UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

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

Studio e sperimentazione dell'utilizzo di dispositivi wearable per la valutazione dei paramenti ergonomici nei luoghi di lavoro

Relatore:

Prof. Massimo Bracci

Correlatore:

Dott. Lorenzo Cavalieri

Tesi di Laurea di:

Marco Arcangeli

A.A. 2019/2020

Indice

Capitolo 1 | Introduzione **2**

L'evoluzione del rapporto uomo-ambiente di lavoro 2

Ergonomia, sicurezza e qualità 6

Capitolo 2 | Stato dell'arte **8**

La legislazione e gli standard normativi 8

L'antropometria 15

La fisiologia 17

Specializzazioni dell'ergonomia 19

Caratteristiche e parametri ergonomici 21

Metodi di valutazione stato dell'arte 22

L'utilizzo dei dispositivi wearable nello studio dell'ergonomia 39

Applicazione e aspetto innovativo nell'ambito della sicurezza dei lavoratori 40

Capitolo 3 | Materiali e metodi **42**

Introduzione 43

Carico dell'attività fisica e postura 44

Carico mentale 45

Parametri monitorati 46

Capitolo 4 | Caso Studio **50**

Contesto lavorativo 50

Protocollo utilizzato 55

Capitolo 5 | Risultati **60**

Valutazione dei compiti lavorativi con metodi NIOSH-VLI e checklist OCRA 60

Valutazione del carico di lavoro percepito dai lavoratori tramite NASA-TLX 62

Valutazione dei parametri ergonomici tramite piattaforma Oper.AI 63

Capitolo 6 | Discussioni e Conclusioni **71**

Bibliografia **78**

Sitografia **86**

Capitolo 1 | Introduzione

L'evoluzione del rapporto uomo-ambiente di lavoro

A cavallo tra il XIX e il XX secolo le conquiste tecnologiche consentirono ritmi produttivi più veloci e resero possibile la sostituzione di operai dotati di alta specializzazione professionale con operai comuni di più facile reperimento. Il progressivo diffondersi della produzione su larga scala accompagnò di pari passo la crescita dimensionale dei complessi industriali. Il crescente gigantismo industriale rispondeva, da una parte, all'esigenza di una produzione sempre più di massa, d'altra però, poneva problemi organizzativi nuovi, che si cercarono di affrontare e provvisoriamente risolvere attraverso le forme organizzative introdotte nel novecento con il Taylorismo e il Fordismo.

All'operaio industriale si chiedeva di rinunciare alla sua capacità decisionale e di intervento nel compito assegnato ed accettare di essere l'ingranaggio di un sistema organizzativo il cui il funzionamento era deciso a prescindere dal suo pensiero. Ridotto alla sua essenza, il modello organizzativo tayloristico è stato "la proposta di un baratto, da un lato si offriva un benessere materiale raggiunto con il consumo di massa di beni materiali, la cui utilità non veniva nemmeno

posta in dubbio, e dall'altro si richiedeva la più completa subordinazione ad una struttura produttiva autoritaria, legittimata dalla sua efficienza" (*Bonazzi G., 1986*).

La parcellizzazione delle mansioni, la minimizzazione dei compiti, la misurazione dei tempi e la catena di montaggio che avevano superato i problemi dell'industria americana nei primi decenni del novecento, finirono poi per creare nuove questioni di alienazione, monotonia e disaffezione al lavoro che portarono allo sviluppo nel tempo di nuovi filoni di studio. Già dagli anni '20 gli studi sugli aspetti che caratterizzano le attività di lavoro iniziarono a prendere in considerazione il cosiddetto "fattore umano" (human factor, HF). Il nuovo concetto di organizzazione aziendale, nell'ottica delle relazioni umane, pose al centro il lato psico-relazionale e psico-sociale dell'uomo. I pionieri di questa teoria possono essere identificati nelle figure di Wyatt e Fraser. Infatti, dai loro studi (*Wyatt S., Fraser J., Stock F.G., 1929*) emerse che la fatica non può essere definita uguale per ogni uomo, anche in condizioni ideali di uguaglianza di età, forza e genere. La fatica può variare anche in funzione del benessere psicologico della persona (soddisfazione, felicità, ecc.), per questo risulta indispensabile considerare anche il lato psico-emotivo dell'uomo.

Nel corso degli anni '50, l'attenzione a questi ultimi temi cresce ulteriormente per effetto della diffusione della "Scuola delle Relazioni Umane" e delle teorie

di George Elton Mayo. L'ideologia di fondo è l'individuazione del fattore umano. Dagli studi condotti da Mayo (*Mayo, 1933*) emerse che per far funzionare regolarmente il sistema ed aumentare la produttività è necessario porre attenzione all'intero contesto lavorativo. Perciò è fondamentale considerare la natura sociale e relazionale dell'individuo, oltre che la motivazione di ognuno.

L'approccio ergonomico allo studio del lavoro, nelle attività il cui scopo è portare a compimento un compito, produrre un determinato oggetto o raggiungere un risultato, nasce al tempo della cosiddetta fabbrica meccanica come rovesciamento del paradigma taylorista che vede, nel sistema di fabbrica, la macchina come variabile indipendente e l'uomo come variabile dipendente che si adatta ad essa. Con l'avvento dell'ergonomia il sistema si capovolge ed è l'uomo che diventa la variabile indipendente nel sistema uomo-macchina-ambiente a cui gli elementi del sistema debbono essere adattati.

Gli anni '50, '60 e '70 sono stati caratterizzati, seppur con sfumature diverse, dalla teorizzazione e dall'applicazione del pensiero ergonomico alle organizzazioni e ai contesti produttivi industriali, con lo scopo di contenere la "fatica fisica" intesa come capacità di performance richiesta per l'esecuzione di un determinato compito (*Borg G., 1978*). Successivamente l'interesse si estese a tutti gli aspetti dell'ambiente di lavoro, quali il rumore, l'inquinamento, il

microclima, l'ergonomia della postazione di lavoro. Negli anni '80, l'interesse dell'ergonomia si spostò anche al settore terziario e al lavoro d'ufficio, parallelamente alla cosiddetta "rivoluzione informatica" e tecnologica.

Questi progressi tecnologici hanno portato a identificare due branche distinte dell'ergonomia, ossia l'ergonomia fisica tradizionale riferita allo sforzo e alla fatica fisica, e l'ergonomia cognitiva rivolta allo studio dei lavori che caratterizzano la nuova società (*Bagnara S. e Pozzi S., 2011*).

Con l'introduzione delle nuove tecnologie negli ambienti di lavoro è stato necessario e possibile cambiare approccio alla sicurezza nei luoghi di lavoro e di conseguenza all'ergonomia stessa.

La sfida odierna è pertanto quella di sviluppare e incentivare l'utilizzo di metodi e dispositivi tecnologici in grado di garantire all'azienda, non solo una migliore produzione ma anche una maggiore tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori.

Con il progresso tecnologico, ad oggi più che mai avviato, è facile presumere che alcuni dei fattori di rischio ancora presenti nel settore industriale, si ridurranno nel loro impatto sul lavoratore, attenuati dall'uso delle tecnologie, dei sistemi robotici e di automazione; ciò implica una maggiore attenzione in quelli che saranno i nuovi rischi associati a tale progresso di innovazione industriale.

A tale proposito viene da sé fare riferimento alla ormai diffusa *Industria 4.0* che, con i suoi sistemi di integrazione e interazione uomo-macchina, permette di ridurre notevolmente la fatica fisica, il rischio di infortunio e gli altri fattori di rischio tradizionali degli ambienti industriali (*AIFOS, 2020*).

Ergonomia, sicurezza e qualità

L'ergonomia è una scienza multidisciplinare volta allo studio delle funzioni e dell'interazione tra i seguenti elementi che caratterizzano un sistema di lavoro:

- uomo: lavoratore adibito allo svolgimento di un determinato compito, inteso sia in senso fisico (caratteristiche antropometriche, aspetti biomeccanici ecc.) che cognitivo (carico mentale indotto, interazioni sociali, fattori psicologici nonché l'insieme dei processi mentali, che vanno dalla percezione all'azione, passando per la memoria, la decisione e il giudizio);
- macchina: apparecchiatura, utensile, strumento ecc. utilizzato per gestire i flussi di informazioni o per svolgere la mansione assegnata;
- ambiente: insieme delle caratteristiche del luogo in cui viene svolta l'attività lavorativa. Queste comprendono il layout dello spazio, della postazione e del locale adibito allo svolgimento dell'attività lavorativa, tutti i parametri fisici che li caratterizzano (presenza di inquinanti,

temperatura, umidità relativa, ventilazione, rumore, illuminazione ecc.) nonché gli aspetti sociali e organizzativi.

Lo scopo dell'ergonomia è quello di migliorare le prestazioni del sistema e la soddisfazione complessiva dei lavoratori, tutelando il loro benessere, la loro salute e la loro sicurezza.

Per valutare la qualità e la complessità dei rapporti tra i tre elementi sopra citati, l'ergonomia si avvale delle conoscenze derivanti da varie discipline tra cui la biomeccanica, l'ingegneria, il design industriale, nonché la fisiologia, la psicologia e l'antropometria. L'approccio multidisciplinare consente infatti di progettare un sistema di lavoro garantendo i requisiti di salute e sicurezza oltre al rispetto dei criteri di adattabilità, usabilità, comfort e comprensibilità, rendendo sia l'ambiente che l'attività di lavoro tagliati su misura per l'operatore (*INAIL, 2019*).

L'applicazione dei principi ergonomici da un lato promuove la salute e la sicurezza degli operatori, dall'altro, incide sulle prestazioni umane, sul livello di produttività della postazione e sulla soddisfazione professionale complessiva, con una conseguente diminuzione dell'assenteismo oltre che di incidenti e malattie professionali.

Capitolo 2 | Stato dell'arte

La legislazione e gli standard normativi

Nel 1989 la Commissione Economica Europea ha adottato la Direttiva 391 riguardante le misure per promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro. Questa, insieme ad altre successive Direttive, vennero recepite in Italia dal Decreto Legislativo 626 del 1994. Questo decreto ha segnato il passaggio dalla prevenzione passiva imposta dagli organi di vigilanza, alla prevenzione attiva del rischio, programmata dallo stesso datore di lavoro. Inoltre la necessità di realizzare condizioni di lavoro che rispondessero ai più moderni criteri di tutela della salute e del benessere dei lavoratori, ha portato la legislazione italiana ad introdurre il concetto di ergonomia prima nel D.Lgs. 626/94 (abrogato) e poi nel D.Lgs. 81/08. Le più significative disposizioni, riguardanti le condizioni ergonomiche del lavoro, trovano la loro finalità nel far sì che, le fasi di progettazione delle attività del lavoro, le mansioni e i compiti lavorativi, siano adattati all'uomo. Il concetto di ergonomia introdotto dal legislatore è quello di un "reciproco adattamento tra l'uomo e la tecnologia". L'articolo 15 comma 1, lettera d) D.Lgs. 81/08 ribadisce

l'obbligo (già introdotto dal D.Lgs. 626/94) del "rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, anche per attenuare il lavoro monotono e quello ripetitivo". In concreto la norma richiama il rispetto generale dei principi ergonomici e ne definisce specificamente i campi di applicazione per la progettazione dei posti di lavoro, per la scelta delle attrezzature e per la definizione dei metodi di lavoro e di produzione. Lo sviluppo della normativa tecnica nazionale e internazionale ha prodotto negli ultimi anni un ampio sistema organico di strumenti procedurali sia nel settore specificatamente ergonomico (ergonomics), che nel settore della sicurezza dei macchinari (safety of machinery).

Gli strumenti normativi coprono attualmente la maggior parte degli ambiti di ricerca e di sviluppo che caratterizzano l'ergonomia e giocano un ruolo determinante nel consolidamento dell'intervento ergonomico all'interno dei processi di progettazione, realizzazione e verifica dei prodotti, degli ambienti e delle attrezzature di lavoro e di vita quotidiana (*Tosi F., 2000*).

Tra le varie normative di riferimento possiamo trovare la norma ISO 6385 del 1981 "Principi ergonomici nella progettazione di sistemi di lavoro", la UNI EN 614-1 del 1997 "Principi ergonomici di progettazione, terminologie e principi generali" e la UNI EN 614-2 "Principi di progettazione ergonomici: interazione

tra progettazione di macchinari e attività lavorativa". I contenuti di queste norme riguardano sia aspetti generali, relativi al benessere degli operatori e alla compatibilità tra sistema di lavoro, caratteristiche e capacità degli individui e caratteristiche dei compiti richiesti, sia aspetti specifici relativi alla definizione dei parametri antropometrici, biomeccanici, percettivi e cognitivi necessari alla progettazione e alla valutazione delle postazioni di lavoro e dell'interazione uomo-sistema.

Le cinque parti della norma EN 1005 "Safety of machinery - Human physical performance" costituiscono invece vere e proprie guide cogenti alla progettazione (ad esclusione della EN 1005-5), in grado di fornire i riferimenti teorici e metodologici necessari alla corretta impostazione delle soluzioni di progetto e alla valutazione dei possibili fattori di criticità collegati all'esecuzione dei compiti richiesti dalle mansioni di lavoro.

La norma UNI EN ISO 7250-1 "Misurazioni di base del corpo umano per la progettazione tecnologica - Parte 1: Definizioni delle misurazioni del corpo umano e luoghi" fornisce una descrizione delle misure antropometriche che può essere utilizzata come base per il confronto di gruppi di popolazione. L'elenco di riferimento specificato nella norma è destinato a servire come guida per definire gruppi di popolazione e per applicare le conoscenze alla progettazione geometrica dei luoghi nei quali le persone lavorano e vivono.

Le norme UNI EN 547-1 “Sicurezza del macchinario - Misure del corpo umano - Parte 1: Principi per la determinazione delle dimensioni richieste per le aperture per l'accesso di tutto il corpo nel macchinario” e UNI EN 547-3 “Sicurezza del macchinario - Misure del corpo umano - Parte 3: Dati antropometrici” trattano in generale della sicurezza del macchinario e indicano in quale modo i principi devono essere applicati nella progettazione delle aperture destinate a permettere l'accesso completo di un corpo umano.

Nel caso dei videoterminali, il riferimento generale è la UNI EN ISO 9241 “Ergonomia dell’interazione uomo-sistema” (precedentemente nominata “Requisiti ergonomici per il lavoro di ufficio con videoterminali”), che comprende una serie di norme riguardanti i diversi aspetti dell’attività come principi generali, caratteristiche delle diverse apparecchiature, utilizzo, requisiti di progettazione, metodiche di verifica dei requisiti e delle prestazioni, principi di usabilità, accessibilità e caratteristiche dell’ambiente di lavoro.

Per quanto riguarda il carico mentale, il riferimento normativo è rappresentato dalla serie UNI EN ISO 10075. La norma UNI EN ISO 10075-1 “Principi ergonomici relativi al carico di lavoro mentale - Parte 1: Principi e concetti generali, termini e definizioni” definisce la terminologia da adottare quando ci si occupa di carico di lavoro mentale, concetto che comprende sia lo stress sia lo strain (sollecitazione) mentale e i condizionamenti da essi provocati a breve e a

lungo termine, positivi o negativi. La norma UNI EN ISO 10075-2 “Principi ergonomici relativi al carico di lavoro mentale - Principi di progettazione” fornisce una guida per la progettazione dei sistemi di lavoro, compresi il progetto dei compiti, dell’ attrezzatura, del posto di lavoro nonché delle condizioni di lavoro, focalizzandosi sul carico di lavoro mentale ed i suoi effetti. La norma UNI EN ISO 10075-3 “Principi ergonomici relativi al carico di lavoro mentale - Parte 3: Principi e requisiti riguardanti i metodi per la misurazione e la valutazione del carico di lavoro mentale” fornisce informazioni per la scelta appropriata degli strumenti di misura e per la definizione degli aspetti di valutazione e misurazione del carico di lavoro mentale, al fine di migliorare la comunicazione fra le parti interessate.

Mentre per la movimentazione manuale dei carichi (MMC), il riferimento normativo è rappresentato dalla serie UNI ISO 11228.

Per quanto concerne la valutazione del rischio da movimentazione manuale dei carichi causato dalle attività di sollevamento e trasporto, la norma UNI ISO 11228-1 “Ergonomia - Movimentazione manuale - Parte 1: Sollevamento e trasporto” suggerisce un approccio simile al noto metodo NIOSH (1993), confrontando, per ogni compito di sollevamento, il peso effettivamente sollevato con il cosiddetto “Peso Limite Raccomandato”, attraverso un’equazione che, a

partire da un peso massimo sollevabile in condizioni ideali, considera l'eventuale esistenza di fattori lavorativi sfavorevoli.

Per quanto riguarda la valutazione del rischio dovuto alle azioni di traino-spinta, la norma UNI ISO 11228-2 "Ergonomia - Movimentazione manuale - Parte 2: Spinta e traino" offre indicazioni per la valutazione dei fattori di rischio ritenuti rilevanti per le azioni manuali di spinta e traino, e prevede due metodi di valutazione, quello "generale" e quello "specialistico".

L'approccio cosiddetto "generale" è riconducibile in sostanza al metodo "Snook & Ciriello" e si basa sull'utilizzo di tavole-tabelle sperimentali da cui si ricavano i valori limite raccomandati che vengono poi confrontati con i valori misurati delle azioni di traino-spinta. Questo metodo per la valutazione del rischio in relazione alle azioni di traino-spinta permette di determinare l'indice di esposizione al rischio specifico per ogni attività. Il metodo "specialistico" è invece un metodo complesso che consente di effettuare la valutazione sulla base dei dati demografici ed antropometrici della popolazione in esame. A causa della sua complessità, di fatto risulta un metodo di scarsa utilità pratica.

Le norme UNI ISO 11228-3 "Ergonomia - Movimentazione manuale - Parte 3: Movimentazione di bassi carichi ad alta frequenza" e ISO TR 12295 trattano la valutazione del rischio da movimenti ripetuti. La metodologia normalmente

applicata per la valutazione del rischio da movimenti ripetuti si compone di due fasi: la prima fase consiste nello screening iniziale basato sull'uso di una check-list proposta dalla norma ISO TR 12295, e qualora necessario si prosegue con la seconda fase, più dettagliata, che rimanda ad affermati e complessi metodi di analisi riconosciuti a livello internazionale, con una espressa preferenza per il metodo OCRA (OCcupational Ripetitive Actions). Tale analisi richiede una specifica osservazione delle azioni tecniche svolte tramite riprese video.

Infine, la norma ISO 11226 "Valutazione delle posture di lavoro statiche" specifica i limiti raccomandati per le posture di lavoro statiche senza o con minimo movimento, tenendo conto degli angoli del corpo e della durata dell'esposizione. Essa fornisce una linea guida sulla valutazione di diversi compiti tramite la stima dei rischi di salute per la popolazione lavorativa. Come strumento di valutazione viene proposto il metodo REBA (Rapid Entire Body Assessment) che permette di calcolare l'indice relativo al rischio da posture di lavoro statiche e/o incongrue.

L’antropometria

L’antropometria può essere intesa come l’insieme delle tecniche sistematicamente adottate per misurare e compiere, nel modo più ripetibile e scientificamente corretto, osservazioni oggettive sulla forma fisica dell'uomo (*Pheasant S., 1986*). A seconda del settore specifico di cui si occupa, l'antropometria si divide in più branche, di cui le principali sono: somatometria, che effettua le misure delle forme del corpo sia del vivente sia del cadavere; craniometria, che esegue misure e osservazioni sul cranio; osteometria, che si occupa delle misure ossee in generale; encefalometria, che effettua misure del cervello; fisiometria, che esegue misure dei vari caratteri della faccia. L’antropometria richiede una notevole accuratezza dei metodi e dei procedimenti da seguire nel compiere misure poiché queste devono essere chiaramente ripetibili da altri osservatori in ambienti e condizioni diverse. Eseguire le misure significa stabilire con esattezza la distanza esistente fra punti determinabili in modo univoco sullo scheletro o sul corpo (punti antropometrici). In questo modo si definiscono i cosiddetti indici antropometrici utilizzati in antropometria per misurare le caratteristiche di ogni parte del corpo umano. Ogni parte del corpo e ogni carattere risultano in tal modo definiti da un indice o da una serie di indici antropometrici, sulla base dei quali si stabilisce anche una classificazione dei “tipi umani” entro i quali vengono localizzati i vari

soggetti (*Facchini, 1995*). Dalla lettura dei dati antropometrici riferiti, ad esempio, alla popolazione in età lavorativa in un determinato paese, e considerando le misure rilevate per uno stesso parametro e per lo stesso percentile, emergono numerose differenze tra i dati relativi ai due sessi o tra i diversi gruppi di età. Anche se l'entità delle differenze varia da dimensione a dimensione, gli uomini hanno mediamente misure corporee (peso, statura, massa muscolare, ecc.) maggiori delle donne. I dati forniti dall' antropometria riguardano inoltre le dimensioni statiche e le dimensioni dinamiche. La maggior parte delle misure antropometriche relative alle dimensioni statiche si riferiscono alla persona immobile nelle due posizioni standard (eretta e seduta); devono in ogni caso essere utilizzate tenendo conto degli aspetti dinamici e del fatto che le persone, durante lo svolgimento di un compito lavorativo, si muovono cambiando e adattando continuamente la propria posizione in rapporto alle condizioni offerte dallo spazio e dagli strumenti utilizzati. Le misure antropometriche relative alle dimensioni dinamiche riguardano invece il movimento del corpo umano e, in particolare, lo spazio necessario ad esso nelle diverse posizioni e le zone di raggiungibilità, ossia l'insieme delle distanze raggiungibili attraverso il movimento del corpo e delle sue parti.

La fisiologia

Le informazioni ricavabili dagli studi antropometrici sono il punto di partenza per realizzare postazioni o spazi compatibili ed armonizzati con la figura umana, ma questo non basta per assicurare il giusto livello di comfort. Benché il concetto di comfort sia, in qualche misura, fluttuante, essendo legato alla soggettività umana, non si può negare che determinate condizioni di lavoro o semplici operazioni siano segnalatrici di particolare disagio perché svolte con sforzo e fatica notevoli. L'intervento ergonomico è volto dunque anche alla limitazione della fatica. E' difficile definire che cosa sia in realtà la fatica, per la sovrapposizione di sensazioni soggettive, di sintomi oggettivi e di alterazioni del comportamento. Si è d'accordo, però, che per raggiungere la fatica sia necessario uno sforzo nella prestazione, cioè un'attività protratta nel tempo con un'intensità che non consente il recupero spontaneo e che conduce ad una perdita di potere funzionale (*Scherrer, 1981*). L'ergonomia può risolvere problemi di affaticamento, o, in ogni caso, mitigarli e ridurli andando ad evidenziare i fattori che maggiormente impattano sulla condizione di lavoro del lavoratore esposto. La disciplina dell'ergonomia che si occupa di questi problemi è la fisiologia.

La fisiologia è quella branca della biologia che ha per oggetto lo studio delle funzioni degli esseri viventi, in particolare dell'uomo, intendendo per funzione

l’insieme di tutti gli eventi coordinati, volti al raggiungimento di un risultato ben definito. Più in particolare, la fisiologia analizza le manifestazioni funzionali dell’organismo, ricerca i fenomeni fisici e chimici che stanno alla base di esse e cerca di risalire alle leggi che le governano. Si può dire, pertanto, che la fisiologia è la scienza che studia il funzionamento dei vari organi ed apparati, sia a riposo, sia durante le varie attività lavorative. Attraverso la conoscenza dei limiti e delle possibilità umane, la fisiologia del lavoro offre elementi preziosi per progettare macchine, strumenti, ambienti e organizzazioni del lavoro in senso ergonomico. Gli studi sulla fisiologia muscolare, ad esempio, hanno portato alla constatazione che i muscoli grossi, come quello della coscia, sono più adatti per contrazioni lente, prolungate e che sviluppano notevoli quantità di energia. I muscoli piccoli come quelli delle dita, invece, sono capaci di contrazioni rapide, di breve durata e che sviluppano energia modesta al fine di ottenere movimenti precisi e accurati. La contrazione prolungata dei muscoli, come avviene nel lavoro statico, dà luogo nel breve periodo ad affaticamento e stanchezza. Pertanto, si dirà che sono da definirsi “anti-ergonomiche” tutte quelle posizioni che comportano un eccessivo lavoro statico, come la posizione eretta o, per esempio, l’altezza del piano di lavoro troppo elevata o troppo bassa. Questo non si verifica con il lavoro muscolare dinamico, che permette una continua alternanza tra contrazioni e rilassamento dei muscoli.

Un altro punto a cui si presta attenzione è la riduzione dello sforzo e del numero dei gruppi muscolari impegnati in una data operazione, tenendo ben presente la forza che può essere esercitata dagli arti nelle varie direzioni (*Rohmert W., 1987*). Molto importante è poi l'analisi dei rapporti sensoriali uomo-macchina che arricchisce la ricerca di soluzioni ergonomiche per alleviare la fatica fisica e che integra i metodi di organizzazione del posto di lavoro in modo da alleviare la fatica mentale del soggetto. Per rapporti sensoriali si intende l'insieme delle informazioni che l'uomo rileva da strumenti di controllo e da segnali ricevuti e l'insieme dei movimenti che egli deve attuare per correggere il funzionamento della macchina a seguito delle informazioni ricevute. L'ergonomia si occupa di tutti questi aspetti per evitare errori da parte dell'operatore, con possibili conseguenze anche gravi per se stesso e per gli altri (*Astrand. P. O., Rodhal K., 1977*).

Specializzazioni dell'ergonomia

L'ergonomia viene suddivisa in tre aree di specializzazione: fisica, cognitiva e organizzativa (*Tosi F. et altri, 2016; Di Nocera F., 2011*).

L'ergonomia fisica si occupa dello studio dei fattori anatomici, antropometrici, fisiologici e biomeccanici dell'interazione dell'uomo con i sistemi, in relazione alle componenti prevalentemente fisiche delle attività. Attengono a queste

componenti lo studio delle posture che i soggetti assumono quando compiono le attività di vita e di lavoro, lo studio degli sforzi da movimentazione di carichi, i movimenti ripetitivi, i disturbi muscoloscheletrici, la manipolazione di strumenti e attrezzature, il layout degli spazi operativi e l'organizzazione delle attività.

L'ergonomia cognitiva ha come oggetto lo studio e l'analisi degli aspetti relativi ai processi cognitivi dell'essere umano (attenzione, emozioni, pensiero e memoria) e ai processi di sviluppo e progettazione delle dinamiche di interazione tra operatore e sistema di elaborazione delle informazioni. Lo studio di questi aspetti conduce ad analizzare le logiche connesse alla percezione degli stimoli, alla comprensione dei segnali, all'attivazione dei controlli e alla regolazione dei sistemi da parte dell'uomo, in rapporto alla capacità di valutare il carico di lavoro mentale nello svolgimento di un compito e alle dinamiche di attivazione dei processi decisionali.

Infine l'ergonomia dell'organizzazione si occupa dell'ottimizzazione dei sistemi socio-tecnici, delle strutture organizzate, delle politiche e delle strategie che includono lo svolgimento delle attività dell'uomo. Attengono a questi aspetti fattori relativi a tempi, metodi e ritmi delle attività, il work design, il clima relazionale, la comunicazione, il lavoro di gruppo, la gestione della qualità.

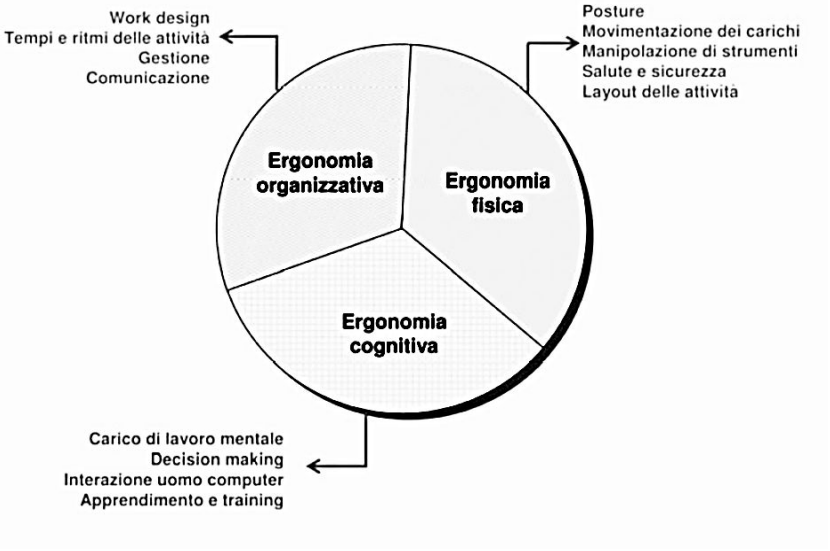


Figura 1 *- Specializzazioni dell'ergonomia*

Caratteristiche e parametri ergonomici

Le caratteristiche ergonomiche sono i fattori in grado di influenzare la qualità del rapporto fra i prodotti e la generalità degli utenti che li utilizzano o si interfacciano con essi. Le caratteristiche ergonomiche di un prodotto o di una postazione di lavoro non sono, di per sé, positive o negative, ma possono essere in grado di alterare il benessere psicofisico dell'utilizzatore. Esse possono essere valutate e trasmesse solo se espresse, in termini obiettivi, da parametri che indichino e specifichino con quali metodi, strumenti e unità di misura sono state descritte. I parametri ergonomici sono quindi i criteri per misurare, valutare o giudicare le caratteristiche ergonomiche dei prodotti, delle postazioni e degli ambienti di lavoro. Questi parametri fanno riferimento al patrimonio di

conoscenze derivate da discipline che rientrano nel raggio d'azione dell'ergonomia quali l'antropometria, la fisiologia e la biomeccanica.

Con parametri o misure fisiologiche si indicano quelle misure che rappresentano la funzionalità dell'organismo ed esprimono le condizioni generali della persona. Tra le varie misure si trovano la frequenza cardiaca, la frequenza respiratoria, la pressione arteriosa, la temperatura corporea e il battito delle palpebre. Esse variano in base alla tipologia di attività svolta e in base alle condizioni di salute e benessere della persona. Per tale motivo il monitoraggio, di questi parametri biometrici, può essere considerato uno strumento utile e aggiuntivo per valutare alcuni fattori ergonomici nei luoghi di lavoro, diversi da quelli tradizionali.

Tra i fattori che influiscono sulla risposta fisiologica dell'uomo, in determinati contesti e condizioni di lavoro, si possono individuare l'intensità dell'attività fisica e il carico di lavoro mentale.

Metodi di valutazione stato dell'arte

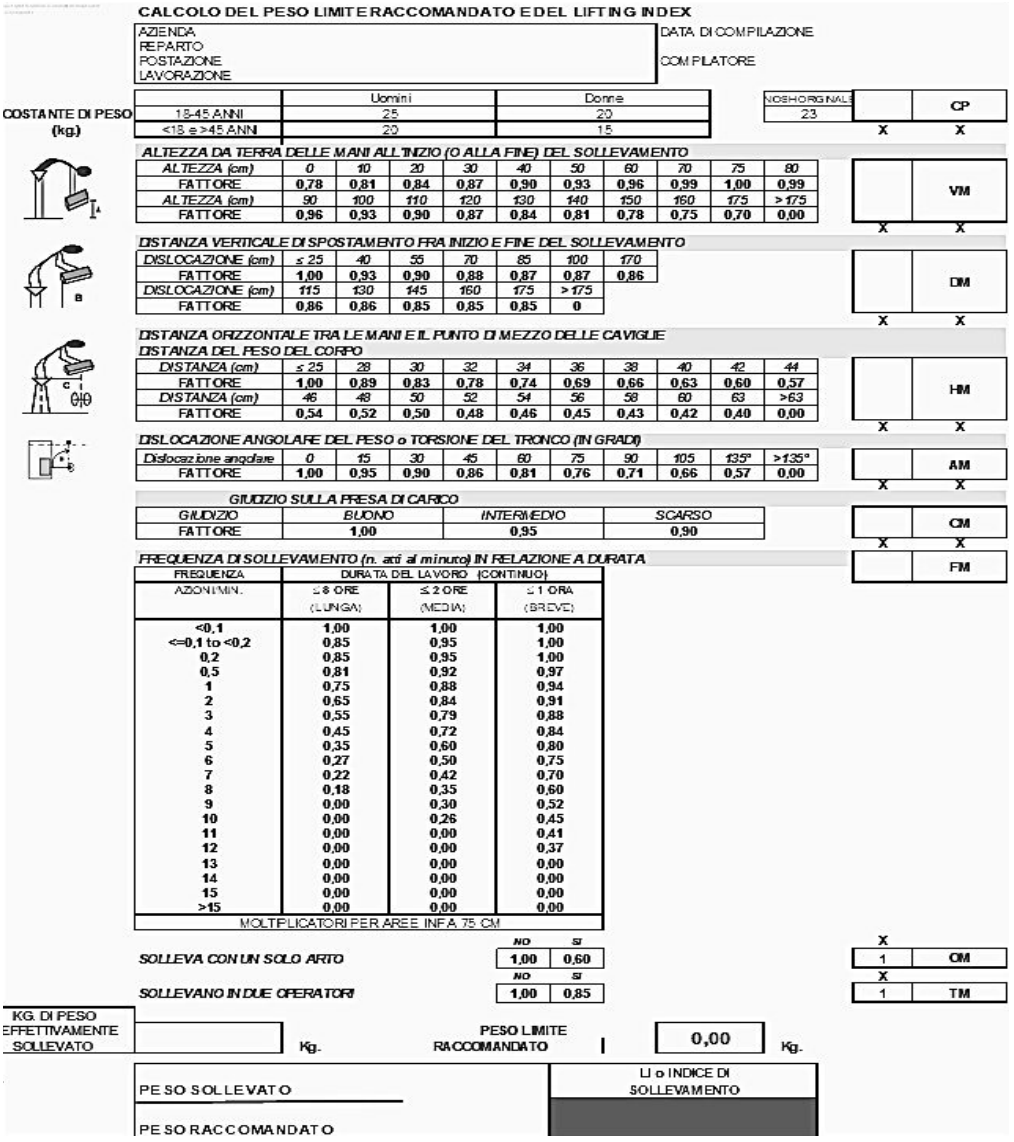
Per tutelare la salute dei lavoratori, è importante individuare e valutare all'interno dei processi lavorativi, attraverso metodi raccomandati dalle normative vigenti, quelle situazioni che possono portare a variazioni critiche dei fattori ergonomici, allo scopo di prevenire e ridurre il rischio di infortuni e malattie professionali.

Il metodo raccomandato per la valutazione del sovraccarico biomeccanico del rachide nella movimentazione manuale dei carichi è il metodo NIOSH (*Waters et al., 1994, 1999, 2011, 2015; Battevi et al, 2016*). Per ogni azione di sollevamento il metodo è in grado di determinare il cosiddetto peso limite raccomandato attraverso un'equazione che, a partire da un massimo peso sollevabile in condizioni ideali, considera l'eventuale esistenza di elementi sfavorevoli e tratta questi ultimi con appositi fattori di demoltiplicazione.

La procedura di calcolo del limite di peso raccomandato è applicabile quando ricorrono le seguenti condizioni:

- carichi di peso superiore a 3 Kg;
- azioni di movimentazione che vengono svolte in via non occasionale (frequenze medie di 1 volta ogni ora nella giornata lavorativa);
- azioni di tipo occasionale ma con valori vicini ai valori di peso massimi consigliati, specie se comportanti posture incongrue del rachide;
- sollevamento di carichi svolto in posizione eretta (non seduta o inginocchiata) in spazi non ristretti;
- sollevamento di carichi eseguito con due mani;
- altre attività di movimentazione manuale (trasporto, spinta, traino) minimali;

- adeguata frizione tra piedi e pavimento (coefficiente di frizione statica > 0.4);
- gesti di sollevamento eseguiti in modo non brusco;
- carico non estremamente freddo, caldo, contaminato o con contenuto instabile;
- condizioni microclimatiche favorevoli.



CALCOLO DEL PESO LIMITE RACCOMANDATO E DEL LIFTING INDEX

AZIENDA
REPARTO
POSTAZIONE
LAVORAZIONE
DATA DI COMPILAZIONE
COMPILATORE

COSTANTE DI PESO (kg.)	Uomini	Donne	NIOSH ORIGINALE		
18-45 ANNI	25	20	23		CP
<18 e >45 ANNI	20	15		X	X

ALTEZZA DA TERRA DELLE MANI ALL'INIZIO (O ALLA FINE) DEL SOLLEVAMENTO

ALTEZZA (cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	75	80	
FATTORE	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,00	0,99	VM
ALTEZZA (cm)	90	100	110	120	130	140	150	160	175	> 175	
FATTORE	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,70	0,00	

X X

DISTANZA VERTICALE DI SPOSTAMENTO FRA INIZIO E FINE DEL SOLLEVAMENTO

DISLOCAZIONE (cm)	≤ 25	40	55	70	85	100	170	
FATTORE	1,00	0,93	0,90	0,88	0,87	0,87	0,86	DM
DISLOCAZIONE (cm)	115	130	145	160	175	> 175		
FATTORE	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0		

X X

DISTANZA ORIZZONTALE TRA LE MANI E IL PUNTO DI MEZZO DELLE CAVIGLIE
DISTANZA DEL PESO DEL CORPO

DISTANZA (cm)	≤ 25	28	30	32	34	36	38	40	42	44	
FATTORE	1,00	0,89	0,83	0,78	0,74	0,69	0,66	0,63	0,60	0,57	HM
DISTANZA (cm)	46	48	50	52	54	56	58	60	63	>63	
FATTORE	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,45	0,43	0,42	0,40	0,00	

X X

DISLOCAZIONE ANGOLARE DEL PESO o TORSIONE DEL TRONCO (IN GRADI)

Dislocazione angolare	0	15	30	45	60	75	90	105	135°	>135°	
FATTORE	1,00	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71	0,66	0,57	0,00	AM

X X

GIUDIZIO SULLA PRESA DI CARICO

GIUDIZIO	BUONO	INTERMEDIO	SCARSO	
FATTORE	1,00	0,95	0,90	CM

X X

FREQUENZA DI SOLLEVAMENTO (n. atti al minuto) IN RELAZIONE A DURATA

FREQUENZA AZIONI/MIN.	DURATA DEL LAVORO (CONTINUO) ≤ 8 ORE (LUNGA)	≤ 2 ORE (MEDIA)	≤ 1 ORA (BREVE)
<0,1	1,00	1,00	1,00
<=0,1 to <0,2	0,85	0,95	1,00
0,2	0,85	0,95	1,00
0,5	0,81	0,92	0,97
1	0,75	0,88	0,94
2	0,65	0,84	0,91
3	0,55	0,79	0,88
4	0,45	0,72	0,84
5	0,35	0,60	0,80
6	0,27	0,50	0,75
7	0,22	0,42	0,70
8	0,18	0,35	0,60
9	0,00	0,30	0,52
10	0,00	0,26	0,45
11	0,00	0,00	0,41
12	0,00	0,00	0,37
13	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00
>15	0,00	0,00	0,00

MOLTIPLICATORI PER AREE INFA 75 CM

FM

	NO	SI		
SOLLEVA CON UN SOLO ARTO	1,00	0,60	1	OM
SOLLEVANO IN DUE OPERATORI	1,00	0,85	1	TM

X X

KG. DI PESO EFFETTIVAMENTE SOLLEVATO ____ Kg.

PESO LIMITE RACCOMANDATO 0,00 Kg.

PESO SOLLEVATO

PESO RACCOMANDATO

LI o INDICE DI SOLLEVAMENTO

Figura 2 - *Procedura di calcolo NIOSH - EN 1005-2*

Inoltre dovrà essere valutato il fattore aggiuntivo *compiti supplementari (Aτ)** da moltiplicare nel calcolo del peso limite raccomandato.

*Compiti fisicamente impegnativi come esposizione a microclima sfavorevole, precisione nella collocazione del carico e nella spinta del carico con una mano (fattore = 0,8).

Livelli di rischio e misure di prevenzione:

- se R < 0,85 (AREA VERDE): la situazione è accettabile e non è richiesto alcuno specifico intervento;
- se R è compreso tra 0,86 e 0,99 (AREA GIALLA): la situazione si avvicina ai limiti; una quota della popolazione (a dubbia esposizione) può essere non protetta e pertanto occorrono cautele, anche se non è necessario un intervento immediato. È comunque consigliato attivare la formazione e, a discrezione del medico, la sorveglianza sanitaria del personale addetto;
- se R > 1 (AREA ROSSA): la situazione può comportare un rischio per quote crescenti di popolazione e pertanto richiede un intervento di prevenzione primaria. Il rischio è tanto più elevato quanto maggiore è l'indice. Vi è necessità di un intervento immediato di prevenzione per situazioni con indice maggiore di 3; l'intervento è comunque necessario anche con indici compresi tra 1 e 3. È utile programmare gli interventi

identificando le priorità di rischio e verificando l'indice di rischio dopo ogni intervento. Va comunque attivata la sorveglianza sanitaria periodica del personale esposto con periodicità bilanciata in funzione del livello di rischio.

Vantaggi del metodo NIOSH:

- valuta in modo analitico solo le operazioni di sollevamento;
- è applicabile ai settori industriali;
- è riproducibile;
- permette di ricavare l'effettiva esposizione giornaliera di un singolo lavoratore, in presenza di attività che comportano l'esecuzione di diversi compiti (esposizione media);
- individua il peso ideale da movimentare nelle diverse condizioni;
- tiene conto del genere e dell'età.

Svantaggi del metodo NIOSH:

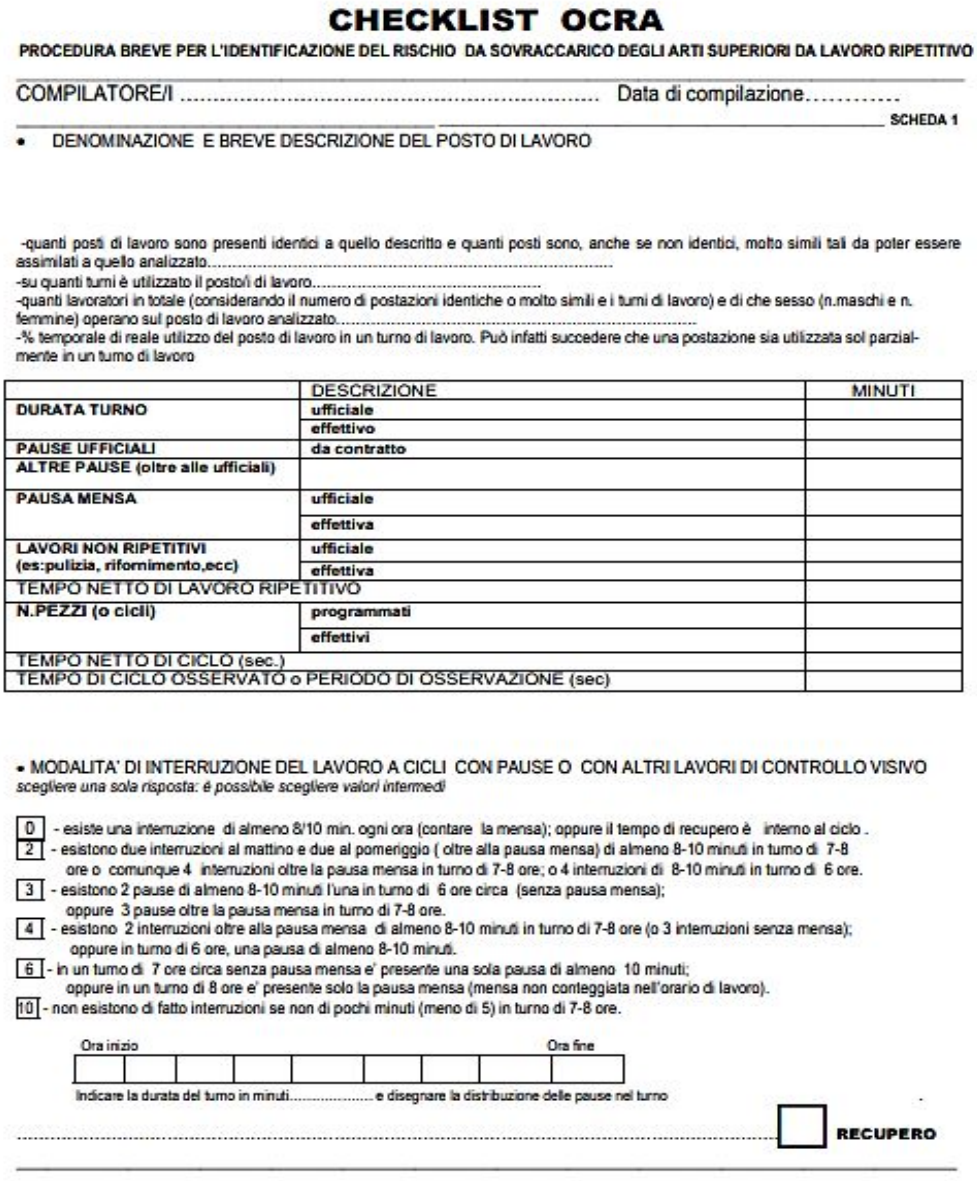
- richiede una preparazione di base;
- non è applicabile al settore sanitario per il sollevamento manuale dei pazienti;

- non può essere applicato in condizioni di lavoro svolto per più di 8 ore al giorno, per sollevamenti effettuati in posizione seduta o inginocchiata, per sollevamenti in aree ristrette o con movimenti a scatto, in condizioni climatiche sfavorevoli, con pavimenti scivolosi e in caso di trasporto di un peso per un tratto superiore ai 2 metri;
- Non tiene conto delle condizioni di salute del lavoratore.

Il tradizionale metodo NIOSH può essere applicato solamente a compiti semplici di sollevamento, dove il compito prevede il sollevamento di un oggetto sempre dello stesso peso e sempre con le stesse geometrie di movimentazione. Questo è un limite dal punto di vista delle valutazioni del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, in quanto le realtà aziendali presentano spesso compiti che coinvolgono prodotti e organizzazione degli stessi che possono variare tra loro. Per questo motivo si adopera il Variable Lifting Index (VLI) che è simile al metodo NIOSH ma permette di valutare un numero di compiti variabile e di calcolare un indice di rischio, da sollevamento manuale dei carichi, rappresentativo dell'intera giornata lavorativa tramite l'utilizzo di un algoritmo matematico (*Waters, et al., 2015; Colombini et al., 2009*).

Per la valutazione dei movimenti ripetitivi si utilizza invece il metodo OCRA (*Colombini, 1998; Occhipinti, 2004*). La sua applicazione tuttavia è abbastanza complessa e richiede una notevole esperienza nella determinazione degli elementi di base per il calcolo dell'indice di rischio, nonché un'attenta osservazione delle varie fasi dell'attività lavorativa utili nella determinazione dei valori da assegnare ai vari parametri. Essa deve essere preceduta da un'accurata analisi della distribuzione dei tempi di lavoro. A causa della difficoltà di applicazione del metodo, gli autori hanno proposto una versione semplificata del metodo, basata sull'impiego di una check-list. Il metodo check-list OCRA è costituito da una procedura breve per l'identificazione e la stima del rischio da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori. Non sostituisce la più precisa valutazione dell'esposizione, possibile solo con l'indice OCRA, ma risulta estremamente utile tanto nella prima fase di stima della presenza di rischio all'interno di una realtà aziendale, quanto nella fase di successiva gestione del rischio stesso. La check-list esamina gli stessi fattori di rischio dell'indice OCRA: carenza dei periodi di recupero, frequenza, forza, posture incongrue e fattori complementari (vibrazioni, temperature fredde, lavoro di precisione, contraccolpi, ecc.), individuando per ciascuno di essi dei valori numerici preassegnati (crescenti in funzione della crescita del rischio). Dalla somma dei valori parziali ottenuti si ottiene un'entità numerica che consente la stima del

livello di esposizione. La check-list permette di identificare con sufficiente precisione il livello di rischio da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori, ma anche di raccogliere importanti informazioni per la gestione del rischio (interventi di riprogettazione, rotazioni) e del danno (reinserimento lavorativo).



CHECKLIST OCRA

PROCEDURA BREVE PER L'IDENTIFICAZIONE DEL RISCHIO DA SOVRACCARICO DEGLI ARTI SUPERIORI DA LAVORO RIPETITIVO

COMPILATORE/I ..... Data di compilazione.....

SCHEDA 1

- DENOMINAZIONE E BREVE DESCRIZIONE DEL POSTO DI LAVORO

-quanti posti di lavoro sono presenti identici a quello descritto e quanti posti sono, anche se non identici, molto simili tali da poter essere assimilati a quello analizzato.....
-su quanti turni è utilizzato il posto/i di lavoro.....
-quanti lavoratori in totale (considerando il numero di postazioni identiche o molto simili e i turni di lavoro) e di che sesso (n.maschi e n. femmine) operano sul posto di lavoro analizzato.....
-% temporale di reale utilizzo del posto di lavoro in un turno di lavoro. Può infatti succedere che una postazione sia utilizzata sol parzialmente in un turno di lavoro

	DESCRIZIONE	MINUTI
DURATA TURNO	**ufficiale**	
	effettivo	
PAUSE UFFICIALI	**da contratto**	
ALTRE PAUSE (oltre alle ufficiali)		
PAUSA MENSA	**ufficiale**	
	effettiva	
LAVORI NON RIPETITIVI (es:pulizia, rifornimento,ecc)	**ufficiale**	
	effettiva	
TEMPO NETTO DI LAVORO RIPETITIVO		
N.PEZZI (o cicli)	**programmati**	
	effettivi	
TEMPO NETTO DI CICLO (sec.)		
TEMPO DI CICLO OSSERVATO o PERIODO DI OSSERVAZIONE (sec)		

- MODALITA' DI INTERRUZIONE DEL LAVORO A CICLI CON PAUSE O CON ALTRI LAVORI DI CONTROLLO VISIVO

scegliere una sola risposta: è possibile scegliere valori intermedi

[0] - esiste una interruzione di almeno 8/10 min. ogni ora (contare la mensa); oppure il tempo di recupero è interno al ciclo .
[2] - esistono due interruzioni al mattino e due al pomeriggio (oltre alla pausa mensa) di almeno 8-10 minuti in turno di 7-8 ore o comunque 4 interruzioni oltre la pausa mensa in turno di 7-8 ore; o 4 interruzioni di 8-10 minuti in turno di 6 ore.
[3] - esistono 2 pause di almeno 8-10 minuti l'una in turno di 6 ore circa (senza pausa mensa); oppure 3 pause oltre la pausa mensa in turno di 7-8 ore.
[4] - esistono 2 interruzioni oltre alla pausa mensa di almeno 8-10 minuti in turno di 7-8 ore (o 3 interruzioni senza mensa); oppure in turno di 6 ore, una pausa di almeno 8-10 minuti.
[6] - in un turno di 7 ore circa senza pausa mensa e' presente una sola pausa di almeno 10 minuti; oppure in un turno di 8 ore e' presente solo la pausa mensa (mensa non conteggiata nell'orario di lavoro).
[10] - non esistono di fatto interruzioni se non di pochi minuti (meno di 5) in turno di 7-8 ore.

Ora inizio | | | | | | | | | Ora fine

Indicare la durata del turno in minuti..... e disegnare la distribuzione delle pause nel turno

..... [ ] **RECUPERO**

Figura 3 - *Procedura di calcolo CHECKLIST OCRA*

SCHEDA 2

- L'ATTIVITA' DELLE BRACCIA E LA FREQUENZA DI AZIONE NELLO SVOLGERE I CICLI

E' prevista una sola risposta per i due blocchi (AZIONI DINAMICHE o AZIONI STATICHE) e prevale il punteggio più alto; è possibile scegliere valori intermedi. Descrivere l'arto dominante: citare se il lavoro è simmetrico. Può essere talora necessario descrivere entrambi gli arti: in questo caso utilizzare la due caselle, una per il destro e una per il sinistro.

AZIONI TECNICHEDINAMICHE

[0] - i movimenti delle braccia sono lenti con possibilità di frequenti interruzioni (20 azioni/minuto);
[1] - i movimenti delle braccia non sono troppo veloci (30 az/min o un'azione ogni 2 secondi) con possibilità di brevi interruzioni;
[3] - i movimenti delle braccia sono più rapidi (circa 40 az/min) ma con possibilita' di brevi interruzioni;
[4] - i movimenti delle braccia sono abbastanza rapidi (circa 40 az/min), la possibilità di interruzioni e' più scarsa e non regolare;
[6] - i movimenti delle braccia sono rapidi e costanti (circa 50 az/min) sono possibili solo occasionali e brevi pause;
[8] - i movimenti delle braccia sono molto rapidi e costanti. la carenza di interruzioni rende difficile tenere il ritmo (60 az/min);
[10] - frequenze elevatissime (70 e oltre al minuto), non sono possibili interruzioni;

AZIONI TECNICHE STATICHE

[2,5] - è mantenuto un oggetto in presa statica per una durata di almeno 5sec., che occupa 2/3 del tempo ciclo o del periodo di osservazione;
[4,5] - è mantenuto un oggetto in presa statica per una durata di almeno 5sec., che occupa 3/3 del tempo ciclo o del periodo di osservazione.

	dx	sx
numero azioni tecniche conteggiate nel ciclo		
frequenza di azione al minuto		
presenza di possibilità di brevi interruzioni		

DX SX

☐ ☐

FREQUENZA

- PRESENZA DI ATTIVITA' LAVORATIVE CON USO RIPETUTO DI FORZA DELLE MANI/BRACCIA (ALMENO UNA VOLTA OGNI POCHI CICLI DURANTE TUTTA L'OPERAZIONE O COMPITO ANALIZZATO) : ☐ SI ☐ NO

Possono essere barrate più risposte: sommare i punteggi parziali ottenuti. Scegliere se necessario anche più punteggi intermedi e sommarli (descrivere l'arto più interessato, lo stesso di cui si descriverà la postura). Può essere talora necessario descrivere entrambi gli arti: in questo caso utilizzare la due caselle, una per il destro e una per il sinistro

SE SI:

L'ATTIVITA' LAVORATIVA COMPORTA USO DI FORZA QUASI MASSIMALE (punt. di 8 e oltre della scala di Borg) NEL:
☐ tirare o spingere leve
☐ chiudere o aprire
☐ premere o maneggiare componenti
☐ uso attrezzi
☐ si usa il peso del corpo per compiere una azione lavorativa
☐ vengono maneggiati o sollevati oggetti

[6] - 2 secondi ogni 10 minuti
[12] - 1 % del tempo
[24] - 5 % del tempo
[32] -OLTRE IL 10% DEL TEMPO (*)

L'ATTIVITA' LAVORATIVA COMPORTA USO DI FORZA FORTE O MOLTO FORTE (punt. 5-6-7 della scala di Borg) NEL:
☐ tirare o spingere leve
☐ schiacciare pulsanti
☐ chiudere o aprire
☐ premere o maneggiare componenti
☐ uso attrezzi
☐ vengono maneggiati o sollevati oggetti

[4] - 2 secondi ogni 10 minuti
[8] - 1 % del tempo
[16] - 5 % del tempo
[24] -OLTRE IL 10% DEL TEMPO (*)

L'ATTIVITA' LAVORATIVA COMPORTA USO DI FORZA DI GRADO MODERATO (punt. 3-4 della scala di Borg) NEL:
☐ TIRARE O SPINGERE LEVE
☐ SCHIACCIARE PULSANTI
☐ CHIUDERE O APRIRE
☐ PREMERE O MANEGGIARE COMPONENTI
☐ USO ATTREZZI
☐ vengono maneggiati o sollevati oggetti

[2] - 1/3 DEL TEMPO
[4] - CIRCA META' DEL TEMPO
[6] - PIU' DELLA META' DEL TEMPO
[8] - PRESSOCHE' TUTTO IL TEMPO

(*) N.B.: Le due condizioni segnalate non possono essere ritenute accettabili.

FORZA DX ☐ SX ☐

Figura 4 - *Procedura di calcolo CHECKLIST OCRA*

▪ PRESENZA DI POSTURE INADEGUATE DELLE BRACCIA DURANTE LO SVOLGIMENTO DEL COMPITO RIPETITIVO

☐ DESTRO; ☐ SINISTRO; ☐ ENTRAMBI (descrivere il più interessato o entrambi se necessario)

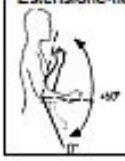
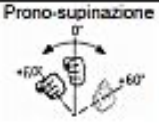
A) SPALLA ☐ DX ☐ SX

flessione	abduzione	estensione	

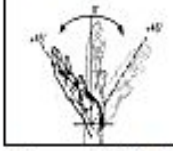
1 - il braccio /le braccia non sono appoggiate sul piano di lavoro ma sono sollevate di poco per piu' di meta' del tempo
2 - le braccia sono mantenute senza appoggio quasi ad altezza spalle (o in altre posture estreme) per circa il 10% del tempo
6 - le braccia sono mantenute senza appoggio quasi ad altezza spalle (o in altre posture estreme) per circa 1/3 del tempo
12 - le braccia sono mantenute senza appoggio quasi ad altezza spalle (o in altre posture estreme) per più della metà del tempo
24 - le braccia sono mantenute senza appoggio quasi ad altezza spalle (o in altre posture estreme) circa per tutto il tempo

NB= SE LE MANI OPERANO SOPRA L'ALTEZZA DEL CAPO, RADDOPPIARE I VALORI.

B) GOMITO ☐ DX ☐ SX

Estensione-flessione	Prono-supinazione	
		2 il gomito deve eseguire ampi movimenti di flesso-estensioni o prono-supinazioni per circa 1/3 del tempo. 4 il gomito deve eseguire ampi movimenti di flesso-estensioni o prono-supinazioni per più di metà del tempo. 8 il gomito deve eseguire ampi movimenti di flesso-estensioni o prono-supinazioni per circa tutto il tempo

C) POLSO ☐ DX ☐ SX

Estensione-flessione	Dev.radio-ulnare	
		2 - il polso deve fare piegamenti estremi o assumere posizioni fastidiose (ampie flessioni o estensioni o ampie deviazioni laterali) per almeno 1/3 del tempo. 4 - il polso deve fare piegamenti estremi o assumere posizioni fastidiose per più di metà del tempo 8 - il polso deve fare piegamenti estremi per circa tutto il tempo

D) MANO-DITA ☐ DX ☐ SX

Pinch	pinch	Presa a uncino	Presa palmare

La mano afferra oggetti o pezzi o strumenti con le dita

☐ a dita strette (pinch);
☐ a mano quasi completamente allargata (presa palmare);
☐ tenendo le dita a forma di uncino
☐ con altri tipi di presa assimilabili alle precedenti indicate

2 per circa 1/3 del tempo.
4 per più di metà del tempo.
8 per circa tutto il tempo

PRESENZA DI GESTI LAVORATIVI DELLA SPALLA E/O DEL GOMITO E/O DEL POLSO E/O MANI IDENTICI,RIPETUTI PER OLTRE META 'DEL TEMPO.(o tempo di ciclo tra 8 e15 sec. a contenuto prevalente di azione tecniche, anche diverse tra di loro, degli arti superiori)

1,5 **E**

PRESENZA DI GESTI LAVORATIVI DELLA SPALLA E/O DEL GOMITO E/O DEL POLSO E/O MANI IDENTICI, RIPETUTI QUASI TUTTO IL TEMPO (o tempo di ciclo inf. a 8 sec. a contenuto prevalente di azione tecniche, anche diverse tra di loro, degli arti superiori)

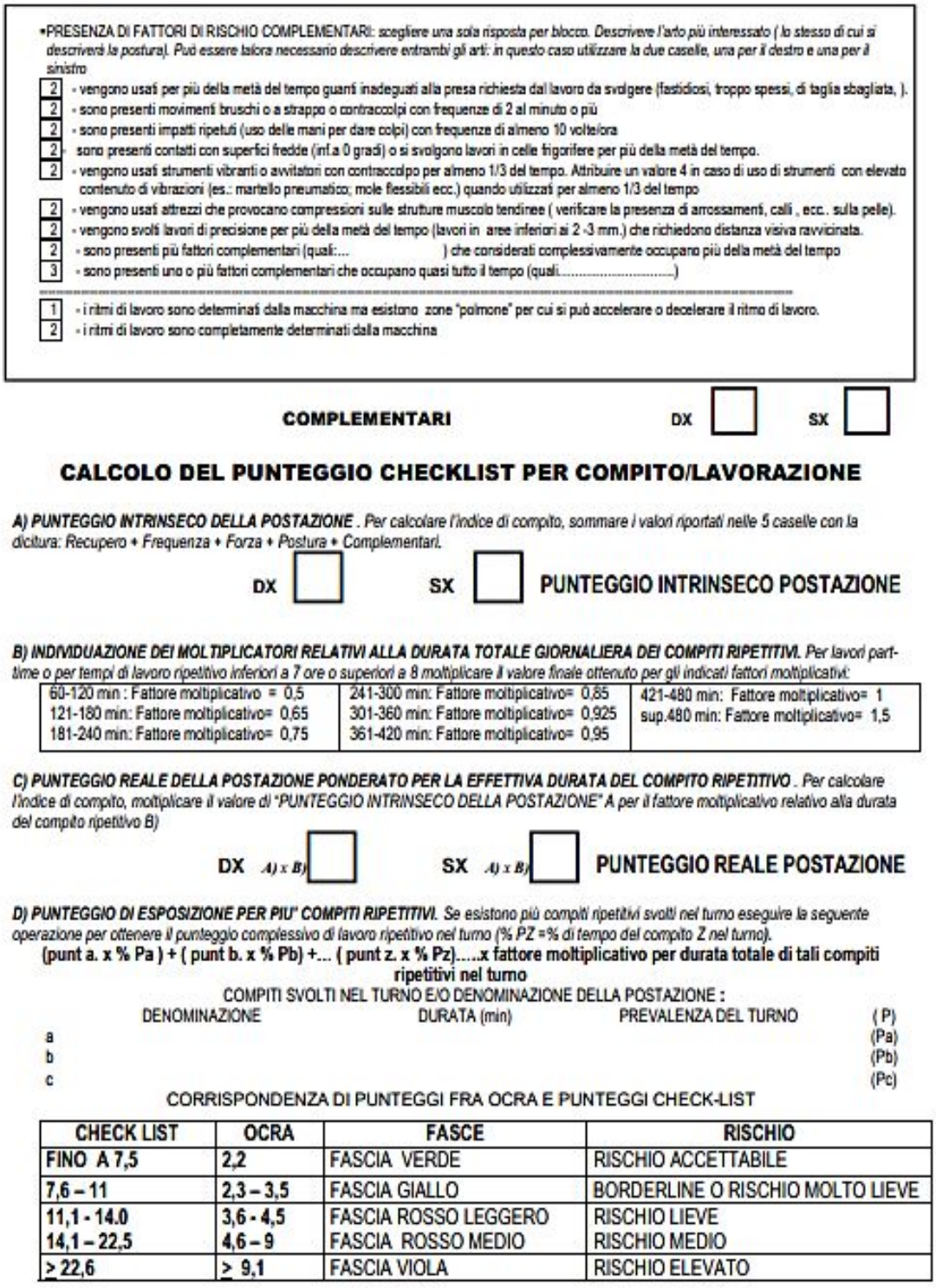
3 **E.**

E) STEREOTIPIA ☐ DX ☐ SX

N. B. : usare il valore più alto ottenuto tra i 4 blocchi di domande (A,B,C,D) preso una sola volta e sommarlo eventualmente a E

SCHEDA 3 **POSTURA** DX ☐ SX ☐

Figura 5 - *Procedura di calcolo CHECKLIST OCRA*



•PRESENZA DI FATTORI DI RISCHIO COMPLEMENTARI: *scegliere una sola risposta per blocco. Descrivere l'arto più interessato (lo stesso di cui si descriverà la postura). Può essere talora necessario descrivere entrambi gli arti: in questo caso utilizzare la due caselle, una per il destro e una per il sinistro*

- [2] - vengono usati per più della metà del tempo guanti inadeguati alla presa richiesta dal lavoro da svolgere (fastidiosi, troppo spessi, di taglia sbagliata,).
- [2] - sono presenti movimenti bruschi o a strappo o contraccolpi con frequenze di 2 al minuto o più
- [2] - sono presenti impatti ripetuti (uso delle mani per dare colpi) con frequenze di almeno 10 volte/ora
- [2] - sono presenti contatti con superfici fredde (inf.a 0 gradi) o si svolgono lavori in celle frigorifere per più della metà del tempo.
- [2] - vengono usati strumenti vibranti o avvitatori con contraccolpo per almeno 1/3 del tempo. Attribuire un valore 4 in caso di uso di strumenti con elevato contenuto di vibrazioni (es.: martello pneumatico; mole flessibili ecc.) quando utilizzati per almeno 1/3 del tempo
- [2] - vengono usati attrezzi che provocano compressioni sulle strutture muscolo tendinee (verificare la presenza di arrossamenti, calli , ecc.. sulla pelle).
- [2] - vengono svolti lavori di precisione per più della metà del tempo (lavori in aree inferiori ai 2 -3 mm.) che richiedono distanza visiva ravvicinata.
- [2] - sono presenti più fattori complementari (quali:...) che considerati complessivamente occupano più della metà del tempo
- [3] - sono presenti uno o più fattori complementari che occupano quasi tutto il tempo (quali.....)

- [1] - i ritmi di lavoro sono determinati dalla macchina ma esistono zone "polmone" per cui si può accelerare o decelerare il ritmo di lavoro.
- [2] - i ritmi di lavoro sono completamente determinati dalla macchina

COMPLEMENTARI DX [ ] SX [ ]

CALCOLO DEL PUNTEGGIO CHECKLIST PER COMPITO/LAVORAZIONE

A) PUNTEGGIO INTRINSECO DELLA POSTAZIONE *. Per calcolare l'indice di compito, sommare i valori riportati nelle 5 caselle con la dicitura: Recupero + Frequenza + Forza + Postura + Complementari.*

DX [ ] SX [ ] **PUNTEGGIO INTRINSECO POSTAZIONE**

B) INDIVIDUAZIONE DEI MOLTIPLICATORI RELATIVI ALLA DURATA TOTALE GIORNALIERA DEI COMPITI RIPETITIVI. *Per lavori part-time o per tempi di lavoro ripetitivo inferiori a 7 ore o superiori a 8 moltiplicare il valore finale ottenuto per gli indicati fattori moltiplicativi:*

60-120 min : Fattore moltiplicativo = 0,5	241-300 min: Fattore moltiplicativo= 0,85	421-480 min: Fattore moltiplicativo= 1
121-180 min: Fattore moltiplicativo= 0,65	301-360 min: Fattore moltiplicativo= 0,925	sup.480 min: Fattore moltiplicativo= 1,5
181-240 min: Fattore moltiplicativo= 0,75	361-420 min: Fattore moltiplicativo= 0,95	

C) PUNTEGGIO REALE DELLA POSTAZIONE PONDERATO PER LA EFFETTIVA DURATA DEL COMPITO RIPETITIVO *. Per calcolare l'indice di compito, moltiplicare il valore di "PUNTEGGIO INTRINSECO DELLA POSTAZIONE" A per il fattore moltiplicativo relativo alla durata del compito ripetitivo B)*

DX *A) x B)* [ ] SX *A) x B)* [ ] **PUNTEGGIO REALE POSTAZIONE**

D) PUNTEGGIO DI ESPOSIZIONE PER PIU' COMPITI RIPETITIVI. *Se esistono più compiti ripetitivi svolti nel turno eseguire la seguente operazione per ottenere il punteggio complessivo di lavoro ripetitivo nel turno (% PZ =% di tempo del compito Z nel turno).*

(punt a. x % Pa) + (punt b. x % Pb) +... (punt z. x % Pz).....x fattore moltiplicativo per durata totale di tali compiti ripetitivi nel turno

COMPITI SVOLTI NEL TURNO E/O DENOMINAZIONE DELLA POSTAZIONE :

	DENOMINAZIONE	DURATA (min)	PREVALENZA DEL TURNO	(P)
a				(Pa)
b				(Pb)
c				(Pc)

CORRISPONDENZA DI PUNTEGGI FRA OCRA E PUNTEGGI CHECK-LIST

CHECK LIST	OCRA	FASCE	RISCHIO
FINO A 7,5	2,2	FASCIA VERDE	RISCHIO ACCETTABILE
7,6 – 11	2,3 – 3,5	FASCIA GIALLO	BORDERLINE O RISCHIO MOLTO LIEVE
11,1 - 14.0	3,6 - 4,5	FASCIA ROSSO LEGGERO	RISCHIO LIEVE
14,1 – 22,5	4,6 – 9	FASCIA ROSSO MEDIO	RISCHIO MEDIO
≥ 22,6	≥ 9,1	FASCIA VIOLA	RISCHIO ELEVATO

Figura 6 - *Procedura di calcolo CHECKLIST OCRA*

Il metodo CHECKLIST OCRA:

- è specifico per gli arti superiori;
- valuta le posture, inclusa la spalla;
- è analitico e fornisce un indice sintetico di rischio anche in presenza di compiti lavorativi diversi nell'abito del turno;
- presuppone la buona conoscenza dell'indice Ocra;
- fornisce un modello matematico per la predizione di patologie.

Diversamente il metodo più utilizzato per monitorare le posture di lavoro statiche assunte dai lavoratori è il metodo REBA. L'output fondamentale del metodo è quello di identificare situazioni/condizioni di lavoro che potrebbero comportare patologie gravi negli operatori. Il determinante del metodo è la postura assunta dal lavoratore nell'arco dello svolgimento delle attività caratterizzanti il lavoro svolto. In particolare, vengono prese in considerazione le sollecitazioni del distretto anatomico superiore (spalla, gomito, polso), valutando comunque anche collo, tronco e posizione delle gambe. Nel metodo di calcolo, in funzione delle posizioni assunte dai differenti distretti articolari, sono assegnati valori predeterminati che possono essere incrementati/decrementati in presenza di particolari condizioni di forza muscolare e postura. Le posizioni sono elencate in modo tale che la prima posizione corrisponda all'intervallo di

movimento o alla postura di lavoro in cui il fattore di rischio correlato è minimo (posizione alla quale è associato un punteggio pari a 1). Numeri più alti sono assegnati agli intervalli di movimento che presentano posture più estreme.

Il metodo REBA prevede, per ciascun compito facente parte dell'attività lavorativa, la valutazione di due gruppi distinti comprendenti i vari distretti articolari, in particolare:

- Gruppo A (valutazione di collo, tronco, gambe);
- Gruppo B (valutazione di braccio, avambraccio, polso).

Al termine della determinazione delle posizioni per ciascun distretto, unitamente alla valutazione della presa e delle attività per il gruppo A e alla valutazione della forza applicata per il gruppo B, si può arrivare alla valutazione effettiva dell'indice REBA (*Hignett S., and McAtamney L., 2000*).

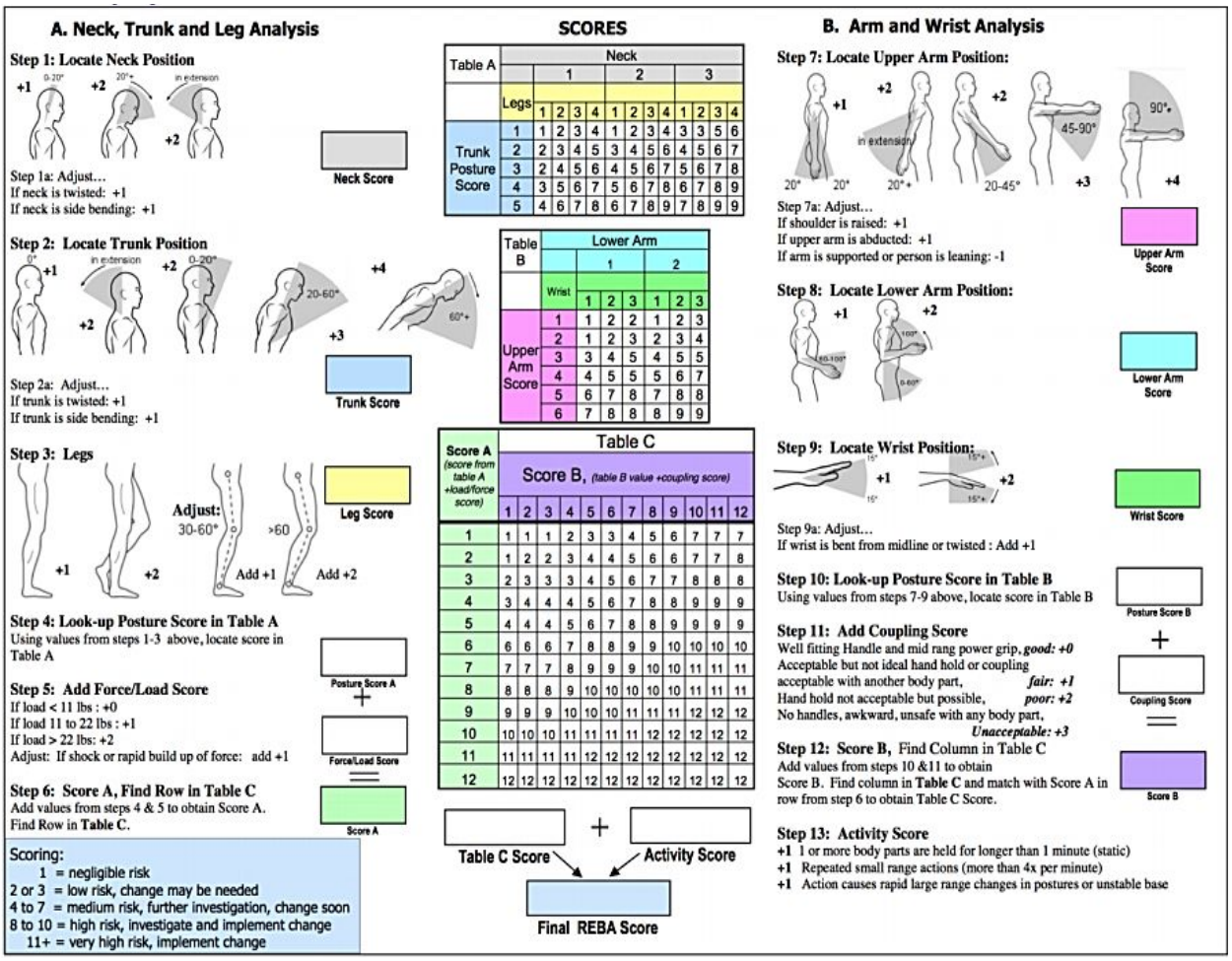


Figura 7 - *Procedura di calcolo REBA*

Per quanto riguarda invece la valutazione dello stress lavoro-correlato (SLC) non esiste un vero e proprio metodo di analisi anche se l'INAIL, attraverso i dipartimenti di medicina, di epidemiologia e d'igiene ambientale e del lavoro, ha sviluppato una metodologia di valutazione e gestione del rischio stress lavoro-correlato utilizzabile dalle aziende come strumento di valutazione del rischio ai sensi del d.lgs. 81/2008 e s.m.i.

L'intero percorso metodologico individuato è riportato nella *Figura 8.*

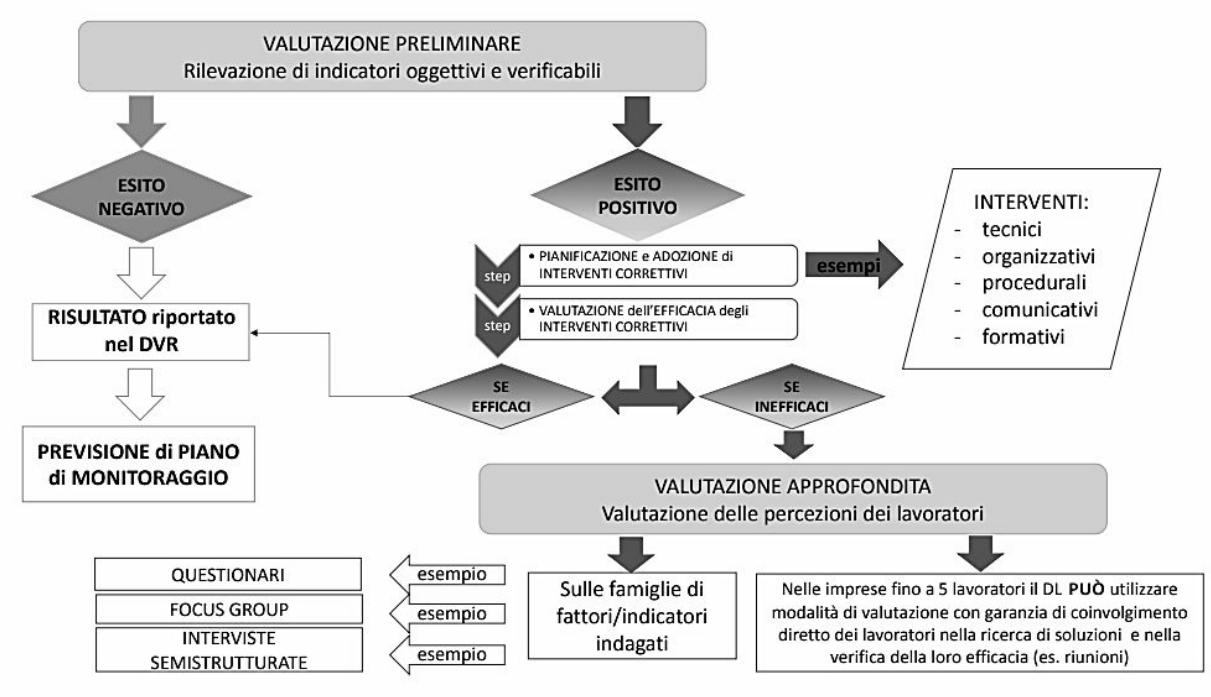
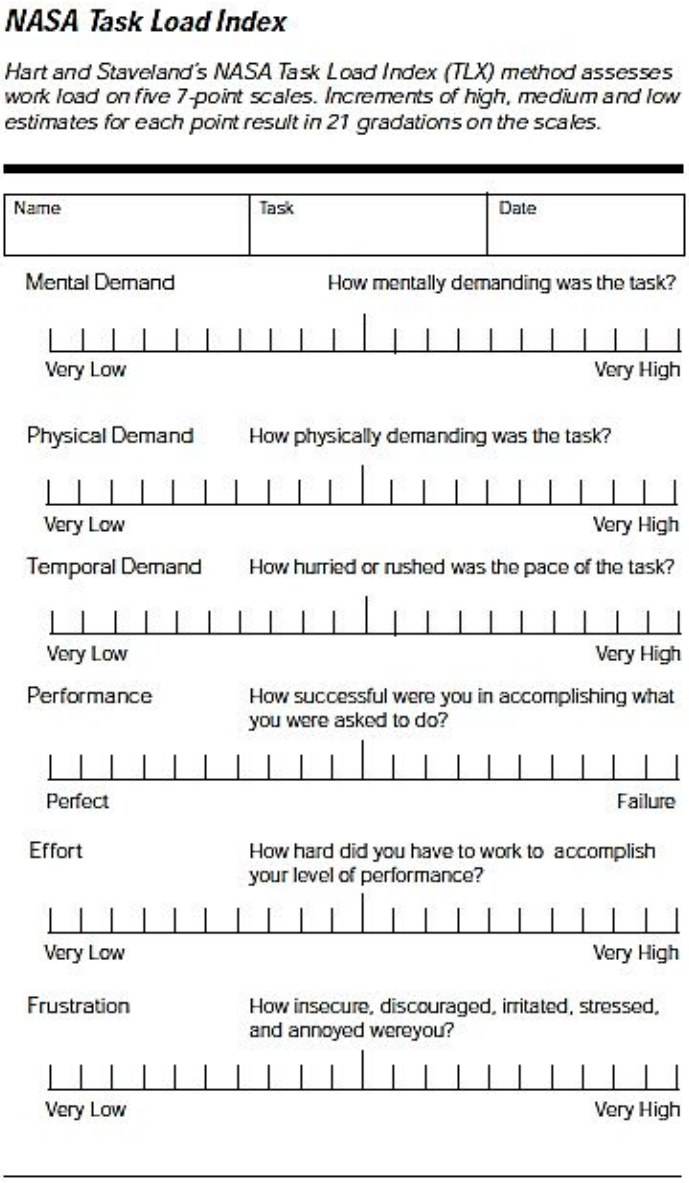


Figura 8 *- Percorso metodologico di valutazione del rischio SLC*

La valutazione preliminare consiste nella rilevazione, in tutte le aziende, di indicatori di rischio SLC oggettivi, verificabili e ove possibile numericamente apprezzabili quali, eventi sentinella, fattori di contenuto del lavoro e fattori di contesto del lavoro. Riguardo agli strumenti da utilizzare si possono utilizzare liste di controllo (checklist) da sottoporre ai lavoratori. Se la valutazione preliminare non rileva elementi di rischio da SLC e, quindi, si conclude con un 'esito negativo', tale risultato viene riportato nel DVR. Nel caso in cui la valutazione preliminare ha un 'esito positivo', cioè emergono elementi di rischio, tali da richiedere il ricorso ad azioni correttive, si procede alla pianificazione ed alla adozione degli opportuni interventi correttivi. Se questi

ultimi si riveleranno inefficaci si passerà alla valutazione successiva cosiddetta valutazione approfondita. Nella valutazione approfondita le indicazioni prevedono la valutazione delle percezioni dei lavoratori sulle "famiglie di fattori/indicatori", già oggetto di valutazione nella fase preliminare, con la possibilità, per le aziende di maggiori dimensioni, del coinvolgimento di un campione rappresentativo di lavoratori. Gli strumenti indicati per la valutazione delle percezioni dei lavoratori sono questionari, focus group e interviste semistrutturate. Inoltre nelle imprese fino a 5 dipendenti il datore di lavoro (DL) può scegliere di utilizzare modalità di valutazione (es. riunioni) che garantiscano il coinvolgimento diretto dei lavoratori nella ricerca delle soluzioni e nella verifica della loro efficacia (*INAIL, 2017*).

Infine, uno dei metodi più utilizzati per la valutazione del carico di lavoro è il Task Load Index (TLX) ufficiale della NASA. Il NASA-TLX consente agli utenti di eseguire valutazioni soggettive del carico di lavoro sugli operatori che lavorano con vari sistemi di interfaccia uomo-macchina (*Sandra G. Hart, 2006*). Incorporando una procedura di valutazione multidimensionale, il NASA-TLX ricava un punteggio complessivo del carico di lavoro basato su una media ponderata di valutazioni ottenute da sei sottoscale: richiesta mentale, richiesta fisica, richiesta temporale, qualità del lavoro, sforzo e frustrazione.



NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

Name	Task	Date

Mental Demand — How mentally demanding was the task?
Very Low — Very High

Physical Demand — How physically demanding was the task?
Very Low — Very High

Temporal Demand — How hurried or rushed was the pace of the task?
Very Low — Very High

Performance — How successful were you in accomplishing what you were asked to do?
Perfect — Failure

Effort — How hard did you have to work to accomplish your level of performance?
Very Low — Very High

Frustration — How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed wereyou?
Very Low — Very High

Figura 8 - *Questionario NASA TLX*

Il questionario viene sottoposto al lavoratore e una volta completato si ottiene un punteggio, in centesimi, del carico di lavoro. Quanto più il valore finale ottenuto si avvicina a 100, tanto più l'intensità del carico di lavoro percepita dal lavoratore risulterà maggiore.

L’utilizzo dei dispositivi wearable nello studio dell’ergonomia

L’industria 4.0, attraverso la sua rivoluzione attualmente in corso, punta tra le varie cose anche al benessere dei lavoratori che, grazie alle nuove tecnologie, potranno operare in maniera più ottimale, beneficiandone sia in termini di salute che di produttività aziendale. L’interesse alla salute e al benessere dei lavoratori nasce anche da una situazione di necessità, visto che lo scenario che si sta delineando è quello di un forte aumento dell’età media dei lavoratori, con oltre il 25% delle persone impiegate nelle realtà industriali che superano i 65 anni e un 10% che rientrano in una fascia tra i 55 e i 64 anni. (*Massimo Rodà, Francesca G.M. Sica, 2020*).

Un benessere, quindi, che diventa anche scelta economica per le imprese visto che un dipendente che vive bene l’ambiente lavorativo migliora la produzione e abbassa la possibilità di errore. Inoltre, attraverso la digitalizzazione delle aziende, si può riuscire ad abbassare l’incidenza delle malattie professionali e degli incidenti sul lavoro che, tra l’altro, rappresentano anche una grande spesa per le imprese (circa 30 mila euro annui per ogni dipendente che si infortuna o che contrae malattie professionali dovute, principalmente, a comportamenti sbagliati - *Dati INAIL e European Agency for Safety and Health at Work , 2019*).

Stress psicologico e problematiche fisiche sono le cause delle maggiori criticità rilevate sul lavoro ma, attraverso le nuove tecnologie, queste problematiche possono essere monitorate, previste e risolte, prima che diventino un problema. A spiegarlo sono, tra l'altro, gli studi messi in campo dal progetto europeo "Human Manufacturing" che, partendo dall'utilizzo di dispositivi indossabili, monitora le condizioni fisiche delle persone e, attraverso l'elaborazione fatta con algoritmi, riesce a prevedere eventuali rischi per la salute.

Con dispositivi indossabili (anche detti "*wearable devices*") si fa riferimento a un ampio ventaglio di dispositivi intelligenti che vengono indossati vicino e/o sulla superficie della pelle e vengono spesso collegati ad altri dispositivi elettronici come gli smartphone, tramite tecnologia wireless Bluetooth o Wi-fi. Essi permettono non solo il rilevamento ma anche l'immagazzinamento e lo scambio di dati di diverso tipo, come ad esempio, movimenti del corpo, segni vitali o dati ambientali, consentendo in alcuni casi un biofeedback immediato a chi lo indossa (*Düking P., Achtzehn S., Holmberg HC., Sperlich B., 2018*).

Applicazione e aspetto innovativo nell'ambito della sicurezza dei lavoratori

Studi approfonditi, condotti, in particolare, da EU-OSHA (*Report EU-OSHA, 2017*) a livello europeo e da INAIL sul piano nazionale, pongono l'accento sugli

effetti benefici che le tecnologie digitali (tra cui i dispositivi wearable) possono recare con sé, proprio sul delicato terreno della salute e sicurezza sul lavoro.

In un futuro non troppo lontano ma che, anzi, già comincia a tradursi in presente, il rapporto uomo-macchina verrà capovolto abbandonando la logica conflittuale per intraprendere un approccio maggiormente collaborativo che faccia delle macchine intelligenti un mezzo non soltanto di miglioramento produttivo, ma, altresì, di salvaguardia dell'uomo stesso, in particolare per ciò che riguarda la salute e sicurezza sul luogo di lavoro, di cui il datore di lavoro, ai sensi dell'art. 2087 c.c., è tenuto a farsi carico.

Negli ultimi anni, i dispositivi indossabili si sono avvicinati sempre più al mondo del benessere, della sicurezza e dell'ergonomia integrando tecnologie sofisticate quali elementi di sensoristica capaci di tracciare le funzioni fisiologiche dell'utente e algoritmi capaci di valutare specifici rischi per la salute della persona. Un esempio di questo genere è *Oper.AI* strumento che, attraverso i dati ottenuti da diversi dispositivi indossabili, elabora degli indici utili sia nella valutazione dei rischi, quali movimentazione manuale dei carichi, movimenti ripetitivi, posture idonee e carico di lavoro mentale, sia nell'assistenza al lavoratore per la tenuta di un comportamento ergonomicamente corretto a lavoro.

È ormai noto quindi che l'uso della tecnologia indossabile aprirà ad una nuova era nell'ergonomia. Il modo di valutare i rischi verrà rivoluzionato e l'uso della tecnologia e delle misurazioni tecniche offriranno l'opportunità di raccogliere dati accurati sul posto di lavoro con elevata validità e affidabilità, fornendo inoltre assistenza per la conformità alle certificazioni come la ISO 45001.

Capitolo 3 | Materiali e metodi

Introduzione

Gli interessi della medicina del lavoro, tradizionalmente rivolti a quelle patologie definite "occupational diseases" la cui eziopatogenesi era sicuramente di origine professionale, oggi si sono indirizzati verso quadri morbosi ad eziopatogenesi multifattoriale in cui le attività lavorative sono viste come elementi causali o concausali, le "work related diseases". Tra queste affezioni sono preminenti le patologie muscoloscheletriche, in particolare quelle a carico del tratto lombare della colonna vertebrale e i disturbi psicologici come lo stress lavoro-correlato. Essi sono di comune riscontro in gran parte delle attività lavorative che prevedono movimentazione manuale di carichi, l'assunzione di posture fisse prolungate, movimenti ripetitivi degli arti superiori, lavoro ad alta richiesta di carico mentale e attività ad alta frustrazione. La valutazione del rischio legato a tali attività consta di due momenti fondamentali, il primo consiste nell'osservazione del lavoro e delle posture assunte dai lavoratori nel contesto dell'attività professionale, mentre il secondo è rappresentato dall'analisi mediante specifici metodi di valutazione dei relativi indici di rischio (NIOSH,

OCRA Index, Linee guida INAIL stress lavoro-correlato, ecc.). Tali metodologie, però, non sempre hanno facile applicabilità in quanto mal si adattano alle molteplici realtà lavorative. Da ciò è nata l'esigenza di un approccio multidisciplinare che tenti di soddisfare i punti carenti dei metodi attualmente esistenti, facendo ricorso a strumenti e metodologie innovative (wearable devices), che rendano la valutazione del rischio quanto più obiettiva e completa possibile.

Carico dell'attività fisica e postura

Il complesso delle azioni e delle varie attività fisiche, che vengono svolte durante l'orario di lavoro è definito carico fisico. L'organismo si affatica sistematicamente per l'influenza di un carico di una certa intensità e durata. Il processo dell'affaticamento, dipende da vari fattori, ed è diverso per ogni individuo. Si può affermare, che quanto più grande è l'intensità dello stimolo costituito da un esercizio, tanto maggiore è la rapidità con la quale si raggiunge lo stato di affaticamento. Viceversa, quando è più debole la forza dello stimolo, tanto più tardi si raggiunge lo stato di affaticamento. Il tempo di recupero, detto periodo di recupero, dipende dallo stato di affaticamento.

La postura, invece, è la posizione del corpo umano nello spazio e la relativa relazione tra i suoi segmenti corporei. La corretta postura altro non è che la posizione più idonea del corpo nello spazio per attuare le funzioni antigravitarie

con il minor dispendio energetico sia in deambulazione che in stazionamento; ad essa vengono a concorrere vari fattori (neurofisiologici, biomeccanici, emotivi, psicologici e relazionali). La postura che l'operatore assume durante l'attività lavorativa implica il cosiddetto sovraccarico delle strutture muscolari ed osteoarticolari che nel tempo, quando i compiti non sono ergonomicamente idonei (movimentazione manuale dei carichi, movimenti ripetitivi e posture incongrue), sono fonte di disturbi e patologie lavoro correlate (*Vella G., 2008*).

Carico mentale

Il Carico di lavoro mentale (o Mental Workload) è un costrutto psicologico, utilizzato per indicare il lavoro mentale percepito da un operatore impegnato in un compito specifico (*Wickens, Christopher D., 1984*). Per «carico mentale» secondo la norma EN ISO 10075 si intendono tutte le influenze esterne che hanno un effetto sulla mente dell'essere umano. I carichi mentali sul lavoro sono quindi fattori legati all'attività lavorativa che hanno un impatto sulla nostra percezione, sul nostro pensiero, sulla nostra memoria, sul nostro vissuto, sulle nostre sensazioni e sul nostro comportamento. Ogni attività, anche fisica, influenza la nostra salute psichica. Il rumore e il calore, ad esempio, non mettono alla prova soltanto il fisico, ma influenzano anche la capacità di concentrazione e, di conseguenza, il carico di lavoro mentale.

Parametri monitorati

Analizzando e monitorando alcuni fattori fisiologici attraverso l'uso di dispositivi wearable e, integrandoli con informazioni su caratteristiche del lavoro e del lavoratore è possibile, come citato anche in precedenza, ottenere informazioni sulle condizioni di lavoro dell'operatore (carico fisico, carico di lavoro mentale e postura del tronco). Queste informazioni successivamente possono essere confrontate con i dati ottenibili dai metodi raccomandati dalle normative vigenti, allo scopo di ottenere un quadro più completo, oggettivo e reale dei rischi lavorativi. Questa metodologia rende inoltre più semplice l'implementazione di azioni correttive e migliorative dell'ambiente di lavoro.

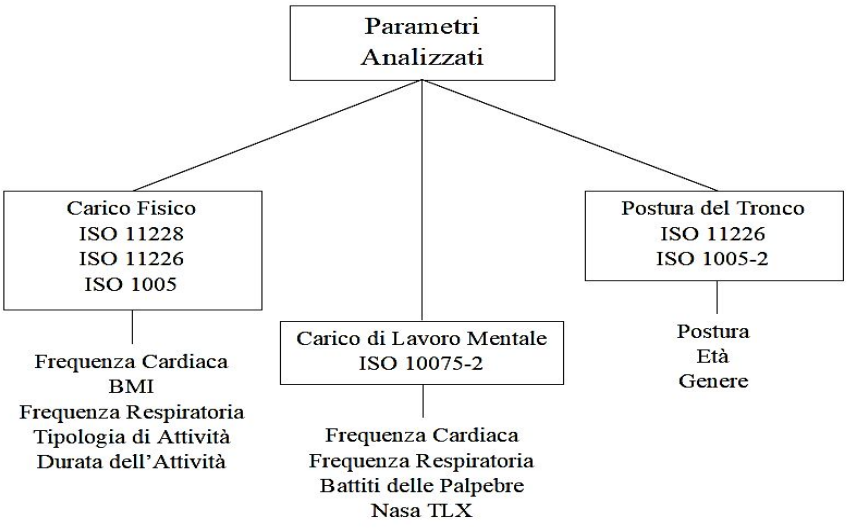


Figura 9 - *Mappatura dei fattori e delle normative correlate ai parametri analizzati.*

Alcuni fattori evidenziati in *Figura 9* sono acquisibili attraverso questionari e domande sottoposte al lavoratore (età, genere, BMI, Nasa TLX) altri invece vengono raccolti automaticamente durante la fase di monitoraggio tramite l'utilizzo di appositi sensori. La scelta dei sensori da utilizzare è il risultato di un approfondito scouting tecnologico basato sulle esigenze aziendali e sulle specifiche analisi che si desiderano effettuare (*Papetti, A., Gregori, F., Pandolfi, M., Peruzzini, M., Germani, M., 2018*). La *tabella 1* riassume le possibili applicazioni dei dispositivi indossabili per il monitoraggio dei parametri chiave di una valutazione ergonomica, utilizzabili per un intero spettro di processi industriali.

Dispositivi wearable	**Parametri monitorati**
Fascia toracica	Frequenza cardiaca, frequenza respiratoria, postura del tronco, livello di intensità dell'attività.
Orologi e braccialetti	Frequenza cardiaca, risposta galvanica della pelle, passi, livello di intensità dell'attività.
Bracciale con sensori per elettromiografia (EMG)	Forza, postura dell'arto.
Abbigliamento con sensori (EMG)	Frequenza cardiaca, frequenza respiratoria, forza, postura di più segmenti corporei.
Occhiali	Postura della testa, tracciamento oculare, forza e frequenza dei battiti di ciglia, attenzione.

Tabella 1 - *Dispositivi wearable per la valutazione ergonomica*

Fra tutti i dispositivi wearable sopra citati, solamente la fascia toracica e gli occhiali sono risultati necessari per la valutazione dei parametri carico fisico, carico di lavoro mentale e postura del tronco.

Una volta acquisiti i dati dai dispositivi indossabili e dalle risposte alle domande sottoposte al lavoratore, si effettua la gestione dei dati raccolti. I dati grezzi vanno analizzati e trasformati in un contenuto facile da capire, interpretare, riorganizzare, ordinare e manipolare per generare informazioni utili. In altre parole, va condotta un'analisi descrittiva preliminare per ripulire i dati da errori e/o anomalie, identificare le informazioni rilevanti, valutarne la qualità e il significato, differenziare gli eventi isolati da quelli ricorrenti e definire ipotesi e limiti. Questo è possibile grazie ad una serie di algoritmi basati sulle regole knowledge-based derivate dall'esperienza e dalla normativa attualmente in vigore in materia di salute e sicurezza sul lavoro, che consentono l'analisi dei dati raccolti. Gli algoritmi hanno la funzione di individuare a livello dei dati grezzi le soglie per le quali tali dati devono essere classificati come situazioni di allarme, o meno, dell'attività monitorata. L'algoritmo individua, quindi, il superamento delle soglie definite e, nel contempo, ne classifica la severità. Le logiche utilizzate per implementare i risultati ottenuti dagli algoritmi sono orientate all'ottimizzazione del lavoro per rendere il luogo di lavoro più snello e, allo stesso tempo, adeguato al lavoratore.

I risultati ottenuti tramite i dispositivi wearable vengono infine comparati e confrontati con i risultati ottenuti dai metodi raccomandati dalle normative vigenti, contribuendo ad attuare una serie di azioni correttive in grado di eliminare o mitigare i rischi precedentemente rilevati (*Scafà, M., Papetti, A., Brunzini, A., Germani, M., 2019*).

Capitolo 4 | Caso Studio

Contesto lavorativo

L'Azienda in esame è stata fondata all'inizio degli anni '60 del secolo scorso ed opera nel settore mobiliero. Nata originariamente come attività artigianale, negli anni '70 si trasforma da piccola azienda ad una delle più importanti aziende manifatturiere del centro Italia. Ad oggi la superficie degli stabilimenti è più di 120.000 mq con più di 670 persone che vi lavorano. All'interno dell'azienda sono effettuate principalmente le seguenti attività:

- Arrivo materiale.
- Assemblaggio mobili: il materiale da lavorare viene prelevato dal magazzino e portato nella zona di lavorazione. Successivamente il materiale posizionato su appositi nastri motorizzati passa all'attività di foratura eseguita da macchine a controllo numerico. Dopo la foratura, ai fianchi viene applicata manualmente l'ulteriore ferramenta necessaria. Sulla base delle apposite liste si procede al prelievo manuale dal magazzino dei restanti componenti del mobile. Successivamente i suddetti componenti ed i fianchi precedentemente lavorati, sono assemblati e

pressati mediante strettoi (che possono essere automatici o semiautomatici) e fissati con l'inserimento di grappe (manualmente o automaticamente). Al mobile proveniente dalla pressatura e inchiodatura viene applicata manualmente l'anta; seguono quindi tutte le lavorazioni di completamento del mobile come montaggio dei cassetti oltre che l'eventuale inserimento degli elettrodomestici (frigo, lavastoviglie, lavatrice, ecc.). Viene eseguita poi la pulizia ed il controllo del mobile. Il mobile infine viene imballato con scatole di cartone e chiuso ermeticamente.

- Lavorazione elementi lineari.
- Lavorazione fuori misura: Il reparto fuori misura produce mobili che, rispetto allo standard previsto a listino, hanno la necessità di lavorazioni particolari, dettate da esigenze strutturali richieste dal cliente.
- Lavorazione pannelli.
- Attività di preparazione ferramenta ed accessori.
- Montaggio vetri e altre ante.
- Preparazione materiale per mostre.
- Spedizione materiale.
- Attività di officina.
- Produzione scatole di cartone.

- Gestione servizi ausiliari.

Per quanto riguarda il caso studio ci si è focalizzati su due tipologie di attività svolte all'interno delle aree di assemblaggio mobili e lavorazioni fuori misura. Le due attività esaminate sono:

- Assemblaggio dei cassetti (AC);
- Foratura delle ante eseguita da macchine a controllo numerico (FA).

In seguito a un approfondito confronto con l'Health & Safety Manager dell'azienda sono state scelte queste due attività in quanto presentano un rischio ergonomico rilevante per la salute dei lavoratori.

L'attività di assemblaggio dei cassetti è composta da una sequenza ciclica di azioni che il lavoratore compie: presa dell'anta (*Figura 10/a*), inserimento componente di plastica (*Figura 10/b*), avvitatura del componente con il trapano (*Figura 10/c*), presa del cestello (*Figura 10/d*), posizionamento del cestello (*Figura 10/e*) e avvitatura con trapano del cestello (*Figura 10/f*).

Figura 10/a - *Presa dell'anta*

Figura 10/b - *Inserimento componente di plastica*

Figura 10/c - *Avvitatura del componente con il trapano*

Figura 10/d - *Presa del cestello*

Figura 10/e - *Posizionamento del cestello*

Figura 10/f - *Avvitatura con trapano del cestello*

Stessa cosa vale per l'attività di foratura delle ante eseguita da macchine a controllo numerico che è composta da: presa dell'anta (*Figura 11/a*), inserimento dell'anta sulla macchina a controllo numerico (*Figura 11/b*), avvio e controllo della macchina tramite computer (*Figura 11/c*), controllo visivo della lavorazione della macchina (*Figura 11/d*) e rimozione dell'anta dalla macchina (*Figura 11/e*).

Figura 11/a - *Presa dell'anta*

Figura 11/b - *Inserimento dell'anta sulla macchina a controllo numerico*

Figura 11/c - *Avvio e controllo della macchina tramite computer*

Figura 11/d - *Controllo visivo della lavorazione della macchina*

Figura 11/e - *Rimozione dell'anta dalla macchina*

Protocollo utilizzato

Il presente protocollo si applica a tutte le realtà lavorative ed è stato attuato su entrambe le postazioni analizzate in collaborazione con la startup Hu.DO, fornitrice della strumentazione e della piattaforma "Oper.AI" per l'elaborazione dei risultati finali.

Hu.DO è una startup nata nel 2019 da un progetto di due ricercatori dell'Università Politecnica delle Marche. Essa ha come obiettivo quello di portare all'interno dell'azienda strumenti di valutazione delle attività lavorative veloci, accurati e affidabili che consentano una promozione attiva delle strategie di miglioramento delle condizioni di lavoro attraverso vere e proprie proposte di azioni correttive preorganizzate. Si occupa nello specifico di aspetti di sostenibilità aziendale e di valutazione ergonomia fisica e cognitiva.

Il protocollo è strutturato come procede.

Per prima cosa si informano i lavoratori coinvolti nelle attività selezionate per il caso studio. Tra questi vengono scelti due lavoratori (uno per ogni attività) che accettano di sottoporsi al test.

Le informazioni generali dei due lavoratori che hanno preso parte al caso studio sono riportate nella *Tabella 2*.

	Operatore 1 (FA)	**Operatore 2 (AC)**
Sesso	M	M
Altezza	180 cm	180 cm
Peso	70 kg	78 kg
BMI	21,6 kg/m^2	24,1 kg/m^2
Anni	49	37

Tabella 2 - *Informazioni generali sui lavoratori*

Il monitoraggio dei lavoratori, tramite dispositivi wearable, viene effettuato durante il turno di lavoro in modo da apprezzare significativamente l'andamento della risposta fisica e mentale dei lavoratori stessi. Inoltre, la durata della raccolta dati non può essere inferiore all'ora e mezza in quanto i valori potrebbero essere poco rappresentativi dell'intero turno di lavoro.

Una volta individuati i lavoratori da sottoporre al test, si passa alla disposizione della strumentazione:

- videocamera: messa in prossimità dell'area di lavoro dell'operatore in modo da inquadrare completamente tutti gli spostamenti, le posture e i movimenti effettuati durante lo svolgimento del compito (*Figura 12*);
- fascia cardiaca: applicata al lavoratore preferibilmente a contatto con la pelle sotto la maglia da lavoro (*Figura 13*);
- occhiali: indossati dal lavoratore (*Figura 14*).

Figura 12 - *Videocamera*

Figura 13 - *Fascia cardiaca*

Figura 14 - *Occhiali*

Terminato l’allestimento dell’area di lavoro si sottopone ai lavoratori il questionario per la valutazione del carico di lavoro (Nasa TLX) e si avviano le registrazioni, tramite app e software, per il monitoraggio real time dei parametri fisiologici. Durante la registrazione è importante che i lavoratori non siano infastiditi dalla strumentazione e possano proseguire in modo naturale il proprio lavoro.

Il monitoraggio dei parametri fisiologici dei lavoratori termina in prossimità di una pausa programmata o alla fine del turno di lavoro, in modo da non arrecare problematiche alla produzione.

La durata effettiva delle analisi è stata di:

- 117 minuti per l'attività di foratura delle ante eseguita da macchine a controllo numerico;
- 154 minuti per l’attività di assemblaggio cassetti.

Una volta acquisiti i dati in azienda, si procede all’analisi e all’elaborazione di questi attraverso gli algoritmi e la piattaforma Oper.AI di proprietà di Hu.DO.

In primo luogo, si effettua una pulizia dei dati ottenuti, così da eliminare i falsi positivi e gli eventuali errori dei dispositivi.

Si procede poi con l’inserimento dei dati “puliti” all’interno di Oper.AI. La piattaforma elabora, tramite algoritmi proprietari, i dati forniti e infine restituisce

i risultati relativi al carico fisico, al carico di lavoro mentale e alla postura del tronco.

Parallelamente all'analisi dei dati ottenuti dai dispositivi wearable, si esegue, grazie al contributo del questionario e delle riprese svolte durante il caso studio, la valutazione del sovraccarico biomeccanico del rachide (tramite il metodo NIOSH - VLI), la valutazione dei movimenti ripetitivi (tramite il metodo OCRA) e la valutazione del carico di lavoro (tramite il metodo NASA-TLX).

Capitolo 5 | Risultati

Valutazione dei compiti lavorativi con metodi NIOSH-VLI e checklist OCRA

A seguito della valutazione della movimentazione manuale dei carichi per la mansione "Foratura delle ante eseguita da macchine a controllo numerico" è risultato che il punteggio dell'indice di rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, elaborato tramite il NIOSH-VLI, è pari a 4,7 per i lavoratori maschi di età compresa tra 18 e 45 anni (rischio molto elevato) e a 5,7 per i lavoratori maschi di età inferiore a 18 anni o superiore a 45 anni (rischio molto elevato). I valori risultanti dalla valutazione sono eccessivi perché alcune delle ante sollevate hanno un peso superiore ai 25 kg e sono movimentate su geometrie molto sconvenienti che fanno inevitabilmente incrementare l'indice su valori elevati, in particolare se si tiene conto dell'età del soggetto superiore ai 45 anni, per cui il peso sollevabile raccomandato, in condizioni ideali, non deve superare i 20 kg.

Per la valutazione dei movimenti ripetitivi, riferita sempre alla stessa attività (FA), si è constatato che il rischio è ininfluente in quanto i cicli di lavoro sono molto lunghi (circa 7 minuti) e le azioni per ogni ciclo sono basse (circa 40

azioni/ciclo). Per questo motivo non è stato necessario procedere con la valutazione tramite checklist OCRA.

Riguardo poi la valutazione della movimentazione manuale dei carichi, per la mansione "Assemblaggio dei cassetti", il punteggio dell'indice di rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide è risultato di 0,7 per i lavoratori maschi di età compresa tra 18 e 45 anni (rischio accettabile) e di 0,9 per i lavoratori maschi di età inferiore a 18 anni o superiore a 45 anni (rischio accettabile/moderato). Questi valori, ottenuti tramite il metodo NIOSH-VLI, evidenziano nel complesso un rischio accettabile da sovraccarico biomeccanico del rachide.

Infine dalla valutazione dei movimenti ripetitivi, riguardante la mansione "Assemblaggio dei cassetti", tramite checklist OCRA è emerso quanto segue. Il punteggio ottenuto per l'arto dx è di 7,98 (rischio molto lieve) e i fattori maggiormente influenti sul valore finale della valutazione sono il tempo di recupero e la mano in presa pinch, palmare o uncino per circa metà del tempo del ciclo. Il punteggio ottenuto per l'arto sx è invece di 9,98 (rischio molto lieve) e i fattori maggiormente influenti sul valore finale della valutazione sono il tempo di recupero, la frequenza di azioni al minuto (51 azioni/min) e il polso in estensione, flessione o deviazione laterale per circa metà del tempo del ciclo.

I risultati riassuntivi sono riportati nella *Tabella 3*.

	NIOSH - VLI	Checklist OCRA
(FA)	Maschi [18 - 45 anni] = 4,7 Maschi [< 18 o >45 anni] = 5,7	/
(AC)	Maschi [18 - 45 anni] = 0,7 Maschi [< 18 o >45 anni] = 0,9	Dx = 7,98 Sx = 9,98

Tabella 3 - *Risultati metodi NIOSH-VLI e checklist OCRA*

Valutazione del carico di lavoro percepito dai lavoratori tramite NASA-TLX

Il questionario NASA-TLX è stato sottoposto ai due lavoratori prima dell'inizio del proprio turno di lavoro. Il punteggio ottenuto restituisce una stima soggettiva del carico di lavoro percepito dai lavoratori ed è in grado di individuare i fattori che maggiormente influenzano il valore finale.

I risultati ottenuti dal questionario NASA-TLX per le postazioni (FA) e (AC) sono riportati nelle *Figure 15/a, 15/b*.

Figura 15/a - *Risultati NASA-TLX postazione (FA)*

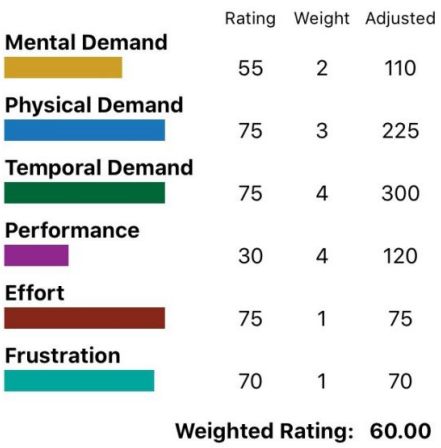


Figura 15/b - *Risultati NASA-TLX postazione (AC)*

Il punteggio di 79,67/100 ottenuto nella postazione (FA) è indice di un livello rilevante di carico di lavoro percepito dall'operatore. I fattori maggiormente influenti su questo risultato sono l'impegno necessario per portare a termine i compiti e il carico di lavoro mentale richiesto per svolgere l'attività.

Mentre il punteggio di 60,00/100 ottenuto nella postazione (AC) è indice di un livello medio di carico di lavoro percepito dall'operatore; nonostante ciò, i fattori maggiormente determinanti sono la rapidità dei tempi di lavoro e il carico di lavoro fisico richiesto per svolgere l'attività.

Valutazione dei parametri ergonomici tramite piattaforma Oper.AI

I parametri ergonomici analizzati tramite l'ausilio della piattaforma Oper.AI e dei dispositivi wearable sono la postura del tronco, il carico di lavoro fisico e il carico di lavoro mentale.

Mentre con i primi due parametri si ottengono degli indici numerici di rischio attraverso algoritmi elaborati e ottimizzati da Hu.DO, per il carico di lavoro mentale il processo di sviluppo dell'algoritmo è ancora in corso, per questo, i dati ottenuti dai dispositivi indossabili vengono osservati graficamente e valutati in modo qualitativo in base alle conoscenze apprese dalla letteratura scientifica.

I risultati acquisiti dalla valutazione dei parametri ergonomici sopracitati, riferiti alla postazione “Foratura delle ante eseguita da macchine a controllo numerico”, sono riportati qui di seguito.

Il punteggio ottenuto per la postura del tronco è di 8,32/10. Questo valore è indice di una buona postura della schiena assunta dal lavoratore durante il periodo di osservazione. Nonostante il risultato non riscontri un rischio da sovraccarico del rachide c’è comunque da tenere in considerazione alcune posture incongrue osservate nei grafici (*Figure 16/a, 16/b*) che possono aumentare la probabilità di infortunio.

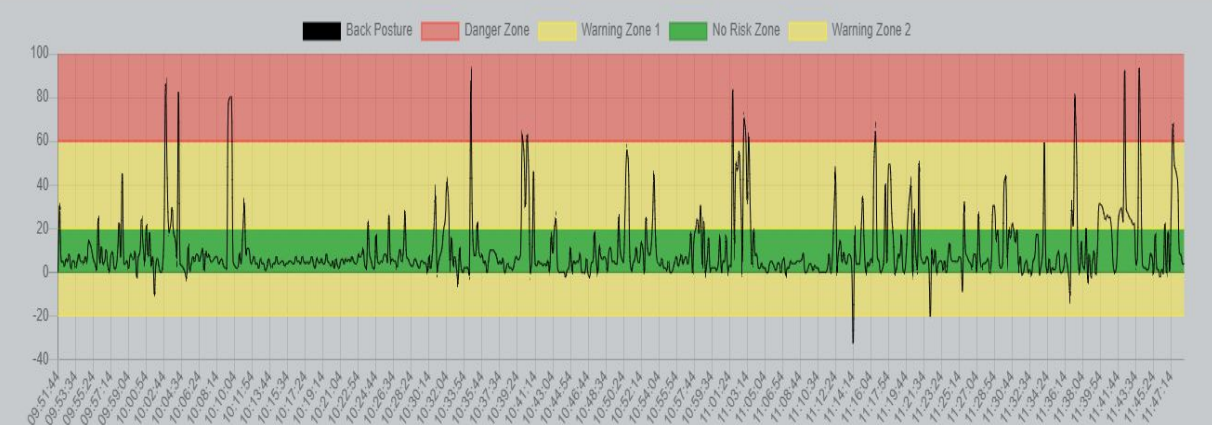


Figura 16/a - *Grafico “posture del tronco” riferito alla postazione (FA)*

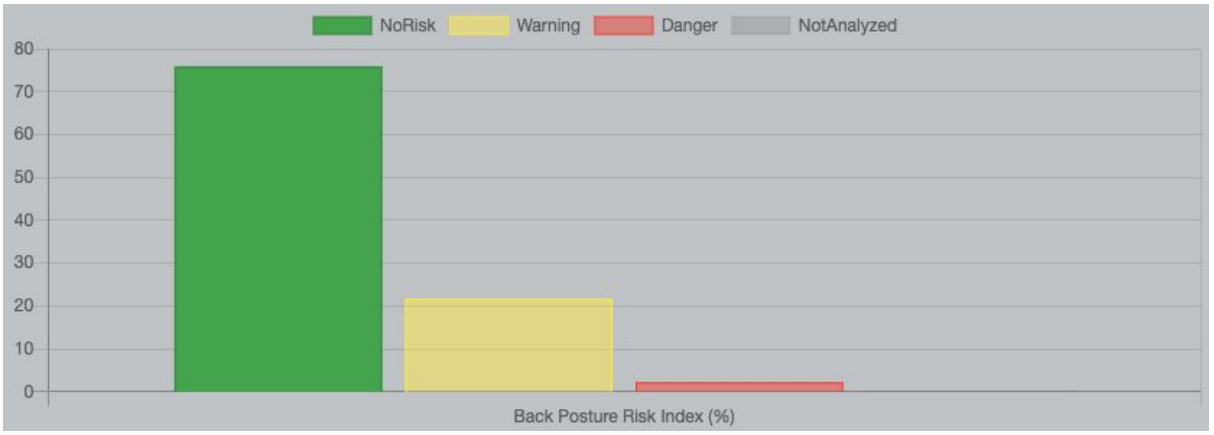


Figura 16/b - *Grafico "posture del tronco" riferito alla postazione (FA)*

Il punteggio ottenuto invece per il carico di lavoro fisico è di 10/10. Questo denota il fatto che il complesso delle azioni e delle attività fisiche, svolte durante l'orario di lavoro, sono ottimali ed idonee per le caratteristiche dell'operatore. Inoltre l'intensità delle attività effettuate dal lavoratore sono risultate per lo più "light" o "moderate" indice di un rischio accettabile dal punto di vista del sovraccarico fisiologico.

Figura 17/a - *Grafico "carico di lavoro fisico" riferito alla postazione (FA)*

Figura 17/b - *Grafico "carico di lavoro fisico" riferito alla postazione (FA)*

Infine la valutazione fatta sul carico di lavoro mentale attraverso l'osservazione del grafico dei parametri fisiologici (frequenza cardiaca, frequenza respiratoria e battiti delle palpebre) non ha rilevato valori allarmanti per la salute e il benessere del lavoratore. L'attività analizzata è comunque prettamente a carico mentale e questo lo si nota dal fatto che nonostante l'indice di carico fisico ottenuto sia 10/10 comunque la frequenza cardiaca (HR) risulta essere leggermente superiore al normale con una media di 85 battiti/min indice di una probabile alterazione dovuta alla presenza di un carico di lavoro mentale (*De Rivecourt et al., 2008; Causse et al., 2010*). Inoltre la frequenza media dei battiti delle palpebre (BR) risulta essere leggermente inferiore al normale con una media di 10 atti/min indice di un compito visivo e quindi mentale (*Veltman e Gaillard, 1996; Bentivoglio A. R., et al., 2004*). La frequenza respiratoria media (BF) è invece di 15 atti/min segnale di uno stato fisiologico non alterato (*Lindh W.Q., 2009*). Nonostante l'attività lavorativa abbia una presenza evidente di carico mentale,

come dimostrato sopra, non vi sono valori allarmanti che possano indicare un rischio da sovraccarico mentale per il lavoratore.

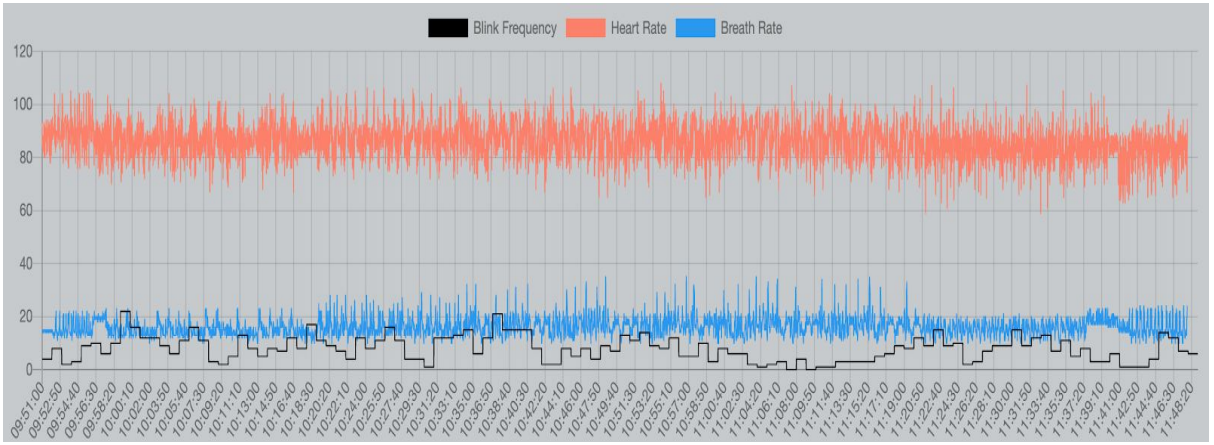


Figura 18 - *Grafico "carico di lavoro mentale" riferito alla postazione (FA)*

I risultati ottenuti invece sulla postazione "Assemblaggio dei cassetti" hanno evidenziato quanto segue.

Il punteggio ottenuto per la postura del tronco è di 7,65/10. Questo valore è indice di una discreta/buona postura della schiena assunta dal lavoratore durante il periodo di osservazione. Nonostante il risultato non evidenzi un rischio da sovraccarico del rachide c'è comunque da tenere in considerazione diverse posture incongrue rilevate nei grafici (*Figure 19/a, 19/b*) che possono aumentare la probabilità di infortunio.

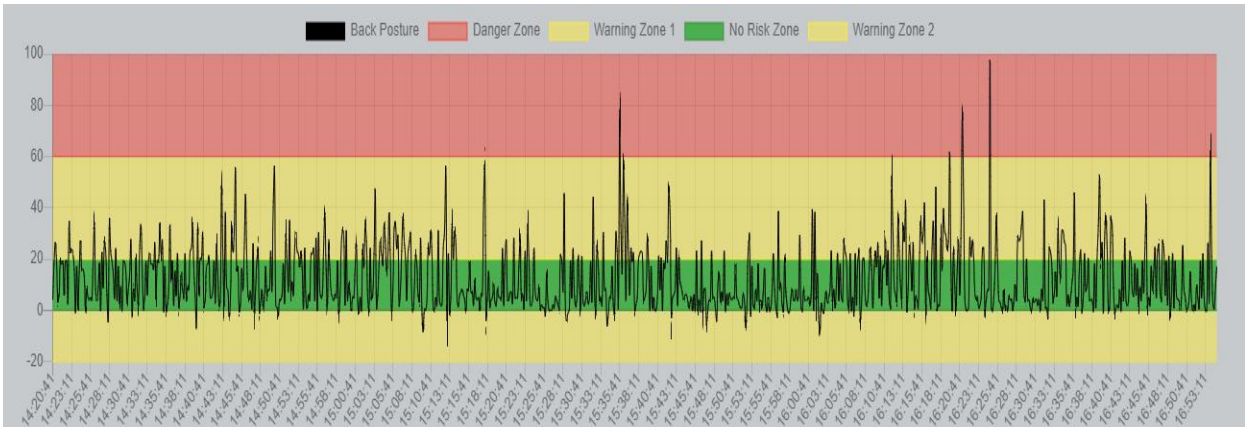


Figura 19/a - *Grafico "posture del tronco" riferito alla postazione (AC)*

Figura 19/b - *Grafico "posture del tronco" riferito alla postazione (AC)*

Il punteggio ottenuto invece per il carico di lavoro fisico è di 8,84/10. Questo denota il fatto che, nonostante l'attività sia prettamente fisica, il complesso delle azioni e delle attività, svolte durante l'orario di lavoro, sono idonee e proporzionate alle caratteristiche dell'operatore. Inoltre l'intensità delle attività effettuate dal lavoratore sono risultate per lo più "light" o "moderate" indice di un rischio accettabile dal punto di vista del sovraccarico fisiologico.

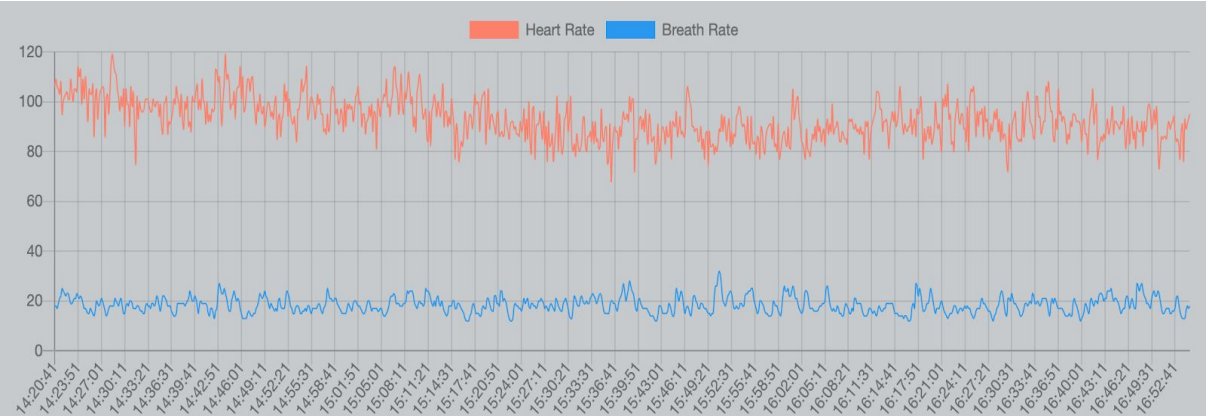


Figura 20/a - *Grafico "carico di lavoro fisico" riferito alla postazione (AC)*

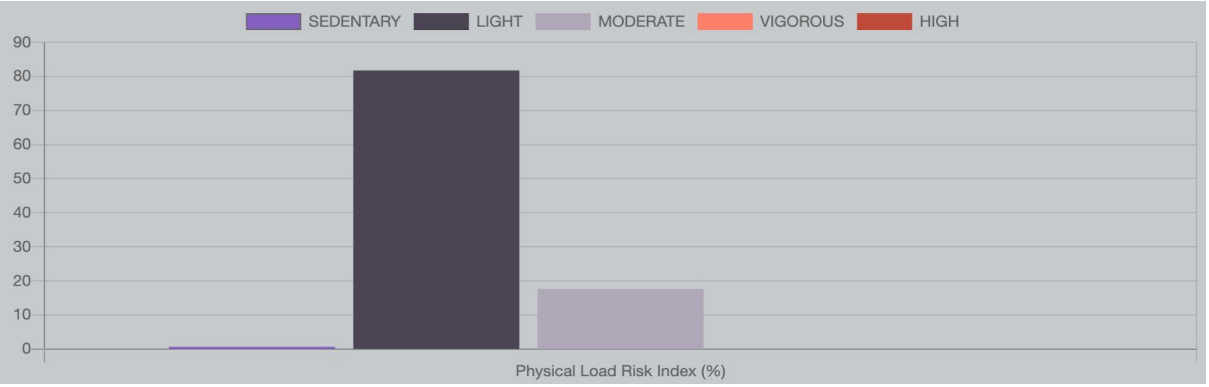


Figura 20/b - *Grafico "carico di lavoro fisico" riferito alla postazione (AC)*

Infine la valutazione fatta sul carico di lavoro mentale attraverso l'osservazione del grafico dei parametri fisiologici (frequenza cardiaca, frequenza respiratoria e battiti delle palpebre) non ha evidenziato aspetti allarmanti per la salute e il benessere del lavoratore. I valori della frequenza respiratoria (BF), media di 20 atti/minuto, e della frequenza di battiti delle palpebre (BR), media di 17 atti/minuto, sono risultati infatti conformi ai valori standard riferiti a condizioni normali di carico di lavoro (*Lindh W.Q., 2009; Bentivoglio A.R., et al., 2004*).

Mentre la frequenza cardiaca (HR) media di 90 battiti/minuto, è risultata leggermente elevata ma ciò è dovuto probabilmente all'intensità fisica dell'attività lavorativa. In conclusione i risultati del grafico (*Figura 21*) non hanno evidenziato la presenza di valori allarmanti che possano indicare un rischio da sovraccarico mentale per il lavoratore.

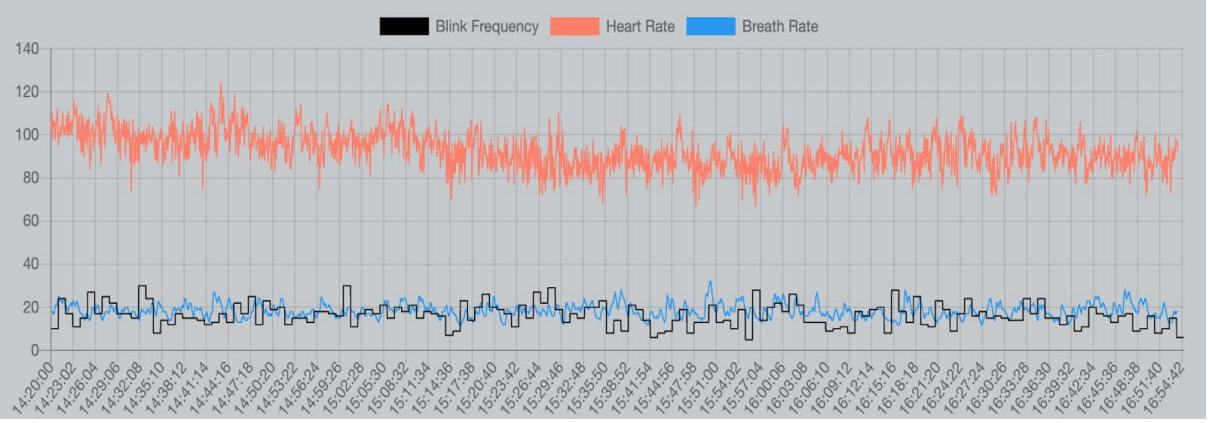


Figura 21 - *Grafico "carico di lavoro mentale" riferito alla postazione (AC)*

Capitolo 6 | Discussioni e Conclusioni

Analizzando e correlando i risultati ottenuti dalle varie valutazioni eseguite (con e senza dispositivi wearable) sulle due postazioni, è stato possibile ottenere un quadro riassuntivo ampio e completo sui rischi ergonomici ai quali i lavoratori sono esposti.

Nella prima postazione osservata (FA) è stato evidenziato un rischio elevato da sovraccarico biomeccanico del rachide dovuto sia all'eccessivo peso di alcune ante sollevate dall'operatore, sia all'età del lavoratore, il quale avendo più di 45 anni viene considerato "soggetto a rischio". La postura della schiena dell'operatore è risultata nel complesso buona anche se sono stati riscontrati alcuni movimenti incongrui che, correlati al sollevamento di un peso, aumentano la probabilità di infortunio. Non sono stati invece osservati rischi rilevanti per il sovraccarico degli arti superiori, dovuto a movimenti ripetitivi, né per il sovraccarico fisiologico dovuto al carico di lavoro fisico. Infine, per quanto riguarda l'ergonomia cognitiva, il risultato del questionario NASA-TLX ha evidenziato una presenza importante di carico di lavoro mentale, aspetto

confermato in parte anche dai risultati ottenuti tramite dispositivi wearable che non hanno però rilevato valori allarmanti per la salute del lavoratore.

Operatore 1 **(49 anni - M)**	**Risultati**	**Rischio**	**Interventi**	**Note**
Sovraccarico biomeccanico del rachide (mmc)	NIOSH-VLI = 5,7	Molto alto	Supportare l'operatore con un ulteriore lavoratore o con un'attrezzatura ausiliaria in modo da evitare il sollevamento di ante di peso superiore ai 20 kg.	
Sovraccarico biomeccanico arti superiori	Checklist OCRA Dx = / Sx = /	Assente o Ininfluente*	/	* La valutazione del sovraccarico biomeccanico degli arti superiori per la postazione non soddisfa i criteri di analisi previsti dalla metodologia OCRA.
Postura del rachide	Indice Oper.AI 7,65/10	Accettabile*	/	* Sono stati riscontrati alcuni movimenti incongrui che, se correlati al sollevamento di un peso, aumentano la probabilità di infortunio.

(segue)

Operatore 1 **(49 anni - M)**	**Risultati**	**Rischio**	**Interventi**	**Note**
Carico di lavoro percepito	NASA-TLX 79,67/100	Medio*	Intervista al lavoratore per individuare gli aspetti critici dell'attività lavorativa.	*I fattori maggiormente influenti sono l'impegno necessario per portare a termine i compiti e il carico di lavoro mentale richiesto per svolgere l'attività.
Carico di lavoro fisico	Indice Oper.AI 10/10	Accettabile	/	
Carico di lavoro mentale	I parametri fisiologici osservati hanno subito delle leggere variazioni dovute al carico di lavoro mentale.	Molto lieve*	Ripetere l'analisi effettuata con i dispositivi wearable aumentando il tempo di campionamento per osservare se vengono rilevati valori allarmanti per la salute del lavoratore.	*Non sono stati rilevati valori allarmanti per la salute del lavoratore.

Tabella 4 - *Riepilogo dei risultati ottenuti dalle valutazioni fatte nella postazione (FA).*

Nella seconda postazione osservata (AS) è stato evidenziato un rischio molto lieve da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori, dovuto principalmente alla frequenza elevata di azioni ripetitive svolte durante l'assemblaggio dei cassetti. La postura della schiena dell'operatore è risultata nel complesso buona anche se sono stati riscontrati alcuni movimenti incongrui che, correlati al

sollevamento di un peso, aumentano la probabilità di infortunio. Non sono stati invece osservati rischi rilevanti per il sovraccarico biomeccanico del rachide. Inoltre, nonostante l'attività sia prettamente fisica, il complesso delle azioni e delle attività svolte durante l'orario di lavoro sono risultate idonee e proporzionate alle caratteristiche dell'operatore. Infine, per quanto riguarda l'ergonomia cognitiva, il risultato del questionario NASA-TLX ha evidenziato una presenza non eccessiva di carico di lavoro mentale, aspetto confermato anche dai risultati ottenuti tramite dispositivi wearable.

Operatore 2 **(37 anni - M)**	**Risultati**	**Rischio**	**Interventi**	**Note**
Sovraccarico biomeccanico del rachide (mmc)	NIOSH-VLI = 0,7	Accettabile	/	
Sovraccarico biomeccanico arti superiori	Checklist OCRA Dx = 7,98 Sx = 9,98	Molto lieve	Aumentare il tempo di recupero (+ pause) e/o modificare il layout della postazione andando a ridurre la frequenza di azioni svolte dal lavoratore.	

(segue)

Operatore 2 **(37 anni - M)**	**Risultati**	**Rischio**	**Interventi**	**Note**
Postura del rachide	Indice Oper.AI 8,32/10	Accettabile*	/	* Sono stati riscontrati alcuni movimenti incongrui che, se correlati al sollevamento di un peso, aumentano la probabilità di infortunio.
Carico di lavoro percepito	NASA-TLX 60/100	Accettabile*	/	* I fattori maggiormente influenti sono la rapidità dei tempi di lavoro e il carico di lavoro fisico richiesto per svolgere l'attività.
Carico di lavoro fisico	Indice Oper.AI 8,84/10	Accettabile	/	
Carico di lavoro mentale	I parametri fisiologici osservati non hanno subito variazioni dovute al carico di lavoro mentale.	Accettabile	/	

Tabella 5 - *Riepilogo dei risultati ottenuti dalle valutazioni fatte nella postazione (AC).*

In conclusione è possibile sostenere che l'utilizzo dei dispositivi wearable nel processo di valutazione dei rischi ergonomici porterà a vantaggi concreti sia per i lavoratori (incrementando gli interventi mirati alla tutela della salute), sia per le aziende (incrementando l'efficienza produttiva delle postazioni lavorative).

Il caso studio effettuato ha dimostrato come l'applicazione di queste nuove tecnologie renda la valutazione dei rischi ergonomici più esaustiva e i risultati più rappresentativi delle reali condizioni lavorative.

Attualmente i dispositivi indossabili non sono in grado di sostituire completamente i tradizionali strumenti di valutazione dei rischi (NIOSH, SNOOK CIRIELLO, OCRA, REBA e NASA TLX) ma attraverso l'evoluzione tecnologica e scientifica potranno diventare strumenti altamente affidabili in grado di determinare istantaneamente la presenza di un rischio per il lavoratore evitando così possibili infortuni o malattie professionali.

Infine, è importante tenere in considerazione che le future applicazioni dei wearable devices non si limiteranno soltanto alla valutazione dei rischi ergonomici, ma saranno utili anche per il tracciamento della posizione del lavoratore in caso di malore o in situazioni di pericolo (es. incendi), per informare e allertare il lavoratore della presenza di eventuali rischi per la salute e per il monitoraggio del livello di esposizione del lavoratore ad agenti chimici o

fisici. Pertanto, risulterà sempre più importante la collaborazione efficace tra le varie figure professionali (tecnici della prevenzione, medici, ingegneri, igienisti industriali, ergonomi ecc.) per far sì che i dispositivi wearable diventino uno strumento positivo di tutela e non un rischio aggiuntivo per la salute dei lavoratori. Solo operando insieme sinergicamente, si possono raggiungere ottimi risultati aziendali e importanti benefici per la salute e la sicurezza dei lavoratori.

Bibliografia

Astrand. P. O., Rodhal K., (1977) *Textbook of Work Physiology, McGraw-Hill.*

Bagnara S. e Pozzi S., (2011) *Lo sviluppo di strategie per la gestione dello stress nel nuovo lavoro.*

Battevi N., Pandolfi M., Cortinovis I., (2016) *Variable Lifting Index for Manual-Lifting Risk Assessment. Human Factors.*

Bentivoglio A. R., Susan B., Bressman, Emanuele Cassetta, Donatella Carretta, Pietro Tonali, Dr. Alberto Albanese, (2004) *Analysis of blink rate patterns in normal subjects.*

Bonazzi G., (1986) *Fenomenologia e analisi organizzativa: "i sistemi di senso come criterio tipologico", Studi organizzativi.*

Borg G., (1978) *Subjective Effort in Relation to Physical Performance and Working Capacity. In: Pick H.L., Leibowitz H.W., Singer J.E., Steinschneider A., Stevenson H.W. (eds) Psychology: From Research to Practice. Springer, Boston.*

Causse M, et al., (2010) *Monitoring Cognitive and Emotional Processes Through Pupil and Cardiac Response During Dynamic Versus Logical Task. Applied Psychophysiology and Biofeedback 35 (2),115-123.*

Colombini D., (1998) *An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. Ergonomics. 41, 1261-89.*

Colombini D., Occhipinti E., Alvarez E., Hernandez A. V., Waters T., (2009) *Procedures for collecting and organizing data useful for the analysis of variable lifting tasks and for computing the VLI. IEA World Conference, Beijing, China.*

Decreto Legislativo n. 81, (2008) *"Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro".*

Decreto Legislativo n. 626, (1994) "*Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro".*

Di Nocera F., (2011) *Ergonomia cognitiva, Carocci editore, Collana: Dimensioni della psicologia.*

Direttiva 89/391/CEE "*Attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro".*

Düking P., Achtzehn S., Holmberg HC., Sperlich B., (2018) *Integrated Framework of Load Monitoring by a Combination of Smartphone Applications, Wearables and Point-of-Care Testing Provides Feedback that Allows Individual Responsive Adjustments to Activities of Daily Living. Sensors (Basel).*

EN 1005, (2009) *"Safety of machinery - Human physical performance".*

Facchini, (1995) *Antropologia. Evoluzione, Uomo e Ambiente. UTET Libreria, Torino.*

Hignett S., McAtamney L., (2000) *Rapid entire body assessment reba (REBA).*

ISO 6385, (1981) *"Principi ergonomici nel progetto di sistemi di lavoro".*

ISO 11226, (2019) *"Valutazione delle posture di lavoro statiche".*

ISO 45001, (2018) *"Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use".*

ISO/TR 12295, (2014) *Ergonomics - Application document for International Standards on manual handling (ISO 11228-1, ISO 11228-2 and ISO 11228-3) and evaluation of static working postures (ISO 11226).*

Lindh W.Q., Pooler M., Tamparo C., Dahl B.M., (2009) *Delmar's Comprehensive Medical Assisting: Administrative and Clinical Competencies. Cengage Learning, p. 573.*

Massimo Rodà, Francesca G.M. Sica, (2020) *L'economia della terza età: consumi, ricchezza e nuove opportunità per le imprese, NOTA DAL CSC 02/20.*

Mayo, (1933)*The Human Problems of an Industrialized Civilization*.

Occhipinti E., Colombini D., (2004) *The OCRA Method: Updating of reference values and prediction models of occurrence of work-related musculo-skeletal diseases of the upper limbs (UL-WMSDs) in working populations exposed to repetitive movements and exertions of the upper limbs. La Medicina del lavoro. 95, 305-19.*

Papetti A., Gregori F., Pandolfi M., Peruzzini M., Germani M., (2018) *IoT to Enable Social Sustainability in Manufacturing Systems. Advances in Transdisciplinary Engineering 7, 53-62.*

Pheasant S., (1986) *Bodyspace – Anthropometry, Ergonomics and Design. Taylor & Francis, London.*

Report EU-OSHA, (2017) *Foresight on new and emerging occupational safety and health risks associated with digitalisation by 2025, European Risk Observatory, Luxembourg.*

Rivecourt M, et al., (2008) *Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. Ergonomics 51 (9), 1295-1319.*

Rohmert W., (1987) *Physiological and psychological workload measurement and analysis, Handbook of Human Factors, Wiley & Sons.*

Sandra G., Hart, (2006) *Nasa-task load index (nasa-tlx); 20 years later, NASA-Ames Research Center Moffett Field, CA.*

Scafà M., Papetti A., Brunzini A., Germani M., (2019) *How to improve worker's well-being and productivity: a method to identify corrective actions. Procedia CIRP, 81, 162-167.*

Scherrer, (1981) *Manuale di fisiologia del lavoro, Ed Masson.*

Tosi F., (2000) *Progettazione ergonomica, metodi strumenti, riferimenti normativi e criteri di intervento. Il Sole24ore, Milano.*

Tosi F. et altri, (2016) *La professione dell'ergonomo. Nella progettazione dell'ambiente, dei prodotti e dell'organizzazione, Franco Angeli, Milano.*

UNI EN 547-1, (2009) *"Sicurezza del macchinario - Misure del corpo umano - Parte 1: Principi per la determinazione delle dimensioni richieste per le aperture per l'accesso di tutto il corpo nel macchinario".*

UNI EN 547-3 (2009) *"Sicurezza del macchinario - Misure del corpo umano - Parte 3: Dati antropometrici".*

UNI EN 614-1, (1997) *"Principi ergonomici di progettazione, terminologie e principi generali"*.

UNI EN 614-2 (2002) *"Principi di progettazione ergonomici: interazione tra progettazione di macchinari e attività lavorativa"*.

UNI EN ISO 7250-1, (2017) *"Misurazioni di base del corpo umano per la progettazione tecnologica - Parte 1: Definizioni delle misurazioni del corpo umano e luoghi"*.

UNI EN ISO 9241, (2018) *"Ergonomia dell'interazione uomo-sistema"*.

UNI EN ISO 10075-1, (2018) *"Principi ergonomici relativi al carico di lavoro mentale - Parte 1: Principi e concetti generali, termini e definizioni"*.

UNI EN ISO 10075-2, (2002) *"Principi ergonomici relativi al carico di lavoro mentale - Principi di progettazione"*.

UNI EN ISO 10075-3, (2005) *"Principi ergonomici relativi al carico di lavoro mentale - Parte 3: Principi e requisiti riguardanti i metodi per la misurazione e la valutazione del carico di lavoro mentale"*.

UNI ISO 11228-1, (2009) *Ergonomia - Movimentazione manuale - Parte 1: Sollevamento e trasporto.*

UNI ISO 11228-2, (2009) *"Ergonomia - Movimentazione manuale - Parte 2: Spinta e traino".*

UNI ISO 11228-3, (2009) *"Ergonomia - Movimentazione manuale - Parte 3: Movimentazione di bassi carichi ad alta frequenza".*

Vella G., (2008) *Ergonomia del Sistema Posturale, Fabbrica del terzo millennio, Marrapese.*

Veltman, Gaillard, (1996) *Physiological indices of workload in a simulated flight task. Ergonomics 41 (5), 656-669.*

Waters T. R., Baron S. L., Piacitelli L. A., Putz-Anderson V., Skov T., HaringSweeney M., Wall D. K., Fine L. J., (1999) *Evaluation of the Revised NIOSH Lifting Equation: A cross-sectional epidemiological study. Spine, 24, 386-394.*

Waters T. R., Lu M. L., Piacitelli L. A., Werren D., Deddens J. A., (2011) *Efficacy of the Revised NIOSH Lifting Equation to predict risk of low back pain due to manual lifting: Expanded cross-sectional analysis. Journal of Occupational Environmental Medicine, 53, 1061–1067.*

Waters T. R., Occhipinti E., Colombini D., Alvarez-Casado E., Fox, R., (2015) *Variable lifting index (VLI): A new method for evaluating variable lifting tasks. Human Factors. Advance online publication.*

Waters T. R., Putz-Anderson V., & Garg, A., (1994) *Applications manual for the Revised NIOSH Lifting Equation (Pub. No.94-110). Washington, DC: National Institute for Occupational Safety and Health, Department of Health and Human Services.*

Wickens, Christopher D., (1984) *Processing Resources in Attention, in Varieties of Attention, Raja Parasuraman and D.R. Davies, New York.*

Wyatt S., Fraser J., Stock F.G., (1929) *The effect of monotony in work, Industrial Fatigue Research Board, London.*

Sitografia

AIFOS - Associazione Italiana Formatori ed Operatori della Sicurezza sul lavoro: https://aifos.org/

EU-OSHA - Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro: https://osha.europa.eu/it

INAIL - Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro: https://www.inail.it/cs/internet/attivita/prevenzione-e-sicurezza/conoscere-il-rischio/ergonomia.html

INAIL - Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro: https://www.inail.it/cs/internet/docs/allegato-1-b-linee-guida-lombardia-pdf.pdf?section=attivita

UNI - Ente Italiano di Normazione: https://www.uni.com/