

## Le nuove dimensioni della ricerca in salute e sicurezza del lavoro abstract

Stefano Signorini

Sono diversi gli studi economici internazionali che mettono in relazione le migliori condizioni di salute e sicurezza e il basso numero di eventi infortunistici con la più alta competitività di un paese (ILO, 2007), come pure il vantaggio economico per le imprese che deriva dall'investire in sicurezza (Aiss, 2013; Banca mondiale, 2014) Il tema del benessere e della sicurezza dei lavoratori, diritto fondamentale dell'individuo, assume dunque oggi, centralità come vero e proprio *driver* di crescita economica per uno sviluppo sostenibile (Agenda ONU 2030 per lo Sviluppo Sostenibile).

Nell'ultimo decennio il mondo del lavoro è cambiato e diversi fattori ne disciplinano il mutamento: la tecnologia, i mercati, la demografia, il diritto del lavoro, la crisi economica. Sono mutate le competenze richieste e il modo di lavorare a seguito della rapida espansione dell'utilizzo di ICT (*smartworking*, *crowd working*); la possibilità di realizzare l'*Internet of things and Services (IoT)* crea nuovi modelli organizzativi all'interno delle imprese (*smart factories*) e nuovi modelli di produzione (*smart manufacturing*).

Ciò ha determinato una profonda modifica delle caratteristiche del lavoro offrendo maggiore flessibilità organizzativa e sicurezza dei processi nel contenimento dei rischi tradizionali: si pensi ad esempio allo sviluppo e sperimentazione di sistemi di *ambient intelligence* per il monitoraggio dei rischi fisici chimici e biologici; all'applicazione della sensoristica e delle tecnologie *smart* per la gestione dinamica della sicurezza di macchine, apparecchiature e impianti; all'utilizzo di sistemi cibernetici per la replicazione da parte dell'operatore di azioni a distanza tramite *robot*; all'utilizzo dei nanomateriali per la progettazione di dispositivi di protezione individuale o collettiva con performance più elevate.

Tuttavia la stessa innovazione tecnologica può a sua volta determinare l'insorgenza di nuovi rischi in termini di sicurezza e di salute per affrontare i quali occorre rendere attuali le norme e individuare nuovi strumenti applicativi,

al fine di ridurre gli effetti negativi su lavoratori, imprese e sistema paese. Si consideri ad esempio l'impatto che le tecnologie hanno sul benessere dei lavoratori in relazione alla diversità dei soggetti e delle loro competenze e all'invecchiamento della popolazione lavorativa o gli effetti sulla salute dei nanomateriali ingegnerizzati, come pure i rischi psico-sociali connessi all'utilizzo delle nuove tecnologie che favoriscono il lavoro in remoto, o le interazioni tra robot e lavoratore o ancora la produzione e l'utilizzo di nuove sostanze chimiche nelle ristrutturazioni per migliorare l'impatto climatico, nel campo delle energie rinnovabili e della mobilità elettrica.

Con le nuove tecnologie, i cambiamenti demografici, i cambiamenti climatici e i diversi modelli di occupazione e di organizzazione del lavoro, e la rapidità con cui i fenomeni si manifestano, diventerà sempre più importante anticipare i rischi nuovi ed emergenti per la sicurezza e la salute, come sottolineato nella Strategia europea 2021-2027 (Quadro strategico dell'UE in materia di salute e sicurezza sul luogo di lavoro 2021-2027 - Sicurezza e salute sul lavoro in un mondo del lavoro in evoluzione). Anticipare i rischi è un primo passo fondamentale per gestirli efficacemente e per costruire una cultura prevenzionale in materia di SSL in un mondo in continua evoluzione.

Nell'ambito dei processi che potremmo così definire di anticipazione, un ruolo prioritario è recitato dalla ricerca e dall'innovazione cui viene affidato il compito di individuare rischi e soluzioni per affrontarli.

Di seguito, alcuni dei temi che sono oggi oggetto di intensa attività ricerca nel campo della salute e sicurezza dei lavoratori.

### **Dispositivi robotici collaborativi.**

L'utilizzo dei dispositivi robotici collaborativi, di tecnologie indossabili e multisensoristiche rappresenta una delle maggiori sfide della fabbrica del futuro. La combinazione di forza e resistenza di un sistema robotico con la flessibilità e l'adattabilità dell'uomo possono migliorare l'efficienza dei processi produttivi salvaguardando allo stesso tempo la salute ed il benessere del lavoratore. Tuttavia, oltre alle sfide tecniche, ci sono ancora difficoltà legate all'usabilità, all'indossabilità, al comfort e all'insieme delle interazioni di questi

dispositivi con il lavoratore e l'ambiente di lavoro circostante. Occorre inoltre studiare, sia per tecnologie indossabili che per la robotica collaborativa sia statica che mobile, come si modifica il programma motorio del lavoratore e quali implicazioni hanno tali modifiche sui profili di rischio con particolare riferimento al rischio biomeccanico e alle interazioni psicologiche con il lavoratore.

### **Cambiamento climatico.**

Il tema del cambiamento climatico pone la questione dell'impatto della frequenza e dell'intensità di eventi climatici estremi, come le ondate di calore, sulla salute e sicurezza dei lavoratori. L'Organizzazione mondiale della sanità ha stimato in 250.000 decessi per anno l'impatto dei cambiamenti climatici per il periodo 2030-2050 e numerosi studi epidemiologici hanno mostrato effetti sulla salute rilevanti, in particolare in gruppi di soggetti vulnerabili, fra cui i lavoratori outdoor. L'Industria 4.0 offre soluzioni che possono contribuire allo sviluppo di tecnologie innovative indossabili la cui applicazione in ambito occupazionale è in fase di studio. Nell'ambito dell'esposizione agli ambienti caldi gli interventi riguardano, ad esempio, la mitigazione dell'ipertermia che si può manifestare in conseguenza di esposizioni prolungate ad ambienti molto caldi mediante l'utilizzo di abbigliamento rinfrescanti, mentre sul piano della prevenzione la ricerca si è concentrata sulla costruzione di monitoraggi termici in *real-time* basati su un modello di stima della temperatura centrale a partire da un dato fisiologico facilmente misurabile come la frequenza cardiaca, questo perché le misure di temperatura centrale appaiono allo stato attuale invasive, non applicabili (sonda rettale o esofagea) o scarsamente accettabili (pillola ingeribile) in ambito occupazionale.

### **Esposizione a sostanze chimiche.**

Attualmente la ricerca, a fronte di esposizioni multiple caratterizzate da basse concentrazioni dei singoli inquinanti è orientata a individuare nuovi modelli di analisi dell'esposizione che misurino l'effetto di più sostanze presenti nell'ambiente di lavoro. In particolare la prevenzione delle malattie professionali da agenti chimici viene condotta attraverso la valutazione

dell'esposizione mediante metodologie innovative di monitoraggio ambientale, l'esposoma, e biologico, il metaboloma, dove il primo rappresenta la misura dell'esposizione personale dei lavoratori a tutti gli agenti chimici presenti nel luogo di lavoro, mentre il secondo è l'insieme dei metaboliti determinati nei fluidi biologici dei lavoratori. In particolare l'analisi metabolomica non-targeted consente l'identificazione e la quantificazione dei profili metabolici più significativi correlabili con l'esposizione presenti in un campione biologico attraverso tecniche di risonanza magnetica nucleare (NMR).

## Nanomateriali.

Dall'inizio del 21° secolo le nanotecnologie si sono sviluppate in modo esponenziale trovando applicazione in vari settori, tra cui sanità, biotecnologie, produzione di energia pulita, informazione e comunicazioni, chimica, industrie elettroniche e militari, agricoltura ed edilizia. Alcune delle proprietà che rendono i nanomateriali (NM) così unici per le applicazioni tecnologiche (forma, piccole dimensioni, composizione chimica, struttura ed elevata area superficiale) possono però indurre effetti dannosi per la salute. I lavoratori che producono, utilizzano, trasportano o manipolano NM in forma di polvere, quali materiali bidimensionali, fibre o particelle sono potenzialmente i primi esposti nel ciclo di vita dei prodotti nanotecnologici. Quelli di maggiore interesse occupazionale sono nanotubi di carbonio, grafene, nanoparticelle (NP) di silice amorfa e di ossidi di titanio e cobalto. Nonostante la comunità scientifica abbia concentrato i propri sforzi per colmare le lacune nelle conoscenze e promuovere la ricerca tenendo in considerazione i rischi potenziali per i lavoratori, non si sono ancora raggiunti risultati chiari e condivisi sui limiti di esposizione occupazionale, anche per i pochi studi epidemiologici in letteratura e per la complessità degli scenari espositivi. Sono dunque in atto ricerche riguardo la caratterizzazione chimico fisica e morfologica dei NM, la valutazione degli effetti tossici (in vitro e su lavoratori esposti) di NM aerodispersi, il monitoraggio ambientale per la misura di concentrazione in numero, distribuzione dimensionale, area superficiale e correlazione con inquinanti atmosferici e parametri climatici.

## **Sistemi teleoperativi.**

Diversi sono i contesti lavorativi ad alto rischio (zone contaminate, fughe gas tossici, spazi confinati, industria siderurgica, post-catastrofi naturali) nei quali i lavoratori possono trovarsi a operare e causa di infortuni spesso plurimi. La ricerca in questo campo è orientata alla costruzione di sistemi che possano surrogare l'intervento umano diretto. Tra questi un sistema di teleoperazione costituito da un *field robot* che esegue azioni in campo, teleguidato da un operatore che lo comanda da una postazione remota sicura e dotato di un *hardware* totalmente sigillato e schermato per poter resistere anche a sollecitazioni termo-meccaniche di notevole entità.

## **Abiti realizzati con tessuti ingegnerizzati.**

Si tratta dello sviluppo e applicazione di abiti dotati di funzionalità adatte a mitigare il rischio negli ambienti di lavoro tipici dei settori di processo e di produzione, misurando in *real time* le variazioni dei parametri fisiologici del lavoratore nell'esecuzione della mansione. I sensori proposti e integrati nei tessuti, sono basati su nanotecnologie e nanomateriali come ad esempio: sensori di deformazione piezoresistivi per il monitoraggio di respirazione e movimento; sensori di sudorazione per valutare le condizioni di affaticamento del lavoratore; sistemi miniaturizzati per la rilevazione della funzionalità cardiaca, ecc.

Da questi esempi è dunque evidente il ruolo centrale che la ricerca e il trasferimento tecnologico dei risultati assumono a fronte dei cambiamenti del mondo del lavoro contrassegnati, rispetto al passato, dall'estrema rapidità con cui questi avvengono e dell'emergere di nuovi rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, ruolo di recente sottolineato dalla Strategia europea 2021-2027 che afferma *“Le indagini, la raccolta di dati e le valutazioni inter pares mirate su temi specifici contenuti nel quadro attuale, a livello sia nazionale che dell'UE, costituiranno delle pietre miliari verso il raggiungimento degli obiettivi relativi alla gestione del cambiamento, alla prevenzione e alla preparazione in materia di SSL”*.