979, 1998) o nel più ampio modello domanda/risorse (Demerouti *et al.*, 2001). La riduzione della varietà di abilità viene affrontata anche per tener conto della possibile polarizzazione delle mansioni, un'ipotesi discussa in relazione all'automatizzazione delle attività e alla digitalizzazione dei sistemi di lavoro. In estrema sintesi, nel caso di professioni che richiedono abilità semplici, l'automatizzazione delle attività routinarie complesse avrà come conseguenza che il lavoratore dovrà svolgere compiti ancora più semplici anziché mansioni che richiedono un più alto livello di competenze.

4.1.2 Pianificazione dell'interazione

Nella letteratura scientifica sono discussi vari aspetti riguardanti la pianificazione dell'interazione con i sistemi robotici con riferimento a molteplici dimensioni della SSL. Gli aspetti progettuali della robotica e la pianificazione dell'interazione possono essere associati ad attributi diversi. Possono riguardare, per esempio, l'aspetto esteriore e la corporeità del sistema robotico, il comportamento e il movimento o l'interazione della macchina nonché gli stili e i canali comunicativi della stessa. Per quanto concerne il movimento della macchina, sono degni di considerazione aspetti come la velocità, l'accelerazione e decelerazione, le traiettorie e le strategie di avvicinamento o comportamento nelle vicinanze della macchina. Anche la comunicazione tra uomo e tecnologie robotiche avanzate può essere più o meno sofisticata. I diversi aspetti della progettazione dell'interazione sono associati, più o meno debolmente, a rischi e opportunità nel campo della SSL. L'obiettivo generale, inoltre, è accrescere la sensazione di benessere, accettazione, fiducia, emozioni positive e un'esperienza dell'utente o un flusso di lavoro positivi (cfr., per esempio, Honig *et al.*, 2018). Al tempo stesso, occorre evitare che l'interazione dia luogo a livelli disfunzionali di carico di lavoro, irritazione, tensione o interruzioni; al contrario, ove possibile, essa potrebbe concorrere addirittura a ridurre tali criticità. Al di là di tutto, gli aspetti relativi alla progettazione delle tecnologie robotiche non sono valutazioni a se stanti, ma devono sempre tener conto del contesto di lavoro e dei compiti specifici.

Progettazione di robot antropomorfi

La questione della natura fisica, o corporeità, dei sistemi robotici o, più precisamente, della progettazione di robot antropomorfi è ampiamente discussa nella letteratura scientifica. La progettazione di robot antropomorfi può avere effetti positivi sulla fiducia dell'uomo nei confronti della macchina. Il ricorso a modelli con tratti umani come occhi o espressioni facciali può promuovere un'interazione naturale, un senso di accettazione e simpatia, soprattutto nel caso della robotica sociale (Fink, 2012). Questi modelli, tuttavia, possono anche avere conseguenze negative, poiché possono far nascere aspettative umane nei confronti delle capacità e dei comportamenti delle macchine (Zlotowski *et al.*, 2015). Se un sistema è dotato di caratteristiche come gli occhi, ci si aspetta che il robot sia in grado di elaborare stimoli visivi. La progettazione antropomorfica può anche riguardare i movimenti o le strategie di comunicazione della macchina. I cortocircuiti che possono crearsi possono dar luogo a irritazione o persino alla percezione di un'affidabilità significativamente inferiore nei contesti industriali (Roesler *et al.*, 2020). In ogni caso, generalmente parlando, se una caratteristica antropomorfica non risponde a esigenze funzionali, essa andrebbe esclusa in fase di progettazione.

Principi dialogici nell'IUM

Un buon riferimento da consultare per la progettazione dell'interazione è rappresentato dai principi d'interazione (in precedenza denominati principi dialogici) formulati nella norma EN ISO 9241-110. I principi d'interazione e le raccomandazioni di progettazione generali possono guidare lo sviluppo e la valutazione di interfaccia di utente, migliorando quindi l'usabilità della macchina. Sono stati riconosciuti come importanti e utili per progettare l'interazione con il sistema nel contesto della cosiddetta «Industria 4.0» (Fischer *et al.*, 2017) e hanno dimostrato di essere uno strumento adeguato per la valutazione dei sistemi robotici da parte dell'utente (Rosen *et al.*, 2018). In particolare, il nuovo grado di autonomia che i sistemi basati sull'IA e la robotica avanzata portano in un ambiente di lavoro attribuisce una nuova qualità all'interazione, che potrebbe essere valutata e migliorata applicando i principi dialogici nelle fasi iniziali del processo di sviluppo.

Trasparenza nell'IUM

In considerazione soprattutto dello sviluppo delle capacità e dell'aumento dell'autonomia dei sistemi robotici, gli sviluppatori, così come il legislatore, devono considerare l'aspetto della responsabilità e dell'attribuzione della responsabilità nell'interazione. L'uomo attribuisce alla macchina la responsabilità dei propri errori (Kahn *et al.*, 2012), perlomeno più spesso di quanto accada con altri oggetti. Quando si verificano errori nel processo lavorativo, gli utenti imputano la colpa dell'errore maggiormente alla macchina e in misura minore agli altri. Tuttavia, non bisogna semplicemente dare per scontato che un maggior volume di informazioni trasmesse dal sistema si traduca, di necessità, in un vantaggio per l'utente. Un volume eccessivo di informazioni potrebbe non accrescere la trasparenza di un sistema ma, al contrario, portare a un sovraccarico di informazioni e inficiare la capacità dell'utente di selezionare ed elaborare informazioni cruciali (Finomore *et al.*, 2011). È quindi importante, per quanto difficile, cercare di garantire un grado sufficiente di trasparenza.

4.1.3 Utilizzo e supervisione

La dimensione dell'utilizzo e della supervisione di un sistema può essere considerata la diretta conseguenza del processo di attribuzione delle funzioni e della progettazione specifica dell'interazione (Robelski e Wischniewski, 2018).

Atteggiamento ed esperienza verso e con i robot

La relativa novità della presenza di sistemi robotici che interagiscono da vicino con l'uomo nell'ambiente di lavoro comporta inevitabilmente una certa inesperienza e un certo disagio da parte del personale che deve interagire con tali sistemi. Questa mancanza di familiarità può incidere sull'atteggiamento dei lavoratori nei confronti delle macchine e segnare le esperienze iniziali. Sappiamo che l'uso e l'esperienza possono modificare le percezioni dei lavoratori dei sistemi robotici e il loro atteggiamento verso tali sistemi. Via via che cresce la familiarità dell'utente, il fattore «novità» di tali sistemi diminuisce e i preconcetti sulle loro capacità e comportamenti si evolvono verso un quadro più realistico (Sanders, 2019). È probabile che la fiducia e l'accettazione aumentino con l'esposizione dei lavoratori ai nuovi sistemi, che ne modifica l'atteggiamento nei confronti degli stessi (Hancock *et al.*, 2011). Nomura *et al.* (2011) hanno osservato che gli atteggiamenti negativi dei lavoratori nei confronti dei robot diminuivano con l'aumentare delle esperienze di interazione tra loro e i robot stessi.

Sostegno sociale

Il sostegno sociale sul lavoro, per esempio da parte di compagni di squadra e colleghi, è considerato uno dei principali fattori capaci di influenzare il benessere o la soddisfazione dei lavoratori. La ricerca ha dimostrato che il sostegno sociale può mitigare la percezione dello stress correlato al lavoro e i suoi effetti sulla persona (Viswesvaran *et al.*, 1999). La (semi-)automatizzazione di attività precedentemente svolte dall'uomo potrebbe portare, nel tempo, alla creazione di nuove strutture di collaborazione. Un possibile rischio potrebbe essere rappresentato da una diminuzione del sostegno sociale percepito, poiché potrebbero ridursi le occasioni di interazione con i membri del gruppo.

Paura di perdere il lavoro

Alcuni lavoratori potrebbero percepire l'introduzione dei sistemi robotici non come un vantaggio tecnologico, bensì come un potenziale rischio per il loro impiego. Reichert e Tauchmann (2011) hanno studiato i livelli di disagio psicologico dei lavoratori in situazione di precarietà occupazionale,

riscontrando che gli individui che svolgono lavori precari evidenziano uno stato di salute psicologica peggiore. Gli effetti della precarietà del lavoro, inoltre, sono esacerbati nel caso dei soggetti con problemi di salute mentale preesistenti. Kozak *et al.* (2020) hanno riscontrato che l'insicurezza suscitata nei lavoratori dall'automatizzazione del lavoro tramite sistemi robotici non è un timore irrazionale nei confronti dell'ignoto, bensì una riflessione razionale sui rischi dell'automatizzazione delle attività a cui sono esposti i lavoratori. I ricercatori sottolineano la necessità di elaborare ulteriori politiche di sviluppo delle abilità per il personale, in modo da contrastare la perdita effettiva di posti di lavoro e i timori soggettivi che ciò effettivamente accada.

4.2 Conseguenze a livello fisico

L'impatto fisico dell'automatizzazione delle attività mediante sistemi robotici può essere raggruppato nei vantaggi potenziali e intenzionali e nei possibili rischi descritti di seguito. Nella categoria degli effetti positivi uno degli elementi principali è rappresentato dall'allontanamento dei lavoratori da ambienti pericolosi o da attività spossanti (Gharbia *et al.*, 2019; Sen *et al.*, 2014). L'altra categoria di effetti positivi è legata all'aiuto fornito ai lavoratori dai sistemi robotici nel caso di determinate attività manuali che comportano uno sforzo fisico continuo o ripetuto nocivo per la salute (Kyrarini *et al.*, 2021). Possono rientrare in questa categoria molte attività generiche automatizzate con sistemi robotici, come il sollevamento di un pezzo in lavorazione o persino il trasporto di un oggetto da un punto all'altro dell'area di lavoro. I dolori e i traumi muscolo-scheletrici correlati al lavoro sono frequenti tra gli infermieri. È evidente, quindi, che l'automatizzazione di attività particolarmente faticose può offrire enormi vantaggi alla loro salute. Si raccomanda che le celle di lavoro consentano una riduzione del carico fisico, ottenuta modificando il ciclo di lavoro e le prestazioni del sistema robotico in base alle condizioni fisiche dell'operatore. Ciò al fine di favorire il benessere fisico dei lavoratori, facendo tesoro di quanto riferito dagli intervistati in merito all'impatto che un robot può avere sulla forza lavoro.

Accanto agli adeguamenti in senso migliorativo delle condizioni fisiche di un lavoratore, secondo gli esperti le nuove tecnologie potrebbero, tuttavia, determinare nuove tipologie di pericoli fisici. Poiché molti sistemi robotici svolgono attualmente un compito che prevede una qualche forma di movimento, non di rado un movimento con un carico fisico aggiuntivo, sono stati più volte menzionati i rischi di urto. Se l'impatto tra un lavoratore e un sistema robotico pone di per sé un rischio per la salute, il potenziale rischio di lesione aumenta quando la macchina sta manipolando un oggetto o è dotata di una pinza tagliente o appuntita. Un movimento involontario può colpire un lavoratore o bloccare quest'ultimo tra il robot e una componente fissa, per esempio schiacciandogli una mano. È pertanto necessario prendere in considerazione la possibilità di limitare la forza di contatto. Un altro fattore di rischio è rappresentato dai guasti meccanici: senza una manutenzione adeguata potrebbero verificarsi errori che, a loro volta, potrebbero avere gli stessi esiti di un errore di controllo.

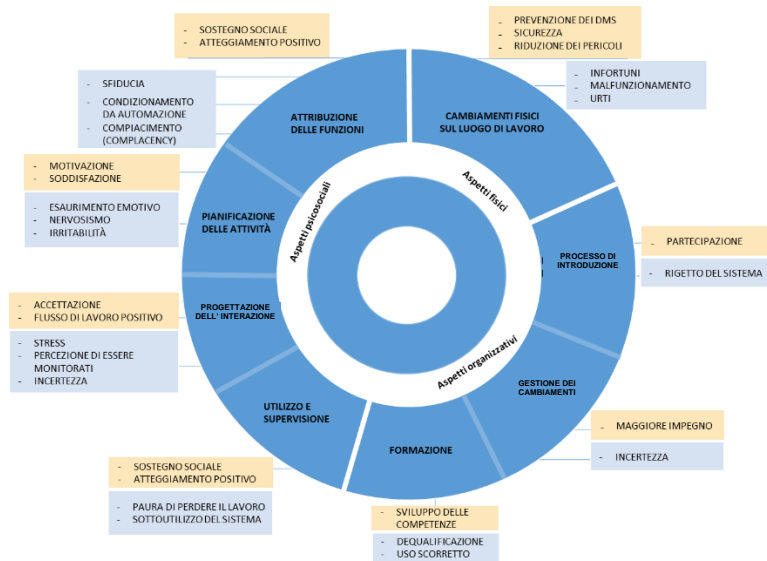
4.3 Conseguenze a livello organizzativo

Informare i lavoratori in merito ai cambiamenti che saranno introdotti in futuro può ridurre le loro perplessità nei confronti delle ragioni che hanno resi necessari tali cambiamenti. È assodato, inoltre, che una comunicazione chiara e diretta favorisce il cambiamento e promuove un atteggiamento collaborativo da parte dei lavoratori (Bordia *et al.*, 2004). Oltre a mettere i lavoratori al corrente dei cambiamenti in vista, occorre ripensare l'area di lavoro in cui sarà utilizzato il robot e rivedere le mansioni dei lavoratori stessi. È a questo proposito che gli esperti intervistati hanno sottolineato l'aspetto delle valutazioni dei rischi. Gli esperti hanno, inoltre, menzionato la necessità di formare i lavoratori, valutare e supervisionare il luogo di lavoro e introdurre procedure per il corretto mantenimento.

Uno dei più importanti cambiamenti da valutare a livello organizzativo in questi ambienti di lavoro è la domanda di riqualificazione professionale e sviluppo delle competenze. La formazione deve fornire al personale le competenze necessarie per lavorare con le nuove tecnologie robotiche; contemporaneamente, va evitata la dequalificazione delle mansioni e la perdita di altre competenze fondamentali. Un'attenta valutazione di tali fattori e l'offerta delle opportunità di formazione necessarie ai lavoratori potrebbero incentivarne il coinvolgimento nei cambiamenti a livello organizzativo. È stato dimostrato che la partecipazione dei lavoratori al processo decisionale e all'attuazione delle decisioni favorisce un atteggiamento collaborativo da parte dei lavoratori stessi (Gagne *et al.*, 2000).

La figura 1 riporta una panoramica delle dimensioni pertinenti individuate con riferimento agli aspetti psicosociali, fisici e organizzativi e ai possibili rischi e benefici per la SSL a essi associati.

Figura 1. Panoramica delle dimensioni e degli effetti pertinenti in materia di SSL



4.4 Norme

Oltre alle norme di tipo A (norme di sicurezza fondamentali) e di tipo B (norme di sicurezza generali) che si applicano se pertinenti, al momento esistono tre norme di sicurezza per le macchine (norme di tipo C) che contengono requisiti relativi ai sistemi robotici. L'elenco completo è disponibile nella relazione. Per sintetizzare le opinioni degli esperti in merito alle norme riguardanti i sistemi robotici si rammenta che essi riconoscono margini di miglioramento per quanto riguarda aspetti specifici delle norme esistenti. Ritengono, tuttavia, che non vi sia al momento bisogno di norme aggiuntive. Tale posizione riflette l'attuale numero di applicazioni IUM pienamente integrate osservato in Europa, come emerge, per esempio, dai risultati dei dati ESENER-3 (EU-OSHA, 2022a). Nell'ambito degli studi condotti per il progetto in questione, sono stati individuati specifici rischi per la SSL dei sistemi di robotica avanzata e di IA. Tuttavia, nonostante esistano rischi specificamente associati all'uso della robotica avanzata, gli strumenti di valutazione dei rischi in grado di garantire sia l'identificazione che l'analisi dei rischi per tali sistemi sono ancora rari e spesso non prontamente disponibili.

4.5 Valutazione dei rischi

L'impatto specifico per la SSL riconducibile all'introduzione di un sistema di robotica avanzata o di un sistema di IA nel posto di lavoro è spesso difficile da misurare e varia in base al sistema, all'attività automatizzata e all'ambiente specifici. Lo stesso dicasi per il rischio generale di introdurre e attuare tali sistemi nell'ambiente di lavoro. Negli ultimi anni sono stati proposti dei prototipi di strumenti di valutazione dei rischi specifici per robot collaborativi, o cobot (per esempio, Stone et al., 2021; Raza et al., 2021), ma quelli testati e pubblicati a libera diffusione sono ancora pochi. Gli strumenti di valutazione dei rischi presentano un'ulteriore sfida associata ai frequenti cambiamenti dell'ambiente in cui operano molti cobot. Nonostante ciò, una valutazione accurata e approfondita dei rischi presenti nell'ambiente di lavoro e associati a una tecnologia è fondamentale per garantire la SSL; per il futuro, quindi, sarà necessario tener conto dell'assenza di strumenti di valutazione capaci di fornire questo tipo di valutazione per quanto riguarda l'uso di sistemi di robotica avanzata, cobot e sistemi di IA nell'automatizzazione delle attività.

5 Sintesi e conclusione

Nell'ambito dell'analisi dei tipi di attività e del grado di automazione per i quali si fa attualmente ricorso ad applicazioni di robotica avanzata, si osserva un forte interesse verso la semi-automazione e la piena automazione delle attività routinarie concernenti, rispettivamente, le persone e gli oggetti. Tra le attività concernenti le persone molte riguardano il settore infermieristico, tra cui il sollevamento dei pazienti o l'assistenza dei pazienti durante l'assunzione di cibo o bevande. Inoltre, sono parzialmente o

interamente assistite le attività chirurgiche e mediche di altro genere. Quanto alle attività concernenti gli oggetti, l'attenzione gravita in particolare su mansioni diffuse nei settori manifatturiero, logistico e artigianale. Degne di nota sono, inoltre, le attività di imballaggio e trasporto e consegna interamente automatizzate in vari campi tra cui i comparti manifatturiero, ospedaliero e logistico. Le attività di assemblaggio ricadono nella categoria delle attività concernenti gli oggetti, che risultano essere parzialmente assistite dalla robotica avanzata.

Un dato importante è che, attualmente, nella letteratura scientifica non si fa ricorso, o si fa ricorso soltanto in rari casi, a un approccio per attività con riferimento ai rischi e alle opportunità per la SSL. Per quanto riguarda le attività puramente manuali, mancano del tutto studi che esaminano l'IUM e i rischi e le opportunità per la SSL associati a tale ambito. Per tale motivo i risultati presentati possono essere considerati risultati fino a un certo punto generali, ossia validi per tutte le applicazioni robotiche.

Dalla letteratura scientifica siamo stati in grado di individuare quattro diverse dimensioni per l'IUM che possono essere associate a rischi e opportunità diversi per la SSL: attribuzione di funzioni o attività, progettazione delle attività e dell'interazione e utilizzo e supervisione.

In merito alla dimensione dell'attribuzione di funzioni o attività, osserviamo che tali processi potrebbero diventare più dinamici via via che i sistemi robotici si adatteranno con flessibilità a vari impieghi. Se l'attribuzione di funzioni e attività è eseguita correttamente, si possono osservare miglioramenti delle prestazioni del sistema, una riduzione degli errori, un'ottimizzazione del carico di lavoro e un incremento di motivazione, soddisfazione e benessere. I rischi associati all'attribuzione delle funzioni, tuttavia, includono una serie di conseguenze per l'uomo tra cui effetti di compiacimento (*complacency*), condizionamento nelle decisioni, ridotta consapevolezza della situazione, squilibri del carico di lavoro mentale, sfiducia ed eccessiva fiducia nella macchina. Se è vero che un aumento del grado di automazione potrebbe ridurre il carico di lavoro mentale di un operatore, altrettanto certo è che tale soluzione può comportare anche una perdita di consapevolezza situazionale se non addirittura il fallimento della prestazione (Onnasch *et al.*, 2014).

Quanto alla progettazione delle attività alla luce del processo di attribuzione delle funzioni, è opportuno sottolineare soprattutto il rischio di bassi livelli di controllo del lavoro, con la conseguente percezione da parte del lavoratore di perdere il controllo sul proprio lavoro, una perdita di fiducia nelle proprie capacità e scarsi livelli di soddisfazione, motivazione e benessere. Un grado elevato di autonomia dei sistemi robotici è stato associato anche al rischio di riduzione della sensazione di controllo nonché del senso di responsabilità dei lavoratori verso l'attività lavorativa. Una stretta associazione tra il lavoratore e l'attività della macchina comporta il rischio supplementare di accrescere lo stress.

L'applicazione di principi di progettazione ben noti faciliterà il processo generale d'interazione. La non applicazione di tali principi produce, invece, tutta una sequela di effetti negativi. L'importanza di alcuni principi di progettazione potrebbe subire variazioni, soprattutto perché la domanda di una progettazione trasparente dei sistemi robotici e di comportamenti altrettanto trasparenti da parte di tali sistemi è indispensabile per evitare potenziali rischi quali un minor senso di responsabilità e assunzione della responsabilità nell'interazione, eccessiva sfiducia o fiducia nonché un senso di alienazione o perdita di controllo nel lavoratore.

Per quanto riguarda l'impiego della robotica avanzata soprattutto in ambienti di lavoro pericolosi e rischiosi, non può non essere menzionata un'evidente opportunità. I sistemi robotici offrono, innanzitutto, la possibilità di rimuovere completamente i lavoratori da tali circostanze sfavorevoli. Inoltre, soprattutto nel caso delle attività di assemblaggio e sollevamento, i sistemi robotici possono migliorare la salute fisica dei lavoratori, in particolare con riferimento ai disturbi muscolo-scheletrici. Tra i rischi sono riportati anche i rischi fisici come gli urti o le situazioni legate a guasti meccanici o elettrici.

In merito alle conseguenze a livello organizzativo, particolarmente critici appaiono la fase di introduzione di sistemi avanzati nell'ambiente di lavoro o il processo di cambiamento a essa associato. Se tale processo non è valutato attentamente in termini di analisi adeguata delle attività, partecipazione dei lavoratori, strategia di comunicazione e adozione di un processo continuo di valutazione e monitoraggio, i rischi con cui si dovranno confrontare le imprese saranno scarsa accettazione, rigetto e abbandono del sistema. Altrettanto fondamentale è la questione di una formazione adeguata dei lavoratori, onde evitare il rischio di dequalificazione e perdita di competenze fondamentali.

L'aspetto della fiducia all'interno dell'interazione uomo-macchina è stato oggetto di uno straordinario numero di studi. È apparso che la fiducia reciproca tra le parti in causa influenza il successo della

cooperazione (Costa *et al.*, 2001). Sempre con riferimento alla fiducia, caratteristiche dei sistemi robotici quali la mobilità, la progettazione antropomorfica o zoomorfica, le possibilità di interazione multimodali e un uso finalizzato a più obiettivi per le applicazioni prossime e remote possono suggerire che la fiducia dei lavoratori nei confronti dei robot è diversa rispetto alla fiducia verso le consuete tecnologie di automazione (Hancock *et al.*, 2011; Hancock *et al.*, 2020). Uno scarso livello di fiducia verso un sistema robotico può avere conseguenze negative per l'interazione. Al contrario della mancanza di fiducia, verrebbe da pensare che un elevato grado di fiducia nel sistema robotico possa avere effetti positivi. Tuttavia, se la fiducia è eccessiva, l'obbligo di diligenza nei confronti del robot, per esempio, è trascurato (Hancock *et al.*, 2011), con il rischio di aggravare il danno o, se il difetto non viene notato, di danneggiare il pezzo in lavorazione o provocare incidenti alle persone. Al contrario, quando il grado di fiducia riposta nella macchina è conforme alle capacità della macchina stessa, si può avere una collaborazione efficiente e sicura (Hancock *et al.*, 2011).

È stato possibile individuare alcune dimensioni dell'IUM pertinenti, da cui è stato possibile desumere i rischi e le opportunità specifici per la SSL. Tali osservazioni più generali di SSL concernenti i sistemi robotici aiutano a comprendere che, indipendentemente dal contesto di applicazione, è opportuno considerare alcuni criteri fondamentali. È bene valutare sempre tali criteri anche se i singoli effetti delle dimensioni studiate sono diversi a seconda dell'ambiente di lavoro interessato. A tale riguardo, l'applicazione di questi criteri potrebbe essere particolarmente difficile per i tradizionali ispettorati del lavoro. Per garantire la SSL non si può prescindere da una valutazione accurata e approfondita dei rischi di una tecnologia sul luogo di lavoro. Un'attenta considerazione dei rischi e dei benefici per la SSL individuati permetterà di promuovere un'applicazione della robotica avanzata in vista di un'automatizzazione delle attività centrata sui lavoratori.

Riferimenti bibliografici

- Bakker, A. B., e Demerouti, E. (2007). The job demands-resources model: State of the art. *Journal of Managerial Psychology*, 20(7), 743-757. doi:[10.1108/02683940710733115](https://doi.org/10.1108/02683940710733115)
- Bordia, P., Hobman, E., Jones, E., Gallois, C., e Callan, V. J. (2004). Uncertainty during organisational change: Types, consequences and management strategies. *Journal of Business and Psychology*, 18(4), 507-532. doi:[10.1023/B:JOBU.0000028449.99127.f7](https://doi.org/10.1023/B:JOBU.0000028449.99127.f7)
- Costa, A. C., Roe, R. A., e Taillieu, T. (2001). Trust within teams: The relation with performance effectiveness. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 10(3), 225-244. doi:[10.1080/13594320143000654](https://doi.org/10.1080/13594320143000654)
- Demerouti, E., Bakker, A. B., Nachreiner, F., e Schaufeli, W. B. (2001). The job demands-resources model of burnout. *Journal of Applied Psychology*, 86(3), 499-512. doi:[10.1037/0021-9010.86.3.499](https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.499)
- Denault, M. H., Péloquin, F., Lajoie, A. C., e Lacasse, Y. (2019). Automatic versus manual oxygen titration in patients requiring supplemental oxygen in the hospital: A systematic review and meta-analysis. *Respiration*, 98(2), 178-188. doi:[10.1159/000499119](https://doi.org/10.1159/000499119)
- de Vries, G. J., Gentile, E., Miroudot, S., e Wacker, K. M. (2020). The rise of robots and the fall of routine jobs. *Labour Economics*, 66, Article 101885. doi:[10.1016/j.labeco.2020.101885](https://doi.org/10.1016/j.labeco.2020.101885)
- EU-OSHA – Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro, *Robotica avanzata, intelligenza artificiale e automazione delle attività: definizioni, usi, politiche e strategie e sicurezza e salute sul lavoro*, 2022a. Disponibile al seguente indirizzo: <https://osha.europa.eu/en/publications/advanced-robotics-artificial-intelligence-and-automation-tasks-definitions-uses-policies-and-strategies-and-occupational-safety-and-health>
- Fink, J. (2012). Anthropomorphism and human likeness in the design of robots and human-robot interaction. In *International Conference on Social Robotics* (pagg. 199-208). Springer. doi:[10.1007/978-3-642-34103-8_20](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34103-8_20)
- Finomore, V., Satterfield, K., Sitz, A., Castle, C., Funke, G., Shaw, T., e Funke, M. (2012). Effects of the multi-modal communication tool on communication and change detection for command & control operators. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 56, n. 1) (pagg. 1461-1465). SAGE Publications. doi:[10.77/1071181312561410](https://doi.org/10.77/1071181312561410)
- Fischer, H., Engler, M., e Sauer, S. (2017). A human-centered perspective on software quality: Acceptance criteria for work 4.0. In *International Conference of Design, User Experience, and Usability* (pagg. 570-583). Springer. doi:[10.1007/978-3-319-58634-2_42](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58634-2_42)
- Gagne, M., Koestner, R., e Zuckerman, M. (2000). Facilitating acceptance of organizational change: The importance of self-determination. *Journal of Applied Social Psychology*, 30(9), 1843-1852. doi:[10.1111/j.1559-1816.2000.tb02471.x](https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2000.tb02471.x)
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y., de Visser, E. J., e Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human Factors*, 53(5), 517-527. doi:[10.1177/0018720811417254](https://doi.org/10.1177/0018720811417254)
- Hancock, P. A., Kessler, T. T., Kaplan, A. D., Brill, J. C., e Szalma, J. L. (2020). Evolving trust in robots: Specification through sequential and comparative meta-analyses. *Human Factors*, 63(7):1196-1229. doi:[10.1177/001872082092208](https://doi.org/10.1177/001872082092208)
- Honig, S. S., e Oron-Gilad, T. (2018). Understanding and resolving failures in human-robot interaction: Literature review and model development. *Frontiers in Psychology*, 9, Article 861. doi:[10.3389/fpsyg.2018.00861](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00861)
- Hu, J., Edsinger, A., Lim, Y. J., Donaldson, N., Solano, M., Solochech, A., e Marchessault, R. (2011). An advanced medical robotic system augmenting healthcare capabilities-robotic nursing assistant. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pagg. 6264-6269). IEEE Press. doi:[10.1109/ICRA.2011.5980213](https://doi.org/10.1109/ICRA.2011.5980213)

- Iqbal, T., Rack, S., e Riek, L. D. (2016). Movement coordination in human–robot teams: A dynamical systems approach. *IEEE Transactions on Robotics*, 32(4), 909-919. doi:[10.1109/TRO.2016.2570240](https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2570240)
- Karasek, R. A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job design. *Administrative Science Quarterly*, 24(2), 285-308. doi:[10.2307/2392498](https://doi.org/10.2307/2392498)
- Karasek, R. A. (1998). Demand/control model: A social, emotional, and physiological approach to stress risk and active behaviour development. In J. M. Stellman (Ed.), *Encyclopaedia of occupational health and safety* (pagg. 34.06-34.14). Organizzazione internazionale del lavoro.
- Kim, J., e Park, C. Y. (2020). Education, skill training, and lifelong learning in the era of technological revolution: A review. *Asian-Pacific Economic Literature*, 34(2), 3-19. doi:[10.1111/apel.1229](https://doi.org/10.1111/apel.1229)
- Kozak, M., Kozak, S., Kozakova, A., e Martinak, D. (2020). Is fear of robots stealing jobs haunting European workers? A multilevel study of automation insecurity in the EU. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 17493-17498. doi:[10.1016/j.ifacol.2020.12.2160](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2160)
- Kyrrarini, M., Lygerakis, F., Rajavenkatanarayanan, A., Sevastopoulos, C., Nambiappan, H. R., Chaitanya, K. K., e Makedon, F. (2021). A survey of robots in healthcare. *Technologies*, 9(1), Article 8. doi:[10.3390/technologies9010008](https://doi.org/10.3390/technologies9010008)
- Manolesou, D. G., Georgiopoulos, G., Lazaris, A. M., Schizas, D., Stamatelopoulos, K. S., Khir, A. W., e Papaioannou, T. G. (2021). Experimental devices versus hand-sewn anastomosis of the aorta: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Surgical Research*, 258, 200-212. doi:[10.1016/j.jss.2020.08.060](https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.08.060)
- Matheson, E., Minto, R., Zampieri, E. G., Faccio, M., e Rosati, G. (2019). Human–robot collaboration in manufacturing applications: A review. *Robotics*, 8(4), Article 100. doi:[10.3390/robotics804010](https://doi.org/10.3390/robotics804010)
- Nomura, T., Suzuki, T., Kanda, T., Yamada, S., e Kato, K. (2011). Attitudes toward robots and factors influencing them. In K. Dautenhahn & J. Saunders (Eds), *New frontiers in human-robot interaction* (pagg. 73-88). John Benjamins Publishing Company. doi:[10.1075/ais.2.06nom](https://doi.org/10.1075/ais.2.06nom)
- Onnasch, L., Wickens, C. D., Li, H., e Manzey, D. (2014). Human performance consequences of stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. *Human Factors*, 56(3), 476-488. doi:[10.1518/107118110X1282936920199](https://doi.org/10.1518/107118110X1282936920199)
- Papadimitriou, E., Schneider, C., Tello, J. A., Damen, W., Vrouenraets, M. L., e Ten Broeke, A. (2020). Transport safety and human factors in the era of automation: What can transport modes learn from each other? *Accident Analysis & Prevention*, 144, Article 105656. doi:[10.1016/j.aap.2020.105656](https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105656)
- Parasuraman, R., e Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human Factors*, 52(3), 381-410. doi:[10.1177/0018720810376055](https://doi.org/10.1177/0018720810376055)
- Plotnikov, N. S., Kolokoltseva, E. U., e Volkova, Y. V. (2020). Technical review of robotic complexes for underground mining. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 459, n. 4) (Article 042025). IOP Publishing. doi:[10.1088/1755-1315/459/4/04202](https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/4/04202)
- Raza, M., Malik, A. A., e Bilberg, A. (2021). Virtual Modeling as a Safety Assessment Tool for a Collaborative Robot (Cobot) Work Cell Based on ISO/TS 15066: 2016. In *Towards Sustainable Customization: Bridging Smart Products and Manufacturing Systems*, 233-241. doi:[10.1007/978-3-030-90700-6_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90700-6_26)
- Reichert, A. R., e Tauchmann, H. (2011). The causal impact of fear of unemployment on psychological health. *Ruhr Economic Papers*, n. 266. <http://hdl.handle.net/10419/61355>
- Robelski, S., e Wischniewski, S. (2018). Human-machine interaction and health at work: A scoping review. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 5(2), 93-110. doi:[10.1504/IJHFE.2018.092226](https://doi.org/10.1504/IJHFE.2018.092226)
- Roesler, E., Onnasch, L., e Majer, J. I. (2020). The effect of anthropomorphism and failure comprehensibility on human-robot trust. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 64, n. 1) (pagg. 107-111). SAGE Publications. doi:[10.1177/1071181320641028](https://doi.org/10.1177/1071181320641028)

- Rosen, P. H., Sommer, S., e Wischniewski, S. (2018). Evaluation of human-robot interaction quality: A toolkit for workplace design. In *Proceeding of the 20th Congress of the International Ergonomics Association* (pagg. 1649-1662). Springer. doi:[10.1007/978-3-319-96071-5_169](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96071-5_169)
- Sanders, T., Kaplan, A., Koch, R., Schwartz, M., e Hancock, P. A. (2019). The relationship between trust and use choice in human-robot interaction. *Human Factors*, 61(4), 614-626. doi:[10.1177/0018720818816838](https://doi.org/10.1177/0018720818816838)
- Sen, A., Sanjog, J., e Karmakar, S. (2020). A comprehensive review of work-related musculoskeletal disorders in the mining sector and scope for ergonomics design interventions. *IJSE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 8(3), 113-131. doi:[10.1080/24725838.2020.1843564](https://doi.org/10.1080/24725838.2020.1843564)
- Stone, R. T., Pujari, S., Mumani, A., Fales, C., e Ameen, M. (2021, settembre). Cobot And Robot Risk Assessment (CARRA) method: an Automation Level-Based Safety Assessment Tool to Improve Fluency in Safe Human Cobot/Robot Interaction. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 65(1), 737-741. doi:[10.1177/1071181321651024](https://doi.org/10.1177/1071181321651024)
- Spector, P. E. (1998). A control theory of the job stress process. In C. L. Cooper (Ed), *Theories of organizational stress* (pagg. 153-169). Oxford University Press.
- Terminio, R., e Rimbau Gilabert, E. (2018). The digitalization of the working environment: The advent of robotics, automation and artificial intelligence (RAAI) from the employees perspective - A scoping review. In M. Coeckelbergh, J. Loh, M. Funk, & J. Seibt, e M. Nørskov (Eds), *Envisioning robots in society - Power, politics and public space* (pagg. 166-176). IOS Press. doi:[10.3233/978-1-61499-931-7-166](https://doi.org/10.3233/978-1-61499-931-7-166)
- Viswesvaran, C., Sanchez, J. I., e Fisher, J. (1999). The role of social support in the process of work stress: A meta-analysis. *Journal of Vocational Behavior*, 54(2), 314-334. doi:[10.1006/jybe.1998.1661](https://doi.org/10.1006/jybe.1998.1661)
- Złotowski, J., Proudfoot, D., Yogeewaran, K., e Bartneck, C. (2015). Anthropomorphism: Opportunities and challenges in human–robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 7(3), 347-360. doi:[10.1007/s12369-014-0267-6](https://doi.org/10.1007/s12369-014-0267-6)

L'Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro (EU-OSHA)

contribuisce a rendere l'Europa un luogo più sicuro, sano e produttivo in cui lavorare. Oltre a svolgere ricerche, elaborare e distribuire informazioni affidabili, equilibrate e imparziali nel campo della sicurezza e della salute, l'Agenzia organizza campagne paneuropee di sensibilizzazione. Istituita nel 1994 dall'Unione europea, l'Agenzia, che ha sede a Bilbao, in Spagna, riunisce rappresentanti della Commissione europea, dei governi degli Stati membri, delle organizzazioni di datori di lavoro e di lavoratori nonché esperti di spicco in ciascuno degli Stati membri dell'UE e di altri paesi.

Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro

Santiago de Compostela 12

48003 - Bilbao, Spagna

E-mail: information@osha.europa.eu

<https://osha.europa.eu>