



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

DIPARTIMENTO DI AREA MEDICA

CORSO DI LAUREA INTERATENEO

TECNICHE DELLA PREVENZIONE NELL'AMBIENTE E NEI LUOGHI DI LAVORO

TESI DI LAUREA

**UTILIZZO DI UNA TECNOLOGIA INDOSSABILE PER LA VALUTAZIONE
DEL RISCHIO DA SOVRACCARICO BIOMECCANICO: CASO STUDIO IN
AMBITO INDUSTRIALE**

RELATORE:
DOTT. MICHELE BORDIGNON

LAUREANDO:
NICOLÒ CAPPELLO

CORRELATORE:
ING. FABIO DAL MAGRO

ANNO ACCADEMICO 2022 / 2023

Sommario

1) Premessa	1
2) Introduzione	3
2.1) Analisi del contesto.....	3
2.2) Normativa di riferimento	7
2.3) Norme tecniche per la valutazione dei rischi	11
3) Elettromiografia di superficie	21
4) Parte sperimentale	24
4.1) Obiettivo	24
4.2.1) Materiali.....	25
4.2.2) Metodi.....	34
5) Descrizione del contesto aziendale.....	43
6) Risultati e discussione	44
7) Conclusioni	61
8) Bibliografia.....	62
8.1) Documenti Istituzionali.....	62
8.2) Sitografia.....	62
8.3) Articoli e Studi	63
5) ALLEGATI.....	64
ALLEGATO I: Risultati tabellati.....	64
ALLEGATO II: Valori di normalizzazione	66
ALLEGATO III: Legenda sigle	67
ALLEGATO IV: Album fotografico	68
10) Ringraziamenti.....	69

1) Premessa

Il sistema muscolare scheletrico è l'insieme delle componenti deputate al movimento che, di fatto, è permesso dalla contrazione muscolare. La contrazione avviene nel momento in cui le fibre che costituiscono il muscolo, in seguito ad uno stimolo nervoso, scorrono le une sulle altre generando una forza tale da permettere il movimento del corpo o di una sua parte (articolazione).

L'elettromiografia di superficie (EMGs) è una tecnica non invasiva di valutazione dell'attività elettrica dei muscoli che utilizza elettrodi posizionati sulla superficie della cute in punti specifici, indicati dal sistema SENIAM, in funzione del muscolo di interesse.

Gli elettrodi registrano l'attività elettrica prodotta dai muscoli durante il loro funzionamento che raggiunge la cute e, può fornire informazioni su diversi aspetti dell'attività muscolare (es. l'attivazione muscolare, l'intensità del potenziale d'azione, il tempo di contrazione e rilassamento, la coordinazione muscolare e la simmetria muscolare). Questa tecnica può essere utilizzata in diversi contesti, tra cui la riabilitazione, l'analisi del movimento, l'ergonomia e la ricerca scientifica.

Tuttavia, è importante notare che l'elettromiografia di superficie ha alcune limitazioni in quanto, rilevando il potenziale d'azione che raggiunge la cute, non può registrare l'attività elettrica dei muscoli profondi con la stessa precisione dell'elettromiografia ad ago (una tecnica invasiva in cui gli elettrodi vengono inseriti direttamente nel muscolo). Inoltre, l'elettromiografia di superficie può essere influenzata da fattori come la posizione degli elettrodi, lo spessore del tessuto adiposo sottocutaneo e l'interferenza di segnali esterni. In conclusione, l'elettromiografia di superficie è una tecnica di valutazione dell'attività muscolare ampiamente utilizzata per valutare la funzione muscolare, sebbene presenti alcune limitazioni che devono essere opportunamente valutate e gestite.

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è quello di fornire elementi conoscitivi utili ad indirizzare la valutazione dei rischi da sovraccarico biomeccanico mediante l'utilizzo di un'apparecchiatura indossabile con elettrodi inseriti nel tessuto. Essa è dotata di sensori elettromiografici di superficie che consentono la raccolta di dati durante le operazioni di movimentazione dei carichi all'interno di un contesto aziendale industriale.

La movimentazione manuale dei carichi è un'attività che comporta rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori che possono includere traumi al sistema muscoloscheletrico con particolare riferimento al rachide (lombalgia, affaticamento generale ecc). Attualmente, la valutazione dei rischi utilizza gli algoritmi previsti dalle norme tecniche (ISO 41228-1) e, pertanto, è di natura essenzialmente osservazionale (rilevazione carichi, geometria delle movimentazioni, sforzo fisico richiesto ecc).

La rilevazione del segnale elettromiografico può fornire elementi utili, in quanto consente di analizzare quali distretti muscolari vengono maggiormente attivati durante l'attività e con quale intensità. Questo aspetto consente di avere maggior informazioni su come un lavoratore effettua l'azione di movimentazione in modo da migliorare, per quanto possibile, anche la percezione corporea dei soggetti. Nel presente lavoro di tesi sono stati generati dei report riassuntivi sui principali aspetti di interesse (picchi di attivazione rispetto ad un valore di riferimento, livelli di attivazione rapportati all'intera attività lavorativa ecc.) attraverso la creazione di specifici tools adattati alle dotazioni in uso (maglietta personalizzata e cintura lombare).

2) Introduzione

2.1) Analisi del contesto

L'apparato locomotore svolge un vero e proprio lavoro meccanico durante l'effettuazione del movimento, e quindi, viene sottoposto ad uno sforzo biomeccanico di diverso tipo ed intensità in funzione delle caratteristiche dell'attività. L'analisi del movimento finalizzata all'effettuazione della valutazione del rischio ha lo scopo di limitare le condizioni di criticità che, anche se possono essere compensate con determinate misure, possono comportare situazioni di sovraccarico.

I principali outcome di salute connesse con l'attività di movimentazione manuale dei carichi sono l'infortunio sul lavoro¹ (evento acuto) e la malattia professionale² (evento cronico).

Nel 2022, le denunce di infortuni sul lavoro presentate all'Inail sono state 697.773, in aumento del 25,7% rispetto al 2021, del 25,9% rispetto al 2020 e dell'8,7% rispetto al 2019. I dati rilevati in ciascun anno evidenziano, a livello nazionale, un incremento sia dei casi avvenuti durante l'attività lavorativa sia di quelli avvenuti in itinere (occorsi cioè nel tragitto di andata o di ritorno tra l'abitazione e il posto di lavoro). Resta da considerare l'influenza della pandemia Covid 19 nel periodo del 2020/2021.

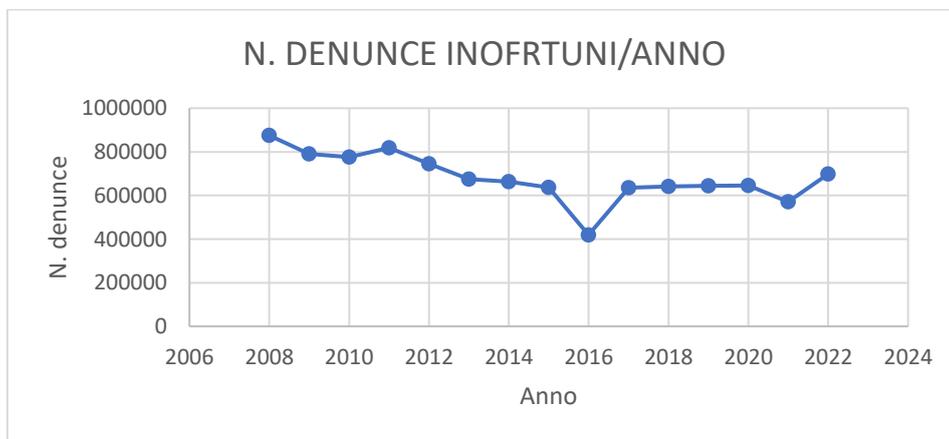


Figura 1: INAIL - Casi di infortuni sul lavoro denunciati

L'aumento dei casi infortunistici è più marcato nelle lavoratrici, che registrano un incremento del 42,9% (da 200.557 a 286.522 denunce), rispetto ai lavoratori, che presentano un incremento del 16,0% (da 354.679 a 422.251 denunce).

In riferimento ai casi di infortuni sul lavoro dovuti ad attività di movimentazione, come riportato dall'Inail, dal 1953 si può notare un notevole aumento degli eventi infortunistici ragionevolmente riconducibile alla crescita della richiesta produttiva all'interno delle fabbriche, il conseguente utilizzo

¹ Ogni lesione originata, in occasione di lavoro, da causa violenta che determini la morte della persona o ne menomi parzialmente o totalmente la capacità lavorativa.

² Qualsiasi stato morboso che possa essere posto in rapporto causale con lo svolgimento di una qualsiasi attività lavorativa

sempre più esteso di macchinari e attrezzature, nonché all'aumento della sensibilità sul tema che ha consentito l'avvio del sistema di raccolta e di gestione dei casi.

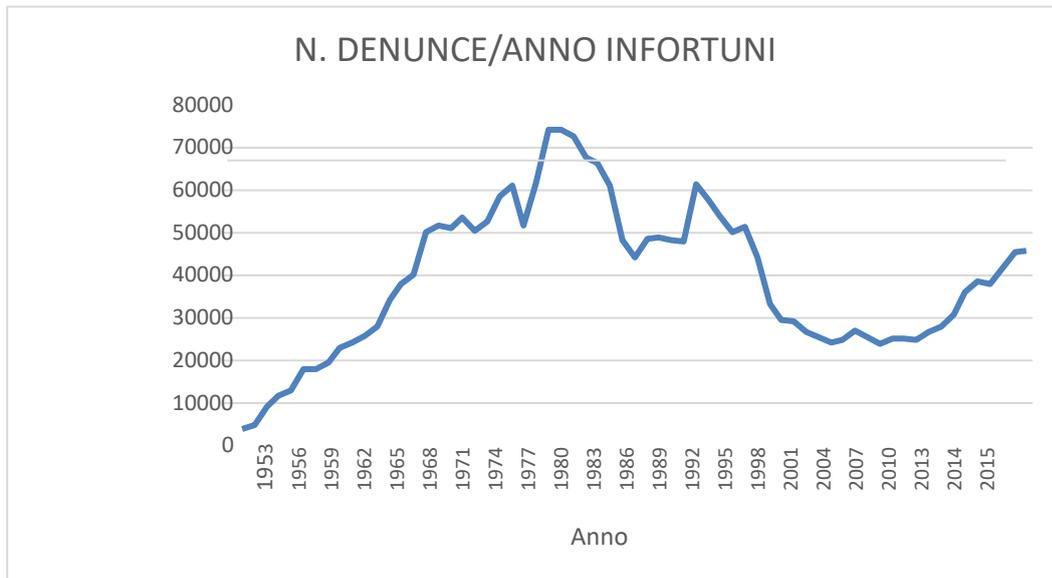


Figura 2: INAIL - Casi di infortuni sul lavoro causati da sovraccarico biomeccanico denunciati Industria e servizi

Come dimostra la Figura 1, dal 1953 agli anni '80 c'è stato un aumento significativo del numero di infortuni dovuti al sovraccarico biomeccanico. Successivamente è stato registrato un decremento nel numero assoluto di casi infortunistici, che si è invertito nell'ultimo decennio, anche in virtù di modifiche sulle normative legate alle patologie dovute al sovraccarico biomeccanico. Nel caso degli infortuni, i disturbi muscolo scheletrici sono causati da periodi di esposizione relativamente brevi ma verosimilmente intensi. Il sovraccarico biomeccanico è una condizione di rischio molto diffusa che si presenta in diversi contesti lavorativi e può generare una molteplicità di patologie associate, prevalentemente all'apparato muscolo – scheletrico, nervoso e tendineo.

In questo caso, il rischio da sovraccarico biomeccanico non è determinato da un singolo fenomeno espositivo ma dalla somma di tanti microtraumi che con il passare del tempo compromettono i tessuti e che portano al manifestarsi vero e proprio della patologia.

I principali fattori di rischio del Sovraccarico Biomeccanico sono:

- Impegno e sforzo eccessivo di strutture articolari, tendinee e muscolari, determinato dallo spostamento, sollevamento e trasporto manuale di oggetti pesanti;
- Impegno continuativo nel mantenere posture fisse incongrue;
- Presenza di movimenti ripetitivi degli arti superiori come per esempio: lavoro all'esterno e fattori complementari di rischio;
- Carenza di periodi di recupero;
- Altri fattori ambientali ed organizzativi;

La movimentazione manuale dei carichi ha come target prevalente la zona lombare, mentre le posture fisse incongrue possono incidere nei vari distretti del rachide (cervicale, dorsale e lombare).

La presenza di movimentazioni ripetitive configura un rischio prevalentemente a carico degli arti superiori e specificamente per le strutture della mano e dell'avambraccio. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle patologie più comuni rispetto ai vari distretti corporei:

ZONA CORPOREA INTERESSATA	PATOLOGIE PIU' COMUNI
RACHIDE	Artrosi Ernia del disco Lombalgia acuta
SPALLA	Tendinopatie della cuffia dei rotatori Periartrite calcifica Tendinopatie del capo lungo del bicipite Borsite Artrosi
GOMITO/AVAMBRACCIO	Epicondilite laterale/mediale Sindrome del tunnel cubitale Tendinopatia dell'inserzione distale de tricipite
POLSO/MANO/DITA	Sindrome del tunnel carpale Sindrome del canale di Guyon Tendiniti/tenosinoviti Malattia di De Quervain Dito a scatto
PATOLOGIE ARTI INFERIORI	Patologie degenerative del ginocchio Patologia del tendine di Achille Distorsioni alla caviglia

Tabella 1: Patologie correlate alla movimentazione manuale dei carichi

Tra tutte le patologie che si possono correlare ai sovraccarichi biomeccanici, la ben nota sindrome del tunnel carpale risulta tuttora la più presente, insieme alle patologie croniche della colonna vertebrale. Episodi acuti di lombalgia sono spesso causa di infortuni sul lavoro e ripetuti episodi acuti possono degenerare nel tempo in problemi cronici; le statistiche ufficiali ISTAT affermano che le affezioni croniche sono le più diffuse, mentre al secondo posto tra le cause di invalidità civile si trovano patologie acute del rachide.

Nell'allegato XXXIII del D.Lgs. 81/08, viene precisato che la prevenzione del rischio di patologie da sovraccarico biomeccanico, connesse alle attività lavorative di movimentazione manuale dei carichi dovrà considerare, in modo integrato, il complesso degli elementi di riferimento e dei fattori individuali di rischio:

- **Caratteristiche del carico:** nel caso in cui esso sia caratterizzato da un peso elevato, di difficile manipolazione, quando il contenuto si sposta, collocato in una posizione in cui deve essere maneggiato a una certa distanza dal tronco, causare lesioni al lavoratore in caso di urto
- **Sforzo fisico richiesto:** lo sforzo fisico può presentare rischi di patologie da sovraccarico biomeccanico nei casi in cui lo sforzo è eccessivo, nel momento in cui può essere effettuato solamente con un movimento di torsione del tronco, è compiuto in posizione instabile.
- **Caratteristiche dell'ambiente di lavoro:** esse possono aumentare le possibilità di rischio di patologie da sovraccarico biomeccanico, in particolare dorso - lombari nei seguenti casi:
 - Lo spazio libero verticale è insufficiente per lo svolgimento dell'attività richiesta
 - Il pavimento presenta rischi d' inciampo o scivolamento
 - Il posto di lavoro non permette una MMC a un'altezza di sicurezza o in una buona posizione
 - Pavimentazione presenta dislivelli
 - Temperatura, umidità e ventilazione inadeguate
- **Esigenze connesse all'attività:** sforzi fisici che sollecitano in particolare la colonna vertebrale, troppo frequenti o troppo prolungati, pause e periodi di recupero fisiologici insufficienti, distanze troppo grandi di sollevamento, di abbassamento o di trasporto; un ritmo impostato da un processo che non può essere modulato dal lavoratore
- **Fattori individuali di rischio:** inidoneità fisica a svolgere una determinata mansione tenuto conto delle differenze di genere e di età, indumenti, calzature o altri effetti personali inadeguati portati dal lavoratore, insufficienza o inadeguatezza delle conoscenze o della formazione o dell'addestramento.

2.2) Normativa di riferimento

DECRETO LEGISLATIVO 9 APRILE 2008 n.81 “Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro”

Il testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro è un complesso di norme della Repubblica Italiana, in materia di salute e sicurezza sul lavoro, emanate con il decreto legislativo del 9 aprile 2008, n. 81. Il D.Lgs. 81/2008 propone un sistema di gestione della sicurezza e della salute in ambito lavorativo preventivo e permanente, attraverso:

- l'individuazione dei fattori e delle sorgenti di rischio;
- la riduzione, che deve tendere al minimo del rischio, cioè al così detto "rischio residuo";
- il continuo controllo delle misure preventive messe in atto;
- l'elaborazione di una strategia aziendale che comprenda tutti i fattori di un'organizzazione

Inoltre, secondo l'art.17 co.1 lett.a del D.Lgs. 81/2008 il datore di lavoro ha l'obbligo, non delegabile, di valutare tutti i rischi per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro e, conseguentemente, provvedere alla stesura del documento di valutazione dei rischi (DVR). Riferendosi agli obblighi del datore di lavoro e del dirigente, dall'art.18 co.1 lett.z del D.Lgs. 81/2008 è previsto che essi s'impegnino ad aggiornare le misure di prevenzione in relazione ai mutamenti organizzativi e produttivi che hanno rilevanza ai fini della salute e sicurezza del lavoro, o in relazione al grado di evoluzione della tecnica della prevenzione e della protezione.

Per quanto concerne la normativa d'interesse per il presente lavoro di tesi, il Testo Unico per la sicurezza sul lavoro dedica il Titolo VI alla Movimentazione Manuale dei Carichi (MMC), con lo scopo di ridurre le condizioni di sovraccarico biomeccanico.

Ai sensi dell'art.168, commi 1 e 2 il datore di lavoro adotta idonee misure per evitare la necessità di ricorrere alla movimentazione manuale dei carichi da parte dei lavoratori.

Qualora ciò non sia possibile, il datore di lavoro adotta misure tecniche, organizzative o procedurali allo scopo di ridurre il rischio connesso con la movimentazione manuale dei carichi, tenendo conto delle indicazioni riportate nell'ALLEGATO XXXIII, in particolare:

- organizza i posti di e assicura idonee condizioni di sicurezza;
- evita o riduce i rischi, particolarmente di patologie dorso-lombari, adottando le misure adeguate, tenendo conto dei fattori individuali di rischio, delle caratteristiche dell'ambiente di lavoro e delle esigenze che tale attività comporta;
- sottopone i lavoratori alla sorveglianza sanitaria di cui all'articolo 41, sulla base della

valutazione del rischio e dei fattori individuali di rischio.

Il datore di lavoro, rischio nell'effettuazione della valutazione dei rischi, deve fare riferimento alle norme tecniche della serie UNI EN ISO 11128 – (1-2-3) o alle buone prassi/linee guida nei casi che esulano dal campo di applicazione delle norme. Nello specifico, l'ALLEGATO XXXIII contiene gli elementi ai quali è opportuno attenersi durante la valutazione del rischio derivante da MMC e sovraccarico biomeccanico, in particolare:

1. Caratteristiche del carico;
2. Sforzo fisico richiesto;
3. Caratteristiche dell'ambiente di lavoro;
4. Esigenze connesse all'attività;
5. Fattori individuali di rischio;

La meccanizzazione o automazione, dei processi lavorativi di sollevamento e/o trasporto carichi è la soluzione da privilegiare per eliminare/ridurre il rischio correlato alla movimentazione manuale dei carichi.

In particolare, per mitigare il rischio a carico della colonna vertebrale si consiglia l'utilizzo di attrezzature meccaniche manuali (carrelli, transpallet), o motorizzate (carrelli elevatori, manipolatori industriali o altri apparecchi di sollevamento). La scelta dei carrelli per il trasporto di carichi su piani orizzontali dovrà essere conforme alla tipologia ed al peso del carico stesso. Inoltre, per quanto riguarda i carrelli manuali e i transpallet, è da ricordare che la movimentazione dell'attrezzatura da parte del lavoratore viene eseguita manualmente, e pertanto, comporta la permanenza di un rischio residuo connesso alle attività di traino/spinta. Si sottolinea che l'elaborazione di idonee procedure e l'attuazione dei comportamenti corretti da parte dei lavoratori durante i processi lavorativi sono un elemento fondamentale per il mantenimento costante del livello di sicurezza.

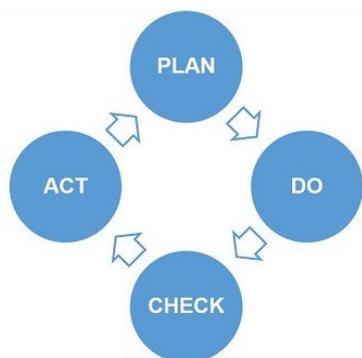
I comportamenti corretti da attuare durante le fasi di lavoro a rischio sono trasmessi ai lavoratori tramite l'informazione, la formazione e l'addestramento, che costituiscono processi fondamentali in una logica di prevenzione.

È inoltre, necessario organizzare gli spazi e gli arredi in modo tale che gli spostamenti avvengano in ambienti adeguati (urti contro ostacoli, scivolamenti o cadute del carico e/o del lavoratore).

La valutazione dei rischi consiste nella mappatura o rilevazione dei pericoli per la salute e sicurezza nel luogo di lavoro ai quali i lavoratori sono esposti. Il processo di valutazione dei rischi può essere suddiviso nelle diverse fasi fondamentali:

- Individuazione dei pericoli;
- Valutazione dei pericoli per determinare il livello di rischio;
- Individuazione delle misure di prevenzione e protezione per l'abbattimento dei rischi fino ad un livello residuale nel rispetto delle misure generali di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro (Art. 15 D.Lgs. 81/08)
- Attuazione delle misure
- Monitoraggio e revisione

Il ciclo Deming o ciclo PDCA (Plan, Do, Check e Act), è un metodo di gestione, applicabile anche ai processi in materia di Regolamento CE n. 882/04, che consente di attuare una strategia di miglioramento continuo, facilitando così la risoluzione dei problemi in modo strutturato e sistematico. Questa procedura è composta da quattro fasi fondamentali: pianificazione, esecuzione, controllo e revisione. Il ciclo di Deming viene normalmente rappresentato con una ruota, in quanto concepito come un processo circolare reiterato.



Nell'ambito della salute e della sicurezza sul lavoro, lo scopo è quello di ridurre al minimo il rischio di infortuni, malattie ed incidenti sul lavoro, dimostrando di aver monitorato i rischi, analizzando a fondo le caratteristiche aziendali e individuando tutti gli elementi che influenzano la salute e la sicurezza interna all'impresa.

Figura 3: Ciclo di Deming o PDCA

Per quanto riguarda i metodi di valutazione dei rischi riconosciuti per valutare i rischi da sovraccarico biomeccanico, i metodi principali possono essere:

METODO	DESCRIZIONE
NIOSH	È un metodo volto alla valutazione delle azioni di sollevamento manuale dei carichi, in particolare per ogni azione di sollevamento il metodo è in grado di determinare il cosiddetto peso limite raccomandato.
STRAIN INDEX	Permette di calcolare l'indice di rischio tramite la raccolta dei seguenti dati: intensità e durata dello sforzo, frequenza di azione, postura, ritmo di lavoro e durata del compito
MAPO	È un metodo che si propone di determinare un indicatore sintetico, sulla base della valutazione di una serie di fattori di rischio specifici nella movimentazione dei pazienti.
SNOOK/CIRIELLO	Sono dei metodi per la valutazione del rischio in riferimento al trasporto in piano, al traino e alla spinta dei carichi così come indicato nella norma ISO 11228-2 ³
OCRA	OCupational Repetitive Action è un metodo di valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico determinato dallo svolgimento di movimenti ripetuti degli arti superiori.
OWAS	È un metodo per la valutazione del carico posturale, basato su una classificazione semplice e sistematica delle posture di lavoro con osservazione dei compiti lavorativi

Tabella 2: Metodi per la valutazione dei rischi da sovraccarico biomeccanico

³ ISO 11128 – 2 “Pushing and Pulling”

2.3) Norme tecniche per la valutazione dei rischi

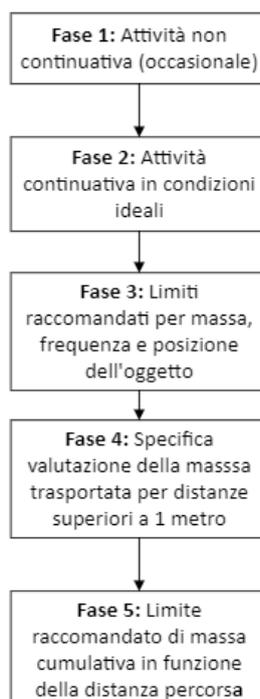
Le tre norme tecniche della serie UNI ISO 11228, “Ergonomics – Manual handling”, sono dedicate rispettivamente alle attività di sollevamento e trasporto manuale (Parte 1), alle attività di spinta e traino manuale (Parte 2) ed alla movimentazione di bassi carichi ad alta frequenza (Parte 3).

ISO 11228 – 1 “*Lifting, Lowering and Carrying*” (“sollevamento e trasporto manuale”)

La Parte 1 specifica i limiti raccomandati per il sollevamento e il trasporto manuale di oggetti, prendendo in considerazione una serie di variabili (es. l’intensità, la frequenza, la durata del compito ecc.), alle quali vengono attribuiti dei punteggi che consentono di giungere ad una valutazione dei rischi per la dei lavoratori. La norma adotta un approccio procedurale per fasi successive di valutazione con livello di dettaglio incrementale. Inoltre, in specifiche appendici è fornita una guida pratica all’organizzazione ergonomica dell’attività di movimentazione manuale.

La metodologia di valutazione si applica a movimentazioni manuali di oggetti con una massa di 3 kg o superiore, caratterizzate da velocità di cammino moderate (da 0,5 ad 1 m/s) e risulta valida per movimentazioni che occupano massimo 8 ore giornaliere, non prevedendo la possibilità di procedere all’analisi di compiti combinati in un turno.

Nel caso vengano superati i limiti raccomandati, vanno adottate misure idonee per evitare o limitare l’esecuzione manuale del compito, e nel caso in cui ciò non sia possibile, vanno rimodulate le modalità con cui il compito viene eseguito, in modo tale da soddisfare tutti i criteri del modello proposto, sono previste le seguenti cinque differenti fasi:



Fase 1 – Attività non continuativa (occasionale), per sollevamenti occasionali (frequenze inferiori a 1 atto ogni 5 minuti) si raccomanda di non superare i valori di m_{ref}^4 indicati in un prospetto riportato dalla norma, tenendo conto delle caratteristiche della popolazione di riferimento suddivisa per sesso ed età. In particolare, per i lavoratori di sesso maschile sono previsti limiti di massa movimentabile in condizioni ideali di 25 kg per i soggetti di età compresa fra 18 e 45 anni e di 20 kg per i giovani (di età < di 18 anni) o gli anziani (di età > di 45 anni). Per le lavoratrici i limiti di massa movimentabile, sempre in condizioni ideali, scendono, rispettivamente, a 20 kg per soggetti di età compresa tra 18 e 45 anni e 15 kg per le lavoratrici di età inferiore a 18 anni o superiore a 45 anni.

Fase 2 – Attività continuativa in condizioni ideali. In caso di movimentazione non occasionale e quindi ripetitiva, si deve tener conto non solo della massa, ma anche della frequenza, secondo quanto indicato nella norma. Sono ipotizzati due scenari, il primo dei quali per attività di breve durata e inferiori a 1 ora e il secondo per attività di media durata (tra 1 e 2 ore). La frequenza massima assoluta è pari a 15 sollevamenti al minuto per un'attività di movimentazione di durata non superiore ad 1 ora giornaliera e peso dell'oggetto non superiore a 7 kg. In condizioni ideali, con il rispetto della fase 1 o 2, la valutazione può considerarsi terminata ed il rischio risulta di entità accettabile; in caso contrario si procede con la fase 3.

Fase 3 – Limiti raccomandati per massa, frequenza e posizione dell'oggetto. Viene proposta l'applicazione dell'equazione RNLE (Revised NIOSH Lifting Equation), pubblicata dal NIOSH nel 1994 ed opportunamente modificata, sempre che risultino valide le seguenti condizioni:

- sollevamento a due mani, graduale e senza movimenti bruschi;
- non siano presenti compiti nei quali il lavoratore è supportato parzialmente;
- ampiezza dell'oggetto non superiore a 0,75 m;
- posture di sollevamento senza restrizioni;
- esistenza di buon accoppiamento sia nella presa che nell'appoggio al pavimento;
- condizioni ambientali favorevoli.

⁴ m_{ref} : è la massa di riferimento per il gruppo di popolazione identificato

Il limite per m^5 è ricavato grazie all'uso dell'equazione:

$$m \leq m_{ref} \times h m^6 \times v m^7 \times d m^8 \times a m^9 \times f m^{10} \times c m^{11}.$$

Se viene superato il limite raccomandato per la movimentazione in esame, ricavato dall'equazione sopra illustrata, allora si è in presenza di rischio e occorrerà procedere alla riprogettazione del compito.

All'interno della norma sono fornite le indicazioni per un approccio ergonomico alla rimozione o riduzione del rischio da movimentazione manuale dei carichi, considerando vari fattori quali la corretta progettazione della postazione di lavoro, un idoneo lay-out aziendale, un'adeguata organizzazione del lavoro.

LIFTING INDEX	LIVELLO DI ESPOSIZIONE	INTERVENTI
LI < 1	Rischio molto basso	Nessun intervento richiesto
1 < LI < 1,5	Rischio basso	Considerare tutti i fattori nella riprogettazione dei compiti e delle postazioni di lavoro per portare LI < 1
1,5 < LI < 2	Rischio moderato	Riprogettare i compiti ed i posti di lavoro secondo priorità
2 < LI < 3	Rischio alto	Riprogettare i compiti ed i posti di lavoro il più presto possibile
LI > 3	Rischio molto alto	Riprogettare i compiti e i posti di lavoro immediatamente

Fase 4 – Va effettuata una specifica valutazione della massa trasportata per distanze superiori a 1 metro. Considerando la condizione di trasporto fino a 10 m, il limite di massa cumulata trasportata manualmente è pari a 10.000 kg distribuiti in 8 ore di lavoro. Nel caso in cui la distanza superi 10 m, il limite si abbassa progressivamente.

Fase 5 – Limite raccomandato di massa cumulativa in funzione della distanza percorsa. I limiti raccomandati di massa cumulativa, rapportati alla frequenza di trasporto e alla distanza, sono riassunti nella norma. Ad esempio, una azione di trasporto al minuto, su di una distanza di 20 m, sottintende una massa cumulativa pari a 15 kg/min, 750 kg/h, oppure 6.000 kg/8h.

⁵ m: massa dell'oggetto sollevabile in condizioni ideali

⁶ hm: è il moltiplicatore di distanza orizzontale;

⁷ vm: è il moltiplicatore di posizione verticale;

⁸ dm: è il moltiplicatore di spostamento verticale;

⁹ am: è il moltiplicatore di asimmetria;

¹⁰ fm è il moltiplicatore della frequenza;

¹¹ cm: è il moltiplicatore per la qualità della presa

ISO 11228 – 2 “Pushing and Pulling” (“spinta e traino manuale”)

In linea di principio, la movimentazione manuale dei carichi, rappresentando un potenziale pericolo per i lavoratori, dovrebbe essere sempre evitata. Essa, entra in gioco nel momento in cui, non essendo possibile eliminare le fasi più gravose, sia necessario esaminare in modo approfondito i fattori che rendono rischiosa le attività di traino e spinta analizzando il protocollo di valutazione descritto nella norma è possibile qualificare e quantificare gli elementi che determinano il rischio per migliorare le condizioni operative legate alle attività di traino/spinta e consente di valutare e caratterizzare i rischi ad esse connessi.

Per quanto riguarda la fase di valutazione, la norma prevede la possibilità di utilizzare due metodi di analisi caratterizzati da diverso grado di approfondimento:

Metodo 1: Viene utilizzato per valutare in modo relativamente rapido i rischi connessi alle operazioni di spinta e traino di un oggetto. Sulla base dell’analisi condotta con una check list, si procede alla valutazione generale dei rischi connessi alle operazioni di traino e spinta, per le quali occorre conoscere:

1. L’altezza delle maniglie o del punto di applicazione della forza;
2. La distanza da percorrere;
3. L’entità della forza impiegata;
4. La sua frequenza di applicazione;
5. La composizione (maschile/femminile) della popolazione lavorativa;

Il confronto tra i valori di forza (iniziale e di mantenimento) misurati con un dinamometro e quelli ricavati dalle “tabelle psicofisiche” di S. Snook e Ciriello determina l’ indice di rischio (IR¹²) che permette di classificare come “accettabile” o “inaccettabile” un compito di spinta o traino di un carico.

SNOOK E CIRIELLO	
IR = 0,75	Situazione accettabile, nessuno specifico intervento richiesto
0,76 < IR < 1,25	Situazione che si avvicina ai limiti, circa 10-20% della popolazione e si richiedono interventi anche se non immediati
IR > 1,25	Situazione che può comportare un rischio per una quantità rilevante di persone e richiede interventi preventivi primari
IR > 3	Situazione che richiede interventi preventivi immediati

¹² IR: Indice di rischio

Metodo 2: viene impiegato nei casi in cui il metodo 1 rilevi una condizione operativa “inaccettabile” dal punto di vista del sovraccarico biomeccanico; permette di calcolare i limiti di accettabilità basati sulla forza muscolare e sulla forza compressiva nella zona lombare. A partire da questi valori, si può calcolare il limite di sicurezza, determinato dal rapporto tra i valori di forza esercitata dall’operatore durante la spinta/traino, effettivamente misurati con il dinamometro e quelli individuati nelle tabelle.

La norma UNI ISO 11228-2 si basa in parte sul protocollo ideato da S. Snook e V. Ciriello, che si è dimostrato particolarmente valido nella valutazione dei rischi. I principali studi, basati su metodologie psicofisiche e sulla misura di alcuni parametri (consumo di ossigeno, frequenza cardiaca, caratteristiche antropometriche, ecc.), furono condotti al Liberty Mutual Research Institute for Safety. Negli esperimenti condotti, i soggetti esaminati potevano scegliere liberamente i carichi da movimentare, mentre tutte le altre variabili dei compiti di traino e spinta da svolgere, (quali l'altezza dell’impugnatura o delle maniglie, la distanza da percorrere, la frequenza delle operazioni, ecc.) erano decise dagli sperimentatori. I soggetti monitoravano le loro sensazioni di fatica e sforzo e la forza impiegata. I risultati di questi studi sono riassunti nelle cosiddette "tabelle psicofisiche", che forniscono importanti informazioni sulle capacità e sul carico limite che consentono di eseguire in sicurezza le operazioni di movimentazione manuale dei carichi. Alcune di queste tabelle furono successivamente utilizzate dal Niosh per mettere a punto il metodo di analisi per le azioni di sollevamento ed abbassamento. A tale proposito, occorre ricordare che lo step 5 previsto dalla norma UNI ISO 11228-1, utile nella valutazione del trasporto manuale di un carico sollevato tra i punti di origine e di destinazione dello stesso, si basa proprio sulle suddette tabelle. Nelle operazioni di traino e spinta occorre considerare in modo distinto la forza iniziale, che si applica per superare l’inerzia del carrello all’inizio del movimento e la forza di mantenimento, necessaria per sostenere il movimento dell’oggetto.

Inoltre, da un punto di vista biomeccanico, assumendo una postura adeguata, l’operatore è in grado di reclutare in modo sinergico i gruppi muscolari per muovere adeguatamente le leve articolari, incrementando l’efficacia dello sforzo prodotto. In tali condizioni diminuisce la probabilità d’insorgenza di traumi a carico del sistema muscolo-scheletrico, il valore della compressione intervertebrale, lo sforzo di taglio generato a livello dei vari segmenti articolari del rachide e l’impegno muscolare. L’efficacia massima si ottiene quando la componente della forza può essere esercitata in direzione orizzontale; per questo motivo è facile comprendere quanto la posizione della maniglia influenzi la postura dell’operatore e, in ultima analisi, la capacità quest’ultimo di indirizzare correttamente la forza durante la fase di spinta.

Poiché la forza esercitata nella fase iniziale o al termine della movimentazione è maggiore della

forza di mantenimento, è opportuno ridurre le occasioni d' attivazione/arresto del movimento del carrello (es. evitare i percorsi curvi che costringono l'operatore a continue applicazioni della forza iniziale atte a cambiare la direzione del sistema di trasporto). Nel caso in cui non sia possibile diminuire la distanza del tragitto, è necessario introdurre ausili meccanici.

In condizioni di scarsa manovrabilità, l'operatore è infatti costretto ad attivare uno sforzo muscolare maggiore per adempiere al compito. Nella procedura di ottimizzazione va considerata l'opportunità di dotare il carrello di ruote di dimensioni e materiali idonei alle caratteristiche dell'ambiente. I freni possono essere necessari nel caso di carichi particolarmente pesanti, in particolar modo se trasportati su superfici inclinate. È necessario adottare un programma di manutenzione periodico che preveda la pulizia e la lubrificazione delle ruote, in modo da mantenerne inalterato lo stato di efficienza.

È importante che la pavimentazione sia priva di irregolarità, che le superfici non siano rese sdruciolevoli e che le condizioni microclimatiche e di illuminazione siano idonee.

Fattori quali l'età, il sesso e lo stato di salute dell'operatore rivestono notevole importanza ai fini della quantificazione del rischio; informazione, formazione e addestramento dovranno inoltre essere parte integrante dell'organizzazione delle attività; per mezzo di esse si rendono i lavoratori consapevoli circa le corrette modalità di esecuzione della movimentazione e sull'individuazione e segnalazione di eventuali situazioni di rischio.

ISO 11228 – 3 “*Handling of low loads at high frequency*” (“*movimentazione di bassi carichi ad alta frequenza*”)

La norma si applica sia nella valutazione dei rischi che in fase di progettazione/riprogettazione delle attività comportanti movimenti ripetuti degli arti superiori. Le operazioni in questione, consistenti nell'impiego di strumenti o utensili o comunque nella movimentazione ad alta frequenza di oggetti di peso ridotto, comportano rischi di insorgenza di patologie da sovraccarico biomeccanico interessanti le strutture osteoarticolari, muscolo tendinee e nervo vascolari. Non rientrano quindi nella norma le operazioni di sollevamento, trasporto, spinta o traino, nonché le fasi di sostenimento statico di un carico. Ai fini della stima e della successiva valutazione del rischio determinato dalle attività comportanti movimenti ripetuti degli arti superiori, la norma prevede ancora una volta, un approccio secondo passi successivi che non essendo applicabili alla lavorazione analizzata, non vengono descritti nel dettaglio.

ISO 11226 “*Evolution of static working postures*” (“*Evoluzione delle posture di lavoro statiche*”)

La norma identifica i limiti raccomandati per le posture statiche di lavoro senza alcuno sforzo o con il minimo sforzo esterno, tenendo conto degli angoli assunti dalle varie articolazioni del corpo e della durata del tempo; essa è stata elaborata per consentire la valutazione del rischio per la salute della popolazione attiva adulta. Le raccomandazioni forniscono una protezione ragionevole per la maggior parte dei soggetti adulti sani. Questo standard internazionale contiene un approccio per determinare l'accettabilità delle posture di lavoro statico.

Le parti del corpo interessate alle posture incongrue sono:

- il tronco,
- la testa,
- le spalle;
- la parte superiore delle braccia;
- l'avambraccio e le mani;
- la parte inferiore del corpo (gambe e ginocchio).

La norma fornisce una procedura per determinare se il rischio derivante dal mantenimento di posture statiche durante l'attività lavorativa possa essere considerato accettabile o meno attraverso le seguenti fasi:

- Analisi preliminare: la valutazione viene svolta, per ogni distretto del corpo interessato e conduce alle seguenti situazioni:
 - Postura accettabile
 - Postura non raccomandata
 - Postura che richiede approfondimento
- L'analisi approfondita con il fattore tempo: se la valutazione preliminare non consente di determinare la presenza di un rischio accettabile sulla scorta della sola analisi delle geometrie, occorrerà tenere in considerazione anche il fattore tempo.

I modelli di valutazione, come descritto dal capitolo precedente, includono variabili connesse con la tipologia di carico movimentato, la geometria, la modalità di movimentazione e le caratteristiche soggettive (età, sesso ecc.). I metodi sono puramente osservazionali oppure dipendono dalla percezione dello sforzo percepito che è ancora analizzato con strumenti soggettivi.

Per poter valutare la quantità di sforzo necessario allo svolgimento di una determinata mansione, normalmente viene utilizzata la scala di Borg (nota anche come scala RPE). Questo strumento è stato ideato dal Dr. Gunnar Borg che, intorno agli anni '50, ideò per primo il concetto di percezione di sforzo che nel tempo ha portato alla sistematizzazione delle seguenti scale:

- Scala RPE CR-10 (Category – Ratio anchored at the number 10).
- Scala RPE CR-20 (Rating of Perceived Exertion).

Il Dr. Borg scelse una serie di 15 numeri crescenti, dal 6 al 20 e li mise in relazione con i valori della frequenza cardiaca rilevato durante lo sforzo; in particolare il valore più basso (6) corrispondeva ai 60 battiti per minuto (bpm), mentre il valore più alto (20) corrisponde ai 200 battiti per minuto (bpm).

SCALA RPE (Rating of Perceived Exertion) CR20 (Category Ratio 0-10)		
6	Nessuno sforzo	20%
7	Estremamente leggero	30%
8		40%
9	Molto leggero	50%
10	Leggero	55%
11		60%
12		65%
13	Leggermente pesante	70%
14		75%
15	Pesante	80%
16	Molto pesante	85%
17		90%
18		95%
19	Estremamente pesante	100%
20	Massimo sforzo	ESAURIMENTO

Tabella 3: SCALA RPE (Rating of Perceived Exertion) CR20 (Category Ratio 0-10)

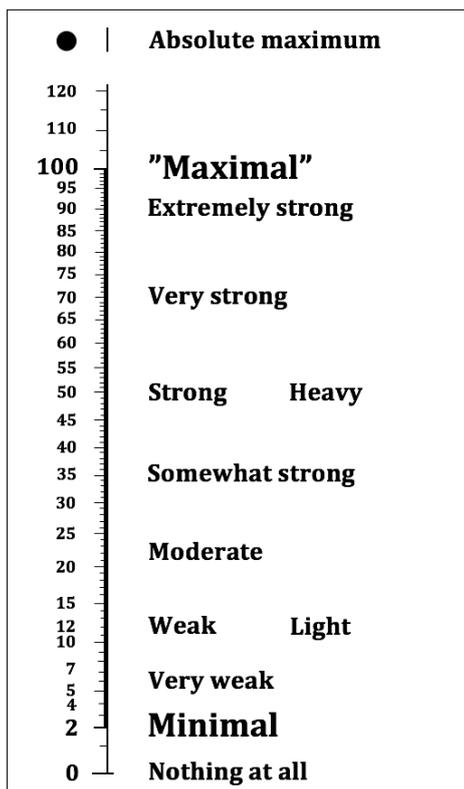
Successivamente, Borg propose anche la scala CR-10 (Category Ratio 0-10 scale), che ad oggi, risulta essere la più diffusa, in quanto:

- Ha sia vantaggi delle scale categoriche sia quelli delle scale a rapporti equivalenti (che presentano uno 0 assoluto);
 - è caratterizzata da un range che va da 0 (0 assoluto) a 10 (valore massimo, ovvero sensazione di sforzo più alta mai percepita nella propria vita);
 - assicura la possibilità di dare un valore superiore;
- il fatto che non ci sia un valore massimo assoluto fa sì che venga definita “scala aperta”.

SCALA RPE (Rating of Perceived Exertion) CR-10 (Category Ratio 0-10)	
10	Massimale
9	Estremamente difficile
8	
7	Molto difficile
6	
5	Difficile
4	Sembra difficile
3	Moderato
2	Facile
1	Molto facile
0	Nessuno sforzo

Tabella 4: SCALA RPE (Rating of Perceived Exertion) CR-10 (Category Ratio 0-10)

Elisabeth Borg, ha elaborato un’ulteriore versione della scala per la valutazione della percezione dello sforzo: la Category Ratio 0-100 scale (CR-100) o “centiMax” che sta avendo una particolare diffusione negli ultimi anni. Si sviluppa su una scala numerica che si presenta visivamente simile ad un righello; che parte da uno 0 assoluto ed ha un valore “massimo” pari a 100 con la possibilità di dare un valore superiore. Questa versione consente una definizione più precisa dello sforzo.



Le scale di Borg sono uno strumento quali - quantitativo che permette di valutare lo sforzo percepito.

Figura 4: Scala RPE (Rating of Perceived Exertion) CR-100 (Category Ratio 0-100)

L'obiettivo del presente lavoro di Tesi è quello di applicare, in un contesto aziendale di tipo industriale del settore metalmeccanico, un dispositivo per la rilevazione del segnale elettromiografico di superficie al fine di stimare, quantificare e valutare l'attivazione muscolare degli arti superiori (deltoide, tricipite, bicipite), del tronco (pettorale, gran dorsale, lombare) e degli arti inferiori (quadricipite, flessore, gluteo).

I valori ottenuti, essendo normalizzati rispetto ad un valore di riferimento (massimale o sub-massimale), possono fornire indicazioni utili dell'impegno muscolare e, di conseguenza, dello sforzo a cui è esposto il lavoratore.

3) Elettromiografia di superficie

L' elettromiografia di superficie è una tecnica diagnostica utilizzata per misurare l'attività elettrica dei muscoli, è un esame di tipo funzionale che può analizzare come un muscolo (o un gruppo di muscoli) viene attivato attraverso i potenziali elettrici creati durante la contrazione. L'EMG registra e analizza il segnale mioelettrico, ovvero il biopotenziale elettrico che riguarda l'attività muscolare durante la contrazione.

L'elettromiografia di superficie (EMGs) utilizza sensori posizionati sulla cute sopra il tessuto muscolare per studiare il funzionamento dei muscoli attraverso l'analisi non invasiva dei segnali elettrici creati durante le contrazioni muscolari. Questa tecnica viene utilizzata per valutare la durata della contrazione muscolare, il modo in cui diversi muscoli vengono attivati durante i movimenti corporei e il processo di affaticamento muscolare. L'EMG può essere utile per studiare il comportamento dei muscoli, tuttavia, deve essere utilizzato in modo responsabile, consapevole dei limiti tecnici, biologici e delle potenziali applicazioni cliniche.

Ci sono due tipi principali di EMG: l'elettromiografia di superficie (EMGs) e l'elettromiografia ad ago (nEMG), esse differiscono principalmente nei sensori utilizzati e nelle applicazioni cliniche:

- Elettromiografia di superficie (sEMG):
 - Sensori: Utilizza elettrodi di superficie che vengono applicati sulla pelle sopra il muscolo di interesse.
 - Applicazioni: è spesso utilizzata per monitorare l'attività muscolare superficiale e per valutare l'attività muscolare globale o l'attività muscolare di gruppi muscolari più grandi. È comunemente utilizzata in applicazioni come la valutazione della postura, l'ergonomia, il monitoraggio della fatica muscolare durante attività sportive o lavorative e la riabilitazione muscolare.
 - Non invasività: non è invasiva poiché i sensori sono posizionati sulla superficie della pelle e non richiedono l'inserimento di aghi o elettrodi all'interno del muscolo.



Figura 5: EMGs: elettromiografia di superficie

- Elettromiografia ad ago (nEMG):
 - Sensori: utilizza elettrodi ad ago sottili che vengono inseriti direttamente all'interno del muscolo di interesse.
 - Applicazioni: è utilizzata per studiare l'attività elettrica dettagliata all'interno di un singolo muscolo o di una piccola regione muscolare. È spesso utilizzata per diagnosticare patologie neuromuscolari, valutare l'innervazione muscolare e identificare anomalie o lesioni nei muscoli.
 - Invasività: è un procedimento invasivo poiché richiede l'inserimento di aghi sottili all'interno del muscolo. Di solito, viene eseguita da un medico specializzato.



Figura 6: nEMG: elettromiografia ad ago

In sintesi, l'elettromiografia di superficie è utilizzata per monitorare l'attività muscolare superficiale e può essere applicata in una varietà di contesti non invasivi, mentre l'elettromiografia ad ago è utilizzata per ottenere misurazioni più dettagliate dell'attività elettrica all'interno di un muscolo specifico ed è spesso utilizzata per scopi diagnostici e clinici più specializzati, ma richiede un procedimento invasivo. Entrambe le forme di EMG forniscono informazioni preziose sulla funzione muscolare e nervosa.

L'elettromiografia di superficie (sEMG), oggetto d'interesse del presente lavoro di tesi, è una tecnica utilizzata in diverse applicazioni, alcuni dei principali utilizzi sono:

- Valutazione della postura e dell'ergonomia: è utilizzata per monitorare l'attività muscolare durante l'esecuzione di attività lavorative. Questa informazione può essere utile per valutare la postura, l'ergonomia ed identificare potenziali problemi muscolari o di fatica associati a determinate posizioni o movimenti;
- Studio della fatica muscolare: può essere utilizzata per monitorare la fatica muscolare durante l'esecuzione di compiti ripetitivi o prolungati. Questo è utile in ambienti lavorativi dove i lavoratori sono esposti a compiti che richiedono uno sforzo muscolare prolungato;

- Ricerca scientifica: è una tecnica importante nella ricerca scientifica che studia la biomeccanica, la fisiologia muscolare e le risposte muscolari a vari stimoli e condizioni;
- Riabilitazione: nella riabilitazione fisica, l'EMGs può essere utilizzata per monitorare l'attività muscolare durante gli esercizi terapeutici. Questo aiuta la valutazione e il monitoraggio del progresso dei pazienti e a adattare i programmi di riabilitazione in base alle esigenze individuali.
- Monitoraggio dei disordini muscolari: può fornire informazioni utili per la valutazione di alcuni problemi muscolari o neuromuscolari.
- Sport e performance atletica: gli atleti e i loro allenatori possono utilizzare la EMGs per valutare l'attività muscolare durante l'allenamento e le competizioni.
- Controllo motorio e biofeedback: La EMGs può essere utilizzata per il controllo motorio e il biofeedback. Ad esempio, può essere utilizzata per aiutare le persone con disabilità a controllare dispositivi elettronici o protesi mediante il rilevamento dell'attività muscolare residua.

È importante far notare che la EMGs misura l'attività muscolare superficiale e fornisce informazioni sul comportamento generale dei muscoli coinvolti mentre per analisi più dettagliate o per lo studio di muscoli più profondi è necessaria l'elettromiografia ad ago (nEMG).

La filosofia di misurazione dei prodotti Myontec interessa la misurazione di gruppi muscolari funzionali invece dei singoli muscoli, garantendo una migliore qualità del segnale e la ripetibilità di esso, al fine di confrontare i risultati nel tempo. Ad ogni gruppo muscolare viene assegnato un canale di misurazione, che genera dati per sé stesso.

4) Parte sperimentale

4.1) Obiettivo

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è quello di utilizzare le informazioni di natura elettromiografica, derivanti dall'utilizzo di apparecchiature indossabili con sensori integrati nel tessuto, per integrare i processi di valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico. Infatti, in letteratura sono presenti diversi studi che utilizzano l'elettromiografia di superficie per effettuare valutazioni nel campo dell'ergonomia. Il presente lavoro di tesi, utilizzando apparecchiature indossabili dai lavoratori, ha consentito la rilevazione dei parametri elettromiografici per un periodo pari a circa mezzo turno lavorativo. I dati ottenuti, oltre a fornire indicazioni utili per indirizzare i processi di valutazione dei rischi, possono fornire delle indicazioni utili per la futura riprogettazione della linea produttiva. Infatti, individuando le fasi operative che comportano picchi di attivazione dei diversi distretti muscolari è possibile fornire indicazioni, anche personalizzate, ai lavoratori coinvolti. È importante sottolineare che il presente lavoro costituisce un primo studio esplorativo e, pertanto, il numero di lavoratori coinvolti è stato limitato.

4.2.1) Materiali

Il presente lavoro di tesi è stato condotto utilizzando dispositivi indossabili con elettrodi inseriti nel tessuto per la rilevazione del segnale elettromiografico di superficie (EMGs). La dotazione completa prevede:

- MShirt – maglia sensorizzata che permette di misurare il segnale elettromiografico di superficie dei seguenti gruppi muscolari (separati tra destra e sinistra): flessori ed estensori dell'avambraccio, bicipite, tricipite, deltoide, gran pettorale, trapezio e latissimus dorsi (gran dorsale).



Figura 7: MShirt

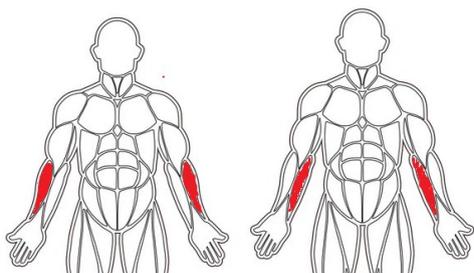


Figura 8: Estensori e flessori dell'avambraccio

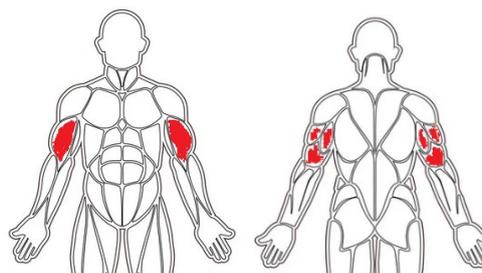


Figura 9: Bicipiti e tricipiti

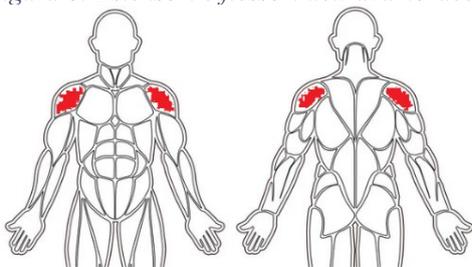


Figura 10: Deltoide

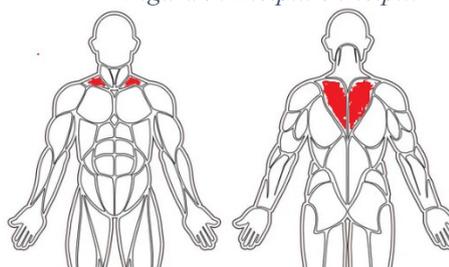


Figura 11: Trapezio

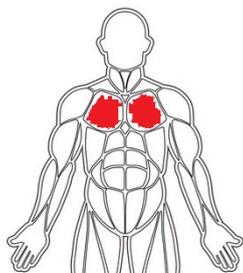


Figura 12: Gran pettorale

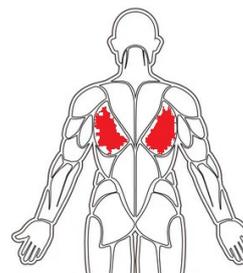


Figura 13: Latissimus dorsi

- MBelt – La cintura lombare misura l'attività muscolare dei muscoli multifidus ed erector spinae in combinazione.



Figura 14: MBelt

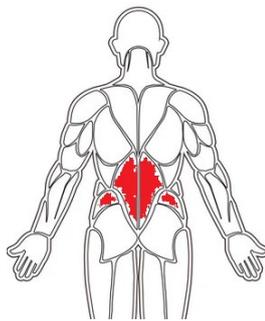


Figura 15: Lombare

- MShorts (pantaloncini) - per la misurazione contemporanea dei gruppi muscolari dei quadricipiti, bicipiti femorali e glutei. Per un corretto utilizzo devono essere indossati con la cella di misurazione rivolta in avanti.



Figura 16: MShorts

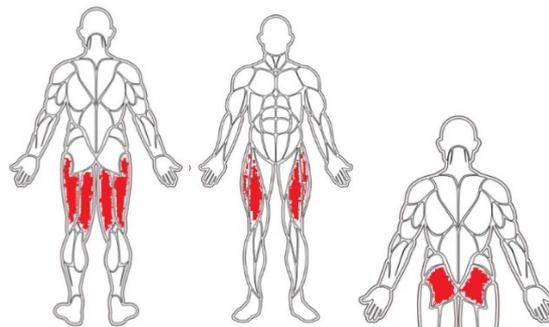


Figura 17: Bicipiti femorali, quadricipiti, glutei

- MCell: dispositivo di acquisizione del segnale elettromiografico che deve essere collegato al connettore per l'acquisizione e la memorizzazione dei segnali elettromiografici.



Figura 18: MCell

La collocazione degli elettrodi nel tessuto, per la rilevazione dei muscoli sopra indicati, è riportata nella figura di seguito:

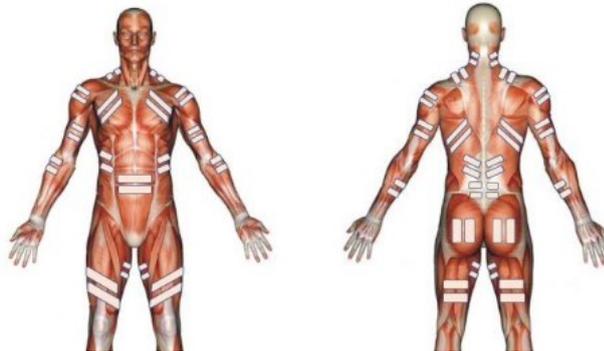


Figura 19: Canali gruppi muscolari

Nel presente lavoro di tesi sono state effettuate delle prove preliminari da parte di due soggetti che hanno previsto l'utilizzo integrale di tutta la dotazione sopra descritta. A seguito dell'elaborazione dei test preliminari si è osservato che il contributo delle gambe, durante le fasi operative, era estremamente ridotto e, pertanto, i pantaloncini non sono stati utilizzati durante i test effettuati sui lavoratori anche in virtù di alcuni vincoli tecnologici connessi con il software di elaborazione (massimo 4 MCell elaborabili contemporaneamente con SW ErgoLink). Gli indumenti sono costituiti da tessuti sportivi, lavabili sia a mano che in lavatrice, in grado di operare in condizioni di umidità fino al 90% e di temperature comprese tra 0° C e 40° C.

Per quanto attiene ai software di elaborazione sono state utilizzate una molteplicità di applicativi. In origine il presente progetto di tesi doveva utilizzare esclusivamente il software ErgoLink che è un applicativo sviluppato dall'azienda produttrice specificamente orientato all'analisi ergonomica. Di seguito si riporta una breve descrizione delle funzionalità e delle modalità di utilizzo del software ErgoLink che vengono messe in atto dopo l'effettuazione delle misure:

- **PREPARAZIONE DISPOSITIVI:** dopo aver avviato il software ErgoLink, viene effettuato il collegamento di tutti i dispositivi (MCell e smartphone Nokia in dotazione vengono collegati al PC utilizzando l'hub USB).
- **CREAZIONE DEL PROGETTO:** nella pagina "Gestione progetti" di ErgoLink vengono creati sia il progetto che il partecipante, inserendo le informazioni e le caratteristiche dello stesso raccolte da un apposito questionario.
- **DOWNLOAD DEI DATI RACCOLTI DURANTE LA MISURAZIONE:** selezionando il partecipante vengono scaricati ed associati tutti i dati registrati dai dispositivi ottenendo un file con i dati sincronizzati contenente i dati di EMGs e gli angoli posturali.
- **IMPOSTARE VALORI DI M.C.V.:** per impostare i valori di EMGs della massima contrazione volontaria dei singoli muscoli è necessario cliccare il pulsante "Aggiungi M.C.V." e selezionare l'intervallo di dati da cui estrarre il valore massimo.
- **IMPOSTARE I VALORI DI RIFERIMENTO DELL'OFF-SET ANGOLARE PER BRACCIA E TRONCO:** posizionamento del cursore nel punto in cui il lavoratore mantiene gli arti e il tronco fermi con le braccia sollevate a 90 gradi. Fare clic su "Imposta angoli su zero" per inserire gli angoli di offset nella posizione corretta (braccio sinistro 90 gradi, tronco 0 gradi, braccio destro 90 gradi). Una volta completata l'operazione, l'area verrà visualizzata in un'area verticale evidenziata in blu nei dati.
- **ANALIZZARE LE FASI DI LAVORO:** per un'analisi adeguata dell'attività lavorativa spostare il cursore sull'inizio dell'area desiderata. L'area selezionata viene evidenziata con una tonalità verde e aggiunta all'elenco.
- **CREAZIONE QUICK REPORT**

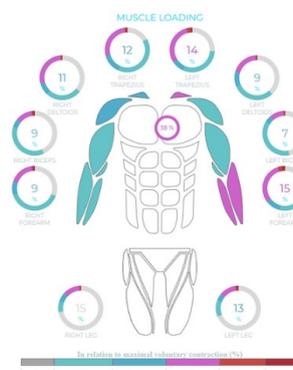


Figura 20: Quick Report ErgoAnalysis

Per il primo soggetto è stata seguita la procedura di misurazione prevista dal software ErgoLink. Tuttavia, in fase di elaborazione dei dati sono emersi dei problemi tecnici connessi con la programmazione del software che hanno reso inservibile l'utilizzo dell'applicativo a causa della personalizzazione (aggiunta di gruppi muscolari rispetto alle versioni base) delle attrezzature in dotazione.

Per tale motivo si è reso necessario l'utilizzo dei software per l'analisi manuale dei dati che verranno di seguito descritti:

- Muscle Monitor: è il software, prodotto dall'azienda ideatrice dei dispositivi indossabili, che consente l'estrazione dei dati, in file “.CSV”, e la possibilità di effettuare una prima elaborazione dei dati acquisiti.
- BioMovie: il software si rivela utile nell'analisi biomeccanica dei movimenti effettuati durante determinate attività prese in analisi. In questa ricerca è stato utilizzato per sincronizzare l'attivazione muscolare con i video effettuati durante lo svolgimento dei task lavorativi all'interno di un contesto industriale selezionato.
- Microsoft Excel: per l'elaborazione dei dati sono stati creati alcuni fogli di calcolo con il Software “Microsoft Excel”. In particolare:
 1. Il primo foglio di calcolo è stato progettato per estrapolare i dati relativi a una singola attività mediante l'inserimento dell'orario di inizio e di fine della stessa. Inoltre, il foglio di calcolo genera una prima analisi statistica di tipo descrittivo che include i seguenti parametri:
 - Misure di tendenza centrale, come la media e la mediana;
 - Root Mean Square (RMS);
 - Quartili: il primo quartile (Q1) e il terzo quartile (Q3);
 - 99 percentile;
 - Deviazione standard.
 - valore massimo registrato (MAX).

Il foglio di calcolo offre inoltre la possibilità di normalizzare i dati rispetto ai valori di riferimento impostati per ciascun gruppo muscolare (massima contrazione volontaria (M.C.V.) o un valore di riferimento sub-massimale). Questo processo consente, in generale, il confronto dei segnali tra individui diversi o tra gruppi muscolari diversi.

Un'altra funzione utilizzata per l'analisi dei dati del presente lavoro è connessa con la possibilità di estrapolazione, in forma tabellare, il dato di attivazione muscolare rapportato in percentuale al dato di massima contrazione volontaria . Per migliorare la presentazione dei risultati è stata creata una scala cromatica con il fine di assegnare una fascia di rischio per ogni attività e per ogni gruppo muscolare. Gli intervalli impostati sono di seguito riportati:

- Grigio (<10% dell' M.C.V.): RISCHIO IRRILEVANTE
- Verde (10% - 30% dell' M.C.V.): RISCHIO BASSO
- Giallo (31% - 60% dell' M.C.V.): RISCHIO ACCETTABILE
- Arancione (61% - 80% dell' M.C.V.): RISCHIO SIGNIFICATIVO
- Rosso (81% - 100% dell' M.C.V.): RISCHIO GRAVE

Di seguito si riporta, a titolo esemplificativo, la tabella citata unitamente alla scala cromatica:

	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LB
<10%	41,43	37,04	73,03	28,50	44,11	74,88	71,01	73,46	90,08	94,65	83,32	27,09	22,39	29,30	31,68	26,47	40,54
10% - 30%	19,81	26,15	15,13	20,87	22,76	20,37	22,03	14,25	6,23	4,56	11,22	9,10	8,15	13,25	12,95	10,19	22,28
	10,12	12,87	4,96	12,78	11,37	3,47	4,80	4,98	1,71	0,56	3,35	7,14	6,26	8,28	13,71	7,67	13,70
31%-60%	5,96	7,34	2,42	8,38	6,43	0,86	1,28	2,53	0,76	0,15	1,16	7,92	6,84	10,03	7,69	8,18	8,55
	3,76	4,59	1,44	5,62	4,03	0,27	0,45	1,34	0,40	0,05	0,48	7,90	6,34	8,29	5,22	6,42	5,43
	3,07	3,07	0,90	4,27	2,76	0,10	0,19	0,92	0,24	0,02	0,21	5,93	5,24	5,74	4,14	4,78	3,44
61%-80%	2,36	2,15	0,62	2,86	1,93	0,03	0,10	0,58	0,17	0,01	0,11	3,99	3,96	3,96	2,95	3,89	2,26
	1,83	1,52	0,40	2,21	1,46	0,01	0,05	0,39	0,10	0,01	0,06	3,17	2,92	2,82	2,32	3,27	1,41
	1,50	1,11	0,30	1,77	1,07	0,01	0,03	0,30	0,07	0,00	0,03	2,66	2,85	2,46	1,89	2,81	0,90
80%-100%	1,13	0,81	0,20	1,54	0,79	0,00	0,02	0,22	0,06	0,00	0,01	2,12	2,20	1,79	1,60	2,38	0,54
	9,04	3,34	0,59	11,19	3,29	0,00	0,04	1,03	0,19	0,00	0,05	22,98	32,85	14,08	15,85	23,94	0,96

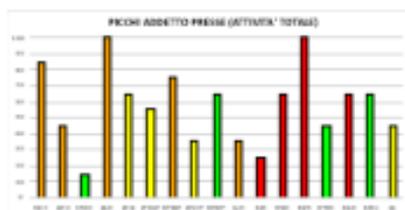
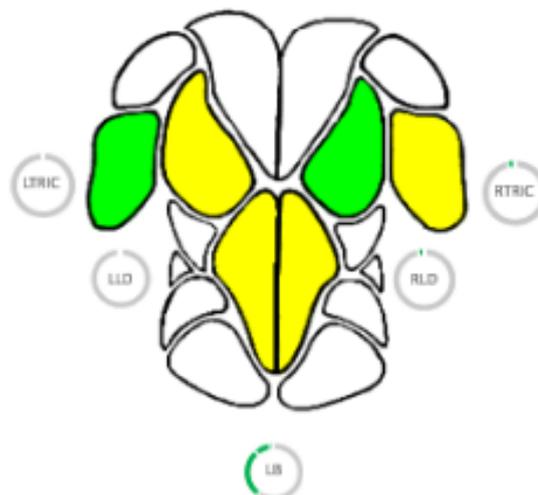
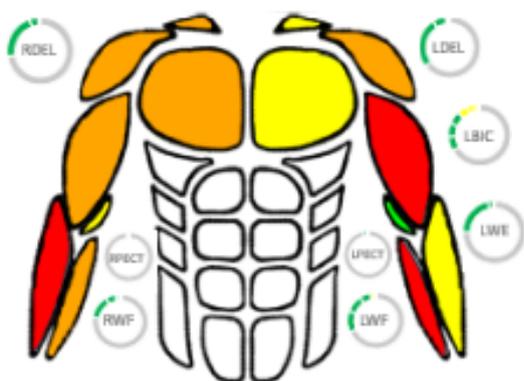
Figura 21: Tabella per livello di rischio

<10%	10%-30%	31%-60%	61%-80%	81%-100%

Figura 22: Scala cromatica

2. Il secondo foglio di calcolo, che prevede la presenza di macro (insieme di azioni che è possibile eseguire per un numero illimitato di volte) e formule specifiche, è stato creato per generare automaticamente un report illustrativo rappresentativo dell'attivazione muscolare misurata durante l'attività lavorativa o durante micro attività specifiche. Il foglio di calcolo si presenta come raffigurato di seguito:

:10	68,477174	75,2416	99,3669	66,6445	64,4785	61,6461	49,117	96,5678	99,2669	98,5338	96,7011	77,4742	99,1003	96,3012	75,7081	72,4758	0	0	60,0133
:0sx<20	11,962679	21,3262	0,63312	7,43086	26,5245	29,6568	32,4558	3,26558	0,49983	1,26624	3,19893	13,8954	0,69977	3,16561	12,4958	22,2592	0	0	28,5571
:0sx<30	10,02999	3,09897	0	7,29757	6,73109	6,53116	13,0623	0,09997	0,06664	0,13329	0,09997	5,79807	0,09997	0,49983	6,26458	4,13196	0	0	9,43019
:0sx<40	6,1646118	0,2999	0	6,56448	1,63279	1,63279	3,73209	0,06664	0,06664	0,06664	0	1,83272	0	0	3,33222	0,73309	0	0	1,73276
:0sx<50	2,365878	0,03332	0	5,33156	0,39987	0,46651	1,26624	0	0,06664	0	0	0,76641	0	0,03332	1,1996	0,19993	0	0	0,26658
:0sx<60	0,7997334	0	0	3,56548	0,19993	0,06664	0,23326	0	0	0	0	0,19993	0	0	0,73309	0,16661	0	0	0
:0sx<70	0,0666445	0	0	1,99933	0,03332	0	0,09997	0	0,03332	0	0	0,03332	0,03332	0	0,26658	0,03332	0	0	0
:0sx<80	0,0999667	0	0	0,66644	0	0	0,03332	0	0	0	0	0	0,03332	0	0	0	0	0	0
:0sx<90	0,0333222	0	0	0,23326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
:0sx<100	0	0	0	0,13329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
:100	0	0	0	0,13329	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03332	0	0	0	0	0	0
	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LLB	RLB	LB
	85	45	15	100	65	55	75	35	65	35	25	65	100	45	65	65	-5	-5	45



<10%	10%-30%	31%-60%	61%-80%	81%-100%

Figura 23: Foglio di calcolo 2

Il report illustrativo è composto da una raffigurazione frontale e posteriore dei gruppi muscolari rilevati, i quali con un “click” si riempiranno del colore assegnato alla fascia di rischio del valore.massimo. Di seguito si riporta un esempio:

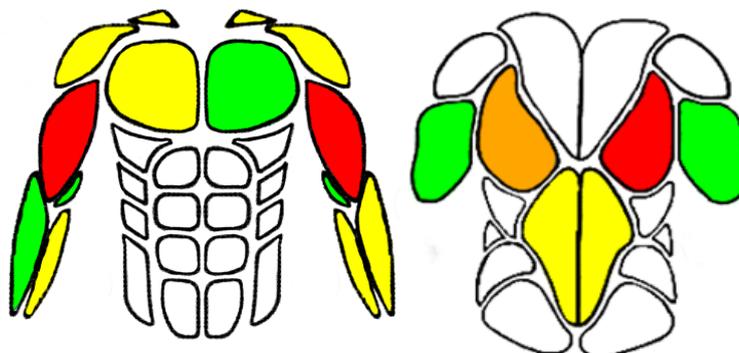


Figura 24: Report muscolare in riferimento ai picchi

Il report presenta inoltre dei grafici ad anello, per ogni gruppo muscolare, che indicano i livelli percentuali attivati, rispetto al massimo in funzione del tempo. Di seguito si riporta un esempio del grafico:

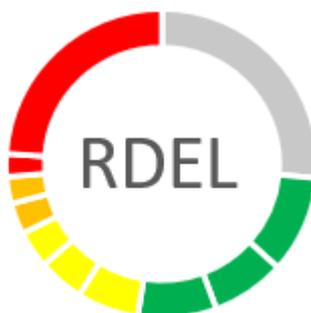


Figura 25: Grafico ad anello riferito al deltoide destro rispetto l'attività totale

L'apparecchiatura indossabile, grazie ai sensori che vi sono applicati, rappresenta un metodo innovativo di acquisizione del segnale elettromiografico di superficie in quanto permette di ottenere informazioni in merito al livello di attivazione muscolare.

Uno dei vantaggi principali del dispositivo utilizzato risiede nella facilità di utilizzo in quanto è sufficiente indossare, in modo corretto, gli indumenti.

I materiali necessari per le misure sono:

- MBelt;
- Mbody Shirt;
- MShorts;
- MCell;
- Tavola in legno per le prove di massima contrazione volontaria (M.C.V.);
- Cinghia non estensibile di circa 2-3 metri;
- PC;
- Smartphone;
- Powerbank;
- Hub USB;
- Metro;
- Sedia;
- Software: "ErgoLink".

4.2.2) Metodi

Nella presente sezione verrà descritta nel dettaglio il procedimento utilizzato per effettuare le misure sul campo e la successiva elaborazione al fine di ottenere una reportistica di sintesi utile a fornire informazioni di supporto ai processi di valutazione e gestione della sicurezza.

Il lavoro è stato impostato secondo le indicazioni del produttore per consentire l'analisi dei dati e la creazione di Quick Report con l'uso del software Ergolink. Di seguito vengono descritte le fasi principali:

- Nella pagina "Gestione progetti" di ErgoLink è stato creato un "Progetto" per il contenimento dei dati, successivamente è stato creato un "Partecipante" a cui sono state associate le informazioni raccolte con il questionario di seguito riportato:



ErgoAnalysis™ Participant questionnaire and informed consent 3.1
(*mandatory fields)

*Project: _____ Date: _____ Location: _____

*Subject code: _____

Right Middle Left
Shirt No/size: _____ MCell 3 number _____
Short No/size: _____ MCell 3 number _____

Hand grip strength (Jamar, kg) Right: _____ Left: _____

Subject background information

*Occupation: _____ Job task description: _____

*Gender: Male/Female/NA *Date of birth: ___/___/___ *Handedness: Right/Left

*Height: _____ *Weight: _____ Smoking status: Yes/No

*Job experience length on this field? _____ yrs. *In current job: _____ yrs.

*Physical activity class: _____ (see table below)

Activity description	Activity class	
You are not engaged in regular recreational physical activities or heavy physical work.	You avoid all physical activities whenever possible.	0
	During leisure time, you walk for fun, use stairs regularly, and exercise occasionally strenuously.	1
You are engaged in regular physical activity or work at least of moderate intensity, like gardening, pole walking or moderate intensity bicycling.	10-60 min/week	2
	Over 1 h/week	3
You are engaged in regular heavy physical activity, like jogging, aerobic exercise or strenuous intensity bicycling.	Less than 30 min/week	4
	30 - 60 min/week	5
	1- 3 h/week	6
	Over 3 h/week	7
Endurance athlete (local level)	5 - 7 h/week	7,5
	7 - 9 h/week	8
Endurance athlete (national level)	9 - 11 h/week	8,5
	11 - 13 h/week	9
Endurance athlete (international level)	13 - 15 h/week	9,5
	Over 15 h/week	10

Do you have any cardiovascular diseases: Yes / No
If yes, explain? _____
Does the disease prevent you from taking the maximum muscle tests: Yes / No

Do you have any musculoskeletal pain and/or disease: Yes / No
If yes, does it have effect on muscle test result(s): Yes /Possibly/ No
If yes, fill in the pain drawing below.

Resting heart rate: _____ (if known) Maximum heart rate: _____ (if known)

I have received enough information of the ErgoAnalysis™ measurements (ErgoAnalysis™ Onepager).
*** I accept using and showing my test results anonymously at my workplace. Yes / No**
*** I accept that my test results can be sent to my occupational health care personnel(s) with my name. Yes / No**

*Place, date: _____

*Signature: _____

Email (for personal test results): _____

Fill into the drawing with marking xxxxx all areas that you have felt painful during the past 7 days:

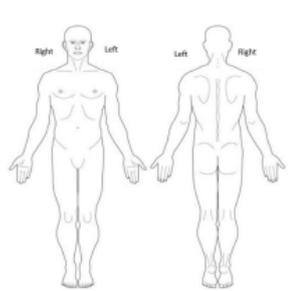


Figura 26: Questionario

Il protocollo di misura comprende le seguenti fasi:

- Effettuazione sopralluogo iniziale per identificare e valutare l'isola di lavoro e le modalità con cui opera il lavoratore dell'azienda;
- Raccolta dei dati inerenti ai pesi e alla forma dei manufatti movimentati;
- Richiesta della procedura operativa di sicurezza dell'attività lavorativa presa in esame;
- Preparazione del kit di misurazione:
 - Verifica dello stato di carica delle batterie delle MCell, ricaricate ad un livello di carica pari al 100%;
 - Verifica che la capacità di memoria (spazio libero) delle MCell fosse pari ad almeno il 50%;
 - Verifica dello stato di carica della batteria dello smartphone (ricaricato ad un livello di carica pari al 100%);
 - Acquisizione dati del lavoratore: sesso, età, statura, peso, anzianità di servizio, attività fisica, manualità;
 - Vestizione
- Individuazione delle taglie: sulla base della guida del produttore, reperibile sul sito, è stata individuata la taglia corretta degli indumenti per ogni lavoratore coinvolto;

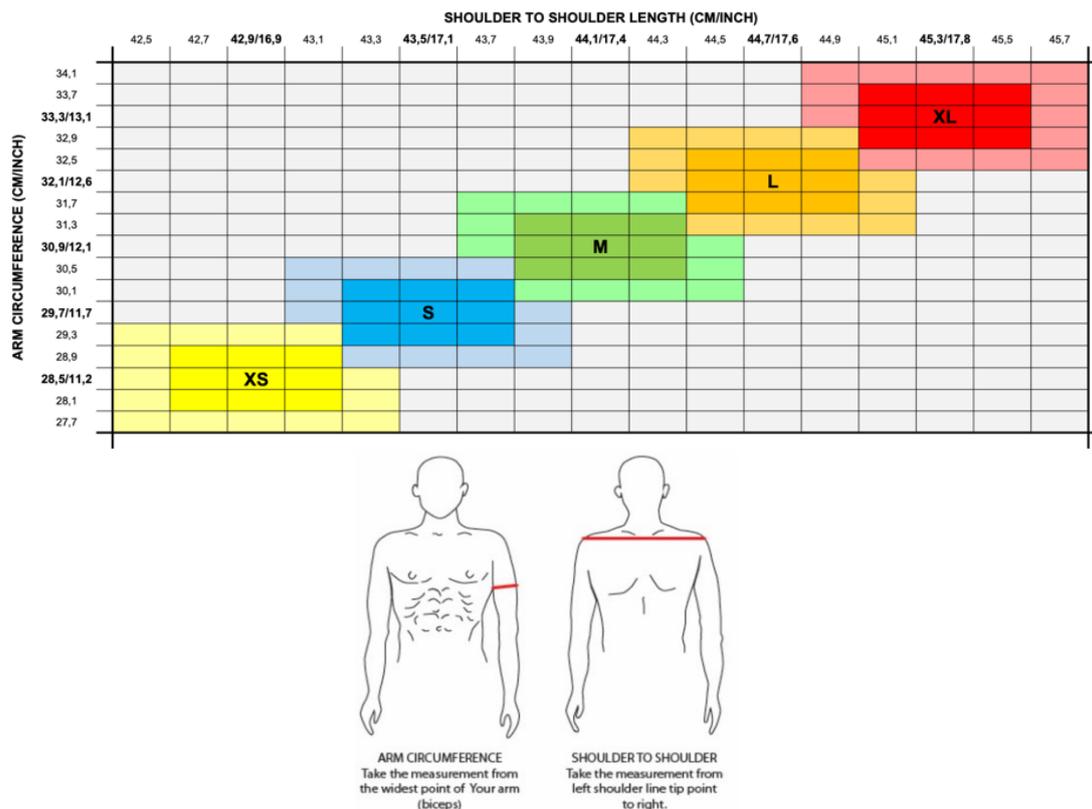


Figura 27: Scelta delle taglie

- Inumidire tutti i sensori EMGs presenti all'interno dei capi con acqua nebulizzata al fine di migliorare l'aderenza alla pelle dell'operatore;
- Indossare l'abbigliamento della sequenza corretta: al fine di assicurare il contatto tra la pelle e gli elettrodi ed evitare possibili interferenze tra i diversi dispositivi è necessario indossare gli indumenti nel seguente ordine: MBelt, MShorts e infine la Mbody Shirt. Se i sensori non sono completamente a contatto con la pelle possono essere utilizzate bretelle e una fascia elastica da applicare sul torace. Dopo aver verificato che l'abbigliamento sia stato indossato correttamente si può procedere alla fase successiva.
- Sincronizzazione delle MCell: la sincronizzazione dei sensori avviene tramite cavo collegato al computer accedendo alla funzione "Synchronize" del software "Muscle Monitor". Questo passaggio è cruciale nel caso si desideri correlare i dati delle misurazioni con un video. L'orario permette di abbinare i segnali di attivazione muscolare con le azioni svolte,
- Posizionamento MCell: le celle sono state inserite negli appositi connettori presenti sugli indumenti;
- Vestizione abiti da lavoro sopra alla tuta.
- Normalizzazione del segnale e massima contrazione volontaria (M.C.V.):
- Inizio delle misurazioni: Dopo aver applicato correttamente tutti i sensori, è possibile avviare le misurazioni. Ogni sensore inizia ad acquisire i dati una volta premuto il pulsante "power" su di esso. L'avvio del sensore è indicato da una vibrazione e dall'accensione del led verde. Considerato che, per motivi tecnici legati al produttore, non è stato possibile utilizzare il software ErgoLink nelle misure successive alla prima si è proceduto all'acquisizione dei dati seguendo la procedura tradizionale. Pertanto, insieme all'avvio delle celle è stata avviata la registrazione di un video dallo smartphone e la registrazione del tempo trascorso attraverso l'uso di un cronometro. Questo accorgimento si è reso necessario per cercare di ottimizzare i tempi necessari per l'elaborazione dei dati di normalizzazione una volta esportati i dati.
- Prove di normalizzazione del segnale per la Massima contrazione volontaria (M.C.V.): con questi esercizi, ampiamente descritti nella letteratura di riferimento, si cerca di misurare il massimo sforzo muscolare che un individuo può generare mediante una contrazione volontaria. In linea teorica con questi esercizi si dovrebbe raggiungere il massimo livello di forza che il sistema neuromuscolare di una persona può esprimere attraverso l'attivazione dei muscoli in uno sforzo massimale in condizioni isometriche.

La M.C.V. (Massima Contrazione Volontaria) o normalizzazione del segnale, è soggettiva e può variare da persona a persona, così come da gruppo muscolare a gruppo muscolare e dipende anche dalle posizioni (es. angoli) in cui vengono effettuate. Le prove di M.C.V. sono spesso utilizzate per valutare la forza muscolare e la capacità contrattile in diversi contesti, come la ricerca scientifica, la riabilitazione, l'allenamento atletico e la valutazione delle prestazioni. Queste prove aiutano a comprendere il livello massimo di attivazione muscolare possibile e possono essere utilizzate come parametro di riferimento. Per agevolare l'esecuzione delle prove di M.C.V. e ridurre gli errori causati da movimenti involontari delle cinghie è stato creato un dispositivo di test portatile costituito da una tavola di faggio resistente con punti di ancoraggio in acciaio per fissare la cinghia secondo il protocollo indicato dalla ditta produttrice. È bene ricordare che, in caso di movimenti veloci, è possibile ottenere, in pratica, valori di segnale superiori a quelli ottenuti con le prove isometriche in virtù del reclutamento delle fibre muscolari veloci. Gli esercizi di normalizzazione del segnale sono stati eseguiti secondo l'ordine seguente:

1. Flessore/estensore avambraccio
2. Bicipiti
3. Tricipiti
4. Trapezio
5. Gran pettorale
6. Deltoide
7. Gran dorsale
8. Low back

Non è possibile escludere a priori che in condizioni operative possano essere raggiunti livelli di segnale superiori a quelli rilevati durante le operazioni di normalizzazione. Tuttavia, l'acquisizione di valori normalizzati tra i vari soggetti, anche se di natura submassimale, possono costituire un valido riferimento per confrontare i valori ottenuti in diversi soggetti oppure tra differenti gruppi muscolari del medesimo soggetto.

Le prove svolte per determinare la massima contrazione volontaria, eseguite in modo separato o congiunto per i gruppi muscolari destri e sinistri, sono le seguenti:

1) Flessore/estensore dell'avambraccio

- Schiena dritta, da una posizione seduta, mantenere le ginocchia ad un angolo di 90 gradi e piedi ben fissi al pavimento;
- tenere l'avambraccio con un angolo di 90 gradi, con la parte superiore del braccio verso il basso e ben fissata al corpo
- stringere le pinze con la massima forza possibile per 5-8 secondi

Il valore ottenuto con gli hand-grip è riconducibile ad un tipo di contrazione di tipo isometrico. Nel concreto è stato osservato ripetutamente che i livelli operativi dei flessori ed estensori dell'avambraccio in contesti di movimentazione sul campo è ampiamente superiore rispetto a quello rilevato con la prove di normalizzazione. Pertanto, si è visto che sono maggiormente rappresentativi i valori ottenuti durante gli esercizi di normalizzazione che prevedono la necessità di stringere e mantenere la presa delle cinghie nel tempo (es. bicipiti, tricipiti). Perciò, il valore di riferimento è stato estratto da tali prove.

2) Bicipite

- Posizionarsi in piedi a gambe divaricate all'altezza delle spalle. Mantenere il corpo dritto;
- posizionare la cinghia sotto il piede;
- posizionare il gomito ad un angolo di 90°, la parte superiore del braccio verso il basso saldamente attaccata al corpo;
- stringere la mano e flettere il gomito verso l'alto con la massima forza possibile per 5-8 secondi;
- la spalla non deve sollevarsi e il corpo non deve piegarsi durante l'esecuzione;

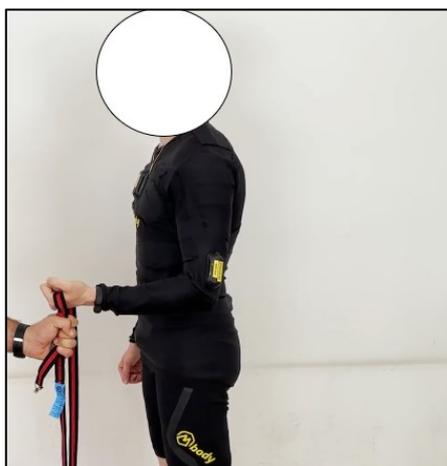


Figura 28: M.C.V. bicipite sinistro

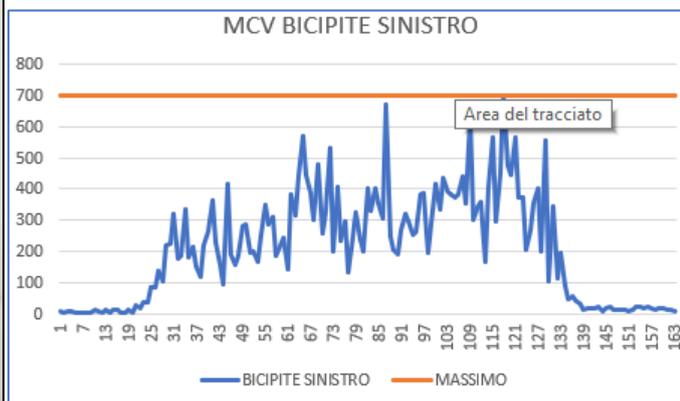


Grafico 1: Esportazione a 25Hz: M.C.V. bicipite sinistro

3) Tricipite – esercizio non fornito dal produttore

- posizionarsi in piedi a gambe divaricate all'altezza delle spalle. Mantenere il busto leggermente inclinato in avanti, scapole addotte e gomiti vicino al busto
- Impugnare le cinghie mantenendo il polso dritto durante tutta l'esecuzione;
- Cercare di tirare verso il basso la cinghia, nel mentre il supervisore oppone resistenza al movimento.

4) Trapezio

- in piedi, con le gambe divaricate all'altezza delle spalle;
- mettere la cinghia sotto i piedi;
- regolare la lunghezza della cinghia in modo che le braccia siano dritte;
- tirare le spalle verso le orecchie con la massima forza possibile per 5-8 secondi;

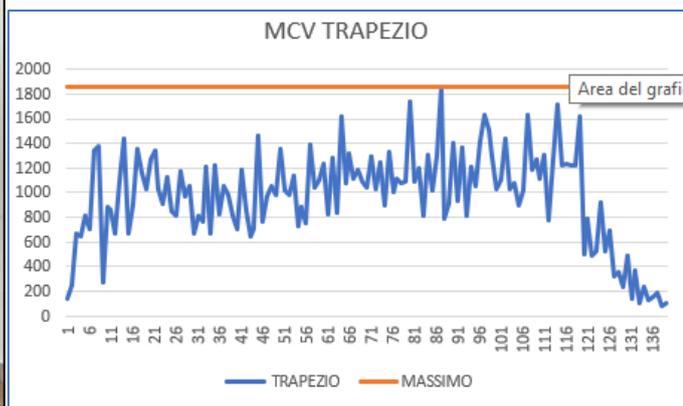


Figura 29: M.C.V. trapezio

Grafico 2: Esportazione a 25Hz: M.C.V. trapezio

5) Gran pettorale – esercizio non fornito dal produttore

- posizionarsi in piedi a gambe divaricate all'altezza delle spalle. Mantenere il corpo dritto;
- gomiti ad un'altezza appena sotto le spalle, petto in fuori, spalle lontane dalle orecchie;
- impugnare le cinghie e portare i gomiti vicini tra loro davanti al petto, nel mentre il supervisore oppone resistenza al movimento.

6) Deltoide

- La cinghia si trova fissata sul supporto mantenuto ben stabile a terra dal supervisore;
- La spalla del partecipante è in abduzione di circa 80° gradi e con il gomito leggermente flesso, ciò per coinvolgere maggiormente il deltoide;
- La schiena è staccata dalla sedia, le ginocchia formano un angolo di 90 gradi;
- Il partecipante solleva il braccio verso l'alto con la massima forza possibile per 5-8 secondi.

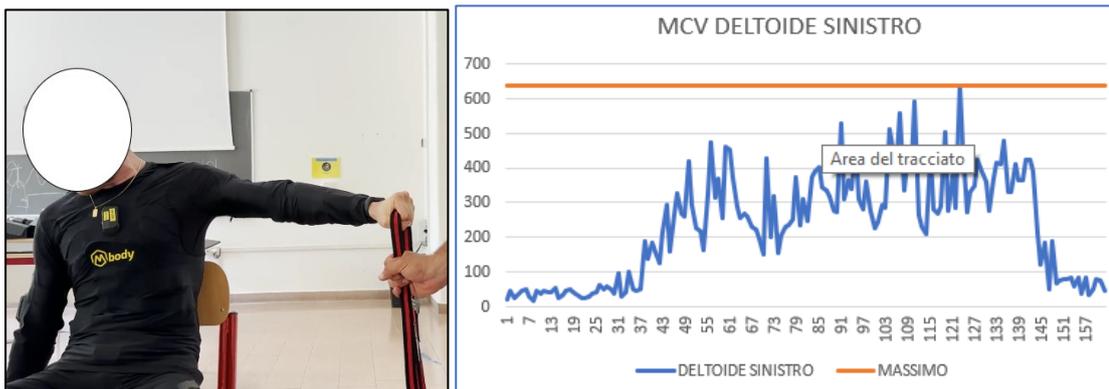


Figura 30: M.C.V. deltoide sinistro

Grafico 2: Esportazione a 25Hz: M.C.V. deltoide sinistro

7) Gran dorsale – esercizio non fornito dal produttore

- Posizionarsi in piedi a gambe divaricate all'altezza delle spalle, mantenere il busto flesso;
- Mantenere il petto aperto, spalle basse e i gomiti vanno mantenuti perpendicolari al busto;
- Afferrare la cinghia a larghezza poco più larga delle spalle
- Sbloccare le ginocchia, tenendo alto il bacino e rimanere neutri con la colonna vertebrale.
- Cercare di tirare verso di sé la cinghia, nel mentre il supervisore oppone resistenza al movimento.

8) Low back (fascia lombare) – esercizio non fornito dal produttore ma reperito in letteratura (“MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women” - Francisco J Vera-Garcia 1, Janice M Moreside, Stuart M McGill)

- Il partecipante si distende sul tavolo fino al bacino e mantiene i piedi a terra;
- Successivamente tenterà di alzare la parte inferiore del tronco e le anche, nel mentre il supervisore oppone resistenza al movimento.

Come anticipato in sede di acquisto è stata richiesta la personalizzazione dei dispositivi e, pertanto, per i gruppi muscolari aggiunti non erano previste indicazioni ufficiali del produttore per gli esercizi di normalizzazione. In tali casi, è stata effettuata una fase di verifica degli esercizi previsti in letteratura ed un successivo adattamento degli stessi per rendere la prove idonee a fornire valori utilizzabili per la normalizzazione di valori raccolti in contesti operativi reali (misure dinamiche e non isometriche).

- Misure dell'attività lavorativa
 - Fase di misura: dopo aver completato la fase delle prove di normalizzazione si suggerisce di interrompere momentaneamente i movimenti della persona per un breve periodo al fine di ridurre a livelli basali il segnale. Questo processo permette di identificare chiaramente l'inizio delle attività lavorative soggette all'analisi. Nel caso in cui le attività valutate richiedano cambi repentini nelle operazioni o per consentire un'analisi distinta delle varie fasi si è deciso di registrare gli intervalli di tempo con il cronometro.
 - Completamento misura: per terminare la raccolta dati da parte delle celle è sufficiente premere lo stesso tasto utilizzato per l'avvio. A questo punto, le celle possono essere scollegate dai rispettivi connettori per essere successivamente collegati al computer.
- Analisi dei dati
 - Esportazione dati: utilizzando il software "Muscle Monitor", è possibile esportare i dati ottenuti da ciascuna cella di acquisizione (file Excel in formato ".csv") per consentire l'analisi. Il software "ErgoLink" non è ancora in grado di esportare i dati acquisiti in quanto il numero di canali dell'apparecchiatura indossabile sono maggiori (vista l'aggiunta dei canali del muscolo pettorale e del latissimus dorsi richiesti per il presente lavoro di tesi) di quelli supportati dal software.

Si è deciso di esportare i dati a una frequenza 25Hz (25 misure al secondo).
 - Raggruppamento dati: dopo l'esportazione dei dati acquisiti è stato creato un file di unione contenete i dati allineati, in funzione del tempo di avvio reciproco delle celle reperibile dal video, contenente i dati di tutti i gruppi muscolari analizzati.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Elapsed time	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	LWF	LTRIC	LBIC	LDEL	LLB	RLB	LB	
2	0.04	2	2	1	1	5	30	38	2	2	1	3	2	2	2	1	8	16	8	24
3	0.08	2	2	1	1	3	49	24	1	2	2	1	1	2	1	2	7	15	8	23
4	0.12	1	2	2	2	2	50	25	1	3	2	3	1	3	2	2	9	18	7	25
5	0.16	2	2	2	2	3	56	35	2	2	3	1	2	2	2	1	13	15	9	24
6	0.2	2	1	1	1	3	76	67	2	3	2	1	1	2	2	1	9	17	5	22
7	0.24	1	1	1	1	3	38	60	2	2	2	1	2	1	1	16	23	11	34	
8	0.28	1	1	1	2	4	48	63	2	4	2	3	2	2	1	2	7	19	7	26
9	0.32	2	1	1	1	3	55	48	2	2	1	3	1	1	1	1	6	17	6	23
10	0.36	1	2	1	1	3	43	53	2	2	2	1	1	1	1	11	14	8	22	
11	0.4	1	1	1	1	3	107	49	1	2	3	3	2	2	1	2	10	16	6	22
12	0.44	1	2	1	2	3	54	44	2	2	4	1	1	2	1	2	8	16	13	29
13	0.48	1	2	2	2	1	98	42	2	3	3	2	2	2	1	1	9	15	5	20
14	0.52	2	2	1	1	6	48	81	2	1	1	2	2	2	2	1	7	10	4	14
15	0.56	2	2	2	2	4	48	93	2	1	2	2	2	2	2	1	12	11	11	22
16	0.6	1	1	1	2	4	42	72	2	2	6	3	1	2	1	2	7	12	5	17
17	0.64	1	1	1	2	5	61	60	16	3	17	8	1	2	1	1	13	13	7	20
18	0.68	1	1	1	2	3	99	48	5	2	4	4	1	2	1	1	5	12	6	18
19	0.72	1	2	1	2	3	104	104	2	2	1	3	2	1	2	2	14	13	7	20
20	0.76	1	4	2	1	3	129	81	1	2	3	2	1	3	2	2	6	10	8	18
21	0.8	1	2	1	1	4	125	84	2	2	2	2	1	1	2	2	12	19	8	27
22	0.84	2	1	2	1	4	118	73	1	2	1	3	1	2	2	1	8	13	7	20
23	0.88	2	1	2	1	3	93	58	3	1	2	3	1	3	2	1	12	16	7	23

Figura 31: Sincronizzazione tra i canali

- Individuazione del valore di massima contrazione volontaria (M.C.V.): dopo aver importato i dati uniti e sincronizzati all'interno del file Excel creato è possibile ricavare i valori di massima contrazione volontaria inserendo l'intervallo di inizio-fine in cui è stata effettuata la singola prova di normalizzazione. Tale valore reperibile dal video oppure dai dati raccolti con il cronometro.

Intervallo	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Descrizione	LPECT2	RPECT2	LD1	LD2	LB GAMBE1	LB TRONCO	LB GAMBE2	ATTIVITA'	
Start	443,72	382,16	433,36	474,04	600,08	518,28	544,24	571,44	960
	11093,110		10834,00	11851,00	15002,00	12957,00	13606,00	14286,00	24000,00
Stop	445,52	384,28	437,08	478,28	605,04	524,36	548,48	574,96	11116,88
	11138	9607	10927	11957	15126	13109			277922
	11138	9607	10927	11957	15126	13109			277922
Start_C	443,72	382,16	433,36	474,04	600,08	518,28			960
Stop_C	445,52	384,28	437,08	478,28	605,04	524,36			11116,88
Time	1,8	2,12	3,72	4,24	4,96	6,08			10156,88
MCV									
Elapsed time	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT
0,04	3	1	7	2	8	63	21	1	1
0,08	1	3	7	3	4	37	67	2	
0,12	3	2	7	3	5	26	30	2	
0,16	2	2	16	13	3	41	45	2	
0,2	2	4	12	22	4	15	19	3	
0,24	3	2	7	5	3	40	9	5	3
0,28	2	2	9	8	7	31	13	5	2

Figura 32: Inserimento dati e inserimento tempistiche di inizio e di fine

Mediana	17	54,5	17,5	292,5	38	261	59,5	46	2	12	5	3	14,5	158,5	53	202			
Max	45	109	51	458	78	604	76	76	13	29	31	21	48	264	91	309			
RMS	20	60	23	286	45	281	64	49	4	14	9	6	17	157	57	211			
ARV	18	55	18	271	43	265	61	47	3	13	7	5	15	150	55	205			
Q1	12	37	5	214	34	200	48	38	2	9	3	2	11	115	43	179			
Q3	23	74	28	329	52	310	77	58	4	15	8	6	17	181	67	241			
99p	41	100	50	427	78	545	92	74	13	27	27	17	43	249	86	302			
Elapsed time	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LLB	RLB	LB

Figura 33: Individuazione valore M.C.V.

Il valore di M.C.V. è ricavato dalla media dei valori massimi ottenuti nelle diverse ripetizioni delle specifiche prove effettuate per il muscolo di interesse.

5) Descrizione del contesto aziendale

L'acquisizione dei dati e la valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico grazie all'utilizzo di un'apparecchiatura indossabile dotata di elettrodi per la rilevazione del segnale EMGs, è stata effettuata in un'azienda metalmeccanica situata nel Friuli-Venezia Giulia orientale specializzata nella realizzazione di bombole di gas tecnici, bombole sub e sistemi di stoccaggio di metano per il settore automobilistico. L'azienda si sviluppa su tre stabilimenti e possiede una sede secondaria in Veneto, ad oggi fornisce lavoro a circa 400 persone.

L'orario lavorativo è suddiviso in tre turni (mattina 06:00-14:00, pomeriggio 14:00-22:00 e notte 22:00-06:00).

La fase del ciclo produttivo dell'azienda su cui è stato effettuato il presente studio di tesi può essere sinteticamente descritta come di seguito:

Da un disco, dopo vari passaggi in pressa, si potrà ricavare un prodotto cilindrico (stadio); esso effettua vari passaggi all'interno di bagni chimici ad immersione e a processi di sabbiatura per il trattamento del materiale. Per questa fase lavorativa è necessario che il prodotto cilindrico debba essere prelevato da una cesta (posta a circa 90 cm dal suolo) ed appeso su appositi ganci, posizionati a circa 120cm/145cm/170cm da terra (in funzione di quale dei tre ganci viene utilizzato); tale operazione, ovvero la movimentazione ed il sollevamento del prodotto cilindrico, è l'operazione prescelta per l'analisi dei dati e per la valutazione da sovraccarico biomeccanico, in funzione delle richieste dei clienti, quest'operazione può essere effettuata anche per 280 volte nell'arco di un turno, ovvero il numero massimo di ganci presenti sulla catena dei bagni chimici ad immersione. Il peso e la forma del prodotto cilindrico varia anch'esso in base alle richieste del cliente e quindi del prodotto finito che si vuole ottenere, possiamo trovare prodotti cilindrici dal peso variabile, per esempio di 7.5 Kg – 13.5 Kg – 17.5 Kg fino ad un peso massimo di circa 20 Kg. Nel presente lavoro di tesi sono stati utilizzati prodotti cilindrici da un peso di circa 19Kg e di 11Kg in modo tale sia da massimizzare l'attivazione dei vari distretti muscolari che per dare una rappresentatività alle operazioni effettuate nel processo operativo appena descritto.

6) Risultati e discussione

Per il lavoratore 1 e il lavoratore 2 si è deciso, dunque, di effettuare una valutazione preliminare dell'attività lavorativa per tarare le successive modalità operative della misurazione e la durata della stessa. I quattro test sono stati selezionati sulla base di quanto scritto dalla procedura operativa di sicurezza e sono i seguenti: carico sabbiatrice – carico fosfatazione – spostamento manufatti nella cesta – tutte le attività in sequenza. Di seguito si elencano le caratteristiche raccolte grazie ai questionari dei due lavoratori:

Lavoratore 1

- Sesso: Maschio
- Età: 23 anni
- Statura: 180 cm
- Peso: 72 Kg
- Anzianità di servizio: 0 anni e 0 mesi
- Attività fisica: 7-9 h/settimana
- Manualità: Destrimano

Lavoratore 2

- Sesso: Maschio
- Età: 37 anni
- Statura: 175 cm
- Peso: 90Kg
- Anzianità di servizio: 0 anni e 0 mesi
- Attività fisica: 0h/settimana
- Manualità: Destrimano

Dalla prima analisi dei dati rilevati su Lavoratore 1 e Lavoratore 2 si evince che lo sforzo muscolare degli arti inferiori è irrilevante al contrario dei gruppi muscolari della parte superiore del corpo, i quali sono stati sollecitati in modo importante. Di seguito vengono illustrate a titolo esemplificativo, le tabelle dei risultati riscontrati durante i quattro test preliminari effettuati sul Lavoratore 1 per quanto riguarda i gruppi muscolari misurati con MShorts (arti inferiori) e per quanto riguarda i gruppi muscolari misurati con MShirt e Mbelt (parte superiore):

MMC1	QUAD	HAM	GLU
<10%	94.6	57.2	100.0
10% - 30%	5.4	39.8	0.0
	0.0	2.4	0.0
31%-60%	0.0	0.6	0.0
	0.0	0.0	0.0
61%-80%	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0
80%-100%	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0

Tabella 5: Sforzo muscolare arti inferiori, test preliminare 1

MMC1	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	TRAP	PECT	LD	LB
<10%	5.4	34.9	98.8	12.7	95.8	1.2	47.6	89.8	9.0	87.3	14.5	98.2	100.0	97.6
10% - 30%	7.2	46.4	1.2	6.6	4.2	5.4	41.0	9.0	12.7	11.4	38.6	1.8	0.0	2.4
	1.8	15.7	0.0	25.9	0.0	3.0	8.4	0.6	30.7	0.6	32.5	0.0	0.0	0.0
31%-60%	3.6	1.8	0.0	18.1	0.0	6.0	3.0	0.6	18.1	0.6	9.0	0.0	0.0	0.0
	3.6	0.6	0.0	13.3	0.0	7.2	0.0	0.0	10.8	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0
	9.0	0.0	0.0	12.0	0.0	7.8	0.0	0.0	6.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
61%-80%	7.8	0.6	0.0	5.4	0.0	6.6	0.0	0.0	7.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
	6.0	0.0	0.0	3.0	0.0	6.6	0.0	0.0	2.4	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
81%-100%	6.0	0.0	0.0	0.6	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	44.0	0.0	0.0	2.4	0.0	39.8	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabella 6: Sforzo muscolare parte superiore del corpo, test preliminare 1

MMC2	QUAD	HAM	GLU
<10%	95.54	49.04	100.00
10% - 30%	4.46	39.49	0.00
	0.00	10.83	0.00
31%-60%	0.00	0.64	0.00
	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
61%-80%	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
80%-100%	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00

Tabella 7: Sforzo muscolare arti inferiori, test preliminare 2

MMC2	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	TRAP	PECT	LD	LB
<10%	7.01	31.21	87.26	8.28	80.89	3.18	40.13	69.43	22.93	82.80	17.20	71.97	82.80	94.90
10% - 30%	2.55	48.41	12.10	9.55	15.92	4.46	27.39	19.75	27.39	12.74	39.49	13.38	7.64	5.10
	1.27	18.47	0.64	17.20	2.55	4.46	13.38	5.10	19.75	2.55	28.03	4.46	2.55	0.00
31%-60%	4.46	1.91	0.00	12.74	0.00	3.82	5.73	1.27	8.28	1.27	10.19	4.46	3.82	0.00
	4.46	0.00	0.00	7.64	0.64	5.73	6.37	3.82	7.01	0.64	4.46	0.64	2.55	0.00
	2.55	0.00	0.00	7.01	0.00	8.28	3.18	0.00	3.82	0.00	0.00	2.55	0.64	0.00
61%-80%	5.10	0.00	0.00	7.64	0.00	8.28	3.18	0.00	3.82	0.00	0.64	0.64	0.00	0.00
	7.64	0.00	0.00	5.73	0.00	5.10	0.64	0.00	1.27	0.00	0.00	1.27	0.00	0.00
81%-100%	8.92	0.00	0.00	7.64	0.00	10.83	0.00	0.64	1.27	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00
	6.37	0.00	0.00	3.18	0.00	3.18	0.00	0.00	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	49.68	0.00	0.00	13.38	0.00	42.68	0.00	0.00	3.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 8: Sforzo muscolare parte superiore del corpo, test preliminare 2

	QUAD	HAM	GLU
<10%	100.00	78.49	100.00
10% - 30%	0.00	19.89	0.00
	0.00	1.08	0.00
31%-60%	0.00	0.54	0.00
	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
61%-80%	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
80%-100%	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00

Tabella 9: Sforzo muscolare arti inferiori, test preliminare 3

MMC3	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	TRAP	PECT	LD	LB
<10%	13.44	60.75	100.00	41.40	100.00	17.74	70.97	99.46	81.72	100.00	63.44	100.00	100.00	99.46
10% - 30%	22.04	29.57	0.00	27.96	0.00	11.83	15.59	0.54	11.83	0.00	31.72	0.00	0.00	0.54
	23.66	8.60	0.00	15.05	0.00	16.13	10.22	0.00	3.23	0.00	3.76	0.00	0.00	0.00
31%-60%	10.75	0.54	0.00	6.99	0.00	18.82	1.61	0.00	1.08	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00
	10.22	0.54	0.00	4.30	0.00	13.98	0.54	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.53	0.00	0.00	1.61	0.00	8.60	0.54	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61%-80%	3.23	0.00	0.00	1.61	0.00	5.38	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1.61	0.00	0.00	1.08	0.00	1.61	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
81%-100%	2.69	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.84	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 10: Sforzo muscolare parte superiore del corpo, test preliminare 3

	QUAD	HAM	GLU
<10%	98.01	76.16	100.00
10% - 30%	1.99	21.85	0.00
	0.00	1.32	0.00
31%-60%	0.00	0.66	0.00
	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
61%-80%	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
80%-100%	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00

Tabella 11: Sforzo muscolare arti inferiori, test preliminare 4

MMC4	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	TRAP	PECT	LD	LB
<10%	12.58	31.13	100.00	41.72	96.69	17.22	51.66	99.34	84.11	100.00	52.32	100.00	100.00	98.01
10% - 30%	25.17	55.63	0.00	17.22	3.31	9.93	37.09	0.66	15.89	0.00	45.03	0.00	0.00	1.99
	18.54	11.26	0.00	15.23	0.00	11.92	7.95	0.00	0.00	0.00	2.65	0.00	0.00	0.00
31%-60%	12.58	1.99	0.00	13.25	0.00	17.22	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.61	0.00	0.00	3.31	0.00	9.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.64	0.00	0.00	0.66	0.00	8.61	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61%-80%	3.97	0.00	0.00	1.32	0.00	6.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.65	0.00	0.00	3.31	0.00	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
81%-100%	1.99	0.00	0.00	0.66	0.00	3.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.66	0.00	0.00	0.66	0.00	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8.61	0.00	0.00	2.65	0.00	5.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 12: Sforzo muscolare parte superiore del corpo, test preliminare 4

In seguito all'analisi dei dati soprariportati, si è deciso, che durante le misure successive, si sarebbero utilizzate solamente le apparecchiature indossabili per la misurazione delle parti superiori del corpo: MShirt e MBelt.

Per i tre lavoratori individuati sono state effettuate delle misurazioni sull'intera attività (macro attività) ma anche delle analisi di fasi specifiche comprendenti l'attività totale (micro attività).

Dai seguito si riportano i risultati delle misure effettuate per ogni lavoratore indicando:

- Dati raccolti dal questionario;
- Tipologia e descrizione attività;
- Tempo di misura.

Lavoratore 3:

- Sesso: Maschio
- Età: 36 anni
- Statura: 170 cm
- Peso: 60 Kg
- Anzianità di servizio: 1 anno e 6 mesi
- Attività fisica: 1-3h/settimana (da circa un mese)
- Dolori riscontrati negli ultimi sette giorni: deltoide posteriore sinistro
- Manualità: Destrimano

Tipo: Macro attività

Tempo di misura: 3 ore circa

Descrizione attività: Il Lavoratore 3, durante l'attività lavorativa presa in considerazione, preleva i manufatti da una cesta posta a circa 90 cm di altezza dal suolo effettuando un sollevamento. Successivamente posiziona i manufatti su dei ganci, i quali trasporteranno i gli stessi all'interno della sabbiatrice (carico sabbiatrice). Inoltre, vengono effettuati degli spostamenti dei manufatti all'interno della cesta in modo tale da agevolare il prelevamento successivo (spostamento cesta).

Peso manufatti: 11 Kg

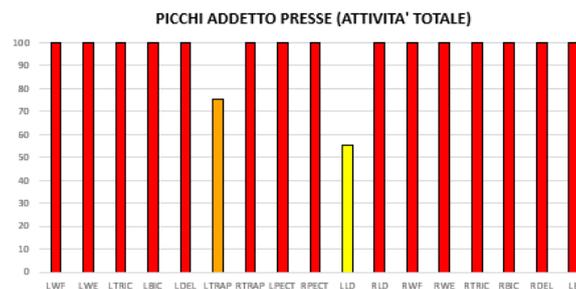
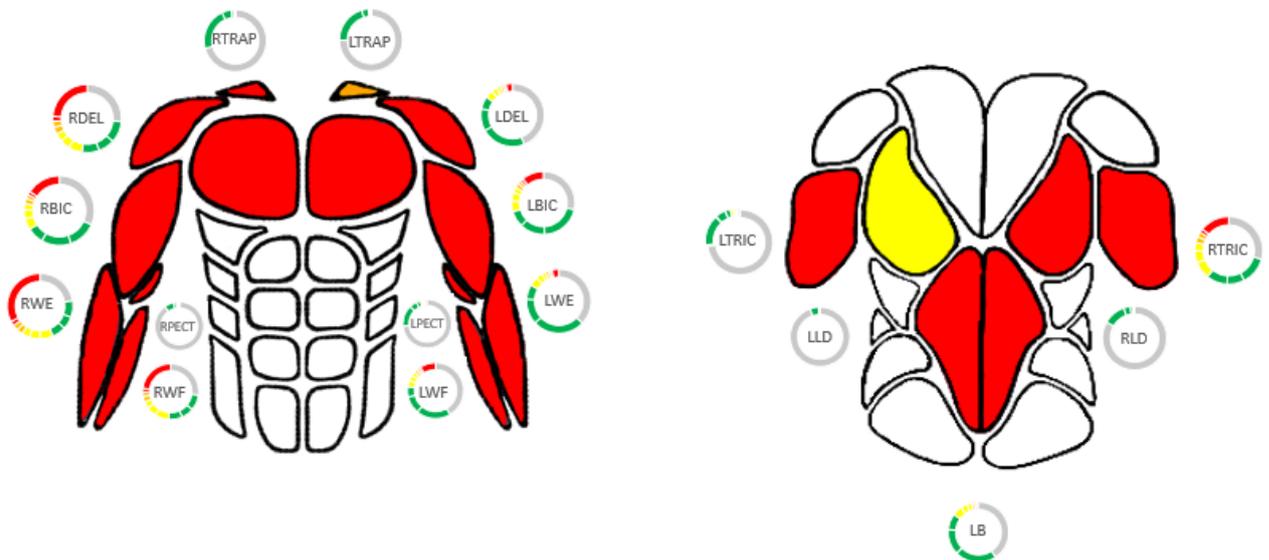


Figura 34: Quick Report Lavoratore 3

Di seguito si riportano i grafici ad anello riferiti ai muscoli più sollecitati durante l'attività lavorativa totale svolta dal Lavoratore 3:



Figura 35: Bicipite s/d

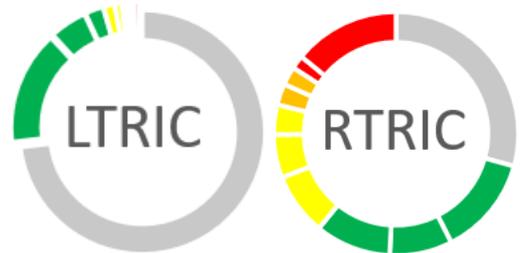


Figura 36: Tricipite s/d

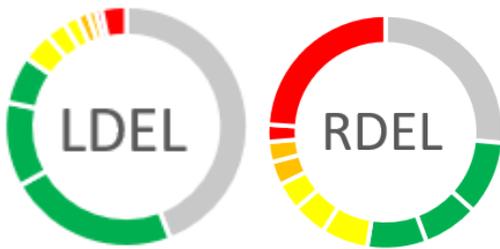


Figura 37: Deltoide s/d

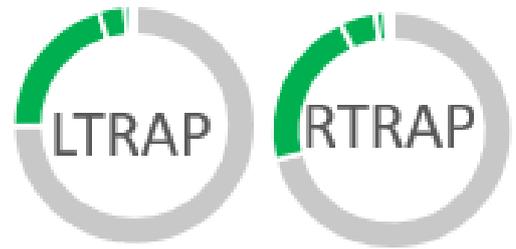


Figura 38: Trapezio s/d

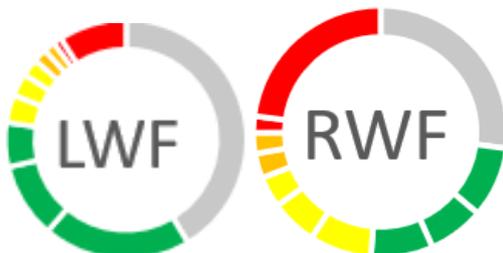


Figura 39: Flessore avambr. s/d

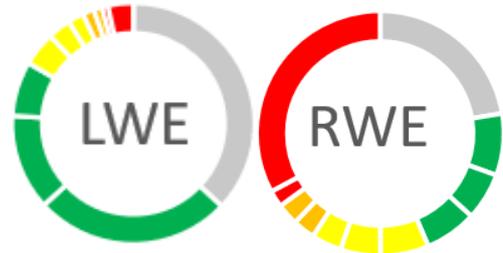


Figura 40: Estensore avambr. s/d



Figura 41: Pettorale s/d

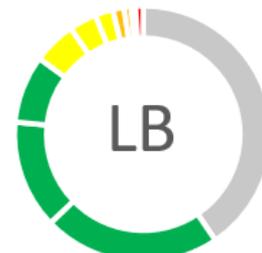


Figura 42: Low Back

CONSIDERAZIONI LAVORATORE 3: Probabilmente in virtù della costituzione fisica del soggetto e del BMI (Body Mass Index) molto basso, si può notare che quasi per la totalità dei gruppi muscolari, i picchi dell'attivazione muscolare misurati durante l'attività lavorativa sono compresi tra l'80% e il 100% rispetto al valore di riferimento. Inoltre, i grafici ad anello evidenziano che:

- sull'attività totale, alcuni dei gruppi muscolari sono stati attivati nella fascia compresa tra l'80% e il 100% (bicipite sinistro e destro, tricipite destro, deltoide sinistro e destro, flessori dell'avambraccio sinistro e destro, estensori dell'avambraccio sinistro e destro);
- le micro pause contenute nel ciclo di produzione generano un elevato tempo in cui l'attivazione muscolare è compresa tra la zona grigia (<10%) e la zona verde (10%-30%)

Da ciò si evince che il Lavoratore 3, per alcune frazioni di tempo, presenta un livello di attivazione compreso tra i valori di 80% e 100% (ROSSO) che può tradursi in uno sforzo elevato. Altre motivazioni, oltre al basso BMI (Body Mass Index), potrebbero essere spiegate dal ridotto tempo dedicato all'attività fisica settimanale e dal persistere del dolore a livello del deltoide posteriore sinistro causato da un infortunio pregresso. Questa condizione potrebbe essere la causa della maggior attivazione del lato destro dovuta alla compensazione.

Si allega la tabella dei risultati riferiti all'attività totale del Lavoratore 3: ***ALLEGATO I.I***

Lavoratore 4:

- Sesso: Maschio
- Età: 23 anni
- Statura: 170 cm
- Peso: 65 Kg
- Anzianità di servizio: 2 anni
- Attività fisica: 5-7h/settimana
- Dolori riscontrati negli ultimi 7 giorni: nessuno
- Manualità: Destrimano

Tipo: Macro attività

Tempo di misura: 3 ore circa

Descrizione attività: Il Lavoratore 4, durante l'attività lavorativa presa in considerazione, preleva i manufatti da una cesta posta a circa 90 cm di altezza dal suolo effettuando:

- il sollevamento, il trasporto e il posizionamento sul gancio della sabbiatrice (carico sabbiatrice),
- spostamenti dei manufatti all'interno della cesta in modo tale da agevolare il prelevamento successivo (spostamento cesta).
- Una volta che il processo di sabbiatura è completato, i manufatti vengono prelevati dai ganci e poi posizionati su delle bilancelle che li trasporteranno all'interno di vasche apposite per il trattamento chimico del materiale (carico fosfatazione).

Peso manufatti: 19 Kg

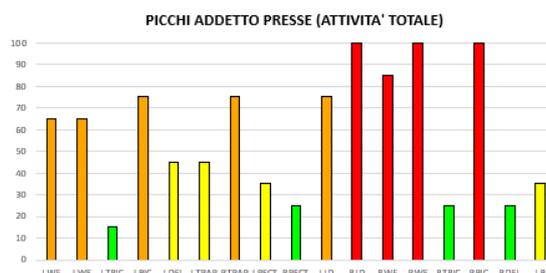
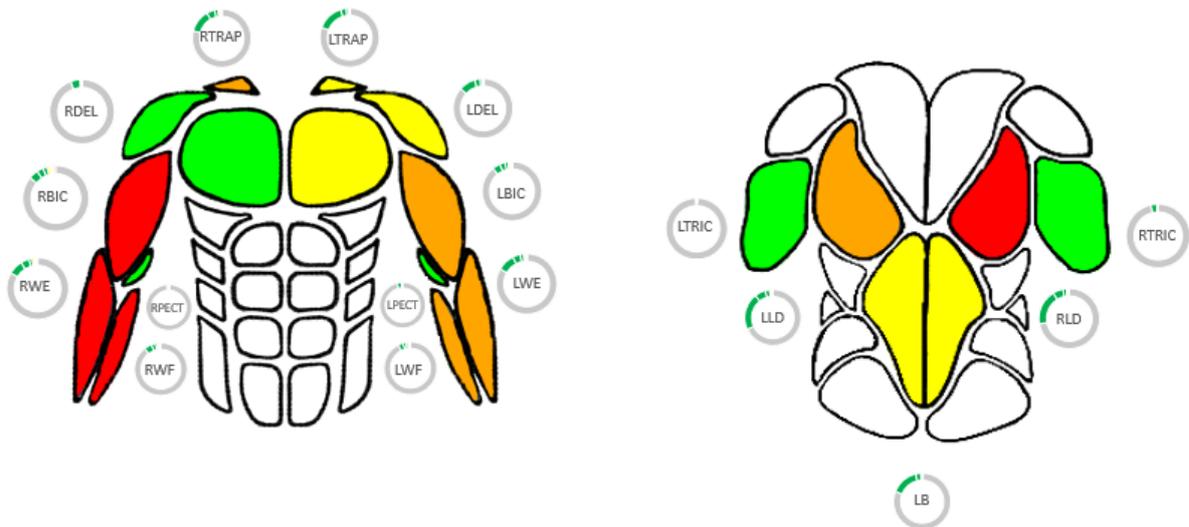


Figura 43: Quick Report Lavoratore 4

Di seguito si riportano i grafici ad anello riferiti ai muscoli più sollecitati durante l'attività lavorativa totale svolta dal Lavoratore 4:

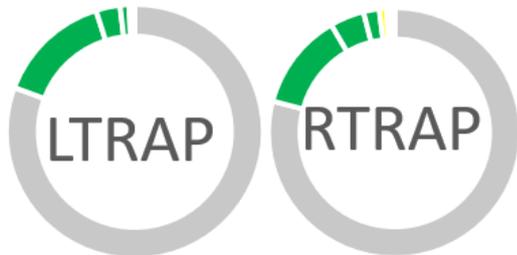


Figura 44: Trapezio s/d



Figura 45: Bicipite s/d



Figura 46: Deltoide s/d



Figura 47: Latissimus dorsi s/d

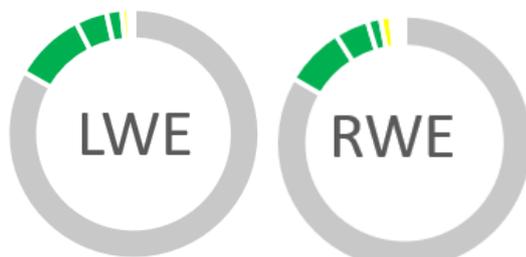


Figura 48: Estensori avambr. s/d



Figura 49: Flessori avambr. s/d

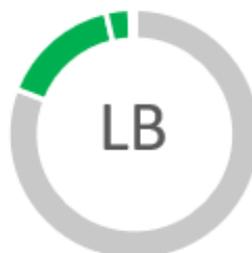


Figura 50: Low back

CONSIDERAZIONI LAVORATORE 4: Nonostante la costituzione fisica e il BMI (Body Mass Index) siano molto simili a quelle del Lavoratore 3, dal report illustrativo, si può notare che i gruppi muscolari presentano picchi di attivazione muscolare più contenuti rispetto a quelli misurati al Lavoratore 3. Inoltre, i grafici ad anello evidenziano che sull'attività totale, l'attivazione muscolare risulta essere per la maggior parte inferiore al 10% (GRIGIO) rispetto al valore di riferimento registrato precedentemente, con qualche dato che ricade nella fascia 10%-30% (VERDE). Dal report illustrativo, per di più, si evince che c'è un grande coinvolgimento dei muscoli degli arti superiori (bicipiti, flessori ed estensori dell'avambraccio). I fattori in grado di spiegare la maggior capacità di svolgere l'attività di movimentazione manuale dei carichi potrebbero essere:

- il tempo dedicato all'attività fisica settimanale segnalato dai due lavoratori (Lav.4: 5-7 h/settimanali vs Lav.3: 1-3h/settimana);
- l'età
- gli infortuni pregressi.

Si allega la tabella dei risultati riferiti all'attività totale del Lavoratore 4: ***ALLEGATO I.I***

Lavoratore 5:

- Sesso: Maschio
- Et : 53 anni
- Statura: 178 cm
- Peso: 87Kg
- Anzianit  di servizio: 34 anni
- Attivit  fisica: 1-3h/settimana
- Dolori riscontrati negli ultimi 7 giorni: nessuno
- Manualit : Destrimano

Tipo: Macro attivit 

Tempo di misura: 3 ore circa

Descrizione attivit : Il Lavoratore 5, durante l'attivit  lavorativa presa in considerazione, preleva i manufatti da una cesta posta a circa 90 cm di altezza dal suolo effettuando:

- il sollevamento, il trasporto e il posizionamento sul gancio della sabbiatrice (carico sabbiatrice),
- spostamenti dei manufatti all'interno della cesta in modo tale da agevolare il prelevamento successivo (spostamento cesta).
- Una volta che il processo di sabbiatura   completato, i manufatti vengono prelevati dai ganci e poi posizionati su delle bilancelle che li trasporteranno all'interno di vasche apposite per il trattamento chimico del materiale (carico fosfatazione).

Peso manufatti: 19 Kg

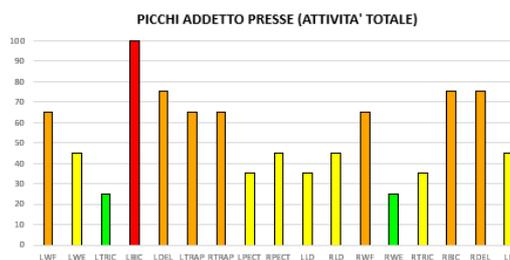
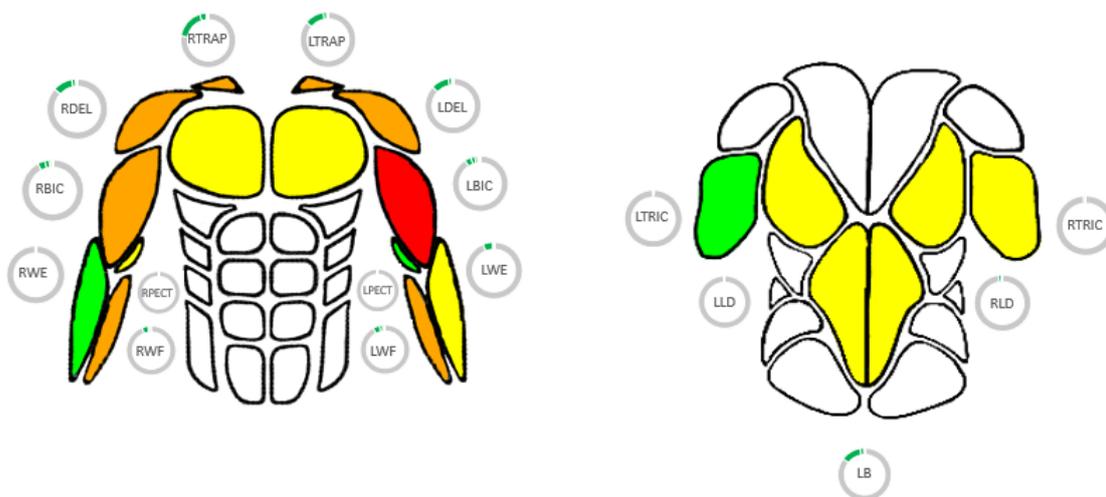


Figura 51: Quick Report Lavoratore 5

Di seguito si riportano i grafici ad anello riferiti ai muscoli più sollecitati durante l'attività lavorativa totale svolta dal Lavoratore 5:



Figura 52: Bicipite s/d

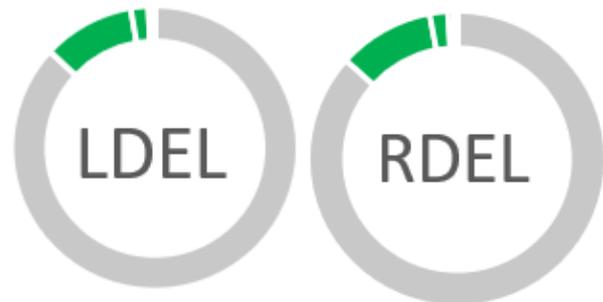


Figura 53: Deltoide s/d

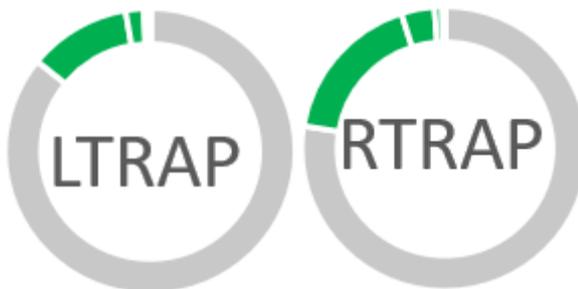


Figura 54: Trapezio s/d



Figura 55: Low Back

CONSIDERAZIONI LAVORATORE 5: il Lavoratore 5, a differenza del Lavoratore 3 e del Lavoratore 4, ha effettuato le seguenti attività:

- per circa un'ora e mezza ha effettuato il carico della sabbiatrice e lo spostamento in cesta
- per la restante ora e mezza ha effettuato il carico della fosfatazione.

Dal report illustrativo si evince che, anche in questo caso, c'è stato un elevato coinvolgimento dei gruppi muscolari degli arti superiori.

L'ultimo lavoratore registra livelli di attivazione massima (picchi) inferiori rispetto ai due lavoratori precedenti. Tale condizione potrebbe essere riconducibile a:

- la lunga esperienza lavorativa sulla mansione presa in valutazione e quindi dell'utilizzo posturale corretto e delle micro pause spalmate coerentemente durante l'intera attività lavorativa.;
- la costituzione fisica più robusta.

Si allega la tabella dei risultati riferiti all'attività totale del Lavoratore 5: **ALLEGATO I.III**

Tra le attività svolte dalla mansione presa in valutazione, vengono svolte molteplici attività specifiche. Perciò, si è deciso di prenderle in analisi singolarmente per poter inquadrare l'attività che comporta l'attivazione muscolare maggiore. Di seguito vengono riportate le analisi di 3 tipologie di attività specifiche:

Tipo: Micro attività – Carico sabbiatrice

Lavoratore: n° 5

Tempo di misura: 10 minuti circa

Descrizione attività: Il Lavoratore 5, durante l'attività lavorativa presa in considerazione, preleva i manufatti da una cesta posta a circa 90 cm di altezza dal suolo effettuando un sollevamento, successivamente li posiziona su dei ganci, i quali trasporteranno i manufatti all'interno della sabbiatrice (carico sabbiatrice).

Peso manufatti: 19 Kg

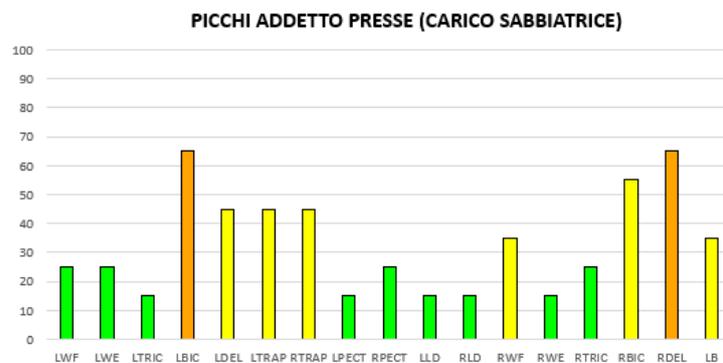
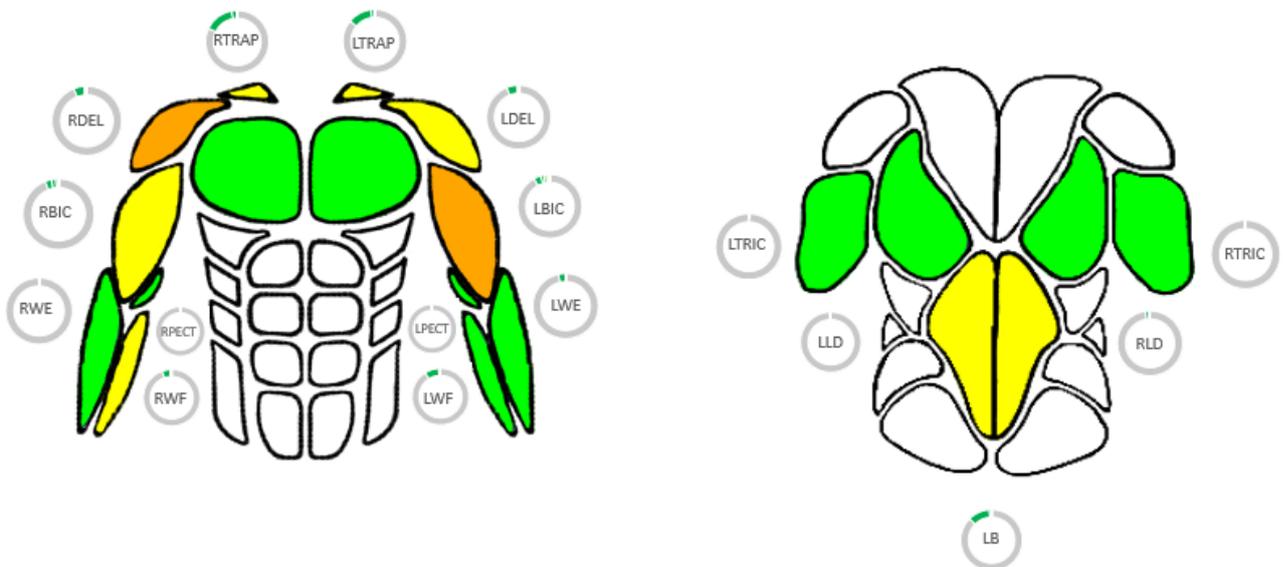


Figura 56: Quick Report carico sabbiatrice (Lavoratore 5)

Di seguito si riportano i grafici ad anello riferiti ai muscoli più sollecitati durante l'attività specifica di carico dabbiatrice svolta dal Lavoratore 5:



Figura 57: Bicipite s/d



Figura 58: Deltoide s/d

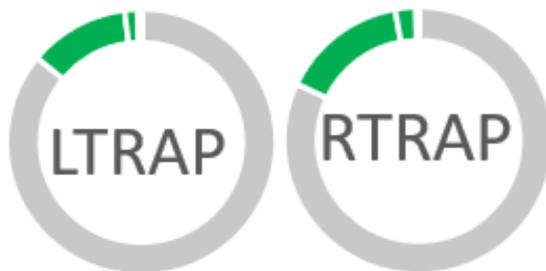


Figura 59: Trapezio s/d



Figura 60: Low Back

CONSIDERAZIONI CARICO SABBIAITRICE: Durante l'attività di carico sabbiatrice, il Lavoratore 5 non presenta dei picchi comparabili all'attività totale ma decisamente inferiori. Prendendo in considerazione i grafici ad anello soprariportati, si evince che:

- d. l'attivazione muscolare risulta essere per la maggior parte inferiore al 10% (GRIGIO) rispetto al valore di riferimento, con qualche dato che ricade all'interno della fascia 10%-30% (VERDE);
- e. nel caso del bicipite sinistro si nota una piccola frazione riferita alla fascia 30%-60% (GIALLO). Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che il Lavoratore 5, durante la movimentazione, tendeva a mantenere il peso del manufatto flettendo il braccio sinistro e quindi attivando il muscolo del bicipite.

Si allega la tabella dei risultati riferiti all'attività di carico sabbiatrice svolta dal Lavoratore 5:

ALLEGATO I.IV

Tipo: Attività specifica – Carico fosfatazione

Lavoratore: n°5

Tempo di misura: 10 minuti circa

Descrizione attività: Il Lavoratore 5, durante l'attività lavorativa presa in considerazione, una volta che viene completato il processo di sabbiatura, preleva i manufatti dai ganci e successivamente li posiziona su delle bilancelle, le quali trasporteranno i manufatti all'interno di vasche apposite per il trattamento chimico del materiale (carico fosfatazione).

Peso manufatti: 19 Kg

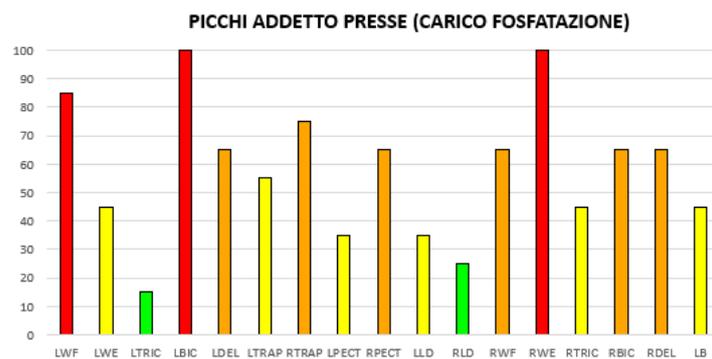
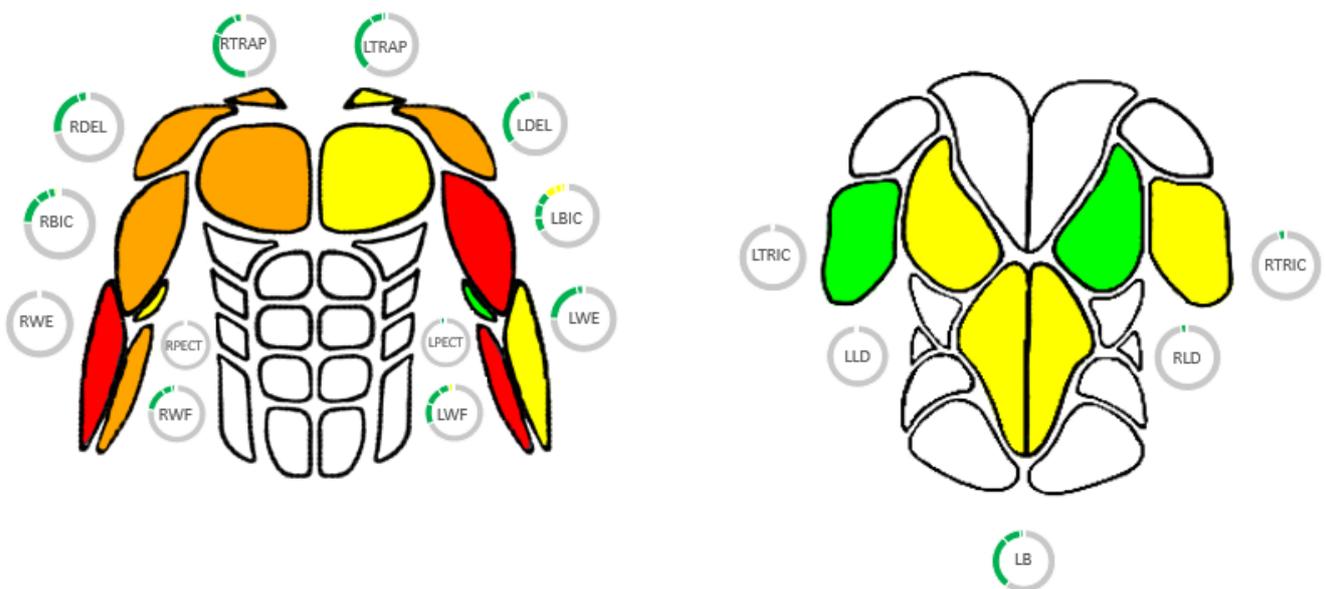


Figura 61: Quick Report carico fosfatazione (Lavoratore 5)

Di seguito si riportano i grafici ad anello riferiti ai muscoli più sollecitati durante l'attività specifica di carico fosfatazione svolta dal Lavoratore 5:



Figura 62: Bicipite s/d



Figura 63: Deltoide s/d

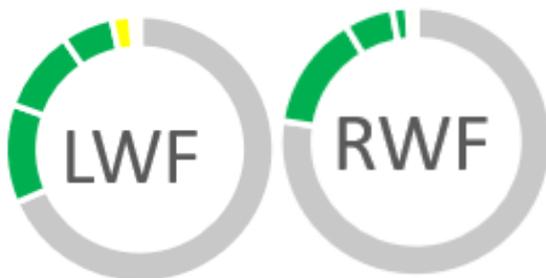


Figura 64: Flessori avambr. s/d



Figura 65: Estensori avambr. s/d

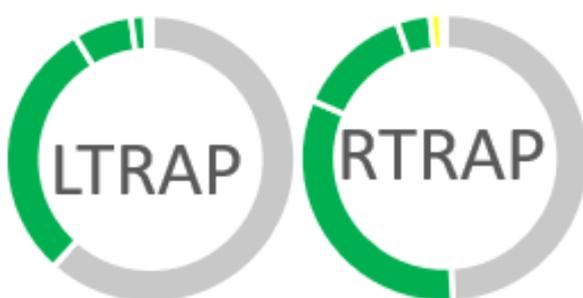


Figura 66: Trapezio s/d



Figura 67: Low Back

CONSIDERAZIONI CARICO FOSFATAZIONE: Durante la fase di misurazione dell'attività specifica sono emerse le seguenti evidenze:

- rispetto all'attività di carico della sabbiatrice, il carico della fosfatazione presenta picchi di attivazione muscolare più rilevanti nei muscoli come i trapezi, i deltoidi ma soprattutto i flessori/estensori dell'avambraccio ed i muscoli bicipiti. Ciò potrebbe essere causato dall'altezza maggiore delle bilancelle da terra (carico fosfatazione) rispetto ai ganci della sabbiatrice e quindi un coinvolgimento maggiore dei gruppi muscolari per la movimentazione verticale del manufatto;
- i grafici ad anello evidenziano che l'attivazione muscolare risulta essere per la maggior parte compresa tra il 10% ed il 30% (VERDE) ma per qualche frazione di tempo compresa anche tra il 31% e il 60% (GIALLO), in particolare il flessore dell'avambraccio sinistro e i bicipiti

Da questa analisi si può portare alla luce il fatto che l'attività di carico fosfatazione coinvolge maggiormente i gruppi muscolari degli arti superiori rispetto al carico della sabbiatrice. Si allega la tabella dei risultati riferiti all'attività di carico della fosfatazione svolta dal Lavoratore 5: **ALLEGATO I.V**

Tipo: Attività specifica – Attività mista

Lavoratore: n°5

Tempo di misura: 10 minuti circa

Descrizione attività: Il Lavoratore 5 effettua le attività di spostamento nella cesta dei manufatti, il carico della sabbiatrice e il carico della fosfatazione in serie.

Peso manufatti: 19 Kg

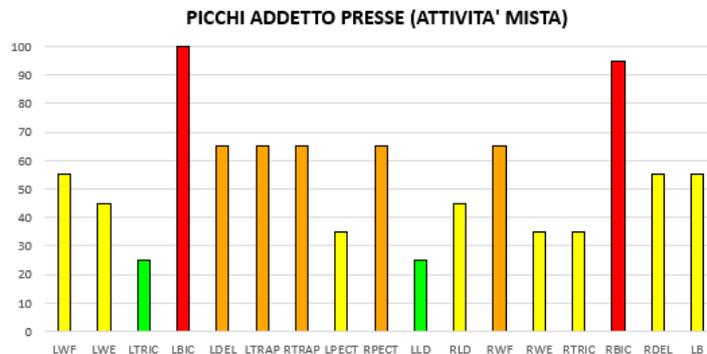
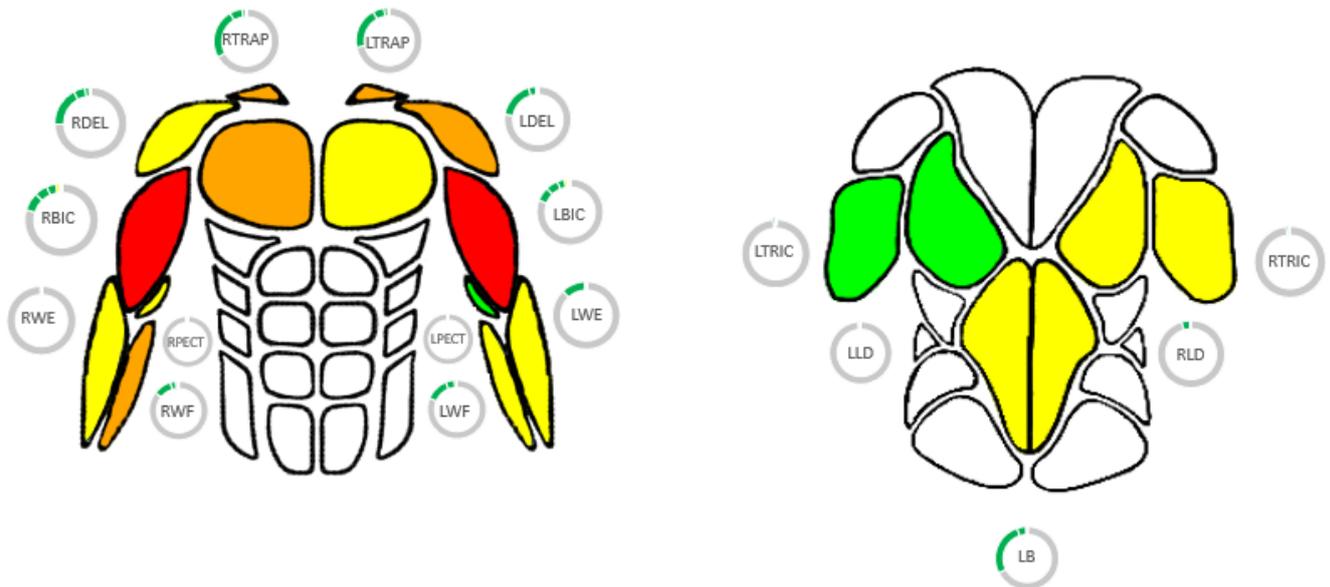


Figura 68: Quick Report micro attività mista (Lavoratore 5)

Di seguito si riportano i grafici ad anello riferiti ai muscoli più sollecitati durante la misurazione dell'attività specifica mista svolta dal Lavoratore 5:



Figura 69: Bicipite s/d



Figura 70: Deltoidi s/d

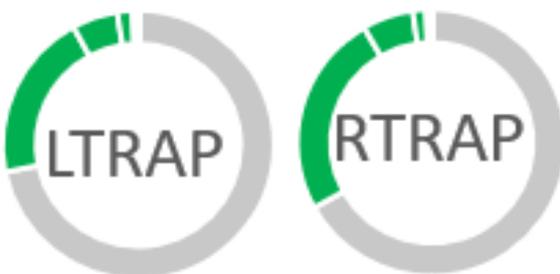


Figura 71: Trapezio s/d



Figura 72: Estensori avambr. s/d

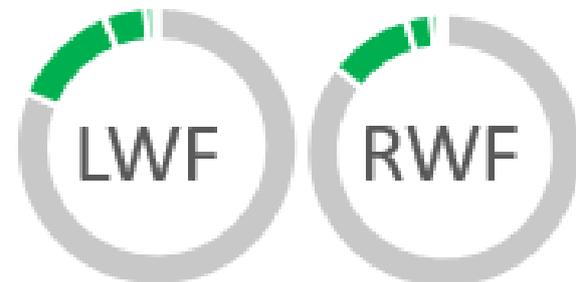


Figura 73: Flessori avambr. s/d

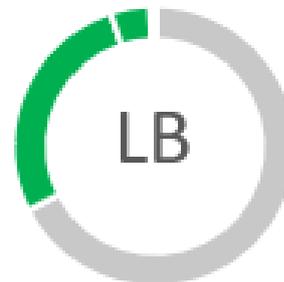


Figura 74: Low Back

CONSIDERAZIONI ATTIVITA' MISTA: Durante la fase di analisi dell'attività mista, comprendente la movimentazione dei manufatti nella cesta, il carico della sabbiatrice e il carico della fosfatazione, si possono notare:

- f. picchi di attivazione muscolari tra l'81% e il 100% (ROSSO) nei muscoli bicipiti, questo è ragionevolmente dovuto al fatto che l'operatore per preparare il prelevamento dei manufatti nella cesta, li sposta e li solleva flettendo il braccio e quindi attivando i muscoli bicipiti;
- g. dai grafici ad anello, però, si evince che per la maggior parte del tempo, l'attivazione muscolare è compresa tra lo 0% e il 10% (GRIGIO) e tra il 10% e il 30% (VERDE).
- h. Solamente per i muscoli bicipiti, per una piccola frazione temporale, l'attivazione ricade tra il 31% e il 60% (GIALLO).

Si allega la tabella dei risultati riferiti all'attività mista svolta dal Lavoratore 5: **ALLEGATO I.V**

7) Conclusioni

Alla luce di quanto emerso nel presente lavoro di tesi si può affermare che gli indumenti sensorizzati, già ampiamente in uso in ambiti sportivi, possono essere impiegati, anche in campo occupazionale, per l'effettuazione di misurazioni sul campo in contesti lavorativi reali.

Sicuramente sono auspicabili dei miglioramenti nell'acquisizione sincronizzata dei dati in misurazioni di lunga durata. Inoltre, al fine di assicurare la possibilità di confronto tra diversi lavoratori oppure tra differenti gruppi muscolari dovranno essere attentamente valutati possibili correttivi agli esercizi di normalizzazione previsti considerato che le attività lavorative includono, molto spesso, attività dinamiche variabili.

Nonostante siano necessari ulteriori studi ed approfondimenti per migliorare il set-up e l'utilizzo delle apparecchiature in contesti produttivi reali si ritiene che l'acquisizione di dati personalizzati e sistematizzati sottoforma di Quick report possano fornire informazioni utili a supporto dei processi di valutazione del rischio e di riprogettazione degli ambienti di lavoro.

Inoltre, la fornitura di dati sperimentali relativi ai singoli soggetti, potrebbero essere utilizzati per aumentare la consapevolezza dei lavoratori sulle modalità con cui vengono effettuate le attività di movimentazione.

Si ritiene che questo strumento possa essere utile anche per la valutazione dell'efficacia degli interventi migliorativi introdotti da parte delle organizzazioni (es. procedure di lavoro, introduzione di ausili, ecc) oppure per fornire informazioni propedeutiche ai processi di riprogettazione delle postazioni di lavoro in un'ottica di *"human centered workplaces"*.

Sicuramente l'elevata replicabilità e ripetibilità dei campionamenti, anche sul medesimo soggetto, costituisce un punto di forza in quanto la valutazione potrebbe essere ripetuta nel tempo.

In conclusione, si ritiene che sia necessario procedere con le attività di ricerca atte a migliorare e standardizzare i protocolli di rilevazione unitamente allo svolgimento di campagne di misura che prevedano l'impiego degli indumenti con sensori tessili integrati nelle realtà produttive.

8) Bibliografia

8.1) Documenti Istituzionali

- 1) INAIL (2022). Dati INAIL
Andamento degli Infortuni sul Lavoro e delle Malattie Professionali
- 2) INAIL (2019)
La norma tecnica UNI ISO 1128 – 1 “Lifting and carrying”
- 3) INAIL (2017)
La norma tecnica UNI ISO 1128 – 2 “Pushing and Pulling”
- 4) INAIL (2017)
La norma tecnica UNI ISO 1128 – 3 “Ergonomics – Manual handling – Part 3: handling of low loads at high frequency”

8.2) Sitografia

- 1) D.LGS 9 aprile 2008, n. 81
https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2008_0081.htm
- 2) FLC CGIL: Salute e sicurezza sul lavoro
<https://m.flcgil.it/attualita/salute-e-sicurezza-sul-lavoro-partiamo-dalla-scuola.flc>
- 3) PUNTO SICURO: Valutazione e misura del rischio da sovraccarico biomeccanico
<https://www.puntosicuro.it/lavoratori-C-73/valutazione-misura-del-rischio-da-sovraccarico-biomeccanico-AR-12050/>
- 4) INAIL: Malattie professionali da MMC e movimenti ripetuti: analisi di casi reali
<https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-slide-casini-evento-webinar-sconti-inail-imp-sicur-sicilia.pdf>
- 5) SCALA DI BORG: scala di percezione dello sforzo
<https://www.fisioscience.it/blog/scala-di-borg/>
- 6) PUNTO SICURO: La novità del Technical Report ISO/TR 12295:2014
<https://www.puntosicuro.it/rischio-ergonomico-C-116/ergonomia-le-novita-del-technical-report-iso/tr-12295-2014-AR-14961/>
- 7) INAIL: Valutazione del rischio
<https://www.inail.it/cs/Satellite?c=Page&cid=2443085355519&d=68&pagename=Internet%2FPa ge%2FpaginaFoglia%2Flayout>

- 8) INAIL: Valutazione del rischio da posture di lavoro statiche: tecniche osservazionali e tecniche di misura dei parametri biomeccanici
<https://www.inail.it/cs/internet/attivita/prevenzione-e-sicurezza/offerta-formativa/calendario-corsi/corso-rischio-posture-statiche-2022.html>
- 9) CERFICO : ISO 11226 “*Evolution of static working postures*”
<https://www.certifico.com/normazione/209-documenti-riservati-normazione/organismi-normazione/documenti-uni/8812-uni-iso-11226-valutazione-delle-posture-statiche-di-lavoro>
- 10) MYONTEC: Mbody kit
<https://www.myontec.com>
- 11) PUBMED
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

8.3) Articoli e Studi

- 1) “*Principi di elettromiografia di superficie. Dal potenziale d'azione alle applicazioni nei diversi settori della medicina e dell'ingegneria*” – di Alberto Ranavolo
- 2) “*MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women*” – di Francisco J Vera-Garcia 1, Janice M Moreside, Stuart M McGill
- 3) “*Usefulness of surface electromyography of hand muscles in the assessment of myoelectric parameters changes due to repetitive manual tasks*” - R Bonfiglioli 1, A Botter, F Draicchio, M Calabrese, P Mussoni, S Curti, S Mattioli, R Merletti, F S Violante
- 4) “*Surface electromyography features in manual workers affected by carpal tunnel syndrome*” - Roberta Bonfiglioli 1, Alberto Botter, Monica Calabrese, Patrizia Mussoni, Francesco S Violante, Roberto Merletti

5) ALLEGATI

ALLEGATO I: Risultati tabellati

ALLEGATO I.I

		LAVORATORE 3 (ATTIVITA' TOTALE)																
		LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LB
<10%		41,43	37,04	73,03	28,50	44,11	74,88	71,01	73,46	90,08	94,65	83,32	27,09	22,39	29,30	31,68	26,47	40,54
10% - 30%		19,81	26,15	15,13	20,87	22,76	20,37	22,03	14,25	6,23	4,56	11,22	9,10	8,15	13,25	12,95	10,19	22,28
		10,12	12,87	4,96	12,78	11,37	3,47	4,80	4,98	1,71	0,56	3,35	7,14	6,26	8,28	13,71	7,67	13,70
31%-60%		5,96	7,34	2,42	8,38	6,43	0,86	1,28	2,53	0,76	0,15	1,16	7,92	6,84	10,03	7,69	8,18	8,55
		3,76	4,59	1,44	5,62	4,03	0,27	0,45	1,34	0,40	0,05	0,48	7,90	6,34	8,29	5,22	6,42	5,43
		3,07	3,07	0,90	4,27	2,76	0,10	0,19	0,92	0,24	0,02	0,21	5,93	5,24	5,74	4,14	4,78	3,44
61%-80%		2,36	2,15	0,62	2,86	1,93	0,03	0,10	0,58	0,17	0,01	0,11	3,99	3,96	3,96	2,95	3,89	2,26
		1,83	1,52	0,40	2,21	1,46	0,01	0,05	0,39	0,10	0,01	0,06	3,17	2,92	2,82	2,32	3,27	1,41
81%-100%		1,50	1,11	0,30	1,77	1,07	0,01	0,03	0,30	0,07	0,00	0,03	2,66	2,85	2,46	1,89	2,81	0,90
		1,13	0,81	0,20	1,54	0,79	0,00	0,02	0,22	0,06	0,00	0,01	2,12	2,20	1,79	1,60	2,38	0,54
		9,04	3,34	0,59	11,19	3,29	0,00	0,04	1,03	0,19	0,00	0,05	22,98	32,85	14,08	15,85	23,94	0,96

ALLEGATO I.II

		LAVORATORE 4 (ATTIVITA' TOTALE)																
		LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LB
<10%		6,77	6,10	7,29	6,52	6,34	5,91	5,79	7,04	7,23	4,98	5,29	6,56	6,11	7,06	6,29	6,91	5,92
10% - 30%		0,22	0,68	0,04	0,32	0,66	1,06	0,92	0,23	0,08	1,56	1,39	0,35	0,56	0,23	0,34	0,34	1,14
		0,13	0,30	0,00	0,21	0,22	0,22	0,32	0,03	0,01	0,46	0,40	0,18	0,31	0,03	0,23	0,06	0,23
31%-60%		0,09	0,15	0,00	0,13	0,07	0,08	0,15	0,01	0,00	0,18	0,13	0,09	0,12	0,00	0,15	0,01	0,03
		0,05	0,06	0,00	0,07	0,02	0,03	0,07	0,00	0,00	0,06	0,05	0,05	0,10	0,00	0,10	0,00	0,01
		0,03	0,03	0,00	0,04	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02	0,04	0,04	0,00	0,06	0,00	0,00
61%-80%		0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00
		0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00
81%-100%		0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00

ALLEGATO I.III

		LAVORATORE 5 (ATTIVITA' TOTALE)																
		LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LB
<10%		92,00	93,78	99,61	90,80	86,90	85,85	77,58	99,41	99,58	99,19	97,69	94,01	99,67	98,87	91,95	86,64	85,28
10% - 30%		4,47	5,51	0,34	3,69	10,39	11,43	17,49	0,54	0,30	0,76	1,99	4,02	0,29	0,94	3,89	10,41	12,02
		2,08	0,60	0,04	2,36	1,98	2,02	3,75	0,03	0,06	0,03	0,24	1,35	0,02	0,15	2,23	1,97	2,31
31%-60%		0,97	0,08	0,01	1,48	0,47	0,49	0,89	0,01	0,03	0,01	0,05	0,42	0,01	0,03	1,18	0,60	0,34
		0,33	0,02	0,00	0,83	0,15	0,15	0,21	0,00	0,01	0,00	0,02	0,14	0,00	0,01	0,46	0,21	0,04
		0,12	0,01	0,00	0,45	0,06	0,05	0,05	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,19	0,10	0,01
61%-80%		0,04	0,00	0,00	0,21	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,07	0,05	0,00
		0,01	0,00	0,00	0,10	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
81%-100%		0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01

ALLEGATO I.IV

		LAVORATORE 5 (CARICO SABBIA TRICE)															
	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LB
<10%	90,94	96,47	99,93	91,81	93,94	85,94	82,01	99,80	99,93	99,60	97,73	94,54	99,87	99,33	93,80	93,94	87,41
10% - 30%	7,99	3,46	0,07	3,60	5,33	12,06	15,19	0,20	0,00	0,40	2,27	4,53	0,13	0,60	2,93	4,80	11,39
	1,07	0,07	0,00	1,53	0,60	1,53	2,47	0,00	0,07	0,00	0,00	0,73	0,00	0,07	2,00	0,73	1,13
31%-60%	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,40	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,93	0,20	0,07
	0,00	0,00	0,00	1,13	0,13	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,13	0,00
61%-80%	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
81%-100%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ALLEGATO I.V

		LAVORATORE 5 (CARICO FOSFATAZIONE)															
	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LB
<10%	68,48	75,24	99,37	66,64	64,48	61,65	49,12	96,57	99,27	98,53	96,70	77,47	99,10	96,30	75,71	72,48	60,01
10% - 30%	11,96	21,33	0,63	7,43	26,52	29,66	32,46	3,27	0,50	1,27	3,20	13,90	0,70	3,17	12,50	22,26	28,56
	10,03	3,10	0,00	7,30	6,73	6,53	13,06	0,10	0,07	0,13	0,10	5,80	0,10	0,50	6,26	4,13	9,43
31%-60%	6,16	0,30	0,00	6,56	1,63	1,63	3,73	0,07	0,07	0,07	0,00	1,83	0,00	0,00	3,33	0,73	1,73
	2,37	0,03	0,00	5,33	0,40	0,47	1,27	0,00	0,07	0,00	0,00	0,77	0,00	0,03	1,20	0,20	0,27
61%-80%	0,80	0,00	0,00	3,57	0,20	0,07	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,73	0,17	0,00
	0,07	0,00	0,00	2,00	0,03	0,00	0,10	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,27	0,03	0,00
81%-100%	0,10	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,03	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00

ALLEGATO I.VI

		LAVORATORE 5 (ATTIVITA' MISTA)															
	LWF	LWE	LTRIC	LBIC	LDEL	LTRAP	RTRAP	LPECT	RPECT	LLD	RLD	RWF	RWE	RTRIC	RBIC	RDEL	LB
<10%	81,27	87,85	98,73	80,80	77,56	71,78	66,92	99,18	98,69	98,69	95,45	85,49	99,58	98,27	79,54	74,49	67,47
10% - 30%	12,62	11,33	1,13	6,87	17,95	20,28	24,68	0,78	0,87	1,29	4,04	9,98	0,38	1,51	8,09	17,66	27,44
	4,80	0,67	0,13	6,09	3,40	5,44	6,13	0,02	0,36	0,02	0,36	3,00	0,02	0,20	5,71	5,15	4,53
31%-60%	1,09	0,11	0,00	3,53	0,64	1,78	1,58	0,02	0,04	0,00	0,13	0,91	0,02	0,02	4,09	1,93	0,47
	0,20	0,04	0,00	1,40	0,22	0,53	0,56	0,00	0,02	0,00	0,02	0,44	0,00	0,00	1,56	0,53	0,07
61%-80%	0,02	0,00	0,00	0,87	0,16	0,16	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,73	0,22	0,02
	0,00	0,00	0,00	0,24	0,07	0,02	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
81%-100%	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ALLEGATO II: Valori di normalizzazione

GRUPPO MUSCOLARE	MCV LAVORATORE 3	MCV LAVORATORE 4	MCV LAVORATORE 5
LWF	118	273	599
LWE	159	35	975
LTRIC	171	129	521
LBIC	122	347	563
LDEL	141	474	261
LTRAP	1008	534	747
RTRAP	830	520	707
LPECT	116	168	324
RPECT	229	246	479
LLD	256	78	195
RLD	214	95	122
RWF	102	396	609
RWE	86	90	447
RTRIC	96	326	587
RBIC	152	303	577
RDEL	100	196	287
LB	120	699	431

ALLEGATO III: Legenda sigle

SIGLA	GRUPPO MUSCOLARE
LWF	LEFT WRIST FLEXORS
LWE	LEFT WRIST EXTENSORS
LTRIC	LEFT TRICEP
LBIC	LEFT BICEP
LDEL	LEFT DELTOIDS
LTRAP	LEFT TRAPEZIUS
RTRAP	RIGHT TRAPEZIUS
LPECT	LEFT PECTORALIS
RPECT	RIGHT PECTORALIS
LLD	LEFT LATISSIMUS DORSI
RLD	RIGHT LATISSIMUS DORSI
RWF	RIGHT WRIST FLEXORS
RWE	RIGHT WRIST EXTENSORS
RTRIC	RIGHT TRICEP
RBIC	RIGHT BIEP
RDEL	RIGHT DELTOIDS
LB	LOW BACK

ALLEGATO IV: Album fotografico

CARICO SABBIATRICE



CARICO FOSFATAZIONE



SPOSTAMENTO MANUFATTI NELLA CESTA



10) Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia profonda e sincera gratitudine a tutte le persone che hanno reso possibile la realizzazione di questa tesi di laurea triennale e che mi hanno accompagnato nel mio percorso universitario. Senza il loro sostegno, il mio percorso accademico sarebbe stato incompleto.

Innanzitutto, vorrei ringraziare il Dottor Michele Bordignon, nonché mio relatore, per la sua guida, il supporto costante sia durante il periodo di redazione del documento sia durante la fase di misurazione, ma soprattutto lo ringrazio per la fiducia posta in me durante tutto il processo di ricerca. I suoi consigli e la sua competenza sono stati fondamentali per il successo di questo lavoro.

Ringrazio il Dottor Giovanni Missana per le competenze e la disponibilità mostrata lungo il mio percorso.

Ringrazio il Correlatore, Ing. Fabio Dal Magro, per essersi reso disponibile nel fornire tutto il necessario per svolgere le misurazioni nel luogo di lavoro.

Ringrazio l' Ing. Francesca Soro per l'aiuto e la cortesia nei miei confronti.

Ringrazio l'azienda metalmeccanica per essersi resa disponibile nel supporto del presente lavoro di tesi.

Ringrazio il fornitore dei dispositivi sensorizzati indossabili, Myontec Ltd.

Infine, vorrei dedicare un pensiero e un ringraziamento a tutti coloro che hanno partecipato alla mia ricerca tra cui:

Kevin Coceancig per essersi reso sempre disponibile nei miei confronti e per avermi aiutato a sviluppare il Software per la generazione del Report illustrativo grazie alle sue importanti competenze informatiche;

Il Dottor Mattia Golop per le sue competenze e per il continuo supporto;

Marta Alessandrini per il disegno tecnico dei gruppi muscolari posteriori utilizzato nel Report illustrativo.

Desidero estendere la mia gratitudine ai miei amici e colleghi che mi hanno sostenuto e incoraggiato lungo il percorso

Ultimo ma non per importanza, un grande ringraziamento va anche alla mia famiglia per il loro incoraggiamento e il loro sostegno morale ed economico incondizionato.