

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Medicina

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecniche dell'Attività Motoria Preventiva e
Adattata

Tesi di Laurea

**VALUTAZIONE DELLA PERCEZIONE DI COMFORT E
PERFORMANCE DURANTE L'ESECUZIONE DI STACCHI ISOMETRICI
CON L'UTILIZZO DI UN ESOSCHELETRO PASSIVO IN LAVORATORI
ESPOSTI A MOVIMENTAZIONE MANUALE DEI CARICHI**

Relatore: Prof. Marco Bergamin

Laureando: Davide Zuccon

N° di matricola: 2057008

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

ABSTRACT (ITALIANO)	1
ABSTRACT (INGLESE)	2
INTRODUZIONE	3
1.1 SALUTE IN AMBIENTE LAVORATIVO	3
1.2 PATOLOGIE LAVORO CORRELATE E ASSENZA DAL POSTO DI LAVORO	4
1.3 PATOLOGIE LAVORO CORRELATE E TIPOLOGIA DI OCCUPAZIONE 5	5
1.4 FATTORI DI RISCHIO FISICO E SALUTE SUL LAVORO	5
1.5 SALUTE SUL LUOGO DI LAVORO E DIFFERENZE DI GENERE	6
1.6 PATOLOGIE MUSCOLO SCHELETRICHE LAVORO CORRELATE	7
1.7 ESOSCHELETRO NELLA PREVENZIONE DEL LOW BACK PAIN	8
2 SCOPO DELLA TESI	9
3 MATERIALI E METODI	10
3.1 PARTECIPANTI	10
3.2 ESOSCHELETRO OTTOBOCK PAEXO BACK	10
3.3 DESIGN DELLO STUDIO	11
3.3.1 MINI MENTAL STATE EXAMINATION	13
3.3.2 NASA TLX	15
3.3.3 QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK	19
3.4 ANALISI STATISTICA DEI DATI	21
4 RISULTATI	24
4.1 RISULTATI STACCO ISOMETRICO	24
4.2 NASA TLX	25
4.3 QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK	31
4.4 RISULTATI ANALISI STATISTICA	33
4.4.1 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA PROVA MIGLIORE DI STACCO ISOMETRICO CON ESOSCHELETRO E RISULTATI NASA-TLX	33

4.4.2 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA DIFFERENZA TRA LE PROVE ISOMETRICHE MIGLIORI NELLE DUE CONDIZIONI E RISULTATI NASA-TLX.	35
4.4.3 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA DIFFERENZA TRA LE PROVE DI STACCO ISOMETRICO MIGLIORI NELLE DUE CONDIZIONI E RISULTATI QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK.....	35
4.4.4 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA I RISULTATI DEL QUESTIONARIO NASA TLX ED I RISULTATI DEL QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK.....	36
DISCUSSIONE	40
CONCLUSIONI	45
BIBLIOGRAFIA	47

ABSTRACT (ITALIANO)

Introduzione: Le patologie muscolo scheletriche spesso sono il risultato di un sovraccarico biomeccanico ripetuto nel tempo, condizione che si verifica frequentemente in ambito occupazionale. Tali problematiche possono colpire tutte le articolazioni, ma interessano particolarmente la porzione dorso-lombare del rachide. L'utilizzo di un esoscheletro passivo durante la movimentazione manuale di carichi potrebbe essere una soluzione per ridurre l'incidenza di queste patologie, in quanto questi dispositivi puntano a ridurre il sovraccarico biomeccanico alle articolazioni. Scopo della tesi: valutare la prestazione e la percezione del carico di lavoro (e delle relative sottoscale) dei partecipanti con l'utilizzo dell'esoscheletro.

Materiali e metodi: sono stati reclutati 34 soggetti di sesso maschile, di età compresa tra i 18 ed i 65 anni, lavoratori manuali e in assenza di condizioni patologiche acute. Previa firma del consenso informato sono stati rilevati altezza, peso, punteggio nel Mini Mental State Examination e forza di prensione dell'arto dominante. In seguito, dopo un adeguato riscaldamento cardiovascolare e specifico, sono state svolte in totale sei prove: tre esecuzioni di stacco isometrico senza ausilio di esoscheletro e tre con utilizzo dell'esoscheletro (tutte intervallate ad un minuto di recupero), al fine di simulare uno sforzo massimale in ambito lavorativo. Le prove sono state svolte in ordine randomizzato, sia eseguendo prima le tre prove con l'utilizzo del dispositivo ed in seguito le tre prove senza dispositivo, che viceversa. Infine, per la valutazione della percezione del comfort e della performance, è stato compilato dal soggetto il questionario NASA-TLX ed un questionario specifico ideato appositamente.

Risultati: I partecipanti hanno assegnato punteggi maggiori a Performance, Sforzo e Richiesta fisica, mentre sono stati conferiti punteggi minori a Mental demand, Temporal demand e Frustration. Dai risultati del questionario comfort e vestibilità emerge che la maggioranza del campione ha assegnato punteggi medi al comfort e punteggi positivi al supporto percepito, indicando anche il dispositivo come utile nella movimentazione di carichi pesanti.

Conclusioni: Questo studio ha mostrato i potenziali benefici dell'utilizzo di un esoscheletro passivo nella movimentazione manuale di carichi. In particolare, ha posto l'attenzione sulla percezione del lavoratore riguardo il dispositivo, dimostrando come venga percepito dal partecipante il sostegno ed il supporto alla performance, ma allo stesso tempo come ancora ci sia da lavorare per ottimizzare comfort e vestibilità dell'esoscheletro.

ABSTRACT (INGLESE)

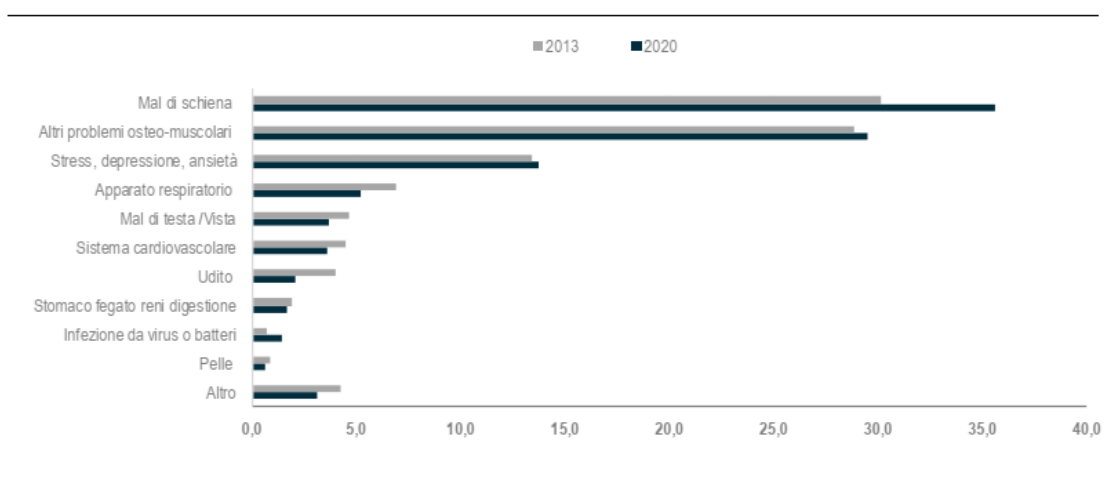
Introduction: Musculoskeletal disorders often result from repeated exposures to mechanical overload. In the occupational setting, these are largely due to the recurrent performance of tasks involving the manual handling of loads. These disorders can affect all joints, but especially the dorso-lumbar portion of the spine. The implementation of a passive exoskeleton during manual handling of loads could be useful to reduce the incidence of these pathologies, as these devices aim to reduce biomechanical overload of the joints. **Aim of the study:** To evaluate the performance and perception of workload (and related subscales) of participants using the exoskeleton. **Materials and Methods:** Thirty-four male subjects of working age (between 18 and 65 years), involved in manual handling of loads in the occupational setting and in the absence of acute pathological conditions were recruited. After signing informed consent, height, weight, score in the Mini Mental State Examination, and handgrip strength of the dominant limb were measured. Then, after an appropriate cardiovascular and specific warm-up, a total of six trials were performed: three maximal isometric deadlift repetitions without exoskeleton aid and three with exoskeleton use, in order to simulate maximal exertion in the work environment. The tests were conducted in a random order, either by first performing the three trials with the use of the device and then the three tests without the device, or vice versa. Finally, for the assessment of perceived comfort and performance, the NASA-TLX questionnaire and a specially designed questionnaire were completed by the subject. **Results:** Participants assigned higher scores to Performance, Effort and Physical Demand, while lower scores were given to Mental Demand, Temporal Demand and Frustration. The results of the comfort and fit questionnaire show that most of the sample gave medium scores to comfort and higher scores to perceived support and recognized the device as useful in handling heavy loads. **Conclusions:** This study exposed the potential effects of using a passive exoskeleton in manual handling of loads. In particular, it's focused on the worker's perception of the device, showing how improved performance and support is perceived by the participant, but at the same time how there is still work to be done to improve the comfort and fit of the exoskeleton.

INTRODUZIONE

1.1 SALUTE IN AMBIENTE LAVORATIVO

Secondo dati Istat relativi al 2020, il 5,2% dei soggetti partecipanti all'indagine, ovvero uomini e donne di età compresa fra i 16 ed i 74 anni, dichiarano di aver riscontrato negli ultimi 12 mesi patologie o problematiche di salute, esclusi infortuni, dovute o aggravate dall'attività lavorativa.

Di questi, il 17,8% (circa 337 mila soggetti) dichiara di essere stato soggetto ad almeno due problematiche di salute lavoro-correlate. Andando ad osservare nello specifico le tipologie di disturbi dichiarati dagli intervistati emerge che nel 65% dei casi si tratta di patologie muscolo scheletriche, riguardanti articolazioni, muscoli ed ossa; e andando a confrontare questo dato con i dati del rapporto Istat relativo al 2013, si denota un trend in aumento (dal 59% del 2013 al 65% del 2020). Tra le patologie muscolo scheletriche dichiarate: il 35,6% riguarda il rachide (pari ad oltre un terzo del totale), il 19,5% riguarda gli arti superiori ed il 10% gli arti inferiori (Figura1). Infine, è rilevante notare che, osservando i lavoratori più giovani (dai 25 ai 34 anni), anch'essi dichiarano come problematica principale l'insieme delle patologie muscolo scheletriche riguardanti il rachide [1].



Fonte: Istat, Rilevazione sulle forze di lavoro, modulo ad hoc 2020

Figura 1: Principali patologie causate o aggravate dall'attività lavorativa in uomini e donne

residenti in Italia, di età compresa tra i 16 ed i 74 anni. Viene riportato il confronto tra i dati relativi all'anno 2013 (colore grigio) e i dati relativi all'anno 2020 (colore nero) [1].

1.2 PATOLOGIE LAVORO CORRELATE E ASSENZA DAL POSTO DI LAVORO

È interessante notare inoltre, l'impatto di tali problematiche sulle assenze dal posto di lavoro: nel 53,4% degli intervistati la patologia non ha comportato assenza dalla propria occupazione; mentre nel 9,9% dei casi l'assenza si è protratta per oltre un mese e nel 5,4% invece la durata dell'assenza è stata di una settimana (Figura 2). È interessante notare tuttavia, che tali assenze sono dovute principalmente a malattie infettive, problematiche di stomaco, fegato e reni. Per quanto riguarda invece le patologie muscolo scheletriche, quelle riguardanti il rachide, sono indicate dal 31,7% dei soggetti come la principale problematica che impedisce il ritorno all'attività lavorativa, seguite dalle patologie relative agli arti inferiori (10% dei casi) [1].

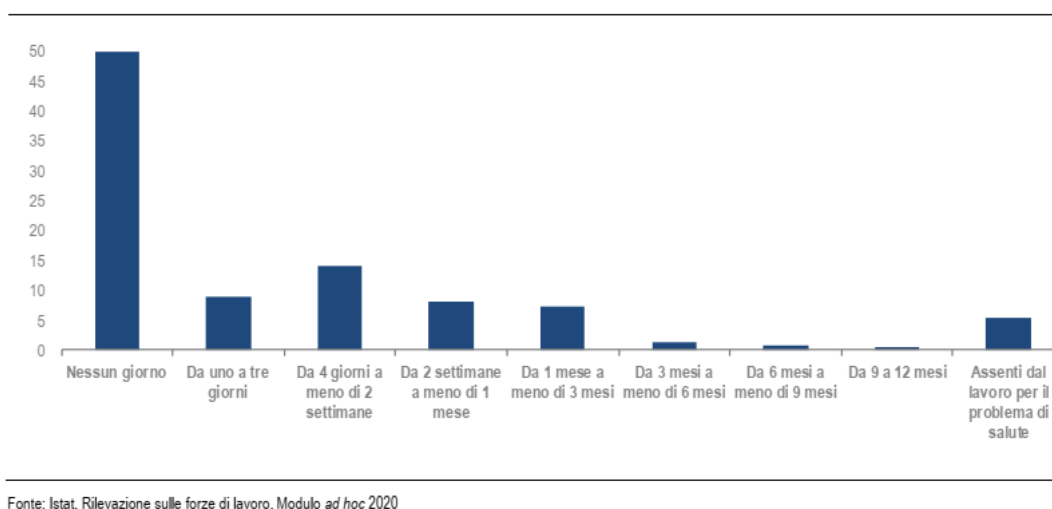


Figura 2: Durata delle assenze dal posto di lavoro dichiarate dagli occupati. Composizione percentuale [1].

1.3 PATOLOGIE LAVORO CORRELATE E TIPOLOGIA DI OCCUPAZIONE

Analizzando l'occupazione dei lavoratori che hanno dichiarato di aver sofferto di patologie correlate al proprio impiego emerge che i lavoratori autonomi sono la categoria maggiormente colpita, seguiti da operai, imprenditori e liberi professionisti [1].

1.4 FATTORI DI RISCHIO FISICO E SALUTE SUL LAVORO

Se andiamo ad analizzare la presenza di fattori di rischio nel luogo di lavoro le percentuali si alzano notevolmente; basti pensare che il 70,2% degli occupati avverte la presenza di almeno un fattore di rischio di natura fisica o psicologica, sul proprio posto di lavoro. Se consideriamo invece solamente il rischio fisico, la percentuale di lavoratori che dichiara di percepirlo sul posto di lavoro si attesta al 62,2%, pari a 14 milioni e 253 mila lavoratori; di questi il 32,2% dice di essere esposto a movimenti ripetitivi di mano e braccio, il 31,2% di essere esposto a posizioni dolorose o stancanti, il 22% di essere esposto a disturbi visivi ed al quarto posto con il 17,5% troviamo l'esposizione a sollevamento o spostamento di carichi pesanti (Figura 3) [1].

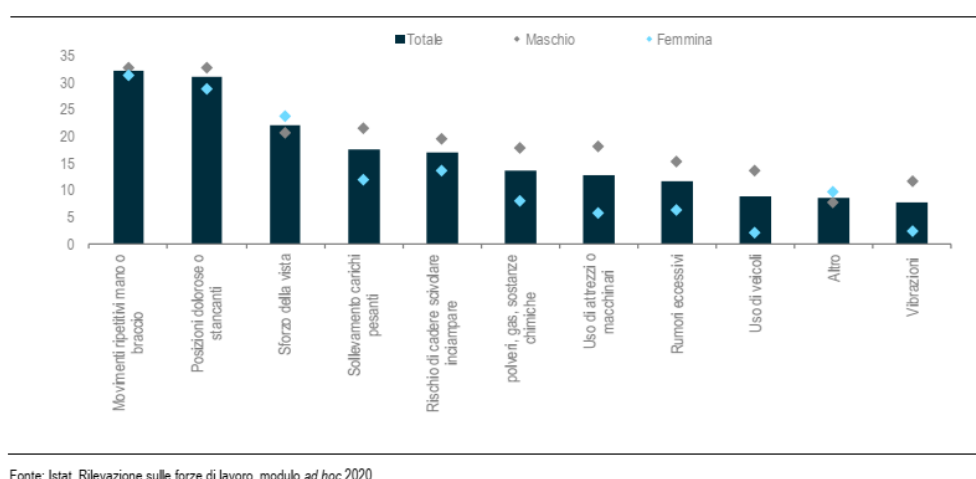
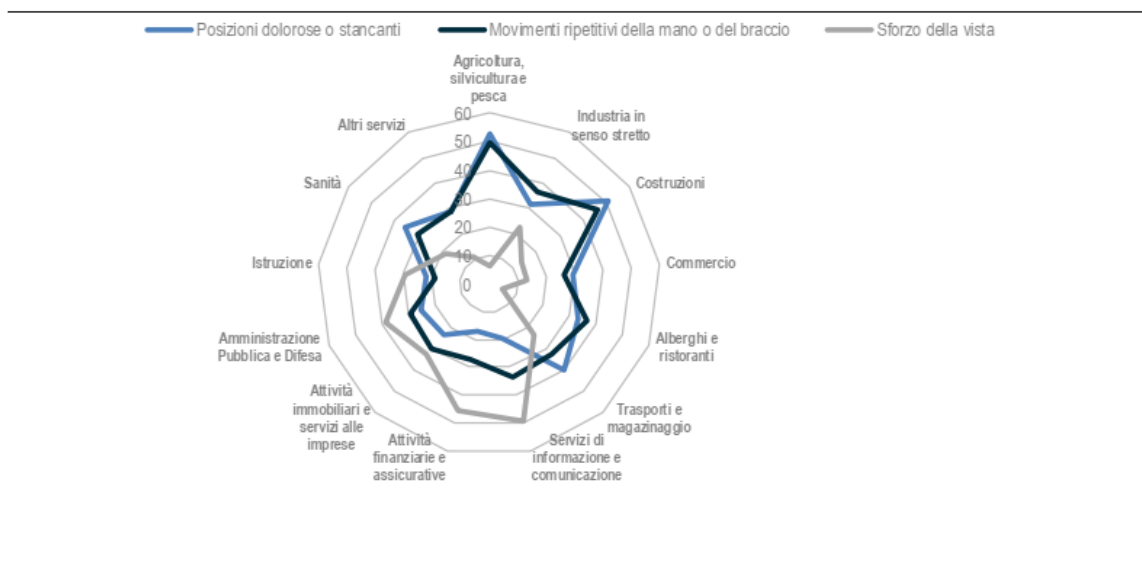


Figura 3: Principali fattori di rischio fisico sul luogo di lavoro, con distinzione per sesso [1].

Il rischio di sollevamento o spostamento di carichi pesanti lo troviamo principalmente nei lavoratori impiegati nel settore delle Costruzioni (40,9%), seguiti dagli Agricoltori (38,6%), operai (28,3%) e lavoratori autonomi (27%); andando a rappresentare pertanto per tali categorie il secondo fattore di rischio fisico percepito, dietro solamente ai movimenti ripetitivi della mano e del braccio, come osservabile nella figura 4 [1].



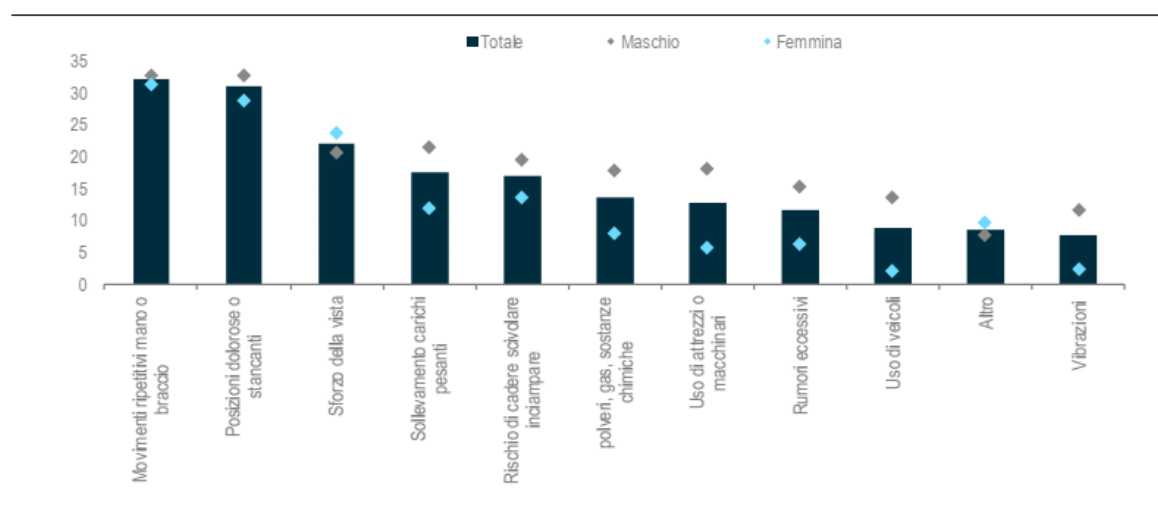
Fonte: Istat, Rilevazione sulle forze di lavoro, modulo ad hoc 2020

Figura 4: Lavoratori che si sentono esposti a fattori di rischio fisici (in percentuale), per tipologia di fattore e settore di attività economica (da controllare per il plagio) [1].

1.5 SALUTE SUL LUOGO DI LAVORO E DIFFERENZE DI GENERE

Analizzando le differenze di genere in merito a eventuali problematiche di salute lavoro-correlate, emerge un gap percentuale tra uomini e donne (5,3% per gli uomini, 5,1% per le donne), che tuttavia, si è ridotto rispetto al 2013 (5,6% per gli uomini e 4,9% per le donne) a causa dell'aumento della percentuale nelle donne e della contemporanea riduzione negli uomini. Si osserva inoltre un'incidenza maggiore nelle donne per quanto riguarda le patologie osteo-muscolari (31,4%) rispetto agli uomini (27,8%), ad eccezione delle problematiche riguardanti il rachide, che colpiscono in misura maggiore il sesso maschile.

In generale, per quanto riguarda l'esposizione a fattori di rischio fisici, sono gli uomini a dichiarare di esserne maggiormente esposti, nello specifico il 65,2% degli uomini contro il 58,1% delle donne; contrariamente a quanto avviene nel caso di esposizione a fattori di rischio psicologici, dove il 40,9% delle donne dichiara di percepirli sul proprio posto di lavoro, contro il 37,7% degli uomini. In particolare, sempre nei lavoratori di sesso maschile, risultano maggiormente presenti: posture di lavoro dolorose o stancanti (32,9%), movimenti ripetitivi dell'arto superiore (32,8%) e sollevamento o movimentazione di carichi pesanti (21,6%); mentre le lavoratrici riportano principalmente i movimenti ripetitivi dell'arto superiore (31,4%), seguiti dalla presenza di posture dolorose o stancanti (28,9%) e fattori di rischio riguardanti la vista [1].



Fonte: Istat, Rilevazione sulle forze di lavoro, modulo ad hoc 2020

Figura 5: Principali fattori di rischio percepiti sul luogo di lavoro dal totale (barre in nero) e rispettivamente dagli uomini (quadrati in grigio) e dalle donne (quadrati in azzurro) [1].

1.6 PATOLOGIE MUSCOLO SCHELETRICHE LAVORO CORRELATE

Si definiscono patologie muscolo-scheletriche correlate al lavoro, una serie di problematiche che interessano l'apparato locomotore (tendini, ossa, muscoli, legamenti, cartilagini,

strutture nervose e vascolari ed intere articolazioni), dovute principalmente all'attività lavorativa e/o all'ambiente lavorativo [2] [3].

Tali disturbi, costituiscono una delle principali problematiche di salute in età lavorativa, sia negli uomini che nelle donne, rappresentando pertanto un problema anche per i datori di lavoro, in quanto spesso tali patologie comportano assenza dal posto di lavoro ed anche, nei casi più gravi, abbandono forzato del posto di lavoro [2] [3] [4]. Basti pensare che, in Europa, più del 50% dei dipendenti affetti da disturbi muscolo scheletrici lavoro correlati fa almeno un giorno di assenza e per una durata maggiore rispetto a colleghi affetti da altre patologie; inoltre, nel 60% dei casi rende impossibile la normale ripresa della mansione svolta dal soggetto. Questo si traduce in una spesa pari a 240 miliardi di euro, che costituisce circa il 2% del PIL relativo all'UE-15 (ovvero i primi 15 stati membri dell'Unione Europea) [2].

I disturbi muscolo scheletrici lavoro correlati comprendono un ampio spettro di patologie relative ad un altrettanto ampio insieme di strutture biologiche ed articolazioni, tuttavia, tra queste la maggiormente colpita risulta la colonna vertebrale, ed in particolare la zona inferiore e lombare. Tale sintomatologia dolorosa viene denominata low back pain e si riferisce ad una serie di problematiche di salute, che vanno dal dolore di lieve entità, anche in assenza di lesioni (non specific low back pain) al dolore intenso con lesioni delle strutture biologiche del rachide (come ad esempio degenerazioni discali, dalla protrusione all'erniazione di vario grado del disco intervertebrale) [5] [6].

1.7 ESOSCHELETRO NELLA PREVENZIONE DEL LOW BACK PAIN

A causa dell'importanza e delle implicazioni di tali disturbi sulla salute del lavoratore e dell'evidenza che nello sviluppo di queste patologie risulta avere un ruolo determinante il sovraccarico meccanico sull'apparato locomotore (in particolare sul rachide), unito all'assunzione di posture scorrette durante l'orario di lavoro [7] [8]; negli ultimi anni si è assistito allo sviluppo di una serie di interventi ergonomici preventivi da parte delle aziende, al fine di rendere le postazioni di lavoro più sicure ed ergonomiche, riducendo i fattori di rischio fisico a cui erano esposti i dipendenti [9]. Tuttavia, vi sono alcune mansioni, come la

movimentazione manuale di carichi, che non sempre possono essere ottimizzate dal punto di vista ergonomico, in particolare alcuni aspetti del compito, come l'eventuale assunzione di posture scorrette durante il sollevamento, oppure l'entità del carico da movimentare. È proprio per rispondere a tali problematiche che negli ultimi anni sono nati dei dispositivi, gli esoscheletri, con lo scopo di ridurre il carico meccanico sulle articolazioni, sia in modo attivo (elettrico o pneumatico), sia in modo passivo (principalmente a molla) [2] [9] [10].

Nello specifico, nel presente studio, è stato utilizzato l'esoscheletro passivo Paexo Back (OttoBock SE & Co. KGaA, Duderstadt, Germany), progettato per ridurre il carico meccanico a livello del rachide, in particolare nella zona lombare, durante la movimentazione manuale dei carichi [10].

2 SCOPO DELLA TESI

Lo scopo del presente lavoro di tesi consta, in primo luogo, nel verificare l'effetto dell'utilizzo di un esoscheletro, sulla performance durante l'esecuzione di stacchi isometrici massimali in lavoratori manuali di sesso maschile. In secondo luogo, lo studio mira alla valutazione del carico di lavoro percepito dai partecipanti con l'utilizzo dell'ausilio, tramite la somministrazione di un questionario specifico che permetta la valutazione di sei componenti che concorrono alla percezione del carico di lavoro: richiesta mentale, richiesta fisica, richiesta temporale, performance, sforzo e livello di frustrazione.

Inoltre, è stato analizzato anche il livello di comfort, di vestibilità e di percezione di sostegno dell'esoscheletro durante il compito per ogni partecipante, indagando le correlazioni tra la prestazione (calcolata sia come la differenza tra il carico sollevato senza ausilio dell'esoscheletro e con l'ausilio dell'esoscheletro, sia considerando la prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro) e la percezione di tali parametri sopraindicati.

Tutto ciò allo scopo di valutare sia l'effettiva influenza del dispositivo sulla prestazione del lavoratore, sia la percezione del partecipante stesso riguardo il carico di lavoro avvertito con l'esoscheletro ed anche la comodità, l'efficacia e la vestibilità del dispositivo stesso percepita dal lavoratore.

3 MATERIALI E METODI

3.1 PARTECIPANTI

Sono stati inclusi nello studio partecipanti di sesso maschile, in età lavorativa (18-65 anni), lavoratori manuali, senza patologie cardiache pregresse negli ultimi sei mesi (patologia coronarica, angina pectoris, alterazione del tratto ST, infarto del miocardio, ecc.) e in assenza di altre condizioni patologiche quali: claudicatio sintomatica, neuropatia periferica, disturbi neurologici ed episodi di lombalgia nell'ultimo anno. Nello specifico, il campione selezionato per il presente lavoro di tesi è costituito da 34 soggetti di età compresa tra i 18 ed i 63 anni (età media $29,7 \pm 10,67$ anni), con un peso medio pari a $76,54 \pm 13,13$ kg ed un'altezza media di $177,07 \pm 8,33$ cm; destrorsi e con un valore medio di forza di prensione dell'arto dominante (handgrip) pari a $41,53 \pm 7,92$ kg. Ogni partecipante, prima di procedere con lo studio, ha preso visione e firmato un consenso informato.

3.2 ESOSCHELETRO OTTOBOCK PAEXO BACK

Nello svolgimento del presente studio è stato utilizzato l'esoscheletro passivo Paexo Back prodotto dall'azienda Ottobock SE & Co. KGaA, Duderstadt, Germany (Figura 6).



Figura 6: Esoscheletro Ottobock Paexo Back. A sinistra sono descritti i componenti del dispositivo; in centro ed a destra sono riportati esempi di utilizzo [10].

Il dispositivo è costituito da una fascia rigida regolabile indossata come uno zaino sulle spalle, collegata tramite delle giunzioni metalliche ad una cintura sul bacino, anch'essa regolabile, dotata di manopole laterali plastiche per l'attivazione dell'esoscheletro e la modulazione della stessa. Sempre tramite delle giunzioni metalliche la cintura è collegata all'ultima parte del dispositivo, costituita da una fascia a livello del quadricipite, in materiale plastico, aggiustabile in larghezza. La cintura a livello del bacino e la fascia di supporto alla parte superiore del torace sono regolabili in tre taglie, S, M, L (nella cintura sul bacino è raggiungibile anche l'XL grazie ad una fascia di supporto aggiuntiva) che ne consentono l'adattabilità a tutte le corporature. Infine, tra le manopole di regolazione poste in corrispondenza del gran trocantere e la fascia di supporto del quadricipite, è posto il meccanismo di supporto a molla; il quale converte l'energia cinetica data dalla flessione d'anca in energia potenziale elastica, che viene immagazzinata negli espansori. Il soggetto pertanto percepisce supporto mentre flette il busto in avanti: il momento della forza agente sull'anca; infatti, aumenta pressoché linearmente con la flessione.

L'attivazione avviene girando le due manopole laterali in senso antiorario (contrassegnato dal segno "+") ed alzando le due levette presenti sopra le manopole, che permettono l'attivazione se spostate su "on" e la disattivazione se abbassate su "off"; in seguito, è possibile aumentare l'attivazione andando in estensione con il busto, maggiore sarà l'estensione, maggiore sarà il sostegno conferito dall'esoscheletro al soggetto durante il bending anteriore [10].

3.3 DESIGN DELLO STUDIO

Per prima cosa, ad ogni partecipante è stato esposto il procedimento dello studio nei dettagli, con copia e firma del consenso informato; in seguito, è stato sottoposto il Mini Mental State Examination (MMSE) [11] per la valutazione delle funzioni cognitive e sono stati prelevati altezza, peso ed handgrip dell'arto dominante con l'utilizzo di un dinamometro idraulico (Baseline Hydraulic hand dynamometer, Fabrication Enterprises Inc. White Plains NY 1062 USA) (Figura 7).



Figura 7: Handgrip Test. Da sinistra viene raffigurata l'esecuzione del test vista dal piano laterale e frontale; infine viene riportato il dinamometro idraulico utilizzato.



Figura 8: Esecuzione delle prove di stacco isometrico. Senza esoscheletro a sinistra; Con l'esoscheletro Ottobock Paexo Back a destra.

Dopo un adeguato riscaldamento, composto da 5 minuti al cicloergometro e tre serie di stacchi rumeni con bilanciere (3 serie da 10 ripetizioni intervallate da 30 secondi di recupero), sono state eseguite tre prove di stacco isometrico massimale senza l'ausilio dell'esoscheletro (intervallate da 90 secondi di recupero) e tre prove di stacco isometrico con l'utilizzo dell'esoscheletro (intervallate da 90 secondi di recupero) (Figura 8). Le alzate nelle due condizioni sono state eseguite in ordine casuale, e sono state svolte utilizzando una barra collegata ad una cella di carico ed ancorata a terra (Globus Italia, Via Vittorio Veneto 52 – 31013 Codognè (TV) – Italia) (Figura 9) tramite una catena regolabile in modo che la barra fosse sempre alla stessa altezza per ogni partecipante (appena sotto la rotula).



Figura 9: Strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle prove di stacco isometrico. A sinistra sono raffigurate la pedana, la barra, la catena e la cella di carico; a destra nel dettaglio il display della cella di carico (Globus Italia, Via Vittorio Veneto 52 – 31013 Codognè (TV) – Italia).

Infine, al termine delle prove, sono stati somministrati due questionari: il NASA-TLX [12], al fine di valutare il carico del compito percepito dal partecipante con l'uso dell'esoscheletro ed un questionario specifico ideato appositamente per lo studio, somministrato online, con lo scopo di indagare il comfort, la vestibilità e la percezione dei partecipanti riguardo l'esoscheletro.

Tutti i dati raccolti (nome, cognome, professione, età, altezza, peso, arto dominante, handgrip, punteggio MMSE, risultato delle tre prove di stacco isometrico senza esoscheletro e delle tre prove con esoscheletro espresse in kg, punteggi grezzi di ogni scala del NASA-TLX, pesi per ogni fattore, punteggi pesati, somma dei punteggi pesati e punteggio finale del questionario per ogni partecipante, punteggi per ogni domanda del questionario comfort e vestibilità per ogni individuo) sono stati riportati su un foglio di calcolo Microsoft Excel per facilitare il trattamento dei dati nell'analisi statistica.

3.3.1 MINI MENTAL STATE EXAMINATION

Il Mini Mental State Examination è un test neurologico utilizzato spesso come strumento per lo screening della demenza ed in generale per valutare lo stato neuro cognitivo e funzionale del soggetto.

Nello specifico vengono sottoposte al paziente semplici domande e piccoli compiti riguardanti sette aree cognitive differenti: orientamento temporale, orientamento spaziale,

registrazione di vocaboli, attenzione e calcolo, rievocazione, linguaggio e prassia costruttiva. Ogni domanda presenta un punteggio, valutato dal somministratore, per un totale di 30 punti finali; il cut-off patologico si ha 24 punti su 30, pertanto al di sotto di tale soglia, la prestazione è da considerarsi patologica [13], [14].

MINI-MENTAL STATE EXAMINATION
(Folstein M.F., Folstein S., McHugh P.R., *J.Psychiatr.Res.*;12:189-198, 1975)

1. Orientamento temporo-spaziale
Il paziente sa riferire il giorno del mese, l'anno, il mese, il giorno della settimana e la stagione. [0] [1] [2] [3] [4] [5]

Il paziente sa riferire il luogo in cui si trova, a quale piano, in quale città, regione, stato. [0] [1] [2] [3] [4] [5]

2. Memoria
L'esaminatore pronuncia ad alta voce tre termini (casa, pane, gatto) e chiede al paziente di ripeterli immediatamente. [0] [1] [2] [3]

L'esaminatore deve ripeterli fino a quando il paziente non li abbia imparati (max 6 ripetizioni).
Tentativi n. _____

3. Attenzione e calcolo
Far contare per sette all'indietro, partendo da 100. Fermarsi dopo le prime 5 risposte.
Se il paziente avesse difficoltà di calcolo, far scandire all'indietro la parola "MONDO" una lettera alla volta. [0] [1] [2] [3] [4] [5]

4. Richiamo delle tre parole
Richiamare i tre termini precedentemente imparati. [0] [1] [2] [3]

5. Linguaggio
Il paziente deve riconoscere due oggetti.
Come si chiama questo? (indicando una matita). Come si chiama questo? (indicando un orologio). [0] [1] [2]

Invitare il paziente a ripetere la frase "TIGRE CONTRO TIGRE". [0] [1]

Esecuzione di un compito su comando.
Invitare il paziente ad eseguire correttamente i seguenti ordini: a) prenda un foglio con la mano destra, b) lo pieghi a metà, c) e lo butti dal tavolo. [0] [1] [2] [3]

Presentare al paziente un foglio con la seguente scritta: "Chiudi gli occhi".
Invitare il paziente ad eseguire il comando indicato [0] [1]

Far scrivere al paziente una frase formata almeno da soggetto e verbo. [0] [1]

Far copiare al paziente il disegno indicato. [0] [1]
(Il materiale delle ultime due prove va conservato)

PUNTEGGIO COMPLESSIVO _____/30

PUNTEGGIO COMPLESSIVO AGGIUSTATO _____/30

LIVELLO DI COSCIENZA DEL PAZIENTE: 1) Allerta 2) Assopito 3) Stupor 4) Coma

11

Figura 10: Mini Mental State Examination. Viene raffigurato l'intero foglio di valutazione del test [11].

In particolare, le domande risultano così suddivise:

1. Domanda riguardante l'orientamento temporale.
2. Domanda riguardante l'orientamento spaziale.
3. Domanda riguardante la registrazione di vocaboli e pertanto la memoria di fissazione (anche detta memoria immediata).

4. Domanda riguardante la capacità di attenzione e calcolo.
5. Domanda riguardante la rievocazione, ovvero la memoria di richiamo.
6. Domanda riguardante il linguaggio ed in particolare la denominazione.
7. Domanda riguardante il linguaggio ed in particolare la ripetizione.
8. Domanda riguardante il linguaggio e la comprensione orale.
9. Domanda riguardante il linguaggio, la lettura e la comprensione scritta.
10. Domanda riguardante il linguaggio e la capacità del soggetto di generare una frase scritta.
11. Domanda riguardante la prassia costruttiva, ovvero la capacità di riprodurre un disegno geometrico elementare fornito dallo sperimentatore (Figura 10) [13], [14].

3.3.2 NASA TLX

Il NASA-TLX (Task Load Index) è un questionario sviluppato dallo Human Performance Group del NASA Ames Research Center, al fine di determinare il carico di lavoro percepito dal soggetto durante l'esecuzione di compiti manuali.

Nello specifico, consiste in una scala multidimensionale che fornisce un punteggio complessivo del carico di lavoro percepito, su una scala in centesimi, basata sulla media pesata di sei sotto-scale (definite in Tabella 1): Mental Demand, Physical Demand, Temporal Demand, Performance, Effort e Frustration.

Al termine del compito, viene richiesto al partecipante di valutare ogni singolo parametro sull'apposito modulo denominato "Rating Sheet" (Figura 11), nel quale sono riportati i sei fattori su una scala di 12 cm frazionata in 20 intervalli uguali, che assumono un valore pari a 5, per uno score totale pari a 100.

Ogni scala è contrassegnata da due indicatori bipolari per la valutazione: "Basso" a partire da sinistra e "Alto" a destra, ad eccezione del fattore "Performance" che presenta l'indicatore "Buono" a sinistra e "Scarso" a destra. Il soggetto andrà a valutare ogni parametro contrassegnando la casella corrispondente alla propria percezione durante il compito.

Definizione scale di Valutazione NASA Task Load Index		
Scala	Estremi	Descrizione
Richiesta Mentale (Mental Demand)	Bassa/Alta	Quanta attività mentale e percettiva era richiesta (es., pensare, decidere, calcolare, ricordare, osservare, cercare, ecc.)? Il compito era facile o difficile, semplice o complesso, impegnativo o leggero?
Richiesta fisica (Physical Demand)	Bassa/Alta	Quanta attività fisica era richiesta (es. spingere, tirare, girare, controllare, attivare, ecc.)? Il compito era facile o impegnativo, lento o rapido, leggero o pesante, riposante o faticoso?
Richiesta Temporale (Temporal Demand)	Bassa/Alta	Quanta pressione temporale hai avvertito a causa della frequenza o del ritmo con cui i compiti, o le fasi del compito, si susseguivano? Il ritmo era lento e tranquillo o rapido e frenetico?
Prestazione (Performance)	Buona/Scarsa	Quanto pensi di aver raggiunto gli obiettivi del compito stabiliti dallo sperimentatore (o da te stesso)? Quanto sei soddisfatto della tua prestazione nel raggiungere questi obiettivi?
Sforzo (Effort)	Basso/Alto	Quanto hai dovuto impegnarti (mentalmente e fisicamente) per raggiungere il tuo livello di prestazione?
Livello di Frustrazione (Frustration)	Basso/Alto	Durante il compito, quanto ti sei sentito incerto, scoraggiato, irritato, stressato e infastidito rispetto a sicuro, gratificato, appagato, rilassato e soddisfatto?

Tabella 1: Definizione delle scale di valutazione del *NASA-TLX Load Index* [12].

Appendix C.

Subject ID: _____ Task ID: _____

RATING SHEET

MENTAL DEMAND

Low
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
 High

PHYSICAL DEMAND

Low
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
 High

TEMPORAL DEMAND

Low
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
 High

PERFORMANCE

Good
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
 Poor

EFFORT

Low
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
 High

FRUSTRATION

Low
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
 High

17

Figura 11: Rating Sheet. Sono raffigurati i 6 parametri con le relative scale graduate per la valutazione [12].

In seguito, lo sperimentatore sottopone al partecipante la prima valutazione data dal fascicolo “Sources of Workload Comparison Cards” (Figura 12); nel quale vengono presentati 15 confronti a coppie tra le 6 scale sopracitate e viene richiesto di cerchiare il fattore che tra i due abbia influito di più sul carico di lavoro percepito durante l’esecuzione del compito. Viene registrato poi dall’esaminatore il numero di volte che ogni parametro è stato selezionato dal soggetto; tale conteggio può oscillare da un minimo di 0 ad un massimo di 5 e costituisce il peso di ogni item.

Effort or Performance	Temporal Demand or Frustration	Frustration or Effort	Performance or Mental Demand
Temporal Demand or Effort	Physical Demand or Frustration	Performance or Temporal Demand	Mental Demand or Effort
Performance or Frustration	Physical Demand or Temporal Demand	Mental Demand or Physical Demand	Effort or Physical Demand
Physical Demand or Performance	Temporal Demand or Mental Demand	Frustration or Mental Demand	

Figura 12: Sources of Workload Comparison Cards. Sono raffigurate i 15 confronti a coppie sottoposti ai partecipanti al termine del compito [12].

Lo sperimentatore, una volta conteggiati i pesi per ciascun fattore nella tabella “Sources of workload tally sheet” (Figura 13), riporta tali valori e lo score di ogni scala del “Rating sheet” nella tabella apposita “Weighted Rating Worksheet” (Figura 13) nella quale viene calcolata la valutazione pesata (“Adjusted Rating”) per ogni parametro considerato, moltiplicando il peso per la valutazione operata dal soggetto su ogni scala (Figura 13). Infine, viene calcolato il carico di lavoro percepito (“Total Workload” o “Wheighted Rating”), sommando tutti gli “Adjusted Rating” e dividendo tale somma per il numero di confronti (pari a 15).

Appendix D.

Subject ID: _____ Date: _____

Appendix E.

Subject ID: _____ Task ID: _____

SOURCES-OF-WORKLOAD TALLY SHEET		
Scale Title	Tally	Weight
MENTAL DEMAND		
PHYSICAL DEMAND		
TEMPORAL DEMAND		
PERFORMANCE		
EFFORT		
FRUSTRATION		

Total count = _____

[NOTE - The total count is included as a check. If the total count is not equal to 15, then something has been miscounted. Also, no weight can have a value greater than 5.]

18

WEIGHTED RATING WORKSHEET			
Scale Title	Weight	Raw Rating	Adjusted Rating (Weight X Raw)
MENTAL DEMAND			
PHYSICAL DEMAND			
TEMPORAL DEMAND			
PERFORMANCE			
EFFORT			
FRUSTRATION			

Sum of "Adjusted Rating" Column = _____

WEIGHTED RATING =
[i.e., (Sum of Adjusted Ratings)/15]

19

Figura 13: A sinistra viene riportata la tabella “Sources of workload tally sheet per il conteggio dei pesi di ogni fattore. Sulla destra si riporta la tabella weighted rating worksheet utilizzata per il calcolo dell’”Adjusted Rating” [12].

3.3.3 QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK

Al fine di valutare nello specifico l’esperienza del partecipante con l’utilizzo dell’esoscheletro, è stato somministrato un questionario online composto da 6 domande a risposta multipla; di cui 5 composte da una scala Likert a 5 punti (Figura 14).

Nello specifico, la prima e la quarta domanda indagano la percezione del partecipante riguardo la comodità dell’esoscheletro, mentre la seconda e la terza domanda valutano la percezione riguardo l’effettivo aiuto fornito dall’utilizzo dell’ausilio durante l’esecuzione del compito, in termini di supporto, forza muscolare, sforzo e stanchezza percepita. La quinta domanda, invece, mira ad indagare la praticità dell’utilizzo del dispositivo avvertita dal

soggetto, chiedendo in che momento e con quale frequenza il partecipante utilizzerebbe l'esoscheletro nel proprio luogo di lavoro. Infine, l'ultima domanda richiede di valutare la percezione della sicurezza dell'ausilio ipotizzando di poterlo utilizzare all'interno dell'ambiente lavorativo.

Dopo la tua esperienza con Ottobock Paexo, come valuti l'esoscheletro dal punto di vista del comfort? *						
	1	2	3	4	5	
Per niente comodo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Molto comodo

Quanto pensi che l'esoscheletro possa averti aiutato durante le prove di stacco isometrico a livello di supporto e di forza muscolare? *						
	1	2	3	4	5	
Poco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Molto

Quanto ritieni che sia diminuito lo sforzo e quindi la stanchezza utilizzando l'esoscheletro? *						
	1	2	3	4	5	
Poco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Molto

Dal punto di vista della vestibilità, pensi che indossare l'esoscheletro Ottobock Paexo in maniera autonoma per te possa essere... *						
	1	2	3	4	5	
Molto semplice	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Molto difficile

Se avessi a disposizione l'esoscheletro Ottobock Paexo nel tuo luogo di lavoro, quando e quanto lo utilizzeresti? *

Sempre

Solo quando devo alzare carichi pesanti

Quando mi sento più stanco

Non lo utilizzerai

Altro

Quanto ritieni possa essere sicuro l'utilizzo dell'esoscheletro nel tuo ambiente di lavoro? *

Poco 1 2 3 4 5 Molto

○ ○ ○ ○ ○

Figura 14: Questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back. È raffigurato il questionario completo sottoposto ad ogni partecipante.

3.4 ANALISI STATISTICA DEI DATI

La ricerca di eventuali correlazioni tra le prestazioni ed i risultati dei due questionari è stata eseguita utilizzando il software Matlab (© 1994-2023 The MathWorks, Inc.), impiegato anche per la lettura automatica dei dati da fogli di calcolo Excel.

Sono state calcolate:

- la correlazione tra i valori delle differenze tra la prova migliore con esoscheletro e senza esoscheletro per ogni partecipante ed i risultati ottenuti nel questionario NASA-TLX (pesati, non pesati e il “Total Workload”);
- la correlazione tra i valori delle differenze tra la prova migliore con esoscheletro e senza esoscheletro per ogni partecipante ed i risultati ottenuti nel questionario comfort e vestibilità (per ogni domanda);
- la correlazione tra la prova migliore di stacco isometrico con l'esoscheletro di ogni partecipante e i risultati ottenuti nel questionario NASA-TLX (pesati, non pesati e il total workload) dagli stessi;

- la correlazione tra la prova migliore di stacco isometrico con l'esoscheletro di ogni partecipante e i risultati ottenuti nel questionario comfort e vestibilità (per ogni domanda) dagli stessi;
- la correlazione tra i risultati del questionario NASA-TLX ed i risultati del questionario comfort e vestibilità.

È stato calcolato l'indice di correlazione di Spearman con lo scopo di valutare la relazione tra due variabili almeno ordinali o intervallari; tale metrica, basata sui ranghi e non sui valori reali permette il confronto tra variabili continue e categoriche ordinali. In virtù di tale caratteristica, l'indice di Spearman risulta meno sensibile agli outliers, i quali, pertanto, non sono stati esclusi dallo studio [15]. Per calcolare gli indici di correlazione e il loro livello di significatività è stato utilizzato il test di permutazioni, dato che esiste la possibilità di individuare casualmente delle correlazioni significative anche in una situazione in cui non esista una reale associazione tra le due variabili (errore di tipo I), e questa probabilità aumenta all'aumentare del numero di confronti svolti.

Il test di permutazione valuta la probabilità che si verifichi un determinato risultato realizzando una serie di permutazioni delle coppie di variabili. Si fonda sull'idea che due serie di dati estratte da un unico campione siano scambiabili e calcolando per ognuna delle permutazioni la statistica di interesse sia possibile realizzarne la distribuzione e valutare quante di queste permutazioni presentino valori (in valore assoluto) maggiori della statistica calcolata nel caso di interesse. Tale quantità deve essere minore del 5% delle volte (equivalente a un p-value di 0.05) per concludere che ci sia una differenza significativa nel caso campionato [16].

Nel codice Matlab questa procedura viene effettuata utilizzando la funzione "mult_comp_perm_corr" [17], la quale permette di effettuare il test di permutazione, di calcolare il coefficiente di correlazione di Spearman e il p-value aggiustato applicando un certo numero di permutazioni (scelte dallo sperimentatore) al campione selezionato.

Nel presente studio, come detto precedentemente, la statistica del test è basata sul coefficiente di correlazione di Spearman, calcolato tra le due variabili. Un coefficiente pari a 0 costituisce l'ipotesi nulla, mentre un valore diverso da 0 costituisce l'ipotesi alternativa. Il numero delle permutazioni imposte, ovvero dei mescolamenti casuali dei dati, è pari a 1.000.000, un numero relativamente grande, al fine di ottenere una distribuzione il più

accurata possibile della statistica andando ad aumentare la precisione dell'approssimazione e permettendo di ridurre il rischio di errori di tipo I [16]. Pertanto, questo tipo di analisi non impiega una distribuzione teorica della statistica, imponendo che la popolazione dalla quale viene estratto il campione abbia una forma specifica, ma la deriva dai punteggi osservati, permettendo di ridurre la probabilità di falsi positivi dovuti a un numero elevato di test di correlazione eseguiti sugli stessi dati [18].

La correlazione tra le due variabili si potrà definire robusta nel caso in cui quest'ultima cada agli estremi della distribuzione (nelle code), e pertanto tra i valori più rari, i quali difficilmente saranno frutto di casualità. Oltre al coefficiente di correlazione di Spearman viene calcolato il p-value bilaterale per assegnare un grado di significatività al risultato del test di permutazione, ovvero la plausibilità che la situazione si verifichi sotto l'ipotesi nulla (H_0 : coefficiente di Spearman = 0), al quale deve essere associato un valore basso considerando che la soglia per discutere i valori di p significativi è stata da noi posta a 0.05 [18].

4 RISULTATI

4.1 RISULTATI STACCO ISOMETRICO

I risultati delle sei alzate complessive (tre senza esoscheletro e tre con l'esoscheletro) sono stati riportati sul software Microsoft Excel, la tabella in Figura 15 mostra alcuni dei dati raccolti per 1 partecipante a titolo esemplificativo. Per praticità di calcolo sono stati poi ordinati mettendo prima le tre prove eseguite senza l'ausilio del dispositivo Ottobock Paexo Back ed in seguito le tre prove eseguite con l'ausilio dell'esoscheletro.

Dai dati vengono selezionate le migliori prove eseguite con e senza esoscheletro per ciascun partecipante, e viene calcolata la differenza tra quest'ultime. Con lo scopo di riassumere tali risultati sono presentate le medie calcolate sui 34 soggetti in Figura 16 ed osservandoli è possibile notare che la media delle prove migliori di ogni partecipante senza l'ausilio dell'esoscheletro risulta pari a $135,51 \pm 31,24$ kg, mentre la media delle prove migliori con l'ausilio dell'esoscheletro è pari a $144,91 \pm 32,13$ kg e, pertanto, la differenza media tra le prove migliori con l'utilizzo del dispositivo Paexo Back e le prove migliori senza l'utilizzo del dispositivo risulta pari a $9,41 \pm 16,50$ kg in media.

Partecipante	Forza NO EXO 1	Forza NO EXO 2	Forza NO EXO 3	Forza EXO 1	Forza EXO 2	Forza EXO 3
1	63,8	57,6	67,8	60,4	73,4	76,2

Figura 15: Struttura del foglio di calcolo Excel in cui sono stati riportati i risultati delle prove di stacco isometrico. Nella riga di intestazione sono riportate le prove numerate a cui si fa riferimento, successivamente vengono riportati i risultati di ogni prova espressi in kg per 1 partecipante.

	Media Prova migl. No Exo	Media Prova migl. Exo	Media Diff. prove migl. Exo-No exo
Media	135,51	144,91	9,41
Dev.st	31,24	32,13	16,50

Figura 16: Tabella in cui sono state riportate rispettivamente la media della prova migliore senza esoscheletro, la media della prova migliore con l'esoscheletro e la differenza media tra le prove migliori con l'esoscheletro e senza l'esoscheletro, calcolate sui 34 partecipanti ed espresse in kg con relativa deviazione standard.

Inoltre, sono stati riportati su Excel anche i risultati delle misurazioni per altezza, peso, Mini Mental State Examination (MMSE) e Handgrip test dell'arto dominante, per ogni partecipante (Figura 17) ed è stata calcolata la media (con relativa deviazione standard) per altezza, peso ed handgrip test (Figura 18), mentre i risultati del MMSE sono stati pari a 30/30 per tutti i soggetti del campione.

Altezza (cm)	Peso (kg)	MMSE (< 24)	Arto dominante	Handgrip (arto dominante) (kg)
177,00	70,00	30,00	dx	38,00

Figura 17: Struttura del foglio di calcolo Excel in cui sono stati riportati i risultati delle misurazioni relative ad altezza (cm), peso (kg), Mini Mental State Examination, arto dominante del partecipante ed handgrip dell'arto dominante (kg) riferite a un singolo paziente.

	Altezza (cm)	Peso (kg)	Handgrip (arto dominante) (kg)
Media	177,07	76,54	41,53
Dev. St.	8,33	13,13	7,92

Figura 18: Tabella in cui sono state riportate le medie e le relative deviazioni standard di altezza, peso ed handgrip dell'arto dominante in kg.

Osservando la tabella riportata in Figura 18 notiamo che l'altezza media del campione è di $177,07 \pm 8,33$ cm, il peso medio risulta pari a $76,54 \pm 13,13$ kg, mentre la forza media di prensione dell'arto dominante risulta pari a $41,53 \pm 7,92$ kg.

4.2 NASA TLX

I risultati cartacei del questionario NASA-TLX sono stati riportati su un foglio di calcolo Microsoft Excel, nel medesimo ordine con cui sono stati raccolti (vedi Figura 19), ovvero:

- le valutazioni del "Rating Sheet" per ogni soggetto e per ogni fattore (Mental demand, Physical demand, Temporal demand, Performance, Effort, Frustration);
- i "pesi" conferiti per ogni fattore, nell'apposito modulo "Sources of workload tally sheet", da ogni partecipante;

- i punteggi pesati per ogni parametro, ottenuti, come riportato nell'apposito foglio "Weighted rating worksheet", moltiplicando la valutazione del "Rating Sheet" per il peso conferito ad ogni item;
- la somma dei punteggi pesati, utile a calcolare poi l'ultimo parametro, nonché il risultato finale del questionario in esame, ovvero il "Total Workload";
- "Total Workload", anche nominato come "Weighted rating" o "Carico di lavoro", calcolato dividendo la somma dei punteggi pesati per 15.

Rating Sheet (x/100)					
Mental demand	Physical Demand	Temporal demand	Performance	Effort	Frustration
25	65	35	70	40	10

Sources of workload tally sheet (x/5)					
Mental demand	Physical Demand	Temporal demand	Performance	Effort	Frustration
2	5	1	4	3	0

Weighted rating worksheet					
Mental demand	Physical Demand	Temporal demand	Performance	Effort	Frustration
50	325	35	280	120	0

Sum	Weighted rating (Sum/15)
Total	Total Workload
810	54

Figura 19: Struttura del foglio di calcolo Excel in cui sono stati riportati i risultati del questionario NASA-TLX. Nelle righe di intestazione della tabella troviamo i tre fogli di valutazione del questionario ("Rating Sheet", "Sources of workload tally sheet", "Weighted rating worksheet") suddivisi nelle 6 scale di valutazione (Mental demand, Physical demand, Temporal demand, Performance, Effort, Frustration), la somma dei punteggi pesati ("Sum") ed il risultato finale del questionario ("Total Workload"), inoltre viene riportata una riga esemplificativa dei dati.

Al fine di rendere chiari e comprensibili i dati del NASA-TLX, con l'utilizzo dei software Microsoft Excel e Matlab, sono stati creati dei grafici per riassumere al meglio i risultati individuati. Rispettivamente vengono riportati:

- un istogramma dei punteggi medi non pesati o grezzi dei sei fattori valutati da ogni partecipante nel foglio "Rating Sheet" (Figura 20);
- sei istogrammi, uno per ogni fattore, raffiguranti la frequenza con cui è stato scelto, dai partecipanti, ogni punteggio possibile per ogni parametro nel "Rating Sheet" (Figura 21).

- un box-plot dei pesi medi conferiti ad ogni item dai partecipanti nei 15 confronti proposti tra i 6 parametri nel foglio “Sources-of-Workload Comparison Cards” (Figura 22);
- un istogramma dei punteggi medi finali, ottenuto prendendo la somma dei punteggi dati dal partecipante per ogni scala, moltiplicati per i pesi e divisi per il numero di partecipanti (Figura 23).

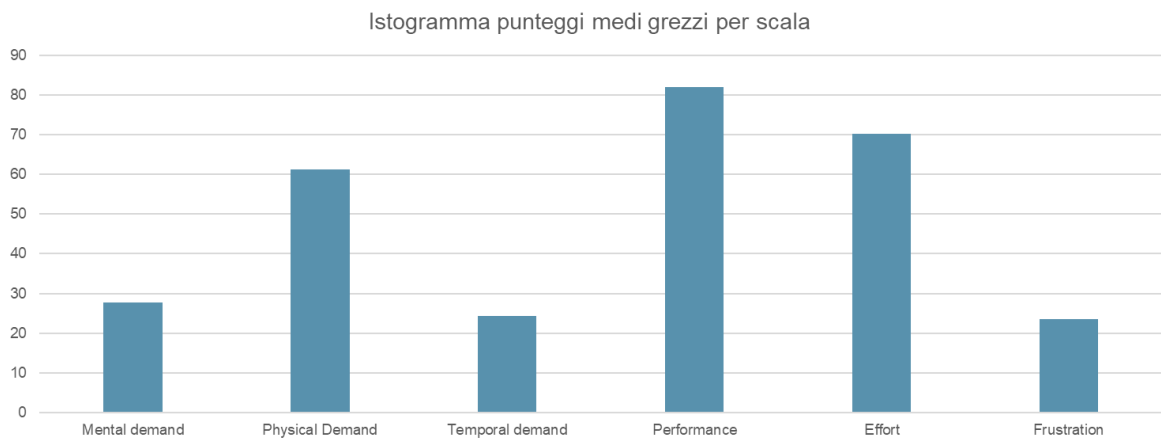


Figura 20: Istogramma dei punteggi medi grezzi dei sei fattori valutati da ogni partecipante nel foglio “Rating Sheet”.

Si può notare che i componenti a cui è stato assegnato un valore più alto da parte dei partecipanti risultano essere la Performance (Prestazione), seguita dall’Effort (Sforzo) e dal Physical Demand (Richiesta Fisica); mentre i parametri Mental Demand (Richiesta Mentale), Temporal Demand (Richiesta Temporale) e Frustration (Livello di Frustrazione) riportano valori medi nettamente inferiori nel “Rating Sheet” rispetto ai precedenti.

Osservando i sei istogrammi sotto riportati è possibile notare che:

- per quanto riguarda il fattore “Mental Demand” (Figura 21A), la maggior parte dei partecipanti ha assegnato punteggi inferiori a 55/100, con mode a 5/100 e 10/100;
- nel caso della componente “Physical Demand” (Figura 21B), notiamo che la maggior parte dei partecipanti ha assegnato punteggi superiori al 50/100, con la moda a 90/100;

- per quanto riguarda gli score nel “Temporal Demand” (Figura 21C) osserviamo che la maggior parte dei partecipanti ha assegnato punteggi inferiori al 50/100, con moda a 5/100;
- nel fattore “Performance” (Figura 21D) osserviamo che la quasi totalità dei partecipanti ha assegnato punteggi superiori a 50/100, con moda a 80/100;
- per quanto riguarda lo sforzo, ovvero il parametro “Effort” (Figura 21E) notiamo che anche in questo caso la maggior parte dei partecipanti ha assegnato valori superiori a 50/100, con moda a 80/100;
- infine, per quanto riguarda l’ultimo fattore valutato dai partecipanti, ovvero la frustrazione percepita (“Frustration”) (Figura 21F), osserviamo che la quasi totalità del campione ha assegnato score inferiori a 50/100, con moda a 5/100.

Riassumendo, osserviamo che nei tre parametri “Mental Demand”, “Temporal Demand” e “Frustration”, la maggioranza dei partecipanti ha assegnato valori inferiori al 50/100; mentre, per quanto riguarda i restanti tre parametri, “Physical Demand”, “Performance” ed “Effort”, la maggior parte del campione ha conferito punteggi superiori a 50/100.

Osservando il Box-plot dei pesi medi conferiti dai partecipanti ad ogni scala, si nota che i tre fattori Performance, Effort e Physical Demand presentano mediamente i pesi maggiori rispetto agli altri tre fattori previsti dal questionario (Mental Demand, Temporal Demand e Frustration). Si osserva inoltre che la maggiore variabilità nella valutazione si ha nella Performance e nel Temporal Demand, che presentano graficamente box-plot più ampi.

Nella Figura 23 notiamo che anche osservando i punteggi medi finali dei sei fattori considerati, il più alto risulta quello attribuito alla Performance, seguito dall’Effort e dal Physical demand; restano invece nettamente più basse le valutazioni riguardo al Mental Demand, Temporal Demand e Frustration.

Infine, osservando i risultati complessivi del questionario, otteniamo un valore medio del “total workload” pari a 62 ± 11 .



Figura 21: Frequenza dei punteggi per ogni fattore del NASA-TLX. A) Frequenza punteggi dati dai partecipanti alla scala “Mental Demand”; B) Frequenza punteggi dati dai partecipanti alla scala “Physical Demand”; C) Frequenza punteggi dati dai partecipanti alla scala “Temporal Demand”; D) Frequenza punteggi dati dai partecipanti alla scala “Performance”; E) Frequenza punteggi dati dai partecipanti alla scala “Effort”; F) Frequenza dei punteggi dati dai partecipanti alla scala “Frustration”.

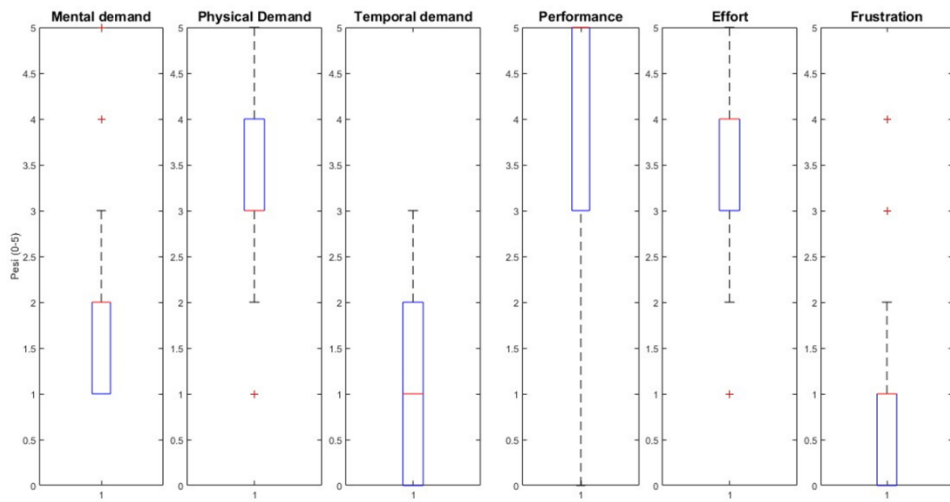


Figura 22: Box-plot dei pesi medi conferiti ad ogni item dai partecipanti nei 15 confronti proposti tra i 6 parametri nel foglio “Sources-of-Workload Comparison Cards”.

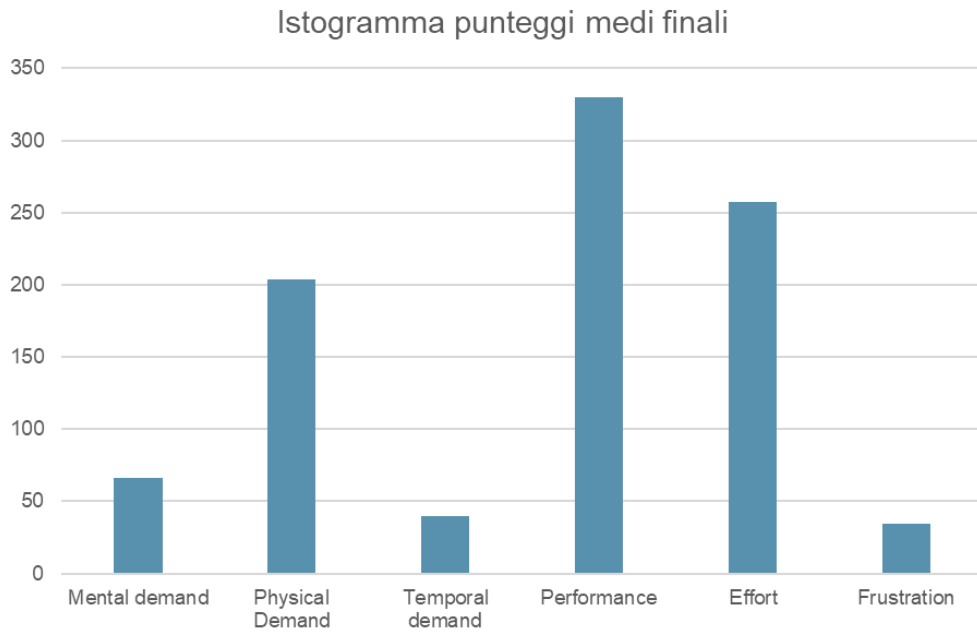


Figura 23: Istogramma dei punteggi medi finali, ottenuto prendendo la somma dei punteggi dati dal partecipante per ogni scala, moltiplicati per i pesi e divisi per il numero di partecipanti.

4.3 QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK

I risultati del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back sono stati riportati sul software Microsoft Excel, nell'ordine esatto con cui sono stati raccolti, ovvero:

- risposta alla domanda “Dopo la tua esperienza con Ottobock Paexo, come valuti l'esoscheletro dal punto di vista del comfort?” (Q1);
- risposta alla domanda “Quanto pensi che l'esoscheletro possa averti aiutato durante le prove di stacco isometrico a livello di supporto e di forza muscolare?” (Q2);
- risposta alla domanda “Quanto ritieni che sia diminuito lo sforzo e quindi la stanchezza utilizzando l'esoscheletro?” (Q3);
- risposta alla domanda “Dal punto vista della vestibilità, pensi che indossare l'esoscheletro Ottobock Paexo in maniera autonoma per te possa essere...” (Q4);
- risposta alla domanda “Se avessi a disposizione l'esoscheletro Ottobock Paexo nel tuo luogo di lavoro, quando e quanto lo utilizzeresti?” (Q5);
- risposta alla domanda “Quanto ritieni possa essere sicuro l'utilizzo dell'esoscheletro nel tuo ambiente di lavoro?” (Q6).

I risultati delle prime quattro domande e della sesta domanda sono stati riportati in valore numerico, mentre la risposta alla domanda numero cinque, in quanto domanda a risposta breve e multipla, è stata riportata per esteso in modalità letterale così come è stata raccolta. (vedi Figura 24).

Dopo la tua esperienza con Ottoboc	Quanto pensi che l'esoscheletro possa av	Quanto ritieni che sia diminuito lo sfor
4	4	1
Dal punto vista della vestibilità, pensi che indos	Se avessi a disposizione l'esoscheletro Ottobock Paexo	Quanto ritieni possa essere
3	Solo quando devo alzare carichi pesanti	4

Figura 24: Struttura del foglio di calcolo Excel in cui sono stati riportati i risultati del questionario Comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back. Nella riga di intestazione della tabella troviamo le sei domande del questionario (a partire da sinistra in alto: Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6), nella seconda riga sono riportate le relative risposte di un partecipante.

Al fine di rendere maggiormente chiari e comprensibili i dati raccolti dal Questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back, con l'utilizzo dei software Microsoft Excel e Matlab, sono stati creati dei grafici per riassumere i risultati. Vengono riportati di seguito sei

istogrammi, uno per ogni domanda del questionario, raffiguranti le frequenze per ogni risposta possibile al singolo quesito (Figura 25).

Osservando i grafici rappresentati in Figura 25 notiamo che:

- per quanto riguarda la domanda “Q1” valutabile su una scala Likert da 1 (poco confortevole) a 5 (molto confortevole), il 47,1% (16 soggetti) dei partecipanti ha assegnato un punteggio pari a 3; mentre il 32,4% (11 soggetti) ha assegnato un valore pari a 4 ed infine, il restante 20,6% (7 soggetti) ha assegnato un punteggio pari a 2 (Figura 25A);
- in relazione alla domanda “Q2”, valutabile su una scala Likert da 1 (poco confortevole) a 5 (molto confortevole), il 32,4% (11 soggetti) dei partecipanti ha assegnato un punteggio pari a 4; mentre il 26,5% (9 soggetti) ha assegnato un valore pari a 5; il 17,6% (6 soggetti) ha assegnato uno score pari a 3; il 14,7% (5 soggetti) ha assegnato un punteggio pari a 2 ed infine, l’8,8% (3 soggetti) ha assegnato un valore pari a 1 (Figura 25B);
- in riferimento alla domanda “Q3”, valutabile su una scala Likert da 1 (poco confortevole) a 5 (molto confortevole), il punteggio maggiormente assegnato dai partecipanti risulta essere 4 (il 32,4% ovvero 11 soggetti); seguito dal 3 (29,4% ovvero 10 soggetti); dal 2 (20,6% ovvero 7 partecipanti); dall’1 (11,8% ovvero 4 partecipanti) ed infine dal 5, scelto dal 5,9% ovvero da 2 partecipanti su 34 (Figura 25C);
- per quanto riguarda la domanda “Q4” valutabile su una scala Likert da 1 (poco confortevole) a 5 (molto confortevole), il 50% (17 soggetti) dei partecipanti ha assegnato un punteggio pari a 3; mentre il 29,4% (10 soggetti) ha assegnato un valore pari a 4; l’8,8% (3 soggetti) ha assegnato uno score pari a 1; infine il 5,9% (2 soggetti) ha assegnato un punteggio pari a 5, così come il restante 5,9% (2 soggetti) ha assegnato un valore pari a 2 (Figura 25D);
- in relazione alla domanda “Q5”, valutabile con cinque risposte brevi a scelta tra “Sempre”, “Solo quando devo alzare carichi pesanti”, “Quando mi sento più stanco”, “Non lo utilizzerei”, “Altro”; il 58,8% (20 soggetti) dei partecipanti ha selezionato l’opzione “Solo quando devo alzare carichi pesanti”; mentre il 29,4% (10 soggetti) ha selezionato la risposta “Non lo utilizzerei”; il 14,7% (5 soggetti) ha selezionato l’opzione “Quando mi sento più stanco”; infine il restante 5,9% (2 partecipanti) ha selezionato la risposta “Altro” (Figura 25E);

- infine, in relazione all'ultima domanda del questionario, ovvero "Q6", valutabile su una scala Likert da 1 (poco confortevole) a 5 (molto confortevole), il 29,4% (10 soggetti) dei partecipanti ha assegnato un punteggio pari a 4, a pari merito con il punteggio pari a 3, assegnato sempre dal 29,4% (10 soggetti) dei partecipanti; mentre il 23,5% (8 soggetti) ha assegnato un valore pari a 2; l'11,8% (4 soggetti) ha assegnato un punteggio pari a 5; infine, il restante 5,9% ha assegnato un valore pari a 1 (Figura 25F).

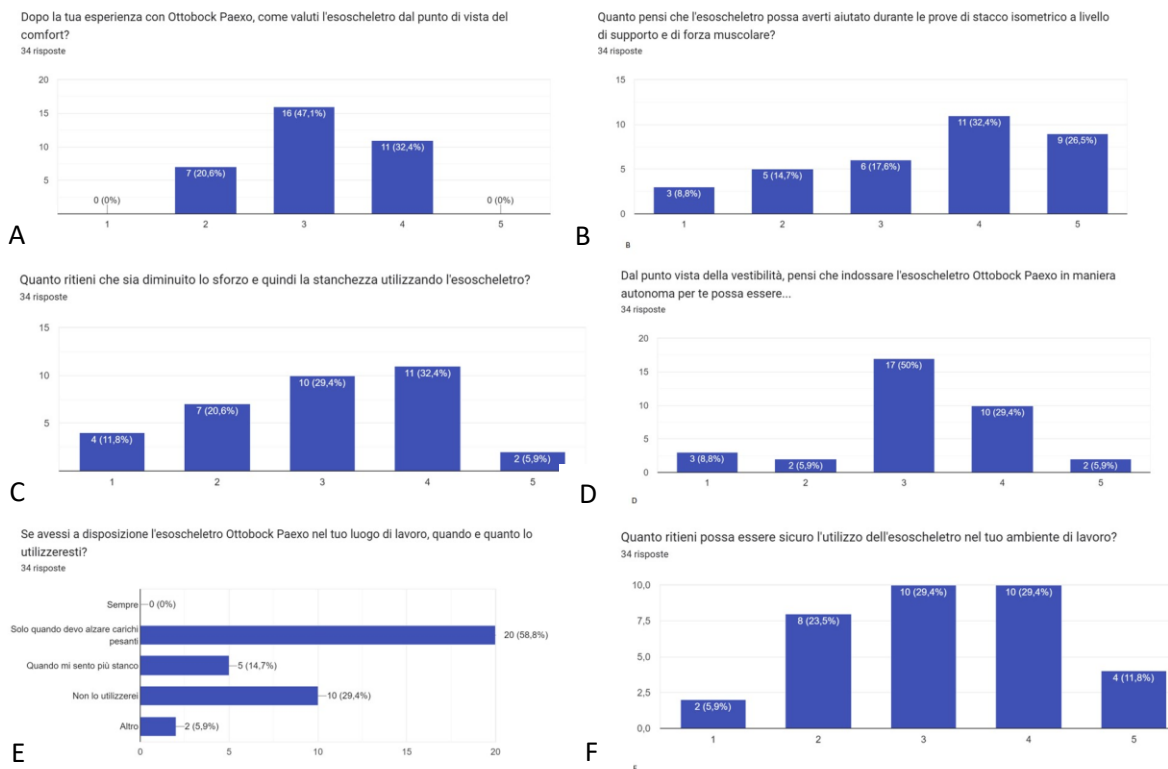


Figura 25: Risultati Questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back.

4.4 RISULTATI ANALISI STATISTICA

4.4.1 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA PROVA MIGLIORE DI STACCO ISOMETRICO CON ESOSCHELETRO E RISULTATI NASA-TLX

I risultati delle correlazioni tra le prove migliori di stacco isometrico con l'ausilio dell'esoscheletro ed i risultati del questionario NASA-TLX sono state riportate su Excel, dove sono state create delle tabelle al fine di rendere maggiormente intuitiva e comprensibile la lettura. Sono state indagate correlazioni sia con i punteggi grezzi assegnati dai partecipanti alle sei sotto-scale del questionario, nell'apposito modulo "Rating Sheet" (Figura 11); sia con i punteggi pesati per ogni fattore, ottenuti dalla moltiplicazione dei punteggi grezzi di ogni item per il rispettivo peso conferito dai partecipanti nei confronti multipli presenti nei fogli "Sources of Workload Comparison Cards" (Figura 12); sia con il risultato finale del NASA-TLX, ovvero con il "Total Workload" (Figura 13). Per ciascuna correlazione è riportato il p-value corretto con il metodo delle permutazioni, il coefficiente di correlazione di Spearman (r) e il coefficiente di determinazione (r^2).

Vengono riportate esclusivamente le correlazioni significative individuate tra la prova migliore di stacco isometrico ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro e risultati pesati del NASA-TLX (Figura 26);

RISULTATI NASA	Prova migliore exo	p-value (adjusted for multiple comparisons)	r	r²
richiesta fisica	prova migliore exo	0,0126	0,4255	0,1810

Figura 26: Risultati significativi ($p\text{-value} < 0,05$) delle correlazioni tra la prova migliore con esoscheletro e risultati grezzi del NASA-TLX, ottenuti dalle valutazioni date dai partecipanti nel modulo "Rating Sheet". Nella prima colonna viene riportata la prima variabile della correlazione (la scala del questionario); nella seconda colonna viene riportata la seconda variabile (la prova migliore con esoscheletro); nella terza colonna viene riportato il p-value della correlazione; nella quarta colonna viene riportato l' r ed infine nell'ultima colonna viene riportato l' r^2 .

Osservando i risultati espressi nella Figura 26 notiamo che la correlazione tra la richiesta fisica ("Physical Demand") e prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro presenta un $r = 0,4255$ ed un $r^2 = 0,1810$, ai quali è associato un $p\text{-value} = 0,0126$, e pertanto risulta statisticamente significativa in quanto possiede un p-value inferiore al valore di significatività fissato a 0,05.

4.4.2 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA DIFFERENZA TRA LE PROVE ISOMETRICHE MIGLIORI NELLE DUE CONDIZIONI E RISULTATI NASA-TLX

Vengono ora riportata la correlazione significativa osservata tra la differenza tra prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro e prova migliore ottenuta senza l'ausilio dell'esoscheletro ed i risultati pesati del NASA-TLX (Figura 27).

Andando ad osservare i risultati espressi nella Figura 13 notiamo la correlazione tra la performance pesata e la differenza tra prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro e prova migliore ottenuta senza l'ausilio dell'esoscheletro, con un $p\text{-value} = 0,002$, $r = 0,509$, $r^2 = 0,259$, la quale risulta statisticamente significativa in quanto possiede un $p\text{-value}$ inferiore al valore di significatività fissato, pari a 0,05.

RISULTATI NASA	Differenza migliori prove exo-no exo	p-value (adjusted for multiple comparisons)	r	r ²
performance pesata	differenza_migliori	0,0023	0,5090	0,2590

Figura 27: Risultati correlazioni significative ($p\text{-value} < 0,05$) tra la differenza tra prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro e prova migliore ottenuta senza l'ausilio dell'esoscheletro ed i risultati pesati del NASA-TLX. Nella prima colonna viene riportata la prima variabile della correlazione, ovvero la scala del questionario; nella seconda colonna viene riportata la seconda variabile, ovvero la differenza fra la prova migliore con esoscheletro e prova migliore senza esoscheletro; nella terza colonna viene riportato il $p\text{-value}$ della correlazione; nella quarta colonna viene riportato r ed infine nella quinta e ultima colonna viene riportato r^2 .

4.4.3 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA DIFFERENZA TRA LE PROVE DI STACCO ISOMETRICO MIGLIORI NELLE DUE CONDIZIONI E RISULTATI QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK

Nella Figura 28, vengono riportate le correlazioni tra la differenza tra prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro e prova migliore ottenuta senza l'ausilio dell'esoscheletro ed i risultati del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back.

TEST Q	Differenza migliori prove exo-no exo	p-value (adjusted for multiple comparisons)	r	r ²
Quanto pensi che l'esoscheletro possa avverti aiutato durante le prove di stacco isometrico a livello di supporto e di forza muscolare?	differenza_migliori	0,0030	0,4997	0,2497

Figura 28: Risultati correlazioni significative ($p\text{-value} < 0,05$) tra la differenza tra prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro e prova migliore ottenuta senza l'ausilio dell'esoscheletro ed i risultati del Questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back. Nella prima colonna viene riportata la prima variabile della correlazione, ovvero la domanda del questionario; nella seconda colonna viene riportata la seconda variabile, ovvero la differenza fra la prova migliore con esoscheletro e prova migliore senza esoscheletro; nella terza colonna viene riportato il p-value della correlazione; nella quarta colonna viene riportato l' r ed infine nella quinta e ultima colonna viene riportato l' r^2 .

Osservando i risultati espressi nella Figura 28 notiamo la correlazione tra i risultati alla domanda "Q2" e differenza tra prova migliore ottenuta con l'ausilio dell'esoscheletro e prova migliore ottenuta senza l'ausilio dell'esoscheletro, con un $p\text{-value} = 0,0030$, $r = 0,4997$, $r^2 = 0,2497$, la quale risulta statisticamente significativa in quanto possiede un p-value inferiore al valore di significatività fissato, pari a 0,05.

4.4.4 RISULTATI DELLE CORRELAZIONI TRA I RISULTATI DEL QUESTIONARIO NASA TLX ED I RISULTATI DEL QUESTIONARIO COMFORT E VESTIBILITÀ OTTOBOCK PAEXO BACK

Sono infine riportate le correlazioni osservate tra i due questionari sottoposti ai partecipanti, ovvero tra i risultati ottenuti nel NASA-TLX ed i risultati ottenuti nel questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back. Nella Figura 29 vengono riportate le correlazioni significative tra risultati grezzi, non pesati del NASA-TLX ed i risultati del questionario

comfort e vestibilità; mentre le correlazioni tra risultati pesati del NASA-TLX ed i risultati del questionario comfort e vestibilità sono riportati nella Figura 30.

Osservando i risultati espressi nella tabella in Figura 29, notiamo la presenza delle seguenti correlazioni statisticamente significative:

- correlazione tra Performance e prima domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q1”); p-value=0,029; $r = 0,376$; $r^2=0,141$;
- correlazione tra Frustrazione e prima domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q1”); p-value=0,004; $r = -0,481$; $r^2=0,232$;
- correlazione tra Frustrazione e seconda domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q2”); p-value=0,038; $r = -0,358$; $r^2=0,128$;
- correlazione tra Richiesta mentale e terza domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q3”); p-value=0,046; $r = -0,344$; $r^2=0,119$;
- correlazione tra Richiesta fisica e terza domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q3”); p-value=0,036; $r = -0,361$; $r^2=0,131$;
- correlazione tra Frustrazione e terza domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q3”); p-value=0,031; $r = -0,371$; $r^2=0,137$;
- correlazione tra Frustrazione e quinta domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q5”); p-value=0,0003; $r = -0,594$; $r^2=0,353$.

Infine, osservando i risultati espressi nella tabella nella Figura 30, notiamo la presenza delle seguenti correlazioni statisticamente significative:

- Performance pesata e seconda domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q2”); p-value=0,0075; $r = 0,4542$; $r^2=0,2063$;
- Frustrazione pesata e seconda domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q2”); p-value=0,0004; $r = -0,5822$; $r^2=0,3390$;
- Performance pesata e terza domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q3”); p-value=0,005; $r = 0,480$; $r^2=0,231$;
- Frustrazione pesata e terza domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q3”); p-value=0,008; $r = -0,452$; $r^2=0,204$;
- Sforzo pesato e quarta domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q4”); p-value=0,036; $r = 0,362$; $r^2=0,131$;

- Frustrazione pesata e quinta domanda del questionario comfort e vestibilità Ottobock Paexo Back (“Q5”); p-value=0,001; r= -0,560; r²=0,313.

RISULTATI PESATI NASA	Domanda TEST Q	p-value (adjusted for multiple comparisons)	r	r ²
performance	Dopo la tua esperienza con Ottobock Paexo, come valuti l'esoscheletro dal punto di vista del comfort?	0,029	0,376	0,141
frustrazione	Dopo la tua esperienza con Ottobock Paexo, come valuti l'esoscheletro dal punto di vista del comfort?	0,004	-0,481	0,232
frustrazione	Quanto pensi che l'esoscheletro possa averti aiutato durante le prove di stacco isometrico a livello di supporto e di forza muscolare?	0,038	-0,358	0,128
richiesta mentale	Quanto ritieni che sia diminuito lo sforzo e quindi la stanchezza utilizzando l'esoscheletro?	0,046	-0,344	0,119
richiesta fisica	Quanto ritieni che sia diminuito lo sforzo e quindi la stanchezza utilizzando l'esoscheletro?	0,036	-0,361	0,131
frustrazione	Quanto ritieni che sia diminuito lo sforzo e quindi la stanchezza utilizzando l'esoscheletro?	0,031	-0,371	0,137
frustrazione	Quanto ritieni possa essere sicuro l'utilizzo dell'esoscheletro nel tuo ambiente di lavoro?	0,0003	-0,594	0,353

Figura 29: Correlazioni significative tra i risultati non pesati del NASA-TLX ed i risultati del questionario comfort e vestibilità.

RISULTATI NASA	Domanda TEST Q	p-value (adjusted for multiple comparisons)	r	r ²
performance pesata	Quanto pensi che l'esoscheletro possa averti aiutato durante le prove di stacco isometrico a livello di supporto e di forza muscolare?	0,0075	0,4542	0,2063
frustrazione pesato	Quanto pensi che l'esoscheletro possa averti aiutato durante le prove di stacco isometrico a livello di supporto e di forza muscolare?	0,0004	-0,5822	0,3390
performance pesata	Quanto ritieni che sia diminuito lo sforzo e quindi la stanchezza utilizzando l'esoscheletro?	0,005	0,480	0,231
frustrazione pesato	Quanto ritieni che sia diminuito lo sforzo e quindi la stanchezza utilizzando l'esoscheletro?	0,008	-0,452	0,204
sforzo pesato	Dal punto vista della vestibilità, pensi che indossare l'esoscheletro	0,036	0,362	0,131
frustrazione pesato	Quanto ritieni possa essere sicuro l'utilizzo dell'esoscheletro nel tuo ambiente di lavoro?	0,001	-0,560	0,313

Figura 30: Correlazioni significative tra i risultati pesati del NASA-TLX ed i risultati del questionario comfort e vestibilità.

DISCUSSIONE

Negli ultimi anni, a causa dell'aumento dell'interesse riguardo la salute del lavoratore nel proprio ambiente di lavoro, ed essendo proprio le patologie muscolo scheletriche lavoro correlate, una delle problematiche principali, si è assistito all'introduzione di dispositivi, gli esoscheletri, in grado di fornire supporto durante la movimentazione manuale di carichi pesanti [19] [20].

Nel presente lavoro di tesi è stata indagata la percezione di comfort e performance durante l'esecuzione di stacchi isometrici, con l'utilizzo dell'esoscheletro passivo Ottobock Paexo Back in lavoratori che svolgono compiti di movimentazione manuale dei carichi. Mediamente i partecipanti hanno sollevato $9,4 \pm 16,50$ kg in più con l'ausilio dell'esoscheletro, indicando che il dispositivo, anche attraverso il mantenimento della postura corretta, fornisce un supporto effettivo durante il sollevamento, permettendo di esprimere prestazioni migliori. Nonostante vi sia un limite dello studio dato dall'assenza di una vera e propria sessione di familiarizzazione con lo strumento.

Osservando i risultati del questionario NASA-TLX emerge che i punteggi maggiori sono stati assegnati rispettivamente a Performance, Sforzo e Richiesta fisica, situazione ipotizzabile, in quanto la richiesta fisica, così come lo Sforzo per raggiungere il proprio livello di prestazione ottimale, nell'esecuzione di uno stacco isometrico massimale devono essere sicuramente elevati. Anche l'elevato punteggio nella Performance è in linea con quanto atteso, poiché nella quasi totalità del campione si è registrato un aumento della prestazione con l'ausilio dell'esoscheletro e pertanto è ipotizzabile che i partecipanti stessi si reputino soddisfatti della propria performance.

Invece, la Richiesta mentale e la Richiesta temporale risultano due delle tre scale del questionario con punteggi minori, coerentemente con quanto atteso, poiché ci si aspetta che l'esoscheletro stesso, fungendo da supporto e da aiuto nel mantenimento della corretta postura del rachide durante il sollevamento, scaricando anche il carico sugli arti inferiori, aumenti la sensazione di sicurezza del lavoratore, diminuendo pertanto anche la richiesta mentale e temporale percepita. Anche i punteggi inferiori riguardanti la Frustrazione sono attendibili, in quanto essendo la maggior parte dei partecipanti molto soddisfatta del proprio livello di prestazione con l'utilizzo dell'esoscheletro, ed avendo quest'ultimo effettivamente

migliorato la performance di quasi tutto il campione (27 partecipanti su 34, pari al 79,4% del campione), ha senso aspettarsi e riscontrare un contemporaneo basso livello di frustrazione percepita durante il compito.

Inoltre, osservando i punteggi dati dai singoli partecipanti, è presente in tutte le scale una tendenza da parte di tutti i partecipanti ad assegnare un range di punti simile e questo ci indica che la quasi totalità dei partecipanti ha percepito le stesse sensazioni.

È molto importante notare che queste evidenze si ritrovano anche nei pesi attribuiti alle singole scale (e pertanto anche nei punteggi pesati), dove confrontando a coppie quest'ultime, si evince che la Performance, lo Sforzo e la Richiesta fisica presentano i pesi maggiori e pertanto andranno a condizionare fortemente il risultato finale, come prevedibile, in quanto rappresentano le scale che principalmente ci premeva valutare, vista la finalità dello studio e la tipologia di compito. Inoltre, ad eccezione della Performance, nella quale si riscontra una maggiore variabilità nell'assegnazione del peso, è possibile osservare che in tutte le altre scale la variabilità risulta ridotta, ad indicare che quasi la totalità dei partecipanti dimostra la medesima tendenza ed ha quindi percepito il compito molto similmente.

Osservando invece i risultati riguardanti il questionario comfort e vestibilità, non sorprende che la maggior parte dei partecipanti sia rimasta su punteggi medi per quanto riguarda la valutazione del comfort, in quanto, essendo la prima volta in cui hanno potuto sperimentare l'utilizzo di un esoscheletro, potrebbero aver avuto difficoltà a giudicare oggettivamente la condizione.

È evidente invece la tendenza nella maggioranza dei partecipanti a riconoscere il supporto che l'esoscheletro ha conferito a livello di supporto e forza muscolare, in quanto i punteggi che valutano questo aspetto hanno un'evidente tendenza verso i valori massimi. Le risposte alla domanda sulla valutazione della diminuzione dello sforzo e della stanchezza invece, sono centrati attorno a valori neutri (2,3,4), questo risultato era preventivabile, poiché, trattandosi di prove massimali la richiesta fisica e lo sforzo impiegato per raggiungere il massimo livello di prestazione risultano elevati. Tuttavia, è interessante notare che due terzi dei partecipanti ha convenuto nell'identificare l'esoscheletro come un elemento di supporto da utilizzare soprattutto per la movimentazione di carichi pesanti, evidenziando comunque la percezione di un supporto durante il compito, sebbene lo sforzo di per sé non diminuisca considerevolmente, o quando si sente più stanco, indicando che effettivamente

l'esoscheletro aumenta la percezione di sicurezza durante l'utilizzo, che a sua volta risulta di supporto in stati di affaticamento che possono provocare una riduzione delle prestazioni cognitive, le quali sono state indicate nel NASA-TLX come meno coinvolte. L'esoscheletro sembrerebbe poter ridurre il carico mentale quando si è affaticati, fornendo un supporto stabile al movimento, garantendo sicurezza e meno preoccupazione quando si è stanchi. Infatti, la sicurezza percepita nell'utilizzo dell'esoscheletro è stata valutata con punteggi tra il 3 e il 4.

Considerando invece i punteggi molto alti assegnati alla Richiesta fisica è importante sottolineare la presenza di una correlazione significativa tra quest'ultima scala e la prova migliore eseguita da ogni partecipante con l'ausilio dell'esoscheletro, espressa in kg, con un coefficiente di correlazione positivo e forte ($r=0,4255$); questo indica l'obiettività dei singoli partecipanti nell'affermare che all'aumentare del peso sollevato la richiesta fisica per eseguire il compito aumenti linearmente, considerando inoltre che tutti i partecipanti, come già detto precedentemente, nella loro quasi totalità hanno assegnato punteggi molto alti a questo fattore. Questo risultato viene supportato anche osservando i punteggi pesati del NASA-TLX dove, sebbene il p-value associato a quest'ultima sia appena al di sopra della soglia di significatività, probabilmente a causa della ridotta numerosità del campione, viene individuata una correlazione con un coefficiente di Spearman maggiore tra la performance pesata e la differenza tra la prova migliore con esoscheletro e prova migliore senza esoscheletro, risultato che conferma nuovamente come i partecipanti abbiano percepito in modo obiettivo che all'aumentare della differenza nel sollevamento con e senza esoscheletro e pertanto ad un effettivo aumento della performance, sia legata una migliore percezione della propria performance con l'ausilio del dispositivo.

Questo risultato è individuabile non solo sulla base dei risultati del NASA-TLX, ma anche del questionario comfort e la vestibilità, dove viene individuata come correlazione significativa quella tra l'aiuto percepito in termini di supporto e forza muscolare e la differenza tra la migliore prova con esoscheletro e migliore prova senza esoscheletro, concordando quindi nell'affermare che, all'aumentare della prestazione effettiva, aumenta la percezione di supporto e aiuto ricevuto dal dispositivo durante l'alzata dal partecipante.

Valutando le correlazioni tra i risultati del questionario comfort e vestibilità ed i risultati del NASA-TLX è possibile notare come le correlazioni tra la frustrazione e tre delle valutazioni

riguardanti il comfort siano presenti sia considerando i punteggi grezzi del NASA-TLX, sia quelli pesati, indicando una certa coerenza tra le due valutazioni.

Nello specifico, i risultati del questionario comfort e vestibilità a cui si fa riferimento, riguardano l'aiuto in termini di supporto e di forza muscolare, dove si evidenzia un aumento congiunto tra le due variabili, diminuzione dello sforzo e stanchezza, dove il coefficiente di Spearman è negativo, indicando che maggiore è la diminuzione dello sforzo e della stanchezza, minore è il livello di frustrazione percepita.

Infine, anche il livello di sicurezza dell'utilizzo nell'ambiente di lavoro mostra un coefficiente di correlazione negativo con l'item Frustrazione; ovvero, all'aumentare della sicurezza che viene indicata per una possibile applicazione nell'ambito lavorativo diminuisce la frustrazione percepita dal partecipante durante l'esecuzione del compito.

Complessivamente, pertanto si può affermare che, come già osservato anche in letteratura, l'utilizzo di un supporto passivo da parte del lavoratore, viene percepito come utile e sicuro, mentre viene ancora considerato moderatamente dal punto di vista del comfort e della praticità [21] [2].

Inoltre, viene individuata una correlazione significativa tra la performance pesata e la percezione di aiuto in termini di supporto e forza muscolare, con un coefficiente di correlazione positivo, indicando pertanto che chi ha valutato la propria prestazione come soddisfacente ha anche percepito maggiormente il supporto e l'aiuto in termini di forza muscolare dato dal dispositivo.

Un ulteriore fattore da tenere in considerazione è l'assenza di correlazioni con il total workload, dovute molto probabilmente alla difficile interpretazione dello stesso. Da notare infatti, che il primo studio ad indagare una possibile interpretazione risale a 37 anni dopo la pubblicazione del questionario ([22]) e propone una scala espressa in percentili, individuati dagli studi compresi in questa metanalisi (va dal punteggio minimo al massimo dello score totale ottenuto). Secondo tali percentili, il nostro campione risulta compreso tra il 60esimo ed il 100esimo percentile, con un valore medio pari all'80esimo percentile. Tali percentili indicano che i punteggi ottenuti sono realmente indice di una percezione di carico di lavoro elevata, soprattutto in quanto legata a un test massimale [22].

Per quanto riguarda i risultati dell'analisi statistica è importante ricordare che tali risultati rappresentano un'analisi esplorativa non essendo stata svolta una correzione per confronti

multipli. Inoltre, il coefficiente di correlazione di Spearman non implica una direzionalità o una causalità nella relazione tra le due variabili correlate, e sarebbero sicuramente necessarie delle analisi consone che permettano di stabilire la direzione di tale risultato. Un altro limite dello studio risulta essere l'assenza della somministrazione dei questionari al termine di ogni prova, in quanto avrebbe sicuramente permesso di valutare la prova sia con e senza esoscheletro permettendo quindi di fare delle considerazioni comparative anche tra i risultati del singolo questionario. Inoltre, per quanto riguarda i coefficienti di determinazione, calcolati per ogni correlazione è interessante notare come i dati di una variabile spieghino, in molte di quest'ultime, da un quarto ad addirittura un terzo della variabilità dell'altra suggerendo la possibilità di realizzare un modello di regressione basato sulla combinazione lineare o non lineare di più variabili per predire l'altra; possibilità che andrebbe varata come prosecuzione di questo studio.

Inoltre, un ulteriore sviluppo futuro consiste nell'individuare un metodo di correzione per confronti multipli consono ai dati raccolti, al fine di indagare se le correlazioni trovate, siano sufficientemente forti, da permanere anche in seguito alla correzione del livello di significatività. Tale necessità è dovuta al fatto che si stanno utilizzando sempre gli stessi dati in più combinazioni differenti, per cercare le correlazioni; e sicuramente, la probabilità che i p-value individuati siano sufficientemente bassi è esigua, in quanto il campione è ristretto. Pertanto, sicuramente, per trovare dei risultati statisticamente significativi anche in seguito alla correzione per confronti multipli sarà molto probabilmente necessario aumentare la numerosità del campione.

Infine, un ultimo sviluppo futuro del presente studio potrebbe consistere nella sperimentazione in un ambiente più vicino alle reali condizioni affrontate quotidianamente dal lavoratore, se non direttamente sul campo, al fine di riscontrare le reali problematiche e criticità che il dispositivo può creare nell'ambiente di lavoro, così come le impressioni del dipendente, che potrebbero risultare più affidabili e concrete in seguito ad un protocollo eseguito nel rispettivo posto di lavoro.

CONCLUSIONI

I risultati del presente studio evidenziano che dal punto di vista della Performance fisica, l'esoscheletro passivo Ottobock Paexo Back costituisce un supporto reale, avendo assistito in quasi la totalità dei partecipanti (27 partecipanti su 34, pari al 79,4% del campione) ad un aumento dei kg sollevati con l'ausilio del dispositivo (in media $9,4 \pm 16,50$ kg in più). È interessante notare che l'esoscheletro non migliora solo la prestazione, ma i partecipanti percepiscono l'aumento di performance, come dimostrano i punteggi elevati assegnati sia alla scala grezza e pesata del questionario NASA-TLX, che alla rispettiva domanda del questionario comfort e vestibilità, nella quale la maggior parte dei partecipanti ha assegnato un punteggio tra il 4 ed il 5 su una scala Likert da 1 a 5.

Questo è confermato anche dall'analisi statistica, dove si riscontrano correlazioni statisticamente significative proprio tra la performance pesata e la differenza tra la prova migliore con esoscheletro e prova migliore senza esoscheletro; ma anche tra la domanda del questionario comfort e vestibilità relativa alla percezione di aiuto e supporto anche a livello di forza muscolare e la differenza tra la prova migliore con esoscheletro e senza esoscheletro. È inoltre interessante notare che si riscontra anche una correlazione tra i punteggi relativi alla Performance pesata del NASA-TLX e la domanda relativa alla percezione di aiuto e supporto anche a livello di forza muscolare del questionario comfort e vestibilità. Tali correlazioni evidenziano che non solo l'esoscheletro ha effettivamente migliorato la prestazione, ma anche che i partecipanti hanno percepito tale aumento di prestazione ed il sostegno dato dal dispositivo nel raggiungimento della stessa. È importante notare che, oltre agli elevati punteggi nella Performance, nello Sforzo per raggiungere il livello di prestazione e nella Richiesta fisica, concordi con quanto ci si potrebbe aspettare nell'esecuzione di uno stacco isometrico massimale, si registrano anche punteggi molto bassi per quanto riguarda la Richiesta mentale, la Richiesta temporale ed in particolare la Frustrazione. Anche tali risultati, avvalorati da correlazioni statisticamente significative con diverse domande del questionario comfort e vestibilità, sono concordi con quanto atteso, considerando il compito richiesto e la percezione elevata relativa alla propria prestazione da parte dei partecipanti (con conseguente scarsa frustrazione).

Complessivamente, pertanto, ciò che emerge dal presente lavoro di tesi è che il lavoratore percepisce il supporto dell'esoscheletro, l'effetto sulla prestazione e la sua utilità, ma lo reputa ancora solo moderatamente comodo e pratico dal punto di vista della vestibilità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISTAT, “SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO IN ITALIA,” 2021. Accessed: Oct. 11, 2023. [Online]. Available: https://www.istat.it/it/files//2021/11/Salute_e_sicurezza_sul_lavoro_-_2020_Istat_Eurostat.pdf
- [2] R. Govaerts *et al.*, “The impact of an active and passive industrial back exoskeleton on functional performance,” *Ergonomics*, 2023, doi: 10.1080/00140139.2023.2236817.
- [3] Jan de Kok *et al.*, “Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU,” in *European Agency for Safety and Health at Work*, European Health, 2019. doi: 10.2802/66947.
- [4] S. Bevan, “Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe,” *Best Pract Res Clin Rheumatol*, vol. 29, no. 3, pp. 356–373, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.berh.2015.08.002.
- [5] A. S. Koopman, I. Kingma, G. S. Faber, M. P. de Looze, and J. H. van Dieën, “Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks,” *J Biomech*, vol. 83, pp. 97–103, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.11.033.
- [6] I. Urits *et al.*, “Low Back Pain, a Comprehensive Review: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment,” *Current Pain and Headache Reports*, vol. 23, no. 3. Current Medicine Group LLC 1, Mar. 01, 2019. doi: 10.1007/s11916-019-0757-1.
- [7] R. Govaerts *et al.*, “Prevalence and incidence of work-related musculoskeletal disorders in secondary industries of 21st century Europe: a systematic review and meta-analysis,” *BMC Musculoskelet Disord*, vol. 22, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1186/s12891-021-04615-9.
- [8] A. S. Koopman *et al.*, “Biomechanical evaluation of a new passive back support exoskeleton,” *J Biomech*, vol. 105, May 2020, doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109795.
- [9] M. Bär, B. Steinhilber, M. A. Rieger, and T. Luger, “The influence of using exoskeletons during occupational tasks on acute physical stress and strain compared to no exoskeleton – A systematic review and meta-analysis,” *Applied Ergonomics*, vol. 94. Elsevier Ltd, Jul. 01, 2021. doi: 10.1016/j.apergo.2021.103385.
- [10] T. Schmalz *et al.*, “A Passive Back-Support Exoskeleton for Manual Materials Handling: Reduction of Low Back Loading and Metabolic Effort during Repetitive Lifting,” *IISE Trans Occup Ergon Hum Factors*, vol. 10, no. 1, pp. 7–20, 2022, doi: 10.1080/24725838.2021.2005720.
- [11] M. F. Folstein, S. E. Folstein, and P. R. McHugh, “‘Mini-mental state’. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician.,” *J Psychiatr Res*, vol. 12, no. 3, pp. 189–98, Nov. 1975, doi: 10.1016/0022-3956(75)90026-6.
- [12] Sandra G. Hart and Lowell E. Staveland, “TASK LOAD INDEX (NASA-TLX) V1.0,” Moffett Field. California, 1988.

- [13] G. B. Frisoni, R. Rozzini, A. Bianchetti, and M. Trabucchi, "Principal Lifetime Occupation and MMSE Score in Elderly Persons," *J Gerontol*, vol. 48, no. 6, pp. S310–S314, Nov. 1993, doi: 10.1093/geronj/48.6.S310.
- [14] "REGIONE EMILIA ROMAGNA Strumenti per la valutazione del paziente con demenza," 2000.
- [15] J. Hauke and T. Kossowski, "Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on the Same Sets of Data," *QUAGEO*, vol. 30, no. 2, pp. 87–93, Jun. 2011, doi: 10.2478/v10117-011-0021-1.
- [16] David Garcia, "Permutation Tests ." Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: https://dgarcia-eu.github.io/SocialDataScience/5_SocialNetworkPhenomena/056_PermutationTests/PermutationTests
- [17] David Groppe, "mult_comp_perm_corr." Nov. 08, 2023. Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34920-mult_comp_perm_corr
- [18] D. M. Groppe, T. P. Urbach, and M. Kutas, "Mass univariate analysis of event-related brain potentials/fields I: A critical tutorial review," *Psychophysiology*, vol. 48, no. 12, pp. 1711–1725, Dec. 2011, doi: 10.1111/j.1469-8986.2011.01273.x.
- [19] T. Bosch, J. van Eck, K. Knitel, and M. de Looze, "The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work," *Appl Ergon*, vol. 54, pp. 212–217, May 2016, doi: 10.1016/j.apergo.2015.12.003.
- [20] M. Moulart, N. Olivier, Y. Giovanelli, and F. Marin, "Subjective assessment of a lumbar exoskeleton's impact on lower back pain in a real work situation," *Heliyon*, vol. 8, no. 11. Elsevier Ltd, Nov. 01, 2022. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11420.
- [21] T. Luger, M. Bär, R. Seibt, M. A. Rieger, and B. Steinhilber, "Using a Back Exoskeleton During Industrial and Functional Tasks-Effects on Muscle Activity, Posture, Performance, Usability, and Wearer Discomfort in a Laboratory Trial," 2021.
- [22] R. A. Grier, "How high is high? A meta-analysis of NASA-TLX global workload scores," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, Human Factors and Ergonomics Society Inc., 2015, pp. 1727–1731. doi: 10.1177/1541931215591373.