



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**

**Scuola di Dottorato**  
*Epidemiologia, Ambiente e Sanità Pubblica*

**Dipartimento di**  
*Scienze Cliniche e di Comunità*

*Ciclo XXIX*

**TESI DI DOTTORATO DI RICERCA**

*Medicina del Lavoro e Igiene Industriale*

***STUDIO DELL'ASSOCIAZIONE TRA INDICE DI  
RISCHIO DA SOVRACCARICO BIOMECCANICO DEL  
RACHIDE, VALUTATO CON METODO NIOSH-  
VARIABLE LIFTING INDEX, E LOMBALGIA ACUTA***

Tesi di Dottorato di **Monica Pandolfi**

Matricola: **R10406**

Tutor **Prof. Giovanni Costa**

Relatore **Prof. Natale Battevi**

Coordinatore del Corso **Prof. Carlo La Vecchia**

**Anno Accademico 2015-2016**

## INDICE

Elenco delle figure.....	5
Elenco delle tabelle.....	6
Elenco delle equazioni .....	7
Elenco dei grafici.....	7
EXECUTIVE SUMMARY .....	9
<b>1 INTRODUZIONE .....</b>	<b>14</b>
1.1 Epidemiologia dei danni lombari.....	17
1.2 Riferimenti normativi nazionali ed internazionali.....	18
1.3 Stato dell'arte e analisi bibliografica.....	22
<b>2 EZIOPATOGENESI DELLA LOMBALGIA.....</b>	<b>26</b>
2.1 Funzione, struttura e supporto del rachide .....	26
2.1.1 Il processo dell'insorgenza del dolore .....	34
2.2 Fattori di rischio legati all'attività e all'ambiente di lavoro .....	43
2.3 Fattori di rischio organizzativi e psicosociali.....	49
2.4 Fattori individuali e di confondimento.....	50
2.4.1 Genere .....	50
2.4.2 Età .....	51
2.4.3 Indice di massa corporea (Body Mass Index) .....	52
2.4.4 Razza .....	53
2.4.5 Attività fisica .....	53
2.4.6 Fumo .....	54
<b>3 METODO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA SOVRACCARICO BIOMECCANICO DEL RACHIDE NIOSH.....</b>	<b>55</b>
3.1 Approcci di studio .....	55
3.1.1 Approccio psicofisico .....	55
3.1.2 Approccio fisiologico.....	57
3.1.3 Approccio biomeccanico.....	60
3.1.4 La tolleranza.....	61
3.1.5 Il momento e la leva .....	62
3.1.6 Le forze sulla colonna vertebrale .....	66

3.2	Principi di base del metodo NIOSH (1981).....	69
3.3	Evoluzione: NIOSH RENLE e Lifting Index (1993).....	73
3.3.1	Limiti di applicabilità del metodo NIOSH .....	80
3.3.2	Sollevamento con un arto .....	81
3.3.3	Sollevamento manuale con più operatori .....	82
3.4	Evoluzione: NIOSH Composite Lifting Index (1993) .....	85
3.5	Evoluzione: NIOSH Variable Lifting Index (2009).....	87
4	<b>STUDIO DELLA ASSOCIAZIONE TRA METODO DI VALUTAZIONE NIOSH-VLI E PROBABILITÀ DI INSORGENZA DELLA LOMBALGIA ACUTA IN AMBIENTE OCCUPAZIONALE .....</b>	<b>96</b>
4.1	Materiale e metodi.....	96
4.1.1	La valutazione del rischio.....	98
4.1.2	La valutazione del danno .....	101
4.1.3	Aggregazione dei dati .....	102
4.2	Risultati .....	105
4.3	Discussione e conclusioni .....	113
5	<b>LA MASSA CUMULATA .....</b>	<b>117</b>
5.1	Introduzione.....	117
5.2	Materiale e metodi.....	118
5.2.1	La massa cumulata .....	119
5.3	Risultati .....	121
5.4	Discussione e conclusioni .....	128
	ANNEX A .....	138
	ANNEX B.....	139
	Bibliografia .....	141

## **Abbreviazioni**

**ISO:** International Standard Organization

**MMC:** movimentazione manuale dei carichi

**LBP:** low back pain (*disturbi del rachide lombare*)

**NIOSH:** National Institute of Occupational Safety and Health

**LI:** Lifting Index

**CLI:** Composite Lifting Index

**VLI:** Variable Lifting Index

**RWL:** Recommended Weight Limit (*peso limite raccomandato*)

## Elenco delle figure

Figura 1 - La colonna vertebrale suddivisa nelle regioni cervicali, toracica, lombare, sacrale e cocciigea.....	26
Figura 2 - Il disco intervertebrale.....	28
Figura 3 - Strutture legamento della colonna vertebrale.....	29
Figura 9 - Tipologia di posture assunte durante il sollevamento .....	43
Figura 10 - Relazione tra forze di carico e momento della forza esterna.....	44
Figura 11 - Incremento delle forze di compressione in funzione del peso dell'oggetto sollevato .....	45
Figura 12 - Forze di carico sulla colonna vertebrale (per unità di momento di forza) in funzione dell'asimmetria all'origine del sollevamento. Incremento delle forze di taglio laterali, A/P e di compressione all'aumentare dell'asimmetria.....	46
Figura 13 - Forze di compressione in funzione del peso dell'oggetto e del suo prelievo e posizionamento; forze di taglio.....	47
Figura 14 - Flessione laterale del tronco risultante dal sollevamento con un arto o due arti in funzione dell'asimmetria .....	48
Figura 15 – Effetto del tempo sull'attività di sollevamento nel turno sulle forze compressive, normalizzata per peso corporeo. ....	48
Figura 16 - Valori medi e range delle forze compressive che producono fratture nel disco, per età (Evans, 1959; Sonoda, 1962) .....	52
Figura 4 - Efficienza energetica relativa al peso e range di altezza di sollevamento (Frederik, 1959) .....	59
Figura 5- Tolleranza della colonna in termini biomeccanici (Marras, 2008).....	61
Figura 6 - Rischio da sovraccarico biomeccanico definito come (a) il rapporto tra la carico imposto e la tolleranza tissutale (cioè ridotto nel tempo) e (b) il rapporto tra il carico dei tessuti e il punto in cui si verificano le risposte infiammatorie (Marras, 2008 .....	62
Figura 7 - Esempio dell'azione della forza interna (F) richiesta per supportare la forza esterna esercitata dall'oggetto ad una distanza di 0.5 m dalla colonna vertebrale.....	63
Figura 8 – Forze di carico sui dischi vertebrali e limiti .....	67
Figura 17 - Modificazione dei fattori in funzione del momento della forza (a), dell'altezza verticale (b), della dislocazione verticale (c) e della frequenza (d), sulla base della variazione delle forze di carico sui corpi (NIOSH, 1981) .....	71

## Elenco delle tabelle

Tabella 1 - Percentuale dei soggetti esposti alla movimentazione manuale dei carichi (EWCS, 2010).....	16
Tabella 2 - Masse di riferimento UNI EN 1005-2 e livello di protezione della popolazione lavorativa.....	19
Tabella 3 - Masse di riferimento UNI ISO 11228-1 e livello di protezione della popolazione lavorativa.....	19
Tabella 4 - Livelli di rischio, Lifting Index, ISO/TR 12295 (2014) .....	21
Tabella 5 - Fattori principali che influiscono sul dispendio energetico. ....	57
Tabella 6 - Fattore frequenza in relazione alla frequenza di sollevamento e durata del compito (Waters, 1994).....	77
Tabella 7 - Odds Ratio (OR) dei LBP negli ultimi 12 mesi in funzione del Lifting Index (LI). Aggiustato per età, genere, BMI e fattori psicosociali (Waters, 1999).....	87
Tabella 8 - Semplificazione del fattore altezza verticale nel metodo VLI, (Waters, 2009).....	90
Tabella 9 - Semplificazione del fattore distanza orizzontale nel metodo VLI, (Waters, 2009).....	91
Tabella 10 - Semplificazione del fattore asimmetria nel metodo VLI, (Waters, 2009).....	92
Tabella 11 - Semplificazione del fattore frequenza nel metodo VLI, (Waters, 2009).....	93
Tabella 12 - Descrizione del campione in funzione dei livelli dell'indice di rischio $VLI_{EU}$ .....	105
Tabella 13 - Descrizione del campione in funzione dei livelli dell'indice di rischio $VLI_{23}$ .....	106
Tabella 14 - Analisi grezza dell'associazione tra $VLI_{EU}$ ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti .....	106
Tabella 15 - Associazione tra $VLI_{EU}$ ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età.....	107
Tabella 16 - Analisi grezza dell'associazione tra $VLI_{23}$ ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti .....	108
Tabella 17 - Associazione tra $VLI_{23}$ ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età.....	109
Tabella 18 - Associazione tra $VLI_{EU}$ ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età, per compiti con $F \geq 0.1$ .....	111
Tabella 19 - Associazione tra $VLI_{23}$ ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età, per compiti con $F \geq 0.1$ .....	112
Tabella 20 - Classi dei moltiplicatori della massa cumulata (MC).....	120
Tabella 21 - Distribuzione delle masse cumulate (MC) in percentili, per classe di $VLI_{EU}$ .....	122
Tabella 22 - Distribuzione delle masse cumulate (MC) in percentili, per classe di $VLI_{NIOSH}$ .....	122
Tabella 23 - Analisi descrittiva della distribuzione del campione in classi di $VLI_{EU}$ e $VLI_{EU\_MC}$ .....	123
Tabella 24 - Analisi descrittiva della distribuzione del campione in classi di $VLI_{NIOSH}$ e $VLI_{NIOSH\_MC}$ .....	123

Tabella 25 – Analisi grezza dell’associazione tra $VLI_{EU\_MC}$ e insorgenza della lombalgia acuta degli ultimi 12 mesi .....	124
Tabella 26 - Analisi dell’associazione tra $VLI_{EU\_MC}$ e insorgenza della lombalgia acuta degli ultimi 12 mesi, aggiustata per BMI, genere ed età.....	124
Tabella 27 - Analisi grezza dell'associazione tra $VLI_{NIOSH\_MC}$ e l'insorgenza della lombalgia acuta negli ultimi 12 mesi .....	126
Tabella 28 - Analisi dell'associazione tra $VLI_{NIOSH\_MC}$ e l'insorgenza della lombalgia acuta negli ultimi 12 mesi, aggiustata per BMI, genere ed età.....	126
Tabella 29 - Distribuzione dei soggetti in relazione alla durata (ore) delle attività con movimentazione manuale dei carichi .....	132

### **Elenco delle equazioni**

Equazione 1 - Formula calcolo Action Limit (AL), NIOSH 1981.....	69
Equazione 2 - Formula calcolo Lifting Index, NIOSH 1993 .....	73
Equazione 3 – Formula calcolo RWL, NIOSH 1993.....	74
Equazione 4 - Formula di calcolo RNLE integrata con fattore sollevamento con un solo arto, EN 1005-2.....	82
Equazione 5 – Formula calcolo LI con fattore 2 o più operatori, EN 1005-2.....	84
Equazione 6 - Formula calcolo LI con fattore 2 operatori, ISO 11228-1 .....	84
Equazione 7 - Formula calcolo LI con fattore 3 operatori, ISO 11228-1 .....	84
Equazione 8 – Formula calcolo Composite Lifting Index, NIOSH 1993 .....	85
Equazione 9 - Formula calcolo lifting index LI corretta per sollevamento con singolo arto, EN 1005-2.....	101
Equazione 10 - Formula calcolo lifting index LI corretta per sollevamento in due operatori, ISO/TR 12295 .....	101
Equazione 11 - Formula per il calcolo del VLI aggiustato per la massa cumulata (MC) con masse di riferimento EN 1005-2 (a), con massa di riferimento NIOSH (1994).....	121

### **Elenco dei grafici**

Grafico 1 - Principali malattie professionali nell’Unione europea per settore di attività. <i>Fonte:</i> European Union Labour Force Survey (LFS) 2007.....	14
Grafico 2 - Problemi di salute lavoro correlati insorti negli ultimi 12 mesi, (Eurostat, 69/2009) .....	15
Grafico 3 - Dati Quinta Survey Europea sull'esposizione dei lavoratori alla movimentazione manuale dei carichi per almeno un quarto del turno di lavoro, distinto per genere (2010).....	16

Grafico 4 - Tempi di resistenza muscolare in contrazioni statiche della durata di 2.5s con vari periodi di recupero (Chaffin DB, Andersson GB. Occupational Biomechanics NewYork (NY): John Wiley & Sons, Inc.; 1991) .....	66
Grafico 5 - OR grezzo $VLI_{EU}$ associato alla lombalgia acuta .....	106
Grafico 6 - OR $VLI_{EU}$ associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età.....	108
Grafico 7 - OR grezzo $VLI_{23}$ associato alla lombalgia acuta .....	109
Grafico 8 - OR $VLI_{23}$ associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età.....	110
Grafico 9 - OR $VLI_{EU}$ associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età, per compiti con $F > 0.1$ .....	111
Grafico 10 - OR $VLI_{23}$ associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età, per compiti con $F > 0.1$ .....	112
Grafico 11 - OR $VLI_{EU\_MC}$ grezzo associato alla lombalgia acuta .....	125
Grafico 12 - OR $VLI_{NIOSH\_MC}$ grezzo associato alla lombalgia acuta.....	126



## **EXECUTIVE SUMMARY**

L'obiettivo del progetto di ricerca è stato quello di dimostrare l'associazione tra l'indice di rischio per la valutazione dell'esposizione al sovraccarico biomeccanico del rachide, con il metodo NIOSH-Variable Lifting Index (NIOSH-VLI) per il sollevamento manuale dei carichi, e l'aumento della probabilità di insorgenza della lombalgia acuta nei lavoratori esposti a tale rischio.

Lo studio, di tipo retrospettivo, si è sviluppato in un periodo di tre anni nei quali si sono succedute le fasi di seguito descritte.

Nella prima parte del corso di Dottorato l'analisi bibliografica sullo stato dell'arte ha permesso di approfondire il tema dell'ergonomia occupazionale, concentrandosi sulla letteratura scientifica in merito alla metodologia di valutazione del rischio NIOSH e le possibili relazioni con il danno lombare acuto. Sono stati inoltre studiati l'eziologia della patologia legata ai fattori di rischio di tipo fisico per il sollevamento manuale dei carichi, i possibili fattori individuali, e di confondimento, e quelli associati alla lombalgia acuta.

Sulla base delle informazioni raccolte dall'analisi bibliografica è stato possibile individuare i criteri di inclusione dei soggetti. Il campione rappresentativo dei lavoratori esposti. Il campione ha quindi è stato formato da soggetti esposti e non esposti al rischio di sollevamento manuale dei carichi. Per gli esposti sono stati considerati: la tipologia di compiti di sollevamento (per verificare l'applicabilità del metodo di valutazione del rischio), l'anzianità di mansione lavorativa (almeno un anno), il numero di giornate lavorate in un anno di attività produttiva (almeno 167 giorni lavorativi), il tempo dedicato ai compiti di sollevamento in un turno di lavoro (almeno l'80%), la presenza o meno di limitazioni legate al sollevamento manuale dei pesi. Per quanto riguarda i soggetti non esposti, questi sono stati reclutati nelle stesse aziende degli esposti per conservare le caratteristiche spazio/tempo specifiche; inoltre la loro principale attività doveva essere impiegatizia o non prevedere alcun tipo di movimentazione manuale dei carichi ed essere autonomi nella gestione dei periodi di pausa durante il turno di lavoro.

Una volta considerati questi aspetti sono stati predisposti due comitati, uno tecnico per la gestione delle analisi delle valutazioni del rischio, formato da esperti in ergonomia, ed uno clinico per la gestione dei dati sanitari, formato da medici. I due comitati si sono inoltre occupati della stesura dei protocolli da seguire sia per la valutazione del rischio, sia per la raccolta anamnestica dei dati sanitari, tramite questionario strutturato e standardizzato, per la rilevazione del danno. Questa decisione è stata presa in quanto i referenti tecnici e i medici competenti, delle rispettive aziende hanno eseguito in prima persona la raccolta delle informazioni necessarie di loro competenza. Per quanto riguarda i dati tecnici è stato predisposto un file di raccolta dati semplificato nel quale dovevano essere riportati: i pesi e la quantità di tutti gli oggetti movimentanti, e rispettivo numero di sollevamenti, all'interno di un turno di lavoro; le geometrie di sollevamento (misure di altezza di prelievo e destinazione, con relative distanze orizzontali); l'organizzazione del

lavoro in termini di tempi di attività di sollevamento manuale; il gruppo omogeneo di lavoratori esposti alla tipologia di attività analizzata. Per quanto concerne le informazioni anamnestiche raccolte, con questionario, queste sono state di tipo anagrafico, antropometrico, sulle abitudini di vita (i.e. fumo, attività fisica sportiva, assunzione di farmaci, ecc.), sulla tipologia di lavoro svolta, sul numero di anni dedicati a tale attività (almeno uno). In una seconda sezione del questionario le informazioni richieste erano riferite ai disturbi muscoloscheletrici del rachide, con focus sulla lombalgia acuta, ma anche relativamente agli altri settori articolari degli arti superiori e degli arti inferiori. L'analisi è stata eseguita sui 12 mesi precedenti alla somministrazione del questionario anamnestico predisposto. Il danno individuato come lombalgia acuta (*acute low back pain*) ha risposto alla definizione secondo la quale il lavoratore abbia dovuto astenersi dal lavoro per almeno due giorni, perché incapace di muoversi, oppure un solo giorno dopo essere stato trattato farmacologicamente.

La raccolta dei dati anamnestici è stata organizzata all'interno di un database online. I medici competenti con un propri username e password hanno caricato ogni questionario in rete, senza avere accesso al database gestito solamente dal personale autorizzato.

Nel secondo anno di corso di Dottorato sono state coinvolte le aziende le quali hanno aderito volontariamente al progetto, mettendo a disposizione le risorse interne per collezionare le informazioni richieste nei protocolli. Le aziende appartenevano a vari settori produttivi come l'alimentare, il manifatturiero, il metalmeccanico, il farmaceutico ed anche servizi (e.g. mensa). Inizialmente le aziende aderenti erano 22 poi, a causa di riorganizzazioni aziendali, dei processi produttivi e mancanza di personale dedicato, il numero si è ridotto a 16. La numerosità del campione è comunque rimasta adeguata.

Al fine di garantire una raccolta attendibile dei dati, mediante puntuale applicazione del protocollo, prima dell'avvio di questa fase, è stato necessario porre in essere una sessione di formazione, distinta per tecnici e medici delle aziende aderenti. La sinergia tra queste due figure ha permesso una precisa raccolta di dati sanitari associabili all'esposizione del soggetto ricavata dalla mansione svolta. Il link tra soggetto esposto e indice di rischio è indispensabile per dimostrare la relazione con il danno. Per verificare la comprensione di quanto appreso, sia i referenti tecnici sia i medici hanno dovuto inviare almeno dieci simulazioni di applicazione dei rispettivi protocolli. Una volta ricevute e controllate tutte le simulazioni, rimandati e corretti eventuali errori, è stato possibile procedere l'inizio ufficiale.

Per tutta la durata del secondo anno di Dottorato l'attività è stata dedicata al tutoraggio e monitoraggio della raccolta dei dati. Questo ha richiesto almeno un sopralluogo in ogni azienda. Visitare i luoghi di lavoro, conoscere i processi produttivi ed osservare direttamente le attività oggetto di analisi hanno permesso di correggere possibili divergenze dai protocolli e accelerare la compilazione di quanto richiesto. Non sempre i referenti delle aziende sono stati in grado di portare avanti

autonomamente la raccolta dei dati in modo completo, perciò in alcuni casi i sopralluoghi hanno richiesto più tempo e l'impegno di più risorse. Anche la raccolta dei dati anamnestici è stata costantemente monitorata attraverso il database online che ha permesso di inviare dei report periodici ai medici compilatori dei questionari sull'andamento degli inserimenti.

La dead line della raccolta dati è stata raggiunta al termine del secondo anno di Dottorato.

Il campione risultante dall'inserimento dei questionari anamnestici inizialmente era di 4766 lavoratori, di cui 3357 soggetti esposti ad attività con sollevamento manuale dei carichi e 1409 non esposti. Dopo aver applicato i criteri di inclusione la numerosità del campione si è ridotta a 2385 esposti, di cui 11 non avevano raggiunto un anno di attività nella mansione attuale, e 1028 non esposti, per un totale di 3402 lavoratori.

L'elaborazione dei dati ha richiesto particolare impegno in quanto ad ogni lavoratore esposto doveva essere assegnato l'indice di rischio NIOSH-VLI calcolato per la mansione specifica analizzata, così da poter eseguire l'analisi statistica per stabilire la relazione tra incremento dell'indice di rischio e aumento della probabilità di insorgenza del danno. Il calcolo dell'indice di rischio NIOSH-VLI è stato eseguito prendendo in considerazione sia le costanti di peso contenute nella norma EN1005-2 ( $VLI_{EU}$ ), che distingue per genere ed età, sia la costante di peso proposta dal NIOSH ( $VLI_{23}$ ), che non considera tali differenze. Lo studio dell'associazione è stata eseguita con una analisi di regressione logistica. I risultati, espressi in Odds Ratio (OR) confermano l'ipotesi che esiste una associazione positiva tra indice di rischio e occorrenza della lombalgia acuta, l'associazione è evidenziata anche da trend lineari statisticamente significativi ( $p < 0,001$ ). Inoltre lo studio ha permesso di valutare la massa cumulata come possibile fattore di correzione per il calcolo dell'indice NIOSH-VLI superando un possibile limite.

Dai risultati provenienti dalle analisi dello studio dell'associazione tra VLI e lombalgia acuta, di cui almeno un episodio negli ultimi 12 mesi, l'associazione è stata positiva sia per  $VLI_{EU}$  sia per  $VLI_{23}$ . I dati hanno mostrato un progressivo incremento degli OR tra le classi di rischio, tranne per  $VLI > 3$ . Nonostante gli OR fossero alti, questa classe non ha mostrato un trend crescente. Tuttavia, la tendenza è rimasta positiva (rispettivamente  $p = 0.002$  e  $p = 0.0014$ ).

## **Abstract**

**Objective:** The aim of this study was to evaluate the efficacy of the new variable lifting index (VLI) method, theoretically based on the Revised National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH] Lifting Equation (RNLE), in predicting the risk of acute low-back pain (LBP) in the past 12 months.

**Background:** A new risk variable termed the VLI for assessing variable manual lifting has been developed, but there has been no epidemiological study that evaluates the relationship between the VLI and LBP.

**Method:** A sample of 3,402 study participants from 16 companies in different industrial sectors was analyzed. Of the participants, 2,374 were in the risk exposure group involving manual materials handling (MMH), and 1,028 were in the control group without MMH. The VLI was calculated for each participant in the exposure group using a systematic approach. LBP information was collected by occupational physicians at the study sites. The risk of acute LBP was estimated by calculating the odds ratio (OR) between levels of the risk exposure and the control group using a logistic regression analysis. Both crude and adjusted ORs for body mass index, gender, and age were analyzed.

**Results:** Both crude and adjusted ORs showed a dose-response relationship. As the levels of VLI increased, the risk of LBP increased. This risk relationship existed when VLI was greater than 1.

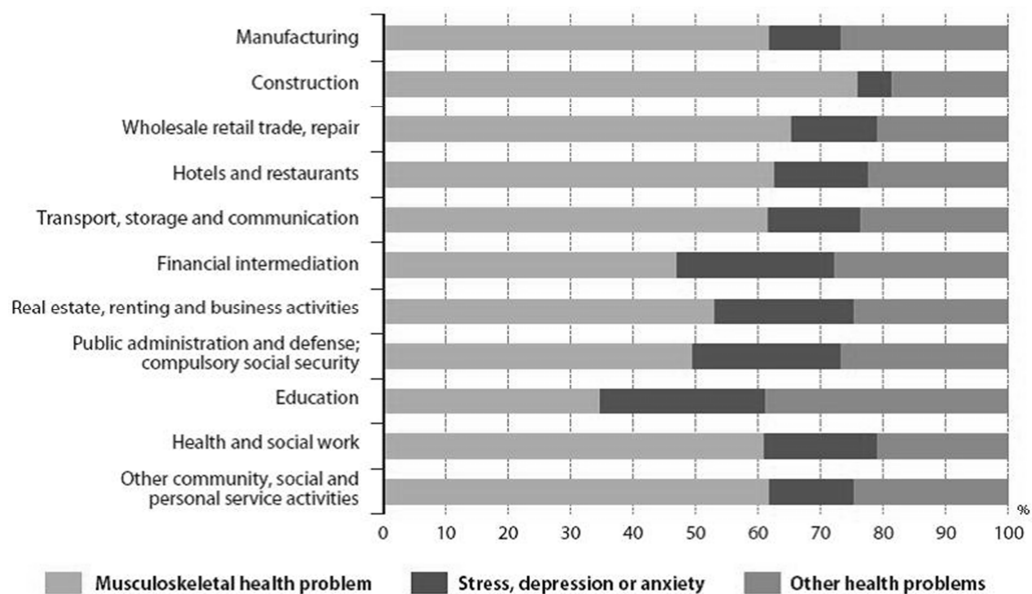
**Conclusion:** The VLI method can be used to assess the risk of acute LBP, although further studies are needed to confirm the outcome and to define better VLI categories.

## **Applicazione**

Il campo di applicazione di quanto sarà esposto all'interno del documento si estende a tutte quelle situazioni di lavoro aziendali complesse, ad alta variabilità di compiti, in termini di tipologia produttiva, di organizzazione del lavoro nonché della progettazione dei luoghi di lavoro, con l'obiettivo di perseguire la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nella prevenzione della lombalgia acuta, nonché dei disturbi muscolo scheletrici.

## 1 INTRODUZIONE

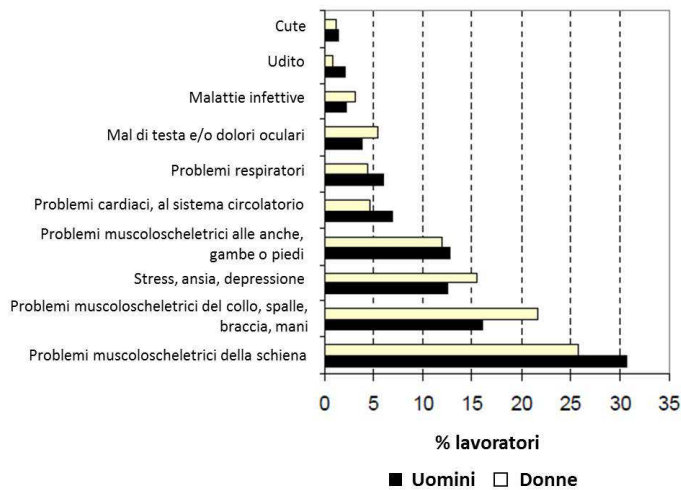
Da circa venti anni le indagini europee evidenziano che il problema di salute maggiormente correlato al lavoro è rappresentato dai disturbi muscoloscheletrici (Grafico 1). L'ultimo rapporto Eurostat disponibile (*Health and safety at work in Europe 1999-2007*, Eurostat, 2008) evidenzia in particolare che le lombalgie sono il problema che affligge il 29,5% delle persone attive nel lavoro. Anche secondo le indicazioni della World Health Organization (WHO) è stato rilevato che nel 2009 il “37% of back pain is attributable to occupational risk factors” e questa è la “main cause of absence from work, generating economic losses” (Driscoll et al., 2014).



**Grafico 1 - Principali malattie professionali nell'Unione europea per settore di attività. Fonte: European Union Labour Force Survey (LFS) 2007**

Allo stesso modo è possibile notare questa evidenza da un'altra rappresentazione dei dati dello studio dell'Eurostat del 2009, in cui si notano quali sono i principali problemi di salute lavoro correlati insorti negli ultimi 12 mesi. L'8.6% dei lavoratori dell'UE-27 ha sperimentato uno o più problemi di salute legati al lavoro nei 12 mesi precedenti l'indagine, che corrisponde a circa 20 milioni di persone affette. Due o più problemi di salute legati al lavoro sono stati riportati dal 2.1% dei lavoratori. I lavoratori con disturbi lavoro correlati, hanno segnalato più spesso problemi alla schiena (28%), al collo, alla spalla e alla mano (19%), e problemi relativi allo stress, depressione o ansia (14%).

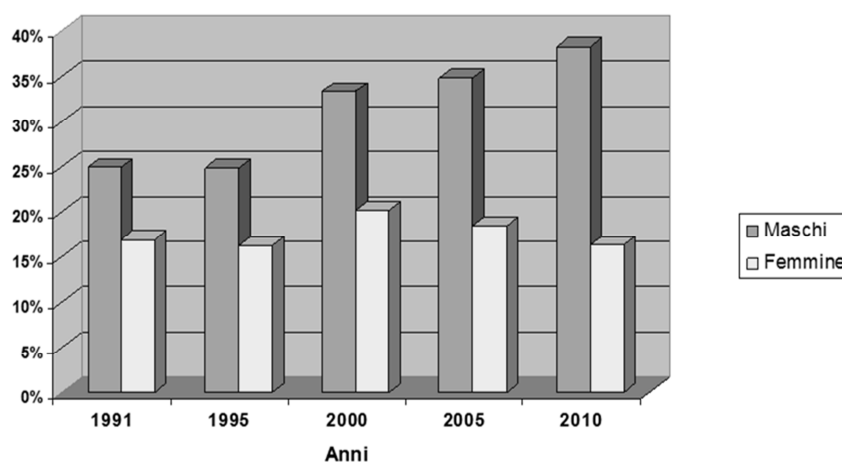
Gli uomini hanno inoltre riferito in maggior numero disturbi alla schiena e all'apparato muscoloscheletrico, rispetto alle donne, che hanno riportato problemi maggiormente legati al collo e agli arti superiori (Grafico 2).



**Grafico 2 - Problemi di salute lavoro correlati insorti negli ultimi 12 mesi, (Eurostat, 69/2009)**

I lavoratori giudicati inadatti a mansioni che comportano la movimentazione manuale di carichi (MMC), e le giornate di lavoro perse per questo rischio - rappresentano un cospicuo problema sia in termini di costi (diretti e indiretti) sia in termini di capacità competitiva delle imprese europee, rispetto agli USA e alla Cina. Tale aspetto è talmente importante che, a livello europeo, è stato predisposto un report nel quale sono indicati dei suggerimenti per porvi rimedio (Fit for work, 2009).

Il rischio da Movimentazione Manuale dei Carichi (MMC) è ubiquitario come evidenziato dalla *Quinta* indagine europea del 2010 (Grafico 3). In Italia la stima dei lavoratori che, per almeno un quarto del loro tempo di lavoro, debbono movimentare o trasportare carichi pesanti ammonta a circa 6,1 milioni pari al 29,5% di tutti i lavoratori (Tabella 1). Tuttavia, ciò che più colpisce è il contrasto tra il progresso tecnologico e il numero di persone esposte a questo rischio specifico che, almeno per il sesso maschile, dimostra un andamento in costante aumento.



**Grafico 3 - Dati Quinta Survey Europea sull'esposizione dei lavoratori alla movimentazione manuale dei carichi per almeno un quarto del turno di lavoro, distinto per genere (2010)**

Le ricadute, oltre che sulla salute dei lavoratori, coinvolgono anche le imprese che si trovano a dover affrontare non solo aumenti dei premi assicurativi ma anche processi in sede penale e/o civile. Ciò che si deve anche considerare è l'incremento dell'età media della popolazione lavorativa, che determina la necessità di prestare maggior attenzione ai soggetti, che con l'avanzamento dell'età, possono sviluppare una sensibilizzazione alla colonna vertebrale, e quindi non possono essere esposti a compiti di sollevamento manuale con determinate caratteristiche.

Anche se allo stato attuale non vi sono dei metodi per valutare il rapporto concausale fra sovraccarico biomeccanico del rachide lombare e insorgenza di ernia discale lombare, è indubbio che alcuni gruppi di lavoratori (in particolare del comparto edile e di quello della sanità) presentano prevalenze life-time due/tre volte superiori a quelle attese.

Non va dimenticato infine che l'INAIL, in una circolare del 2004, indicava, ai fini del riconoscimento dell'ernia discale come di origine professionale, una esposizione per cinque anni ad indici di rischio NIOSH superiori a tre.

Proprio da queste brevi premesse appare utile cominciare a studiare il rapporto fra VLI e danno lombare, che nelle prime fasi si concentrerà solo sul danno lombare acuto (lombalgia o *acute low back pain*).

**Tabella 1 - Percentuale dei soggetti esposti alla movimentazione manuale dei carichi (EWCS, 2010)**

Genere	1991	1995	2000	2005	2010
<b>Maschi</b>	24.9	24.8	33.4	34.9	<b>38.3</b>
<b>Femmine</b>	16.9	16.2	20.2	18.5	<b>16.3</b>
<b>Totale</b>	22.1	21.8	28.5	28.5	<b>29.5</b>



## **1.1 Epidemiologia dei danni lombari**

La letteratura scientifica ha da tempo dimostrato che esiste una associazione tra movimentazione manuale dei carichi, lombalgia acuta e danni al rachide lombare, dando una spiegazione del problema attraverso approcci psicofisici, biomeccanici e fisiologici (Chaffin, 1973; Nelson, 2009; Marras et. al., 2010).

La lombalgia può manifestarsi sotto diverse forme, può essere degenerativa reumatica, oppure generarsi dopo sforzi che danno luogo a protrusioni, ernie discali, fratture del disco. Molte di queste cause possono contribuire alla lombalgia, seppur le definizioni sono differenti in quanto il disturbo lombare può anche essere dovuto a posture inadeguate e sollecitazioni muscolari importanti della schiena. Quindi definire cosa sia nello specifico la lombalgia è difficile sia da studiare, sia da diagnosticare.

La lombalgia è un disturbo estremamente frequente. Si può ipotizzare che almeno una volta nella vita tutti avranno esperienza di un disturbo lombare che può presentarsi in forma acuta, subacuta e cronica, con diversi gradi di disabilità. Allo stesso tempo però esistono delle correnti di pensiero che giustificano la lombalgia come esito di una concentrazione di forze su una unica struttura e su un'area ristretta, quindi più soggetta a manifestare dolore. Per questo motivo una delle soluzioni è quella di progettare attività e ambienti di vita che riducano al minimo il carico di forze in questa area e, di conseguenza del dolore lombare.

Di seguito sono indicati alcuni dettagli riguardanti quanto la lombalgia sia un disturbo comune e quanto questo incida sulla qualità della vita.

La popolazione maggiormente colpita da lombalgia sono soggetti di 40-50 anni di entrambi i sessi e dai 45 anni è il disturbo maggiormente manifestato. Circa l'80% della popolazione ne è colpito almeno una volta durante la vita ed è tra le più frequenti cause di assenza dal lavoro ed ha perciò un'elevata incidenza socio-economica. Nel 2014 l'incidenza delle lombalgie in Europa era del 65,5% nella popolazione (SIP, 2014). Negli adulti in età lavorativa la prevalenza annuale dei sintomi è del 50%, di cui solo il 15-20% ricorre a cure mediche, e un altro 20% ricorre a cure mediche autosomministrate. Per quanto riguarda la consultazione medica questa comporta altissimi costi individuali e sociali, in termini di indagini diagnostiche e di trattamenti, di riduzione della produttività e diminuita capacità a svolgere le attività quotidiane.

Il rischio da MMC, nel sistema assicurativo italiano, ha dei riflessi importanti in quanto su 46.837 malattie professionali denunciate all'INAIL, nel 2011, 10.421 risultavano essere per ernia discale lombare. L'andamento nella registrazione dei casi è andata sempre aumentando fino all'ultimo report del 2015 quando le denunce, per disturbi discali, sono state 15.093 su un totale di 58.925 denunce di malattia professionale. Dalle statistiche, sempre riferite al 2015, è inoltre possibile apprendere che per quanto riguarda le ernie discali denunciato il comparto maggiormente colpito è quello dell'edilizia

Dal rapporto del Ministero della Salute in merito alla compilazione dell'Allegato 3B, obbligatorio per l'art.40 del Decreto Legislativo 81/08 e ss.mm.ii., è emerso che il numero dei lavoratori esposto al rischio da movimentazione manuale dei carichi, per il quale è prevista la sorveglianza sanitaria, è di circa 4 milioni ed è il principale rispetto a tutte le altre fonti di rischio definite dal Testo Unico della sicurezza.

## **1.2 Riferimenti normativi nazionali ed internazionali**

L'utilizzo del metodo NIOSH Lifting Index (Waters, 1994) per eseguire la valutazione del rischio per il sollevamento manuale dei carichi individuato risiede anche nell'attuale contesto legislativo. Il D.Lgs. 81/08 e ss.mm.ii., così come a suo tempo il D.Lgs. 626/94, dedica un apposito titolo (Titolo VI) alla movimentazione dei carichi, affermando che la valutazione del rischio, laddove applicabile, dovrebbe essere effettuata secondo le norme tecniche internazionali. Queste norme appartengono alla serie UNI ISO 11228 (parte 1 –Lifting and carrying, parte 2 –push and pull) pubblicata nel 2003 e tradotta in italiano nel 2009, ad applicazione volontaria, e alla serie UNI EN 1005, in particolare la parte 2, pubblicata nel 2003. Entrambi gli standard si applicano alla movimentazione manuale di oggetti con un peso di 3 kg o più; in particolare la UNI EN 1005-2 è specifica per i macchinari, i componenti di macchinari e gli oggetti elaborati dalla macchina (in entrata ed in uscita), che sono traspostati per meno di 2 m. Quest'ultima norma si inserisce all'interno della Direttiva Macchine ed è cogente. Infatti stabilisce i requisiti essenziali di salute e sicurezza che il produttore, durante la progettazione e la costruzione della macchina, deve soddisfare per poter mettere in commercio il prodotto. Di conseguenza, il produttore dovrebbe valutare i pericoli della macchina e considerare questi rischi relativi al ciclo di vita della macchina.

Proprio in questi standard, il metodo analitico prescelto per effettuare la valutazione del rischio durante le operazioni di sollevamento è rappresentato dal metodo NIOSH. Nella sua semplicità il metodo non considera alcuni aspetti invece esaminati nelle norme tecniche, che sono la diversificazione delle costanti di peso (o massa di riferimento) per genere ed età, la possibilità che un sollevamento avvenga con un solo arto o che un oggetto possa essere sollevato da più operatori contemporaneamente.

Per quanto riguarda le costanti di peso se consideriamo la UNI EN 1005-2 queste sono individuate sulla base del livello di protezione della popolazione lavorativa (Tabella 2). Allo stesso modo viene presentata questa distinzione nella norma UNI ISO 11228-1 (Tabella 3). Chiaramente queste specifiche derivano da una letteratura scientifica di riferimento, riportata nelle stesse.

**Tabella 2 - Masse di riferimento UNI EN 1005-2 e livello di protezione della popolazione lavorativa**

Campo di applicazione	M <sub>ref</sub> (Kg)	Percentuale di			Gruppo di popolazione	
		F e M	Femmine	Maschi		
Utilizzo domestico	5	dati non disponibili			Bambini e anziani	Popolazione totale
	10	99	99	99	Popolazione domestica generale	
Utilizzo professionale (generale)	15	95	90	99	Popolazione lavorativa generale, compresi giovani e anziani	Popolazione lavorativa generale
	25	85	70	90	Popolazione lavorativa adulta	
Utilizzo professionale (eccezionale)	30	dati non disponibili			Popolazione lavorativa particolare	Popolazione lavorativa particolare
	35					
	40					

**Tabella 3 - Masse di riferimento UNI ISO 11228-1 e livello di protezione della popolazione lavorativa**

Campo di applicazione	m <sub>ref</sub> kg	Percentuale di popolazione di utilizzatori protetta			Gruppo di popolazione	
		F ed M <sup>a)</sup>	F	M		
Utilizzo non professionale	5	Dati non disponibili			Bambini e anziani	Popolazione totale
	10	99	99	99	Popolazione domestica generale	
Utilizzo professionale	15	95	90	99	Popolazione lavorativa generale, inclusiva di giovani e anziani	Popolazione lavorativa generale
	20					
	23					
	25	85	70	95	Popolazione lavorativa adulta	
	30	Vedere Nota			Popolazione lavorativa specializzata	Popolazione lavorativa specializzata in circostanze particolari
	35					
	40					

Nota: Circostanze particolari. Mentre si dovrebbe fare ogni tentativo per evitare attività di movimentazione manuale o per ridurre il più possibile il livello dei rischi, potrebbero verificarsi circostanze eccezionali a seguito delle quali la massa di riferimento potrebbe essere maggiore di 25 kg (per esempio dove i progressi tecnologici o gli interventi non sono sufficientemente avanzati). In presenza di tali circostanze eccezionali, si deve prestare maggiore attenzione e considerazione all'istruzione e alla formazione dell'individuo (per esempio, conoscenze specializzate concernenti identificazione e riduzione del rischio), ma anche alle condizioni di lavoro prevalenti e alle capacità dei singoli individui.

a) F: femmine, M: maschi.

Sulla base del tipo di popolazione cui si sta facendo riferimento sarà necessario applicare alla formula di calcolo una delle costanti di peso sopra indicate.

Per ciò che riguarda il sollevamento manuale con un arto l'indirizzo viene suggerito dalla UNI EN 1005-2 che permette di inserire all'interno della formula del Lifting Index NIOSH un fattore correttivo per il calcolo del peso limite raccomandato (RWL) pari a 0.6.

Allo stesso modo si vuole affrontare il caso particolare del sollevamento di un oggetto con due o più operatori simultaneamente, aggiungendo un moltiplicatore che tenga conto di questo aspetto. Per la norma UNI EN 1005-2 il sollevamento in più operatori è previsto solamente per la compresenza di due e il fattore rispettivo che moltiplica il RWL è pari a 0.85.

Nella ISO 11228-1 l'azione di sollevamento è effettuata da 2 o 3 operatori, se si pensa ad un solo operatore, il peso effettivamente sollevato in termini di massa, corrisponde alla massa totale alzata diviso per 2 o 3 (a seconda del numero di operatori) e aggiungere un altro moltiplicatore all'equazione del Lifting Index, sempre in corrispondenza del calcolo del RWL. Il moltiplicatore è pari a 0.67 se gli operatori sono 2, mentre è 0.5 se gli operatori sono 3.

Tuttavia, va sottolineato che il metodo contenuto in queste norme tecniche si limita all'analisi dei compiti semplici: questo impasse è stato superato dalla pubblicazione del ISO/Technical Report 12295 che, oltre a precisare alcune questioni non risolte nelle precedenti norme tecniche (ad esempio stabilire quali siano le costanti di peso da utilizzare nel calcolo dell'indice), introduce la possibilità di valutare il rischio con il Variable Lifting Index (VLI). L' *"Application Document"* è stato pubblicato ad aprile 2014. A questo livello sono stati anche fissati e resi omogenei i livelli di rischio individuati dell'indice come illustrato in tabella (Tabella 4).

**Tabella 4 - Livelli di rischio, Lifting Index, ISO/TR 12295 (2014)**

<b>Lifting Index</b>	<b>Livello di rischio</b>	<b>Esposizione al rischio</b>	<b>Conseguenze</b>
<b>0.1 &lt; LI ≤ 1</b>	<i>Accettabile</i>	L'attività di sollevamento è ad un livello accettabile e tutela il 90% di uomini e donne per tutte le età.	Non sono previste conseguenze di intervento.
<b>1 &lt; LI ≤ 2</b>	<i>Rischio presente Basso</i>	Una parte della popolazione lavorativa può essere soggetta a tale livello di rischio.	Riprogettare il compito e la postazione secondo le priorità
<b>2 &lt; LI ≤ 3</b>	<i>Rischio presente medio</i>	Una parte importante della popolazione lavorativa è esposta al rischio.	Riprogettare il compito e la postazione il prima possibile.
<b>LI &gt; 3</b>	<i>Rischio presente Elevato - Inaccettabile</i>	È una condizione nella quale alcun soggetto della popolazione lavorativa dovrebbe trovarsi. È necessario fare ricorso ad esperti per la ricerca delle soluzioni.	Riprogettare il compito e la postazione immediatamente.

Pur avendo a disposizione questi metodi di valutazione del rischio da MMC, è indubbio che una parte della forza del metodo di valutazione dipende dalla sua relazione con il danno lombare così come era stato studiato per il Lifting Index - compiti semplici (LI) e compiti composti (CLI)- dato che ha una notevole importanza al fine di predisporre delle azioni di miglioramento.

### 1.3 Stato dell'arte e analisi bibliografica

Per comprendere quali fossero le basi da cui partire per procedere all'analisi che dimostri l'ipotesi della possibile associazione tra indice di rischio NIOSH-VLI e insorgenza della lombalgia acuta, è stato necessario condurre una analisi della letteratura scientifica in merito dal punto di vista epidemiologico, sperimentale e analitico.

La ricerca degli articoli ha previsto l'utilizzo di motori di ricerca specifici come PubMed (US National Library of Medicine National Institutes of Health), la Biblioteca Digitale di Ateneo, la piattaforma Mendeley, Research Gate. Inoltre sono state prese in considerazione le bibliografie delle review, in particolare quella del NIOSH (1997).

Le parole chiave utilizzate sono state *low back pain, low back injury, NIOSH, risk assessment, biomechanical overload, ergonomics, back pain confounders, association between low back pain and occupational activities, manual material handling, manual lifting, occupational physical factors, occupational psychosocial factors*.

Sono stati selezionati gli articoli che avessero chiaramente identificato la popolazione di studio (con esposti e non esposti), il danno dovuto a movimentazione manuale dei carichi, i fattori di rischio legati al danno lombare (come disturbi, low back pain, low back injury) e fattori di confondimento. Ogni studio ha previsto la presenza del rischio relativo e dell'intervallo di confidenza rispettivo.

Per quanto riguarda gli studi che riportano una stima del rischio (OR) maggiore risultano essere quelli che considerano il sollevamento manuale dei carichi e la frequenza con il questo avviene.

Gli studi che hanno fornito più informazioni sono stati quelli che hanno incluso nelle analisi metodi di valutazione delle attività di sollevamento così da assicurare un certo livello di delineamento tra i vari livelli di esposizione e quindi riducendone l'errore di classificazione. Punnet (1991) nel suo studio caso-controllo ebbe come risultato un OR di 2.16 (95% CI 1.0-4.7) nella relazione tra dolori alla schiena (accertati da sintomi ed esami medici) e attività di sollevamento manuale, corretto per le variabili di confondimento (inclusendo le posture incongrue). Chaffin and Park (1973) nel loro studio trovarono un importante aumento dell'incidenza delle visite mediche per problemi alla schiena con un incremento del LSR (*Lifting Strength Rating*) (con un

rischio di almeno cinque volte superiore per gli uomini, paragonato alle categorie più elevate di rischio con quelle più basse); non trovarono una relazione dose-risposta simile per la frequenza di sollevamento. Marras et al. (1993,1995) esaminando la relazione tra lombalgia acuta e carico discale durante l'attività di sollevamento, trovarono un OR pari a 10.7 (95% CI 4.9–23.6) relativo a fattori come la frequenza, il peso dell'oggetto, le due velocità del tronco e l'angolo sagittale che questo creava durante la torsione o flessione laterale. Sia il sollevamento manuale sia le posture del tronco hanno contribuito all'elevato valore di OR. Negli studi di Magora (1972, 1973) il *low back pain* (LBP) e gli sforzi fisici determinati dall'attività di lavoro sono stati studiati per quei soggetti che svolgevano compiti di sollevamento manuale raramente. Quando il LBP insorgeva ad un livello di massimo sforzo, il tasso maggiore incrementava tra i soggetti che svolgevano attività di sollevamento più frequentemente, classificando in tre categorie i livelli di dose-risposta (10.9, 11.3 e 18.0, rispettivamente con un RR pari a 1.65; 95% CI 1.3–2.1, paragonando la classe più bassa con quella più elevata). Liles et al. (1984) nello studio aveva individuato una associazione significativa tra lombalgia acuta dovuta al sollevamento manuale e l'indice di rischio JSI (*job severity index*): RR pari a 4.5 (95% CI 1.02–19.9) paragonando il livello più elevato a quello inferiore. Burdorf et al. (1991) aveva dimostrato che non esisteva alcuna associazione tra i sintomi dovuti al dolore alla schiena e compiti di sollevamento (RR che non variavano all'interno delle sei categorie di lavori analizzati). Huang et al (1988) fece una accurata valutazione ergonomica all'interno di due mense scolastiche studiando diversi disturbi muscoloscheletrici (compresa la schiena). La mensa con il maggior numero di disturbi risultò essere anche quella con un lavoro di sollevamento manuale più presente. Sfortunatamente lo studio non affrontò l'analisi di associazione tra le due variabili, sebbene furono poi identificate diverse aree di intervento di tipo ergonomico.

Altri studi analizzarono l'esposizione somministrando dei questionari o raccogliendo le informazioni attraverso interviste. Johansson e Rubenowitz (1994) esaminarono i sintomi lombari relativamente ad un indice per la valutazione della movimentazione manuale dei carichi (che includeva il sollevamento e altri fattori di rischio). Né le lombalgie riscontrate nei lavoratori della produzione né tra gli impiegati avevano una relazione significativa con l'indice di rischio. Nel 1975 lo studio caso-controllo di

Kelsey, relativamente all'ernia discale, ebbe come risultato un RR pari a 0.94 ( $p=0.10$ ), tradotto in una similarità di storie occupazionali tra i casi e i controlli. Successivamente, nel secondo studio caso-controllo (Kelsey, 1984) venne invece riscontrata una associazione tra il sollevamento manuale e il prolasso del disco intervertebrale (senza torsione) solamente per altezze di sollevamento elevate (OR 3.8, 95% CI 0.7-20.1). Una combinazione di entrambi i fattori con livelli moderati di svolgimento del sollevamento hanno evidenziato un OR di 3.1 (95% CI 1.3-7.5). Il livello più alto di rischio è stato osservato per sollevamento che prevedevano torsione del tronco e ginocchia non piegate nel sollevare un oggetto da una posizione bassa (OR 6.1, 95% CI 1.3-27.9). Svensson and Andersson (1989) trovarono una associazione significativa tra l'incidenza del mal di schiena durante la vita ed i compiti di sollevamento, con analisi univariata (RR 1.2,  $p<0.05$ ), ma non con analisi multivariata. Holmström et al. (1992), in uno studio di un anno, indagarono l'associazione tra la prevalenza di LBP e un indice di rischio per la valutazione del rischio per la movimentazione manuale dei carichi (OR 1.27, 95% CI 1.2-1.4), aggiustato per l'età. Non fu trovata alcuna associazione nelle analisi multivariate. Toroptsova et al. (1995) studiò l'associazione tra LBP e sollevamento manuale attraverso una analisi univariata (OR 1.4,  $p<0.05$ ), ma non furono svolte analisi multivariate. L'analisi eseguita da Walsh et al. (1989) tra LBP e fattori di rischio occupazionali evidenziò una associazione tra le variabili in particolare con il sollevamento manuale (per compiti che espongono a possibile infortunio) (RR 2.0, 95% CI 1.1-3.7), quando età, genere e altri tipi di esposizione erano considerati nelle analisi multivariate. Tenendo conto della esposizione durante la vita lavorativa, il rischio da sollevamento manuale dei carichi manteneva l'associazione per i maschi (RR 1.5, 95% CI 1.0-2.4). Burdorf e Zondervan (1990) osservarono un OR di 5.2 (95% CI 1.1-25.5) per l'associazione tra LBP e sollevamenti frequenti nei gruisti. Non fu riscontrata alcuna relazione per il gruppo di riferimento (non gruisti), provenienti dalla stessa area di lavoro (OR 0.70, 95% CI 0.14-3.5). In uno studio nel quale si determinava il livello di esposizione sulla base della mansione svolta (Videman et al., 1984), si osservarono degli elevati tassi (non significativi) di LBP negli operatori socio sanitari rispetto agli infermieri. Gli autori sostennero che gli operatori socio sanitari avessero un carico di lavoro maggiore dovuto al sollevamento manuale dei pazienti. Contrariamente Knibbe and Friele (1996) riscontrarono dei tassi di LBP superiori negli infermieri rispetto agli operatori socio sanitari, i quali,



dichiararono, avevano responsabilità maggiore nel sollevamento dei pazienti, (OR 1.2,  $p=0.04$ ). Correggendo l'analisi per il numero di ore lavorate, gli operatori socio sanitari tornavano ad avere livelli elevati di LBP (RR 1.3, senza test statistico). Undeutsch et al. (1982) studiarono i disturbi lombari nei fattorini, gruppo caratterizzato da compiti di sollevamento frequente, flessione del tronco e trasporto di carichi. Sebbene non sia stata eseguita alcuna valutazione del rischio è stato comunque osservata una associazione tra i sintomi e l'anzianità di mansione, corretta per l'età ( $p=0.035$ ).

Negli studi con analisi del rischio quantitativo, la forza dell'associazione tra i disturbi lombari e il sollevamento manuale riportavano analisi con associazioni negative (Magora, 1972), ovvero alcuna associazione (Burdorf et al. 1991), e diversi studi presentavano associazioni con ORs tra 2.2-10.0. Uno studio provò l'associazione positiva tra sforzo fisico improvviso e LBP (OR 1.7) (Magora, 1973). Punnett et al. (1991) trovò una stima paria a 2.16, dopo aver corretto l'analisi per le covariate.

Marras et al. (1993, 1995) notò che un incremento del rischio era dovuto alla combinazione di posture incongrue assunte durante il sollevamento (OR 10.7). Liles et al. (1984) osservò un OR di 4.5 per le lombalgie acute a rispettivi indici di *job severity index* (JSI). Nello studio di Huang (1988) non era stata eseguita una stima del rischio per gli operatori di una mensa scolastica.

Riassumendo, è possibile affermare che, dall'analisi bibliografica, emerge la presenza di un'associazione positiva tra sollevamento manuale dei carichi e disturbi lombari. Inoltre in questi e in altri studi emerge come anche le posture incongrue siano un fattore importante che influenza la probabilità dell'insorgenza di LBP.

## 2 EZIOPATOGENESI DELLA LOMBALGIA

Questo capitolo contiene le informazioni riguardo la funzione della colonna vertebrale, la sua struttura e le cause che intervengono sulla insorgenza della lombalgia.

### 2.1 Funzione, struttura e supporto del rachide

Il rachide è la colonna segmentata di *vertebre* che costituisce la maggior parte dello scheletro assiale al di sotto del cranio. I singoli elementi che la compongono sono uniti da una serie di articolazioni intervertebrali che formano una solida struttura, ma flessibile, che sostiene il tronco e gli arti e protegge il midollo spinale. La colonna si compone generalmente di 33 vertebre di cui sette sono *cervicali*, dodici *toraciche* e cinque *lombari* che costituiscono la sezione presacrale mobile del rachide, poi altri cinque elementi fusi compongono il *sacro*, che si articola con la cintura pelvica. A seguire il sacro ci sono altre quattro o cinque piccole parti ossee che formano il *coccige* (Figura 1).

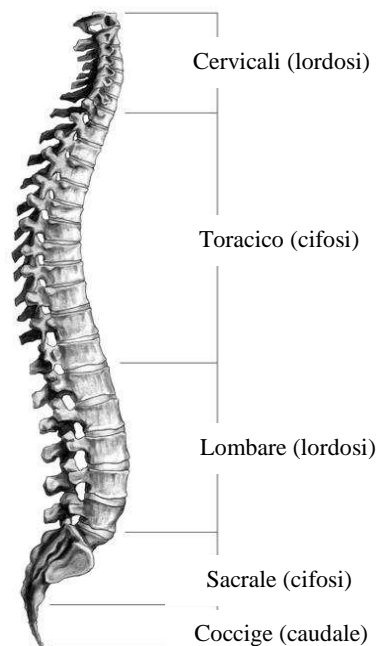


Figura 1 - La colonna vertebrale suddivisa nelle regioni cervicali, toracica, lombare, sacrale e coccigea

#### Le vertebre

La vertebra è costituita generalmente di due componenti: una massa centrale, di forma cilindrica, di tessuto osseo spugnoso, il corpo e l'arco vertebrale dorsale. I corpi vertebrali variano molto di forma e contorno nei vari segmenti, ma non presentano particolari strutture se non le faccette per l'articolazione con le coste nella

regione toracica. Invece l'arco vertebrale ha una struttura più complessa. È unito ai lati dorso-laterali del corpo da due solidi pilastri, i peduncoli. Questi sono uniti dorsalmente da un paio di lamine arcuate piatte che sono sormontate sulla linea mediana da una sporgenza dorsale, l'apofisi spinosa. I peduncoli, la lamina, e la parte posteriore del corpo formano il foro vertebrale, un anello osseo che protegge il midollo spinale.

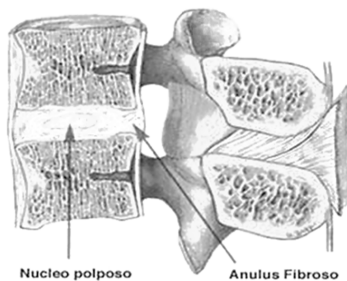
Le vertebre lombari sono quelle maggiormente interessate dalle forze di compressione generate dal sollevamento manuale dei carichi. Queste vertebre sono le cinque più distali della colonna presacrale. Sono massicce, ma le loro caratteristiche le distinguono dalle altre regioni vertebrali in quanto non presentano forami trasversali o faccette articolari costali. Il corpo è grande, e ha una lunghezza superiore al diametro antero-posteriore ed è leggermente più alto anteriormente che non posteriormente. Oltre che per le loro dimensioni le vertebre lombari sono riconoscibili per i loro processi articolari, i due superiori derivano nella solita maniera dalla unione dei peduncoli e delle lamine, ma le faccette articolari sono concave e guardano dorso-medialmente, cosicché si trovano di fronte. I processi articolari inferiori sono proiezioni delle lamine che presentano le superfici articolari dirette ventro-lateralmente; le apofisi articolari sono poste all'interno di quelle superiori della vertebra sottostante come in un incastro. Questa posizione riduce sia la rotazione sia flessione nella regione lombare. Le vertebre lombari hanno anche i tubercoli mammillari più sviluppati per dare origine ed inserzioni alle porzioni più basse e più robuste dei muscoli retro-vertebrali.

### Le articolazioni vertebrali

Le articolazioni formate dai processi articolari degli archi vertebrali possiedono una vera capsula articolare e sono capaci di movimenti limitati di semplice scorrimento. Le capsule sono pertanto sottili e lasse e sono inserite alla base dei processi articolari superiore ed inferiore delle vertebre opposte. Le sindesmosi fra gli archi vertebrali sono formate dai legamenti gialli, dai legamenti intrasversali, dai legamenti interspinosi e dall'impari legamento sovraspinoso. I corpi vertebrali sono collegati da due tipi di anfiartrosi: le sinfisi sono rappresentate dai dischi intervertebrali, e le sindesmosi sono formate dai legamenti longitudinali anteriore e posteriore.

## Il disco intervertebrale

Il disco intervertebrale è il complesso fibrocartilagineo che forma l'articolazione fra corpi vertebrali. Il disco intervertebrale ha tre funzioni. La prima, assorbire le forze di compressione tra le vertebre. La seconda, distribuire le forze tra le vertebre. La terza, permettere e garantire il movimento tra le vertebre. Il disco è composto da due elementi. L'elemento più esterno del disco è costituito dall'alternanza di lamine fibrose orientate a  $65^\circ$  rispetto al piano sagittale. Di queste 90 lamine, 70 sono disposte concentricamente e formano l'*anulus fibrosus* (o *fibroso*). All'interno dell'anulus fibroso è contenuto l'*anulus pulposus* (o *polposo*) (Figura 2). Questo sistema di strutture permette di resistere e assorbire le forze esercitate dalla e sulla colonna vertebrale. Inoltre il disco intervertebrale ha la capacità di riempirsi e svuotarsi di acqua ed elementi nutritivi in base alle sollecitazioni. Infatti di notte, quando si è a riposo, il nucleo si riempie di acqua dando al risveglio quella sensazione di rigidità alla schiena, mentre durante il giorno, il disco subisce delle torsioni dovute dal movimento e acquisisce una struttura più lassa.



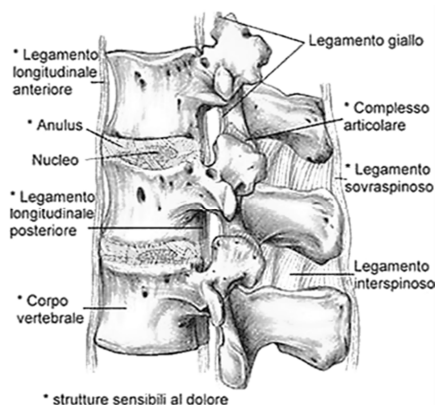
**Figura 2 - Il disco intervertebrale**

## Il supporto della colonna vertebrale

Le unità funzionali impilate sono stabili e resistenti alle forze di compressione, ma allo stesso tempo sono anche sottoposte a forze laterali di torsione, quindi per reagire a queste forze è necessario che il supporto provenga anche da altre strutture circostanti come i muscoli e i legamenti che collegano le strutture vertebrali della colonna e la zona pelvica. Le strutture di supporto stabilizzano la colonna spinale antero-posteriormente e lateralmente rispetto al corpo umano.

Il supporto dei legamenti è dato da componenti anteriori, posteriori e laterali alla colonna disposti longitudinalmente (Figura 3). I legamenti circondano la colonna vertebrale garantendo che le vertebre non si separino e che sia mantenuto lo spazio

del disco intervertebrale. Inoltre i legamenti debbono resistere alle forze che sposterebbero la colonna al di fuori del proprio allineamento naturale. I legamenti possono svolgere la loro azione sia in una condizione di passività, sia resistendo ad una sollecitazione opponendosi con una forza contraria ad un movimento che pone la colonna in una postura incongrua rispetto quella naturale. Recenti studi hanno dimostrato che i legamenti sono in grado di fornire un feedback all'apparato muscoloscheletrico quando i muscoli sono sufficientemente distesi possono innescare la contrazione.



**Figura 3 - Strutture legamento della colonna vertebrale**

I muscoli sono l'altro elemento di supporto alla colonna vertebrale, in particolare quelli del tronco. I muscoli che svolgono questo supporto sono più di trenta e allo stesso tempo insistono su di essa. Alcuni di questi sono molto estesi e producono molta potenza gestendo ampie sezioni della colonna vertebrale, mentre altri, di minore dimensione sono collegati alle unità funzionali. I muscoli che generano più forza sono il muscolo *multifidus*, l'eretto spinoso, l'obliquo interno, l'obliquo esterno e la coppia di eretto addominali. Da notare è che questi muscoli si trovano sia posteriormente, sia anteriormente la colonna in modo da circondare la struttura e renderla stabile. La distanza dalla colonna determina dei vantaggi nei movimenti, ma allo stesso tempo la loro disposizione genera delle forze di compressione, di taglio e di torsione sulla struttura vertebrale. Contrariamente ai legamenti, i muscoli svolgono un'azione attiva nel supporto della colonna. I muscoli si attivano quando persiste una forza esterna da contrastare, per mantenere l'equilibrio dell'intero corpo, come quando vengono svolte attività di sollevamento manuale, di traino o di spinta di un carico. Pertanto, i muscoli sono in grado di esercitare sulla spina dorsale delle forze che generano carichi, e questo è importante

da considerare per conoscere quali siano i carichi reali che insistono sulla colonna nelle diverse attività di movimentazione manuale dei carichi. Tenendo presente che i muscoli del tronco sono molteplici questi non si attivano contemporaneamente quando viene richiesto uno sforzo, questo altro elemento è importante per definire come la colonna sia sottoposta alle forze di contrazione dei muscoli. La modalità con cui i muscoli vengono coinvolti nella contrazione è sottoposta ad cosiddetto controllo motorio. Il controllo motorio è soggettivo ed è variabile sulla base delle esperienze, possibili infortuni all'apparato muscoloscheletrico, svolgere attività che permettono un allenamento, l'ambiente di lavoro e gli atteggiamenti del lavoratore nello svolgere la propria attività. Durante sforzi intensi o che necessitano un particolare controllo motorio, la contrazione dei muscoli è simultanea in risposta alla necessità di supportare e proteggere la colonna, quindi non c'è un antagonismo (in riferimento alla biomeccanica del concetto di co-contrazione o co-attivazione). Anche quest'ultimo aspetto dell'attivazione muscolare è importante per stabilire come possa essere influenzato il carico sulla colonna vertebrale.

Un altro componente che contribuisce al supporto della colonna è la cosiddetta *fascia*. La *fascia* è composta da uno strato sottile di tessuto connettivo fibroso che avvolge, separa o unisce i muscoli, gli organi e altre strutture molli. Per quanto riguarda la colonna del tratto toracico-lombare si pensa che la *fascia* contribuisca alla trasmissione delle forze e al supporto della colonna vertebrale. La fascia che avvolge questo tratto è composta da tre strati sovrapposti. Lo strato anteriore è sottile e inserito a livello del quadrato lombare. Lo strato intermedio si trova dietro il quadrato lombare ed è connesso ai processi trasverso lombari e collegati ai legamenti inetrasversi. Infine la fascia posteriore avvolge i muscoli della schiena. L'inserzione della fascia inizia dal processo spinoso ed ingloba i muscoli lungo la porzione laterale dell'ilecostale lombare. Quest'ultimo tratto della fascia posteriore è stato studiato dal punto di vista biomeccanico e sembra che il suo ruolo nel supporto della colonna vertebrale sia il più importante, rispetto agli altri.

### I nervi

Altri elementi che costituiscono la colonna vertebrale sono i processi nervosi che si diramano e dispongono lungo di essa. La principale connessione tra cervello e resto del corpo consiste nel midollo spinale che è contenuto nel canale vertebrale. Il canale vertebrale si localizza appena posteriormente il corpo vertebrale e di fronte

agli elementi posteriori della colonna vertebrale che formano il canale, lungo la tutta la sua lunghezza. Le ramificazioni nervose che fuoriescono dai corpi vertebrali formano le radici nervose che trasmettono e ricevono informazioni nei e dai vari tessuti del corpo.

Le radici nervose ventrali e dorsali attraverso lo spazio subaracnoideo convergono a formare il nervo spinale, circa a livello del rispettivo forame intervertebrale. L'accrescimento del midollo spinale e della colonna vertebrale non avviene simmetricamente e quest'ultima si sviluppa caudalmente molto di più rispetto al suo contenuto per cui il decorso delle radici nervose diventa più lungo e diretto più obliquamente man mano che ci si avvicina ai segmenti più bassi. Pertanto, nella regione cervicale la radice nervosa ed il nervo spinale sono in rapporto posteriormente al disco intervertebrale corrispondente. Nella regione lombare le radici nervose che formano la cauda equina hanno un decorso quasi verticale sul dorso di un disco intervertebrale e fuoriescono col nervo spinale dal forame intervertebrale di un segmento sottostante.

Il forame intervertebrale è l'orifizio che permette la fuoriuscita ai nervi spinali e l'ingresso ai vasi e ai rami nervosi che si distribuiscono al tessuto osseo e alle parti molli del canale vertebrale. Il forame è delimitato in alto e in basso dai rispettivi peduncoli delle vertebre adiacenti, ma le sue porzioni ventrali e dorsali interessano le due maggiori articolazioni intervertebrali. Per quanto ampie possano essere le dimensioni del forame intervertebrale, è la sua forma ellittica che è causa di molti problemi. Nella regione lombare il diametro verticale del forame varia da 12 a 19 mm. Ciò senza dubbio spiega perché anche un completo appiattimento del disco può provocare una lieve compressione del nervo o non provarla affatto. Il diametro trasversale, dal legamento al corpo vertebrale e al disco, può essere di soli 7 mm. Poiché il quarto nervo lombare può essere di poco inferiore ai 7 mm, la tolleranza per alterazioni patologiche del tessuto osseo o del connettivo, è molto ridotta.

### L'unità motoria

Prendendo in considerazione un singolo segmento vertebrale ne risulta l'inclusione in una sola unità funzionale ed anatomica di tutti gli elementi articolari, dei sovrastanti muscoli spinali, del contenuto del canale vertebrale e del forame intervertebrale. Benché i 23 o 24 segmenti motori debbano venire considerati nei riguardi del rachide come un'entità unica, non può esistere una malattia congenita

che colpisca un singolo componente di una unità che non coinvolga dapprima le funzioni delle altre parti della stessa unità e poi le funzioni ad altri livelli del rachide. Immaginando l'unità di segmento motore come un complesso muscoloscheletrico che circonda il livello corrispondente delle strutture nervose, ci si rende conto che il disco intervertebrale non è altro che un aspetto delle articolazioni coinvolte. Le faccette articolari formano delle vere articolazioni diartrodiali di tipo diartrodiale o a scivolamento.

### La vascolarizzazione

La vascolarizzazione della colonna vertebrale è importante per mantenere il tessuto biologico sano. Inoltre la circolazione sanguigna è coinvolta nel processo della percezione del dolore.

Ciascuna vertebra riceve da un'arteria segmentaria o dal suo equivalente regionale alcuni gruppi di vasi nutritizi divisi in rami antero-centrali, posteriori, centrali, prelaminari e postlaminari. Il primo e l'ultimo di questi rami derivano da vasi esterni alla colonna vertebrale, mentre i rami posteriore centrale e preliminare derivano da rami spinali che penetrano nei forami intervertebrali e riforniscono i tessuti nervoso, meningeo ed epidurale. Nella regione medio vertebrale le arterie interne (i rami posteriore, centrale e prelaminare) forniscono la maggior parte della vascolarizzazione del corpo e dell'arco vertebrale, ma si possono verificare variazioni regionali, specie nella regione cervicale. Nella zona compresa fra la seconda vertebra dorsale e la quinta lombare i segmenti sono associati con coppie di arterie che derivano direttamente dall'aorta. Tipicamente ciascuna arteria segmentaria si origina dalla superficie posteriore dell'aorta ed ha un decorso dorso-laterale intorno alla parte centrale del corpo vertebrale. Vicino ai processi trasversi si divide in un ramo laterale (intercostale o lombare) e in uno dorsale. Il ramo dorsale scorre lateralmente al forame intervertebrale e ai processi articolari poiché prosegue all'indietro tra i processi trasversi, per raggiungere alla fine i muscoli spinali.

Ci sono inoltre un numero di vene che circondano la zona lombare della colonna e forniscono il drenaggio. Queste vene includono le vene lombari e i plessi venosi. Le vene lombari riversano nella vena cava inferiore. Per quanto riguarda i plessi venosi questi sono formati da una serie di vasi che interconnettono le vene lombari. La vascolarizzazione delle radici dei nervi spinali proviene dai vasi che afferiscono al midollo spinale dai rami radicolari delle arterie lombari.



### Nutrizione del disco intervertebrale

Il materiale discale è biologicamente attivo, è vitale ed ha una elevata funzione metabolica. A differenza della cartilagine non vascolarizzata delle diartrosi, gli elementi cellulari del disco non possono ricevere nutrimento di origine ematica attraverso il liquido sinoviale, ma devono ricorrere ad un sistema di diffusione che permette uno scambio metabolico con i vasi che si trovano nei corpi vertebrali. Pertanto, lo scambio dei metaboliti tra il disco e la rete avviene attraverso il piatto cartilagineo vasale perforato e la spongiosa vertebrale.

### **2.1.1 Il processo dell'insorgenza del dolore**

Per comprendere come il dolore lombare insorga, anche a seguito di una esposizione lavorativa alla movimentazione manuale dei carichi, è necessario approfondire il processo di infiammazione legato alla lesione dei tessuti. Innanzitutto per dolore si intende uno stato di malessere, percepito come momento emotivo, dovuto all'esperienza di un evento lesivo e dannoso (Merskey, 1986). Il dolore risulta essere una percezione e non una sensazione. La percezione prevede una sensibilizzazione rispetto ai parametri chimici che si modificano quando i tessuti vanno incontro ad un danno per cui questo viene riconosciuto come dolore. È possibile che il dolore permanga, o possa ripresentarsi, anche qualora il danno sia guarito.

Dal punto di vista cognitivo il dolore può assumere una connotazione più o meno intensa, in quanto la percezione può essere modificata dagli aspetti emotivi e di reazione agli stimoli a livello dei tessuti (Boivie, 1996).

Il dolore può insorgere a causa di un danno a livello dei tessuti, oppure può derivare da una risposta del sistema nervoso centrale (SNC). Quando il dolore deriva dalla lesione dei tessuti è chiamato *nocicettivo* o *dolore periferico*. I nocicettori (sensori del dolore) si trovano in varie parti del corpo e possono essere più o meno densi. Le parti sensoriali finali dei nocicettori sono delle fibre molto sottili che penetrano i tessuti muscolari, tendinei, ossei. Dagli studi emerge che i nocicettori sono i primi responsabili dell'insorgenza del dolore a livello della sezione lombare, quando il lavoratore è esposto ad attività che prevedono sforzi dovuti a sollevamento di carichi.

Il dolore che ha origine dal SNC è spesso dovuto ad una disfunzione dello stesso. Le cause possono essere dovute ad un malfunzionamento del processo cognitivo in risposta al dolore psicogeno, ma per lo più sono connesse a cambiamenti strutturali dei tessuti della colonna vertebrale, in particolare del midollo spinale, sclerosi multipla, ictus o attacchi epilettici. Il dolore neuropatico riguarda invece il sistema nervoso periferico lesionato senza però causare neuropatie o degenero del sistema nervoso. Il dolore neuropatico è spesso definito in termini di sensazioni amplificate come il freddo, uno shock, una bruciatura, o l'intorpidimento.

Uno dei problemi legati ai disturbi muscoloscheletrici, in particolare per quelli di tipo cronico lombare, è il perpetuarsi del dolore persistente, in séguito all'innescò della sequenza del dolore che continua senza terminare. Anche dopo la guarigione del

tessuto interessato, il dolore potrebbe protrarsi a causa di una disfunzione a livello del SNC.

La trasmissione del dolore dal sistema nervoso periferico al SNC avviene attraverso i nocicettori. I nocicettori sono localizzati a livello della pelle, dei muscoli, degli organi interni, dei vasi sanguigni, delle ossa e delle articolazioni, e quando sono stimolati trasmettono il segnale al cervello. L'informazione (sotto forma di potenziali d'azione) viene trasmessa alle strutture del SNC deputate all'elaborazione della sensazione di dolore. I nocicettori sono rappresentati dalle terminazioni periferiche libere di neuroni sensitivi primari, i cui corpi cellulari sono localizzati nei gangli delle radici dorsali o nei gangli trigeminali, la funzione è quella di innescare la risposta biochimica. Il loro ruolo è fondamentale, in quanto nel momento in cui i segnali si interrompono, la riparazione del danno si ritiene sospesa e terminata.

Il dolore lombare è un complesso sistema di reazione di cellule, molecole e adattamenti funzionali che inizia con lo stimolo dei nocicettori a livello periferico delle cellule del corpo. Le fibre A $\delta$  e C raggiungono il midollo spinale attraverso le radici dorsali e formano sinapsi con i neuroni delle corna dorsali (neuroni di II ordine), cedendo alcuni rami collaterali che salgono e scendono per alcuni segmenti. La conduzione del dolore da parte delle fibre A $\delta$  e C raggiunge il midollo spinale attraverso le radici dorsali. Nel midollo spinale avviene la trasmissione ad un neurone di II ordine. I neuroni di II ordine si portano nella parte contro-laterale del midollo e giungono al cervello attraverso il tratto talamico laterale del midollo spinale. Il dolore è fondamentalmente una sensibilizzazione dei tessuti. Questa sensibilità si manifesta sui recettori del dolore e si estende attraverso le varie componenti del sistema nervoso fino a provocare le risposte del cervello.

### *Il processo infiammatorio*

Recentemente è stato studiato il ruolo delle citochine nel processo di insorgenza del dolore a livello del colonna vertebrale lombare. Le citochine sono proteine di regolazione (come le interleuchine o le linfochine) che sono attivate dalle cellule del sistema immunitario e intervengono come mediatori intercellulari nella risposta immunitaria.

La logica di come le citochine svolgono un ruolo chiave nello sviluppo dei disturbi muscoloscheletrici sono stati ben descritti (Barr and Barbe, 2004). Secondo questa teoria, i tessuti esposti a carichi di forze nello svolgimento di attività che provocano risposte fisiologiche, possono influenzare la tolleranza dei tessuti.

L'integrità del tessuto è garantita dal non superamento della soglia di tolleranza degli stessi. Tuttavia, carichi che vanno oltre la tolleranza dei tessuti avviano una serie di risposte fisiologiche che possono portare all' infiammazione. Questa sequenza di eventi è definita con la teoria dei disturbi muscoloscheletrici da sovraccarico biomeccanico. I microtraumi dei tessuti possono essere un risultato della reazione infiammatoria. Nel caso di operazioni ripetitive (ad esempio attività altamente ripetitive), accade che le forze che insistono sui tessuti si sommano a quelle che insistono sui tessuti infiammati, per cui l'incremento di questa pressione aumenta lo stimolo dei nocicettori. Un ciclo di lesioni provoca una ulteriore infiammazione, e a seguire una possibile limitazione motoria. Questa risposta infiammatoria del tessuto dà inizio ad una reazione a cascata di sensibilità cronica del tessuto, e ad una riduzione della tolleranza dei tessuti durante il compito ripetitivo.

Il ruolo del processo infiammatorio è quello di proteggere il tessuto da ulteriori danni e avviare la rigenerazione. L'infiammazione tenta di assorbire e/o distruggere l'agente che può colpire il tessuto. I fagociti sono il principale meccanismo di difesa del corpo contro le infezioni da microrganismi e contro l'occlusione delle superfici o mucose da corpi estranei, e detriti dei tessuti. Durante i compiti ripetitivi, che possono o meno prevedere l'applicazione di forza, i tessuti sono in tensione e/o compressi e questo può comportare una privazione di ossigeno al tessuto (Winkelstein and Deleo, 2004). Questo sovraccarico del tessuto può causare una sorta di distruzione meccanica delle membrane cellulari e delle strutture intracellulari, portando al rilascio localizzato di proteine tra cui le citochine. L'entità del danno tissutale e il tempo che trascorre da quando si è verificato un danno, dettano la natura della risposta infiammatoria (Barr, 2004).

L'infiammazione acuta iniziale tipicamente si verifica all'improvviso e segue la sequenza descritta da Barr (2004). Secondo questa sequenza, inizialmente il letto capillare (arteriolare) è ristretto, segue una vasodilatazione, che aumenta la permeabilità dell'endotelio, e la diffusione di proteine nel fluido sanguigno e nel plasma, con successiva migrazione dei leucociti dai vasi ai tessuti feriti. Gli effetti

della vasodilatazione sono la sensazione di calore nei tessuti, l'arrossamento dell'area, e l'aumento della massa di tessuto. L'aumento della pressione del tessuto sui nervi (dovute a edema) può provocare dolore e perdita di funzionalità. L'infiammazione a lungo termine aumenta la permeabilità vascolare e l'afflusso di mediatori infiammatori, come TNF-a e IL-1, rilasciati dalle cellule danneggiate quando i vasi sono compressi. Poiché IL-1 e TNF-a sono agenti pro infiammatori, possono presentarsi in diverse reazioni.

In primo luogo, i neutrofili reagiscono durante la risposta infiammatoria acuta entro le prime 24 ore e possono essere presenti per un massimo di 5 giorni. I neutrofili sono globuli bianchi altamente distruttivi per i microrganismi. Quando un tessuto è danneggiato, i neutrofili si localizzano sul sito della lesione per difendere il tessuto danneggiato dai batteri. I neutrofili richiamano anche i macrofagi per "ripulire" il luogo danneggiato.

I macrofagi ingeriscono i tessuti danneggiati cosicché il tessuto sano possa rigenerarsi. Monociti e macrofagi, cellule immunitarie predominanti, rispondono alle lesioni tendinee e muscolari entro 24-48 h. Le variazioni nelle concentrazioni chimiche risultanti da queste reazioni possono aumentare il numero della citochine, come IL-1a e IL-6, che possono causare ulteriore infiammazione. Infine, il tessuto va in contro ad adattamento. Quando l'infiammazione e i danni ai tessuti sono finalmente risolti la normale funzione viene ripristinata. Tuttavia, se il tessuto non è in grado di adattarsi, può verificarsi una infiammazione persistente, in grado di causare ulteriori danni ai tessuti e dare origine alla fase del dolore cronico (Barbe and Barr, 2006).

L'infiammazione acuta può risolversi come riparazione completa e ritorno della funzione (Merskey, 1986), ovvero in una guarigione con formazione di cicatrici (Ramsey, 1996), o sviluppando una fibrosi cronica (Boivie, 1996). Quando la lesione del tessuto è lieve la riparazione completa è spesso possibile. Tuttavia, la formazione di cicatrici può verificarsi quando il danno tissutale diventa importante, e la capacità di rigenerazione diminuisce. Quest'ultima situazione si presenta dopo lunghi periodi di edema nel tessuto muscolare. La formazione di tessuto connettivo può inoltre portare a nuovi punti di stress all'interno del tessuto, ed un ulteriore aggravamento di nocicettori, che nel protrarsi scaturirà in una fibrosi cronica.

L'infiammazione cronica può iniziare subito dopo una risposta acuta e può durare per anni come risultato di una continua esposizione allo stimolo, ripetuti eventi infiammatori acuti o interferire con la normale guarigione. Gli effetti sistemici, dovuti a infiammazione acuta e cronica, possono aumentare la propagazione delle citochine ad altre parti del corpo attraverso il sistema circolatorio, e possono causare febbre se le citochine raggiungono parti del cervello.

In ultima analisi, l'infiammazione è destinata a riparare il tessuto danneggiato o sostituirlo con tessuto cicatriziale. Tuttavia, la ripetuta sollecitazione del tessuto, l'apporto insufficiente di sangue, l'insufficienza nutrizionale, le infezioni o le malattie metaboliche possono influenzare la qualità della risposta guarigione (Barr, 2004).

Sembra ci sia un chiaro legame tra il carico biomeccanico dei tessuti e la risposta delle citochine. Relazioni statisticamente significative sono state trovate tra il livello di citochine e il grado di deformazione dei tessuti lesionati (Winkelstein, 2001). Questo indica un collegamento diretto tra la dimensione lesioni e la nocicezione. Inoltre, gran parte della letteratura recente ha dimostrato come le attività legate al lavoro possono essere fonte di stimolo per la sequenza di eventi coinvolti nel processo infiammatorio e una maggiore sensibilità al dolore. L'aumento della vascolarizzazione con accompagnamento di edema, l'ipervascolarizzazione con declino funzionale, e la diminuzione della tolleranza dei tessuti sono effetti che sono stati osservati e studiati nelle esposizioni lavorative a carico biomeccanico (Archambault et al., 2001; Soslowky et al., 1999).

L'infiammazione cronica dei tendini e dei muscoli è stata osservata come risultato di attività altamente ripetitive (Barbe et al., 2003; Clark et al., 2003). Questi studi hanno dimostrato che i compiti altamente ripetitivi, anche senza utilizzo di una forza elevata, possono provocare un aumento dell'infiammazione nei muscoli coinvolti, così come in quelli che non lo sono direttamente. Questi studi dimostrano inoltre la natura sistemica dell'influenza della citochina nella regolazione della risposta immunitaria.

Il processo infiammatorio ha dimostrato di seguire chiaramente una relazione dose-risposta (Barr et al., 2003). La letteratura dimostra che la tolleranza dei tessuti è influenzata più da sforzi eccessivi (aumento del carico) che da incrementi di

ripetizione (trauma cumulativo). Tuttavia, entrambi i fattori interagiscono fortemente. La risposta infiammatoria del tessuto è stata monitorata e mostra come la tolleranza dei tessuti diminuisce gradualmente in funzione della esposizione a compiti ad alta ripetizione, e la tolleranza diminuisce precipitosamente quando questi ultimi sono combinati all'utilizzo di forza importate.

Per quanto riguarda la colonna vertebrale il disturbo lombare, quindi il dolore lombare, questo può attribuirsi a diverse ipotesi studiate, ossia ai vasi sanguigni, ai nervi o ai muscoli. Questi risultati hanno portato alla convinzione che il dolore deriva da vasi sanguigni e nervi rispetto al tessuto muscolare. La radice di un nervo è tipicamente insensibile alle pressione. Tuttavia, se la radice è stata esposta precedentemente a pressione continua, stretching, e gonfiore, quindi a stimolazione ripetuta, questo si tradurrà in dolore e sintomi della sciatica (Weinstein, 1997)

Il disco è stato spesso considerato come fonte di mal di schiena. Tuttavia, solo le regioni esterne la corona circolare dell'annulus sono innervate dai nocicettori sensibili al dolore. Kuslich (1991) nel suo studio ha confermato che il dolore si manifesta solo quando le regioni esterne dell'annulus sono stimulate. Questo studio ha anche dimostrato che la parte centrale della corona circolare e il legamento longitudinale posteriore, erano in grado di indurre dolore alla colonna vertebrale toracica, mentre forze applicate lateralmente il legamento provocavano dolore nella parte in cui era stato applicato lo stimolo.

Ulteriori indagini hanno scoperto che le piastre vertebrali laterali sono sensibili alla pressione e allo stimolo, provocando profondo dolore lombare; anche le faccette sono state identificate come fonte di dolore acuto e localizzato. Quando il legamento giallo, il grasso epidurale, il nucleo polposo, la lamina ossea, la dura posteriore, ed i processi spinosi sono stati stimolati meccanicamente le strutture specifiche sono risultate non provocare dolore.

Inoltre anche il tessuto cicatriziale è suggerito come fonte di dolore. Tuttavia, gli studi indicano che tale tessuto in sé non è sensibile al dolore rispetto alla radice del nervo. Questo suggerisce che la sensibilità al dolore di una cicatrice può essere secondaria alla riparazione del nervo che è sensibile a compressione e/o tensione (Weinstein, 1997). Pertanto, questo processo suggerisce un ruolo importante del sistema vascolare nella definizione del dolore.

Alcuni studi hanno ipotizzato che il disco vertebrale sia l'origine più probabile della maggior parte dei dolori alla schiena; tuttavia, la valutazione della distribuzione del dolore dovuta alla pressione interna del disco non porta a dolore a meno che non è presente degenerazione del disco o interruzione anulare (Mooney, 1987). Quindi, il meccanismo di generazione dolore all'interno delle radici nervose e del disco è più complicato rispetto alla sola la presenza della pressione stessa.

Contratture e lacerazioni della zona lombare rappresentano la diagnosi più comune dei dolori alla schiena (lombalgia non specifica) e sono soprattutto le più comuni legate al lavoro (Andersson, 1997). Mentre ora è conosciuto esattamente come il dolore muscolare è coinvolto nella lombalgia, generalmente si pensa che il dolore muscolare sia dovuto ad affaticamento, a fibromialgia o a danno muscolare.

Dato che ci sono centinaia di muscoli nel corpo, i tempi di reclutamento muscolare e l'intensità della forza di ogni muscolo sono fattori importanti nel garantire un utilizzo efficiente, dal punto di vista energetico, del sistema muscoloscheletrico. Tuttavia, il modello di reclutamento muscolare può essere notevolmente influenzato dalla fatica (Parnianpour et al., 1988). Quando l'attivazione dei muscoli avviene in modo non ottimale nell'esecuzione di uno sforzo, può causare una lesione del muscolo.

La fatica si può definire come perdita della forza muscolare, e l'affaticamento muscolare si pensa possa essere il risultato sia della fatica percepita a livello del SNC sia a livello del sistema nervoso periferico. Inoltre la fatica è associata al cambiamento degli indici metabolici delle unità che influiscono sulla capacità del muscolo di utilizzare l'ossigeno.

Inoltre è stato osservato che un'altra potenziale via di pregiudizio, relativa alle anomalie di reclutamento muscolare, è la sindrome da tensione muscolare (TMS). Questo concetto (Sarno, 1982; 1991) suggerisce che un aumento degli stati di tensione muscolare nella parte posteriore della schiena possono essere avviati attraverso il sistema nervoso autonomo. Questo aumento della tensione muscolare può ridurre significativamente l'afflusso di sangue ai muscoli, ai nervi, ai tendini e ai legamenti, privandoli così della nutrizione necessaria per alimentare i tessuti sani. La deprivazione di ossigeno può portare a diversi percorsi dolorosi. In primo luogo spasmi muscolari che possono portare a dolore acuto. In secondo luogo l'interruzione dell'apporto di ossigeno può portare ad una diminuzione in ATP, molecola necessaria a produrre una significativa contrazione muscolare. Così, l'equilibrio



chimico del muscolo è interrotto con conseguente aumento di acido lattico che favorisce il disagio muscolare. In terzo luogo la privazione di ossigeno si pensa sia collegata alla fibromialgia. La fibromialgia è stata studiata nei pazienti con mal di schiena nei quali l'innesco è stato localizzato nei siti con maggiore risposta delle citochine che potrebbe portare ad un aumento dell'infiammazione e una maggiore stimolazione dei nocicettori circostanti. Infine, la tensione muscolare può privare i nervi, che attraversano il muscolo, dell'ossigeno, comportando un dolore significativo. I nervi sono molto più sensibili alla carenza di ossigeno rispetto ai muscoli.

Le radici dei nervi generalmente non sono sensibili alla pressione (Smyth and Wright 1958). Tuttavia, le radici nervose compresse e infiammate possono diventare sensibili alla sollecitazione meccanica (Greenberg et al., 1988). Quando una radice del nervo è allungata, compressa, o gonfia, il dolore è riportato da quasi tutti i soggetti. Inoltre, solo quando sono state stimulate queste strutture compromesse i pazienti riportavano la sciatica (Kuslich, 1991). Quindi, una radice nervosa per diventare fonte di dolore, deve aver sperimentato uno stimolo importante e la forza deve essere direttamente applicata sulla struttura.

Diversi studi hanno dimostrato come carichi applicati ai vari tessuti all'interno della colonna vertebrale possono influenzare risposte neuronali in proporzione all'intensità del carico biomeccanico. Questo è stato dimostrato per il nervo sciatico e il DRG (*dorsal root ganglion*) (Rydevik et al., 1989), per le tipologie di edema (Olmarker et al., 1989), e per la sollecitazione meccanica della radice del nervo (Cornefjord et al., 1997). L'entità della lesione è stata associata al grado di sensibilità. In particolare, "maggiore è la compressione della radice nervosa che può provocare lesioni, peggiori sono i sintomi clinici della sensibilità e della percezione del dolore" (Winkelstein, 2001). Un recente lavoro è stato anche in grado di definire le soglie meccaniche per il dolore in base al grado di compressione della radice nervosa (Winkelstein, 2004).

In conclusione, dovrebbe essere chiaro che il dolore è lontano da un semplice percezione del danno tissutale. È anche evidente che siamo nelle prime fasi di studio per comprendere le potenziali interazioni complesse associate all'interpretazione del dolore. Mentre è chiaro che i tessuti danneggiati sono in grado di essere la fonte di dolore, altri fattori, come i fattori psicologici, il processo di riparazione, l'esposizione alle attività lavorative e non, esperienze precedenti, e le risposte fisiologiche nella

regolazione degli agenti pro-infiammatori possono influenzare la percezione e la durata dolore.

## 2.2 Fattori di rischio legati all'attività e all'ambiente di lavoro

Il sovraccarico biomeccanico del rachide è un rischio che ad oggi viene valutato all'interno delle aziende e, oltre ad essere normato dal T.U. della Sicurezza 81/08 ss.mm.ii., necessita anche di una sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti alla movimentazione manuale dei carichi.

Nell'ambiente di lavoro cosa comporta un sovraccarico biomeccanico del rachide?

Dagli studi svolti in questo ambito è emerso che i fattori che incidono sono molteplici e la loro azione può differenziarsi sulla base delle forze esercitate sulla colonna vertebrale. Gli aspetti legati all'ambiente di lavoro influiscono sull'attivazione dei muscoli del tronco, per cui le condizioni di lavoro sono un aspetto importante che deve essere valutato per diminuire il rischio da sovraccarico dovuto alla co-contrazione dei muscoli che supportano la colonna, ma allo stesso tempo creano un effetto negativo sulle forze interne esercitate.

Gli elementi dell'ambiente di lavoro che maggiormente creano disagio e generano delle forze di carico che possono esporre al rischio sono:

- le *posture* assunte durante il sollevamento. In uno studio caso-controllo è stata analizzata la relazione tra lombalgia e posture incongrue (Punnet, 1999). Le posture associate alle attività svolte dai lavoratori che avevano avuto la lombalgia, sono state paragonate alle posture delle attività svolte da lavoratori che non avevano mai avuto la lombalgia in un periodo di tempo di 10 mesi. Le posture individuate come rischiose sono state: flessione del tronco moderata ( $21^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) o grave ( $>45^{\circ}$ ) e deviazione laterale del tronco e torsione superiori ai  $20^{\circ}$  (Figura 4).

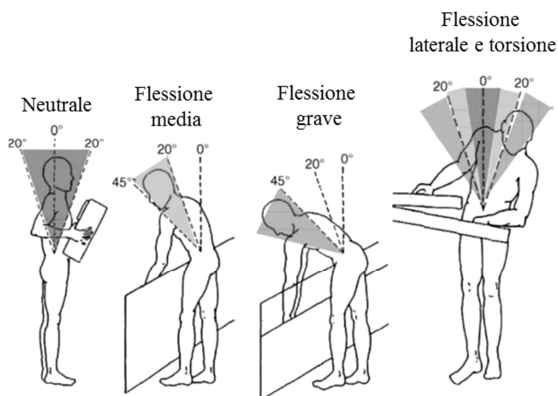
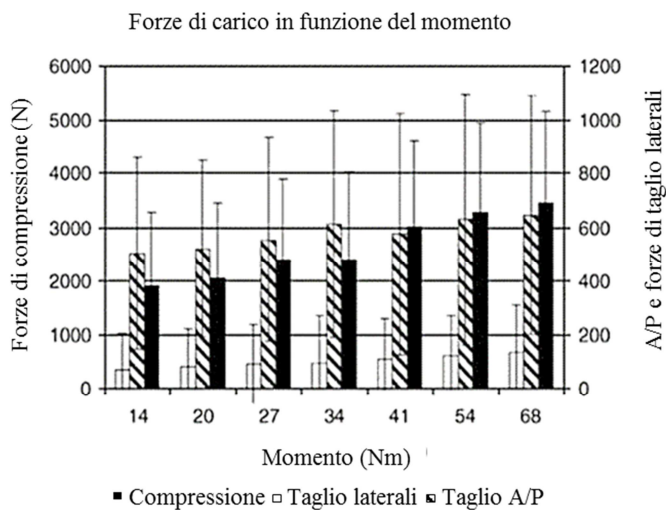


Figura 4 - Tipologia di posture assunte durante il sollevamento

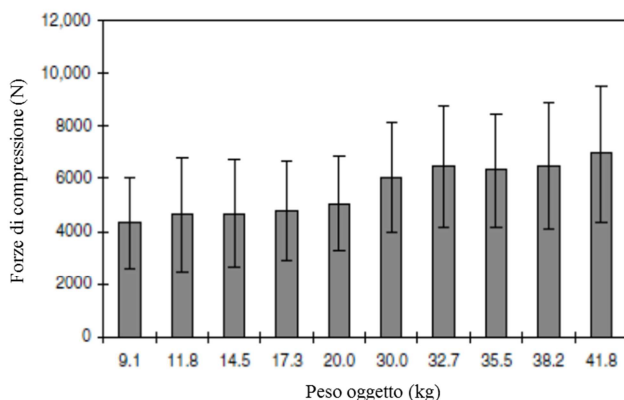
- La distanza dell'oggetto dal fulcro, il *momento*. Il momento è definito come la distanza tra un oggetto sollevato dal lavoratore e la colonna vertebrale, moltiplicato per il peso dell'oggetto. Negli studi relativi alla sorveglianza sanitaria è stato osservato che nei lavoratori esposti a momenti di forza particolarmente intensi era maggiore la probabilità che questi avessero avuto esperienza di lombalgie (Marras, 1993). Dal punto di vista biomeccanico questa logica ha perfettamente senso. Maggiore è il peso dell'oggetto sollevato (forza esterna), maggiore dovrà essere la forza opposta interna. Quindi la forza interna dovrà aumentare di molto per contrastare la forza esercitata dall'esterno, in questo modo le forze interne che agiscono sulla colonna sono maggiori rispetto il carico esterno (Figura 5). Dalla figura è visibile come le forze di compressione, le forze taglio laterali e antero-posteriori modificano la loro intensità in base al tipo di momento generato dal sollevamento manuale. All'aumentare del momento aumentano le forze interne che agiscono sulla struttura vertebrale lombare.



**Figura 5 - Relazione tra forze di carico e momento della forza esterna**

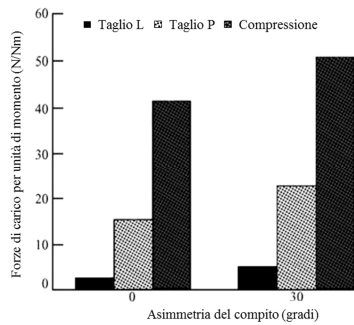
- Il *peso* dell'oggetto sollevato. La risposta dei muscoli del tronco all'attività di sollevamento in un primo momento è di supporto alla colonna vertebrale, poi in un secondo momento questa funzione è prevaricata da una co-contrazione dei muscoli che genera delle nuove forze di carico che incidono sulla colonna (Davis et al., 2000). Per cui l'aumento del peso dell'oggetto sollevato determina l'aumento delle forze interne esercitate (Figura 6). In figura è evidente come l'aumento delle forze di compressione siano il risultato

dell'aumento del peso dell'oggetto sollevato. Come ci si aspetta le forze di compressione crescono in funzione del peso.



**Figura 6 - Incremento delle forze di compressione in funzione del peso dell'oggetto sollevato**

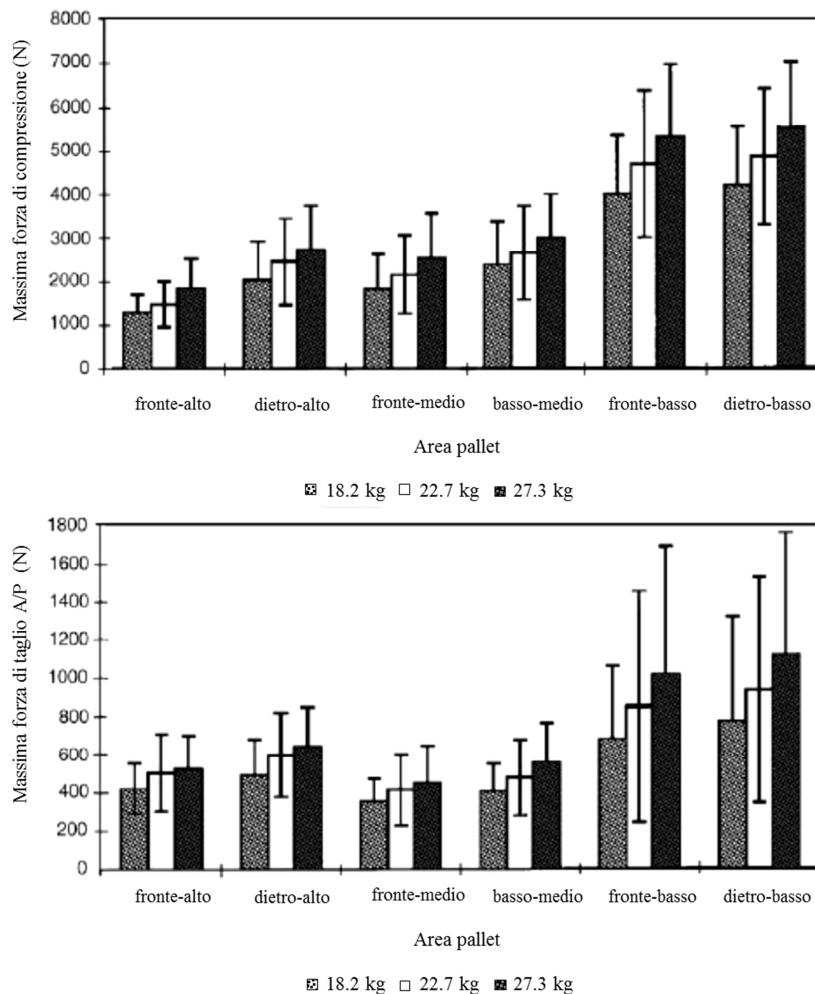
- Sollevamenti *asimmetrici*. Quando un compito viene svolto in una situazione dinamica è possibile che questo possa presentare contemporaneamente due movimenti del tronco, la flessione laterale e la torsione. Questa combinazione viene identificata come asimmetria (Granata et al. 1995). Lo studio di come il fenomeno dell'asimmetria si ripercuota sulla colonna vertebrale è stato eseguito paragonando due situazioni di lavoro, in cui una prevedeva il sollevamento manuale in modo simmetrico, il linea con il piano sagittale, e un altro con il tronco spostato rispetto il piano sagittale di 30° (Figura 7). Dalla figura è evidente come le forze di compressione, di taglio laterali e antero-posteriori aumentino con la presenza dell'asimmetria. Questo elemento si presenta molto frequentemente negli ambienti di lavoro e dovrebbe essere considerato nelle valutazioni del rischio e non trascurato come eccezione. Per cui quando un lavoratore è esposto ad attività che prevedono la presenza del fattore asimmetria è noto che la contrazione muscolare sarà maggiore, di conseguenza le forze di carico che possono generare sulle strutture della colonna dei possibili danni.



**Figura 7 - Forze di carico sulla colonna vertebrale (per unità di momento di forza) in funzione dell'asimmetria all'origine del sollevamento. Incremento delle forze di taglio laterali, A/P e di compressione all'aumentare dell'asimmetria.**

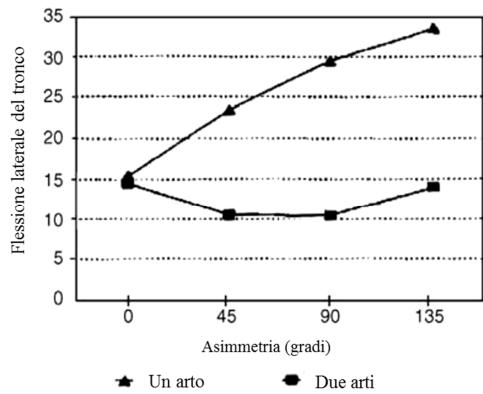
- *Altezza* di sollevamento. Diversi studi hanno dimostrato che esiste una associazione tra l'altezza di sollevamento e aumento delle forze di carico sul disco vertebrale. La dimostrazione attraverso un modello, in cui si sono ipotizzate varie origini di prelievo di un oggetto, ha reso possibile comprendere come le diverse forze, finora menzionate, si modificano di conseguenza (Figura 8). Dalla figura è possibile affermare che le forze finora menzionate dipendono dall'altezza di prelievo dell'oggetto (Davis and Marras, 2005).

*Quindi non è sufficiente controllare solamente l'entità del peso dell'oggetto, ma è anche necessario considerare come questo venga sollevato e in quali condizioni.*



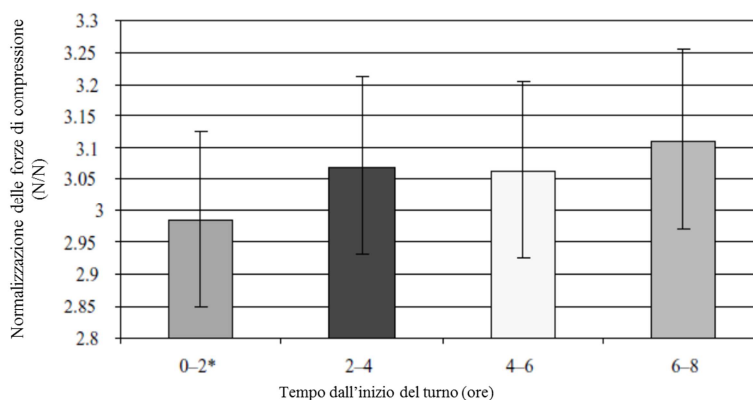
**Figura 8 - Forze di compressione in funzione del peso dell'oggetto e del suo prelievo e posizionamento; forze di taglio**

- Sollevamento con *un arto o due arti*. Normalmente il sollevamento è una attività che dovrebbe essere svolta con due arti. Anche gli studi e le linee guida sulle valutazioni del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide hanno come premessa che il sollevamento sia sempre eseguito con entrambi gli arti. Non raramente accade che i lavoratori utilizzino un solo arto (Kingma and VanDien, 2004). Quando questo accade le forze che agiscono sulla colonna vertebrale non sono solamente quelle dovute al sollevamento, ma si aggiungono anche quelle legate al fattore asimmetria precedentemente descritto. Infatti da un studio è stato osservato che il sollevamento con un solo arto comporta uno spostamento laterale del tronco che di conseguenza genera un aumento delle forze interne laterali di gran lunga superiori alle forze generate se il sollevamento fosse eseguito con entrambi gli arti (Figura 9).



**Figura 9 - Flessione laterale del tronco risultante dal sollevamento con un arto o due arti in funzione dell'asimmetria**

- Durata dell'esposizione al compito di sollevamento. Gli studi che hanno riguardato il sovraccarico biomeccanico del rachide in funzione del tempo di svolgimento di una attività di sollevamento, hanno dimostrato che le forze di compressione per un determinato compito di sollevamento, che già di per sé comporta un carico, aumentano del 5% dopo 2 ore di esposizione, per le successive 6 invece il livello rimane sostanzialmente costante fino ad aumentare leggermente di nuovo nelle ultime due ore, su un turno di 8 ore (Marras, W.S., et al., 2006). L'incremento di queste forze è dovuto ad un aumento della co-contrazione muscolare, che deve sostenere l'attività, soprattutto quando è ripetuta. La muscolatura del tronco è completamente coinvolta nel sollevamento svolto sul lungo periodo per cui sarebbe richiesto maggior afflusso di ossigeno. Il mancato recupero di ossigeno genera un indebolimento dei muscoli e quindi l'attività richiede uno sforzo maggiore per il lavoratore.



**Figura 10 – Effetto del tempo sull'attività di sollevamento nel turno sulle forze compressive, normalizzata per peso corporeo.**



### **2.3 Fattori di rischio organizzativi e psicosociali**

Gli studi riguardanti i fattori psicosociali e quelli organizzativi interni all'azienda non sono molti, e tanto meno la relazione degli stessi con l'insorgenza della lombalgia. I fattori psicosociali e organizzativi sono stati considerati come sinonimi, fino a ad essere considerati genericamente come fattori sociali dell'ambiente di lavoro. Spiegare l'interazione tra fattori organizzativi e psicosociali occupazionali e la risposta dell'azione muscolare sui tessuti della colonna vertebrale dal punto di vista epidemiologico non è stato affrontato in modo approfondito. Recenti studi hanno ipotizzato che fattori psicosociali possono aumentare il rischio per l'aumento della co-attivazione muscolare in situazioni di stress e di conseguenza aumentare colonna vertebrale carico.

Dalla letteratura gli studi selezionati (Andersen, et al., 2002) hanno dimostrato che la risposta dell'aumento del carico discale (inteso come capacità di attivare il meccanismo dell'insorgenza della lombalgia) si genera nell'esposizione ai fattori di rischio organizzativi e psicosociali in modo molto simile all'esposizione ai rischi di tipo fisico (Thorbjornsson, et al., 2000).

Uno studio ha dimostrato che la co-attivazione muscolare aumenta effettivamente il carico delle forze sulla colonna vertebrale quando i soggetti sono immersi in una situazione psicosociale non confortevole (Myers, 1998).

Tuttavia, aumenti significativi nel carico della colonna si sono verificati solo in soggetti con particolari tratti di personalità, con più o meno estroversione (Marras, W.S. et al., 2000).

Simili aumenti di co-attivazione muscolare e, quindi del carico della colonna vertebrale, si sono verificati anche in compiti nei quali l'esecuzione risultasse mentalmente complessa (come è fatto durante un compito pacchetto di smistamento), e quando i soggetti sono stati esposti a ritmo più veloce compiti.

Questi studi sono coerenti con l'idea che il apparato muscoloscheletrico risponde alla tipologia di attività o aspettative che essa richiede e il apparato muscoloscheletrico tende a comportarsi di conseguenza.

## **2.4 Fattori individuali e di confondimento**

I fattori individuali e le loro caratteristiche possono svolgere anch'essi un'azione rispetto al apparato muscoloscheletrico del tronco, all'interno dell'ambiente lavorativo queste caratteristiche possono influenzare la probabilità, secondo diversi processi, di provocare l'insorgenza dei disturbi lombari durante lo svolgimento di un'attività di lavoro. È stato osservato che, sulla base di diverse circostanze che possono sopraggiungere durante lo svolgimento dei compiti lavorativi, i fattori individuali rispondono unicamente attraverso una co-attivazione biomeccanica dei muscoli del tronco. Sicuramente i fattori individuali di ogni lavoratore interagiscono con i fattori fisici dell'ambiente di lavoro così come con quelli di tipo psicosociale.

### **2.4.1 Genere**

Il genere (sesso) è un fattore individuale che si pensa influenzi la natura del carico biomeccanico della struttura vertebrale in funzione del compito di sollevamento manuale svolto. Mentre le differenze, in merito alle attività di sollevamento, rispetto le misure antropometriche sono state descritte in letteratura (Kromer, 1999), l'effetto che il genere ha sul carico biomeccanico del rachide coinvolge molti più elementi dal semplice fatto che la donna abbia misure antropometriche inferiori rispetto l'uomo. Gli studi in merito alla forza esercitata dai muscoli del tronco, diversamente per donne e uomini, hanno dimostrato che esiste una differenza sulla tipologia di co-attivazione e sulla massima contrazione volontaria che questi hanno conseguentemente ad una attività di sollevamento (Chaffin, 1974; Marras, et al, 2001).

L'importanza di come i muscoli rispondano alle sollecitazioni di compiti di sollevamento deriva dal fatto di dover comprendere la relazione dello sforzo esercitato dai muscoli del tronco e il carico delle forze sulla colonna vertebrale. Studi di questo tipo rimangono comunque difficili da approfondire data la complessità dell'analisi dei fattori e la loro misurazione.

Dagli studi è emerso inoltre che le differenze di carico discale dipendono anche dalla conformazione anatomica dei muscoli del tronco, questo comporta un coinvolgimento diversificato delle fasce muscolari al momento dell'attività di sollevamento. Inoltre le donne hanno un livello di tolleranza inferiore rispetto al

sesso maschile e questo provoca un rischio maggiore di andare incontro alla lombalgia (Jager and Luttman,1991; Jager, Luttman and Laurig, 1991).

In uno studio di laboratorio Lindman et al. (1991) trovarono che nelle donne vi era una maggior percentuale di fibre di tipo I nei muscoli trapezi rispetto agli uomini e attribuirono a questo tipo di fibre un possibile ruolo eziopatogenetico del dolore miofasciale (Lindman, et al. 1991).

#### **2.4.2 Età**

I primi studi effettuati per comprendere come le forze di compressione agissero sui dischi vertebrali, in relazione all'età, sono stati svolti su dischi vertebrali provenienti da cadaveri maschili (Evans, 1959; Sonda 1962). I dischi vertebrali venivano sottoposti a delle pressioni che arrivassero a generare le prime fratture (Figura 11). È stato osservato che nei dischi di cadaveri con età inferiore ai 40 anni occorre una pressione pari a 650kg per generare le prime microfratture sulle piatto cartilagineo. L'insorgenza delle microfratture varia da un minimo di 250kg di forze compressive per soggetti di età superiore ai 60 anni fino a valori superiori di 950 kg per soggetti al di sotto dei 40 anni. Sonoda (1962) ha studiato che questi limiti nelle donne sono inferiori, di almeno il 17%. Questo può essere dato dalla minore area a disposizione del disco per supportare tali compressioni. Da tenere in considerazione per quanto riguarda questi studi è che la cartilagine del piatto limitante è quella che distribuisce il peso sul disco vertebrale, per cui è possibile che nei soggetti di età più avanzata queste avessero già delle piccole lacerazioni dovute a precedenti traumi. Se questo fosse vero probabilmente l'essere sottoposti a continui traumi (come il sollevamento manuale dei pesi) possono essere sufficienti a causare le microfratture delle cartilagini, dell'osso sub condrale e del corpo vertebrale. Questi traumi potrebbero quindi limitare i movimenti atti al "nutrimento dei dischi vertebrali, che ne ridurrebbe la capacità di supportare carichi discali compressivi, causando così infine l'erniazione dell'anulus o una protrusione e generare lombalgia acuta.

La lombalgia riconosce nell'età un fattore di rischio come mostra uno studio epidemiologico americano effettuato utilizzando i dati del database DMSS (Defense Medical Surveillance System) tra il 2000 e il 2009. Sono stati analizzati dati pari a 12.399.276 persone/anno e i risultati mostrano come il tasso d'incidenza aumenti progressivamente con l'età. Prendendo come riferimento il gruppo di età compresa tra 20 e 39 anni, il tasso di incidenza relativo era di 0.91 (95% CI 0.90-0.92) per il

gruppo di età minore di 20 anni, 1.03 (95% CI 1.02-1.04) per il gruppo 30-39 anni e 1.31 (95% CI 1.29-1.32) per il gruppo maggiore di 40 anni.(Knox, et al., 2012).

Zanuto (2015) in uno studio recente ha analizzato la prevalenza dei disturbi lombari in relazione ad alcune variabili in una popolazione brasiliana adulta per entrambi i sessi. I risultati hanno trovato delle relazioni con l'età, in particolare quando l'analisi è stata aggiustata è stato osservato che i soggetti con età superiore ai 45 anni (dai 45 ai 59.9 anni) OR = 13.1 [1.72-98.5] e quelli con età  $\geq 60$  anni, OR = 9.10 [1.15-71.7].

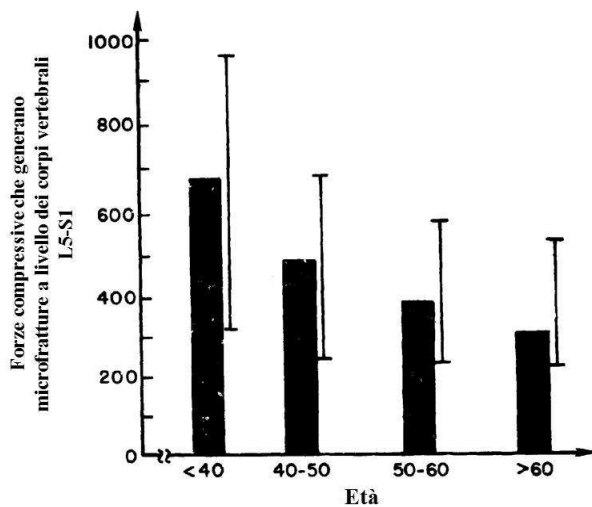


Figura 11 - Valori medi e range delle forze compressive che producono fratture nel disco, per età (Evans, 1959; Sonoda, 1962)

### 2.4.3 Indice di massa corporea (Body Mass Index)

L'indice di massa corporea, calcolato come il rapporto tra il peso e il quadrato dell'altezza, è un altro fattore di rischio associato ai disturbi muscoloscheletrici. Per la definizione di sovrappeso e obesità ci siamo attenuti ai cutpoint dell'Organizzazione Mondiale della Sanità: BMI tra 25–29.9 kg/m<sup>2</sup> per il sovrappeso e BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> per l'obesità.

Una meta-analisi del 2009, che ha incluso 33 studi, mostra che negli studi cross-sectional l'obesità era associata con un aumento della prevalenza di lombalgia nell'ultimo anno (pooled odds ratio (OR) 1.33, 95% (CI): 1.14, 1.54), e di lombalgia cronica (OR 1.43, 95% CI: 1.28, 1.60). Inoltre i soggetti in sovrappeso avevano una minor prevalenza di lombalgia rispetto agli obesi ma una maggior prevalenza rispetto ai normopeso. Negli studi di coorte solo l'obesità era associata a un incremento

dell'incidenza della lombalgia nell'ultimo anno (OR 1.53, 95% CI: 1.22, 1.92). Dall'analisi emerge, quindi, che l'associazione è più forte tra obesità e lombalgia e, in generale, nel genere femminile, fatto che può essere spiegato da un diverso assetto ormonale e da una diversa distribuzione del grasso corporeo ma anche da una diversa sensibilità al dolore (Shiri et al., 2009).

#### **2.4.4 Razza**

Jeffrey B Knox MD et al (2012) nel loro studio, hanno valutato l'associazione tra lombalgia e razza. Il tasso d'incidenza più alto per la lombalgia acuta rispetto alla razza caucasica è risultato essere quello associato alla razza negroide 1.12 (95% CI:1.11-1.12) mentre ispanici, asiatici e nativi americani/Alaska presentavano tassi d'incidenza minori rispetto ai caucasici.

#### **2.4.5 Attività fisica**

Un altro fattore di confondimento, per quanto riguarda i disturbi muscoloscheletrici, è l'attività fisica. Uno studio condotto sui dati del DMC (Dutch population-based Musculoskeletal Complaints and Consequences Cohort study) ha mostrato un moderato incremento del rischio di lombalgia cronica sia per le persone con stile di vita sedentario (OR 1.31: 95% CI 1.08–1.58) sia per chi svolge attività fisica intensa (OR 1.22: 95% CI 1.00–1.49). Questa relazione risultava essere più forte nel genere femminile (sedentarie: OR 1.44:95% CI 1.10–1.83; attività fisica: OR 1.36: 95% CI 1.04–1.78) (Hans et al., 2009).

Nel 2011 è stata pubblicata una review (Hans, 2011) in merito ai livelli di attività fisica e lo sforzo fisico della colonna vertebrale in impegni del tempo libero e lo sport e l'esercizio fisico. Specifici tipi di esposizione di attività fisica nel tempo libero, come ad esempio attività regolari di riordino della casa (Croft, 1999) o attività che implicassero uno sforzo elevato durante il tempo libero (ad esempio, impegnarsi in attività fisica intensa) (Bildt Thorbjornsson, 2000), sono stati moderatamente associati ad un aumentato rischio di LBP. Le stime di rischio sono state osservate rispettivamente di 1,8 (1,2-2,6) e 1,9 (1,1-3,3). Inoltre sia negli sport di intensità regolare e sia in quelli ad alta intensità sono stati moderatamente associati con LBP (Hagen, 2002) In base a questi risultati, vi è una forte evidenza che lo sforzo fisico intenso durante il tempo libero è moderatamente associata con LBP.

#### **2.4.6 Fumo**

Il fumo, negli studi clinici, è spesso preso in considerazione come fattore di confondimento. In particolare, per quanto riguarda l'associazione tra fumo e lombalgia, è stata effettuata una meta-analisi su 40 studi pubblicati fino al 2009. Negli studi cross-sectional ai fumatori risultava associato un incremento della prevalenza di lombalgia nell'ultimo mese (OR 1.30, 95% CI, 1.16-1.45) e negli ultimi 12 mesi (OR 1.33, 95% CI, 1.26-1.41), lombalgia cronica (OR 1.79, 95% CI, 1.27-2.50) e disabilitante (OR 2.14, 95% CI, 1.11-4.13). Ai fumatori inoltre era associata una prevalenza più alta di lombalgia rispetto a ex fumatori e non fumatori.

Negli studi di coorte si evidenziava che fumatori ed ex fumatori avevano un'aumentata prevalenza di lombalgia rispetto ai non fumatori rispettivamente (OR 1.32, 95% CI, 0.99-1.77) e (OR 1.31, 95% CI, 1.11-1.55). La meta-analisi concludeva per un'associazione modesta motivata dal fatto che il fumo è in grado di ridurre la perfusione dei dischi intervertebrali, è un fattore di rischio per l'osteoporosi e aumenta i livelli di citochine pro-infiammatorie circolanti. Tuttavia si deve tener conto che chi svolge lavori pesanti è più portato all'abitudine tabagica e lamenta un maggior livello di stress psico-fisico, ambedue fattori associati allo sviluppo di lombalgia. (Shiri et al., 2010).

### **3 METODO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA SOVRACCARICO BIOMECCANICO DEL RACHIDE NIOSH**

In questa sezione è illustrato il metodo di valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide NIOSH, dalle sue basi e principi, all'evoluzione della formula di calcolo.

Anche se la formula è stata modificata nel tempo la procedura per eseguire la valutazione del rischio da movimentazione manuale dei carichi prevede:

1. Individuazione del compito che espone alla MMC e definizione della tipologia (*semplice LI, composito CLI o variabile VLI*)
2. Definizione del gruppo omogeneo esposto allo stesso compito
3. Definizione dell'organizzazione del lavoro in termini di tempi di sollevamento
4. Rilevazione del numero degli oggetti sollevati nel turno di lavoro e relativi pesi, per il calcolo del frequenza
5. Rilevazione delle misure di altezze e distanze orizzontali all'origine e al deposito del sollevamento

#### **3.1 Approcci di studio**

In questa sezione sono presentati i vari approcci di analisi per lo studio dell'interazione tra attività di sollevamento manuale dei carichi e le conseguenze che questa può provocare a livello del corpo umano. Sulla base di questi studi sono state sviluppate le varie ipotesi che hanno portato a concepire i criteri ed i parametri da considerare all'interno della valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide.

##### **3.1.1 Approccio psicofisico**

L'approccio psicofisico si basa sul concetto della percezione della mente umana rispetto agli stimoli fisici provenienti dall'esterno. Quando una persona viene a contatto con un agente che influenza lo stato di normalità psicofisica, la reazione provocata dipende da come viene ricevuto tale elemento esterno. Lo studio psicofisico prevede una sperimentazione che solitamente avviene in laboratorio, dove si creano delle situazioni ipotetiche di attività che generano stress sulla persona che la sta svolgendo, registrando le risposte del soggetto. Secondo Stevens (1960) la sensazione percepita è direttamente proporzionale all'intensità dello stimolo fisico.

Per quanto riguarda il sollevamento manuale dei carichi, gli studi psicofisici si sono concentrati sulla massima contrazione volontaria muscolare durante il sollevamento di un oggetto. In questo caso la forza considerata è quella di tipo statico (Roebuck, Kromer e Thompson).

Diversi studi hanno raccolto informazioni riguardo la capacità muscolare in varie popolazioni (Asmussen, 1961; Chaffin, 1974; Kroemer, 1969, Laubach, 1969; Troup, 1969; Snook, 1970; Nordgren, 1972). Sulla base di questi Laubach (1976) ha pubblicato una review sintetizzando tali dati, affermando che per le femmine il range medio della forza è tra il 35% e l'84% della forza maschile, in base alla tipologia di test utilizzato e i muscoli specifici coinvolti. Facendo una ulteriore stima è stato dimostrato che la forza femminile è circa il 64% di quella maschile. Queste considerazioni hanno successivamente portato ad ulteriori approfondimenti in quanto la forza media non rappresenta la variabilità che esiste tra i generi. Gli studi sperimentali sono stati presi in esame da review utilizzate per proporre modelli di previsione per valutare quale fosse il limite di peso massimo sollevabile, Pinder (2012) ha definito questo peso come *maximum acceptable weight of lift* (MAWL). Nello studio Pinder fa riferimento alla letteratura in merito alle tecniche di analisi psicofisiche per dimostrare che il MAWL diminuisce all'aumento della frequenza di sollevamento. Questi studi si sono limitati all'analisi della forza statica isometrica, altri studi invece hanno approfondito la forza dinamica, più appropriata per la valutazione dello sforzo fisico durante il sollevamento manuale. Le ricerche fatte utilizzando l'approccio psicofisico sull'analisi della forza dinamica sono diverse in letteratura (Snook and Irvine, 1968, 1969; Snook, 1976, 1978; Snook and Ciriello, 1974; Ayoub et al., 1973, 1976, 1978; Strindberg and Peterson, 1972; Switzer, 1962; Emanuel et al., 1956). Le sperimentazioni prevedevano che i soggetti dovevano compiere il sollevamento manuale di un oggetto, dove frequenza del compito, dimensioni dell'oggetto, altezza e distanza, erano indicate e controllate dagli esperti. Per ogni soggetto sono state registrate le varie percezioni dello sforzo fisico. Snook (1978) le ha riassunte nel documento della Liberty Mutual Insurance Co. Nel documento sono riportati i pesi limite sollevabili in determinate condizioni di sollevamento, in base all'altezza delle mani nel punto di prelievo dell'oggetto, e la frequenza con il quale viene svolto il compito. Questi studi hanno permesso inoltre di predire la capacità di sollevamento in termini di forza dinamica attraverso modelli



statistici. I limiti di questi modelli sono diversi, alcuni di questi sono dovuti alla considerazione di poche variabili rispetto a quelle proposte da Snook, considerate invece negli studi di Ayoub (1978) e Mital (1978) i quali hanno considerato pesi, frequenze, altezze e distanze, però per sollevamenti che avvengono sulla linea del piano sagittale.

### 3.1.2 Approccio fisiologico

L'approccio fisiologico si concentra sulla misura del consumo di ossigeno per valutare qual è la capacità massima di sollevamento in determinate condizioni di lavoro. Il consumo di ossigeno, il dispendio metabolico e la frequenza cardiaca sono le misure fisiologiche che sono state maggiormente studiate per comprendere quale sia la massima intensità di lavoro svolto ripetutamente, prima di andare in contro ad un eccessivo affaticamento. Le misure in un primo momento sono svolte in laboratorio e poi calate nell'ambiente di lavoro.

Le attività muscolari sono di due tipi, l'esercizio dinamico, per il quale i muscoli si accorciano e creano mobilità delle articolazioni e dei segmenti ossei, e la forza statica che non genera alcun movimento. Allo sforzo dinamico si attribuisce il maggior consumo energetico, mentre la forza statica determina la fatica muscolare. Nelle attività quotidiane sono esercitate entrambe le tipologie di forza.

L'attività muscolare dinamica si misura in termini di capacità aerobica ( $VO_2$ ) per la quale si calcola un valore limite massimo che però varia considerevolmente in base a: svolgimento regolare di attività fisica, età, genere, peso corporeo e massa grassa, tipologia dell'esercizio svolto.

Per quanto riguarda l'attività di sollevamento manuale dei carichi è possibile analizzare il consumo energetico in base alla risposta che il corpo restituisce, considerando alcune variabili relative (Tabella 5).

**Tabella 5 - Fattori principali che influiscono sul dispendio energetico.**

Variabili individuali	Variabili del compito di sollevamento
1. Genere	4. Peso
2. Peso corporeo	5. Frequenza di sollevamento
3. Modalità di sollevamento	6. Dislocazione verticale
	7. Altezza verticale al prelievo
	8. Temperatura e umidità

La modalità di sollevamento è un elemento importante che influisce in modo importante sul dispendio metabolico perché:

- Lo sforzo muscolare determinato da determinate posture è differente e quindi anche il consumo si modifica
- Il momento delle forze riferito alla postura del corpo cambia in funzione dell'allungamento muscolare. In questi termini l'efficienza metabolica dipende dalla velocità con la quale i muscoli si allungano e si accorciano.
- Il peso dell'oggetto è una variabile importante in quanto nei sollevamenti ripetuti maggiore è il carico meccanico maggiore sarà il dispendio energetico, considerando il lavoro meccanico come il prodotto tra peso dell'oggetto, frequenza e dislocazione verticale del sollevamento. Questo aspetto è stato dimostrato in diversi studi nei quali si evidenzia anche una relazione lineare tra peso dell'oggetto e dispendio metabolico.
- La frequenza è definita come numero di sollevamenti al minuto. L'apparato muscoloscheletrico nell'attività di sollevamento manuale compie un lavoro direttamente proporzionale alla frequenza. In questi termini anche la frequenza è direttamente proporzionale al consumo metabolico se tutte le altre variabili vengono considerate costanti. L'effetto della ripetitività sul dispendio energetico è stato studiato in vari studi che anche in questo caso mostrano una linearità nella relazione tra le due variabili (Aquilano, 1968; Hamilton, 1969).
- Considerando che il carico di lavoro durante il sollevamento è anche direttamente proporzionale alla dislocazione verticale questo, di conseguenza, dovrebbe determinare anche un incremento del consumo metabolico. Ciò che è stato dimostrato negli studi è che la relazione tra l'indice metabolico e la dislocazione verticale dipende dalla postura del corpo, per cui quando un sollevamento richiede un certo sforzo nel sollevare o abbassare, questo si ripercuoterà anche sul consumo energetico (Aquilano, 1968).
- Posizione verticale dell'oggetto al prelievo. Qualora un oggetto venga prelevato ad una certa altezza e posizionato ad un'altra, questo determina un cambiamento rispetto la postura del soggetto, che quindi coinvolgerà gruppi muscolari diversi con conseguente modificazione del dispendio di energia.

Nello studio di Frederik (1959) è possibile notare la relazione tra altezze verticali e consumo energetico (espresso in  $10^{-3}$  kcal/kg-m) descritte per quattro tipologie di compiti (Figura 12).

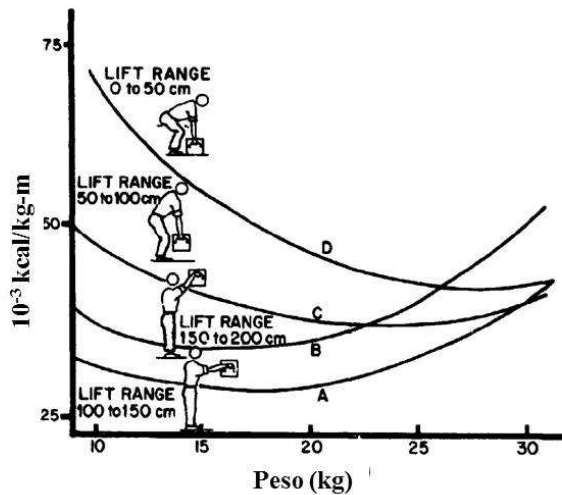


Figura 12 - Efficienza energetica relativa al peso e range di altezza di sollevamento (Frederik, 1959)

- La condizione microclimatica del luogo di lavoro nel quale l'attività di sollevamento manuale viene svolta è importante dal punto di vista fisiologico. Infatti il consumo metabolico è formato da due elementi, uno è quello legato all'energia meccanica, l'altro è relativo all'energia espressa sotto forma di calore.

Dopo queste premesse, sono state stabilite, nel tempo, le condizioni di lavoro raccomandate dal punto di vista fisiologico:

- Per sollevamenti occasionali (di un'ora o inferiore), l'indice di consumo metabolico non dovrebbe superare le 9 kcal/min per i maschi e 6.5 kcal/min per le femmine (studio effettuato su una popolazione lavorativa per la quale è stata considerata la capacità aerobica aggiustata per l'attività di lavoro).
- Il limite delle 8 ore non dovrebbe superare il 33% della capacità aerobica o le 5 kcal/min e le 3.5 kcal/min rispettivamente per uomini e donne. Queste considerazioni non tengono conto del sovraccarico e delle condizioni sfavorevoli di lavoro.
- Per quanto riguarda l'età, il genere e il peso corporeo queste variabili sono insufficienti per valutare la capacità lavorativa individuale, sebbene siano necessari per stabilire delle previsioni in merito per un gruppo di soggetti.

In conclusione il consumo metabolico durante il sollevamento manuale è influenzato da:

- Il peso dell'oggetto sollevato
- La posizione verticale dell'oggetto sollevato (quindi la postura)
- Lo spostamento verticale dell'oggetto rispetto alla posizione iniziale
- La frequenza con la quale il sollevamento viene ripetuto.

### **3.1.3 Approccio biomeccanico**

La biomeccanica è una materia multidisciplinare dove la biologia e l'ingegneria meccanica sono utilizzate al fine di quantificare le forze cui il corpo è sottoposto durante lo svolgimento del lavoro. La biomeccanica assume che esiste un punto di equilibrio fisico di partenza, secondo il quale il corpo si adegua seguendo le leggi della meccanica di Newton. La meccanica può essere definita come "lo studio delle forze e del loro effetto sui corpi". L'oggetto di interesse nella biomeccanica occupazionale è la quantificazione dei fenomeni meccanici generati dai carichi che generati all'interno dell'apparato muscoloscheletrico. Quindi l'obiettivo di tale quantificazione è descrivere come le forze di lavoro agiscono sull'apparato muscoloscheletrico in modo tale da comprendere quale sia l'entità del livello di rischio associato ai relativi compiti.

L'approccio biomeccanico si caratterizza nel concetto di uomo-compito di lavoro attraverso delle formule matematiche di rappresentazione o dei modelli. Un modello matematico può spiegare come le forze agiscono su un tessuto, che non potrebbe essere misurato facilmente con alcun altro metodo. Applicando queste tecniche alle situazioni di lavoro è possibile comprendere con quale intensità le attività svolte (durante il lavoro) possono generare delle forze nei tessuti che danno il principio al processo di dolore nella schiena. In questo modo i modelli biomeccanici permettono di valutare le forze esercitate sulla schiena durante l'esposizione alla movimentazione manuale dei carichi; questa valutazione sarebbe altrimenti impossibile da effettuare in-vivo.

Il vantaggio di rappresentare il lavoratore come modello biomeccanico permette in primo luogo di poter quantificare le interazioni delle varie parti del corpo con i fattori di rischio associati alla progettazione dell'ambiente di lavoro. Adattare un modello biomeccanico ad un ambiente di lavoro ideale e a tutte le parti del corpo non è

semplice, dato che migliorando le condizioni per un segmento corporeo potrebbe peggiorarle per un altro. Quindi, per applicare adeguatamente i principi del modello biomeccanico è necessario stabilire le interazioni dei fattori di rischio dell'ambiente di lavoro con ogni parte del corpo, così da considerarli come requisiti di progettazione del luogo di lavoro. In ultimo, le analisi biomeccaniche sarebbero più efficaci nella fase di progettazione del luogo di lavoro, prevenendo l'esposizione a determinati fattori di rischio fisico. Per questo motivo è utile comprendere il livello di accuratezza predittiva del carico dei tessuti che è alla base di questi modelli.

### 3.1.4 La tolleranza

In termini biomeccanici, il carico è riferito alle forze che agiscono su un tessuto. Un concetto fondamentale nella applicazione della biomeccanica per valutare l'esposizione al carico discale è di quantificare il rischio, la forza o il carico che agiscono su una struttura o un tessuto debbono essere paragonati ad un cosiddetto livello di tolleranza (e.g. resistenza) propri della struttura o del tessuto.

Il grafico mostra il classico andamento della tolleranza in biomeccanica, rispetto alla risposta di una struttura a sollecitazioni che rispecchiano un ciclo di lavoro (Figura 13). Quando l'intensità del carico imposto è inferiore alla tolleranza del tessuto, il compito non è considerato rischioso e la differenza tra il carico di lavoro e la tolleranza è considerabile in un range di sicurezza. Contrariamente, se il carico di lavoro è superiore alla tolleranza del tessuto, il tessuto si danneggia. Questo concetto è ampiamente utilizzato nell'ingegneria e rappresenta un modo per gli ingegneri di progettare le strutture in modo sicuro.

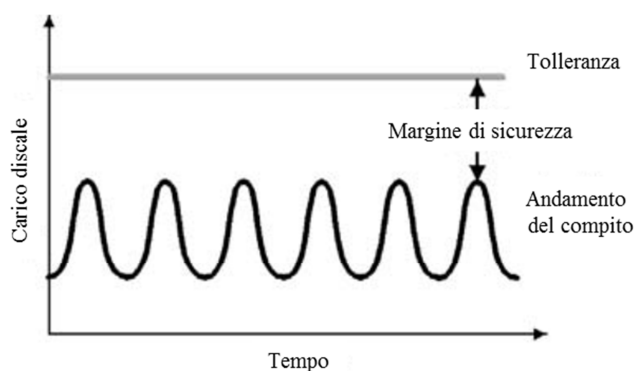
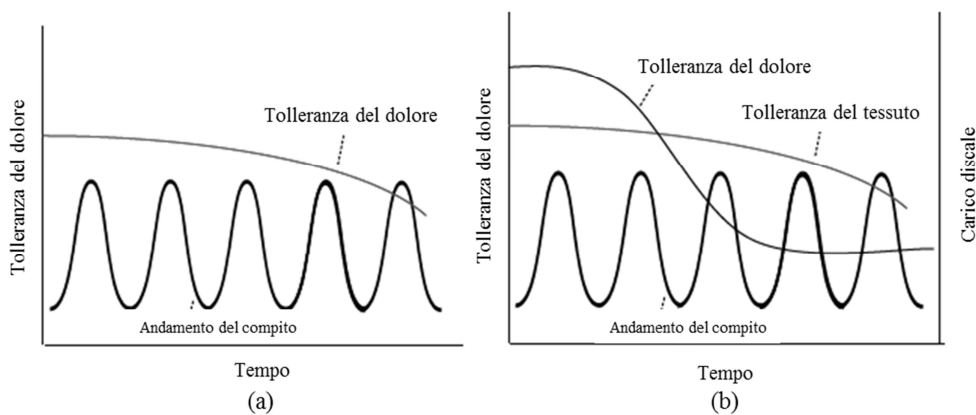


Figura 13- Tolleranza della colonna in termini biomeccanici (Marras, 2008)

Tradizionalmente, la tolleranza dei tessuti è stata definita come la capacità del tessuto di resistere ad un carico/forza senza subire danni o disfunzioni fisiche. Per quanto riguarda i tessuti quando una parte viene danneggiata la risposta del superamento della tolleranza del tessuto è lo stato infiammatorio.

Una tendenza dell'organizzazione del lavoro al giorno d'oggi è quella di avere dei compiti ripetitivi e ciclici. Il modello della tolleranza può essere quindi applicato a questa tipologia di rischio. Il grafico presenta come l'andamento della tolleranza dei tessuti diminuisce durante il tempo (Figura 14 a), secondo la logica della biomeccanica quando applicata alle attività occupazionali. Questo dimostra come la tolleranza diminuisca durante un compito ripetitivo recando dei danni (trauma cumulativo) ai tessuti, e quindi di come questi reagiscano nella regolazione della risposta infiammatoria (Figura 14 b). Di conseguenza, il modello biomeccanico e la sua logica si stanno muovendo verso sistemi che considerano le tendenze di produzione e dell'organizzazione del lavoro e tentano di rappresentare queste osservazioni, come disturbi da trauma cumulativo, nella logica del modello stesso.



**Figura 14 - Rischio da sovraccarico biomeccanico definito come (a) il rapporto tra la carico imposto e la tolleranza tissutale (cioè ridotto nel tempo) e (b) il rapporto tra il carico dei tessuti e il punto in cui si verificano le risposte infiammatorie (Marras, 2008)**

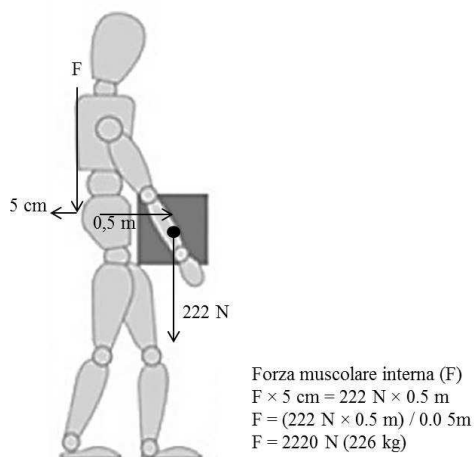
### 3.1.5 Il momento e la leva

Il carico biomeccanico è definito, solitamente, in modo parziale come quantità di peso sollevato supportato dal corpo. Il momento è definito come il prodotto tra la forza e la distanza da un punto di equilibrio (fulcro). Relativamente alla zona lombare della schiena, il momento si presenta come la posizione del peso sollevato (o massa del segmento corporeo) rispetto al punto di rotazione (fulcro) della colonna vertebrale (tipicamente L5/S1) che definisce il carico che agisce sul corpo.

Nel sistema delle leve l'intensità della forza richiesta per sollevare un oggetto è una funzione sia del peso dell'oggetto sia della distanza dell'oggetto dal fulcro (vantaggio meccanico). Quindi se la schiena si considerasse come un sistema di leve, il carico che agisce sulla colonna vertebrale non è semplicemente una funzione del peso dell'oggetto sollevato (Figura 15).

Nella biomeccanica l'apparato muscoloscheletrico può essere rappresentato come sistemi di leve utilizzati per descrivere il carico a cui sono sottoposti i tessuti attraverso il modello biomeccanico.

La schiena e la colonna vertebrale possono essere rappresentate dal concetto di leva di primo tipo. Le leve di primo tipo hanno il fulcro posizionato tra il peso sollevato (ad una estremità della leva) e una forza (interna al corpo) opposta all'altra estremità del sistema. In questo caso la colonna vertebrale funge da fulcro. Quando un oggetto viene sollevato si genera un momento (forza esterna al corpo) nella parte anteriore della colonna vertebrale risultante dal peso dell'oggetto moltiplicato per il numero di volte che questo si allontana dalla colonna vertebrale. Il momento è contrapposto all'attività dei muscoli della schiena; tuttavia, i muscoli sono in una posizione di svantaggio meccanico perché la distanza dalla colonna vertebrale è di molto inferiore alla distanza che esiste tra l'oggetto sollevato e la colonna.



**Figura 15 - Esempio dell'azione della forza interna (F) richiesta per supportare la forza esterna esercitata dall'oggetto ad una distanza di 0.5 m dalla colonna vertebrale**

Il concetto delle leve applicato alla schiena dimostra la coesistenza di due tipi di forza che agiscono sullo stesso sistema e sono le forze esterne ed interne. Le forze esterne sono riferite al carico che agisce sulla colonna, risultante dalla forza di gravità che agisce sull'oggetto sollevato. Le forze interne sono quelle che debbono contrastare le forze esterne, esercitate dai muscoli della schiena. Dal punto di vista

biomeccanico le forze esterne hanno dei un vantaggio se paragonate alle forze interne durante l'attività di sollevamento. Infatti, se un oggetto di piccole dimensioni ha un braccio della leva maggiore dal fulcro rispetto al braccio della leva opposto, allora la forza esercitata contrapposta sarà altrettanto grande per bilanciare il peso dell'oggetto, quindi sarà necessario uno sforzo maggiore da parte dei muscoli che si trovano molto più vicini alla colonna vertebrale, e che costituiscono la forza interna. Negli ambienti di lavoro non è raro trovare delle situazione in cui il braccio delle forze esterne arrivi anche a 10 volte il braccio delle forze interne. Le forze interne debbono contrastare quanto esercitato dalle forze esterne e per questo motivo i muscoli della schiena sono coinvolti cospicuamente nell'attività di sollevamento manuale di oggetti. I muscoli sono maggiormente attivi quando il movimento è accelerato (dalla equazione della forza come massa per accelerazione). Quindi l'intensità delle forze interne necessarie per sollevare un oggetto possono essere influenzate da un movimento dinamico. Per le forze esterne queste dipendono dall'inerzia del movimento, quindi le forze interne possono aumentare o diminuire in base alla direzione dell'oggetto in movimento. Per complicare la questione inoltre, quando i muscoli coinvolti sono molteplici (co-contrazione muscolare), per sostenere il carico esterno e controllare il movimento anche le articolazioni della colonna si sovraccaricano.

Durante l'attività lavorativa l'apparato muscoloscheletrico della colonna è quindi sollecitato maggiormente dalle forze interne, che possono indurre sia carichi di tipo acuto sui tessuti, sia carichi di tipo cumulativo. La somma delle forze interne e delle forze esterne costituisce il totale delle forze che agiscono sulla colonna vertebrale. Inoltre quando si deve valutare l'impatto dell'attività di sollevamento sulla colonna, non bisogna solamente considerare la forza applicata esteriormente (peso dell'oggetto), ma debbono essere analizzate più approfonditamente le forze interne che sono quelle che interessano l'apparato muscoloscheletrico.

Da queste considerazioni ne risulta l'affermazione che i luoghi di lavoro dovrebbero essere organizzati in modo tale da ridurre al minimo le sollecitazioni che provocano l'aumento delle forze interne che agiscono sull'apparato muscoloscheletrico.

Dal punto di vista biomeccanico, considerando la schiena come una leva di primo tipo, come precedentemente esposto, la distanza del carico dal corpo è un elemento importante per quanto riguarda l'intensità delle forze interne, di



conseguenza anche sul tipo di rischio cui si va incontro che può essere di tipo acuto o cumulativo. Quindi una delle soluzioni più semplice da seguire è quella di progettare, o riprogettare, la postazione o il compito stesso, che preveda sollevamento manuale dei carichi, cercando di minimizzare il momento della leva rispetto alla colonna vertebrale.

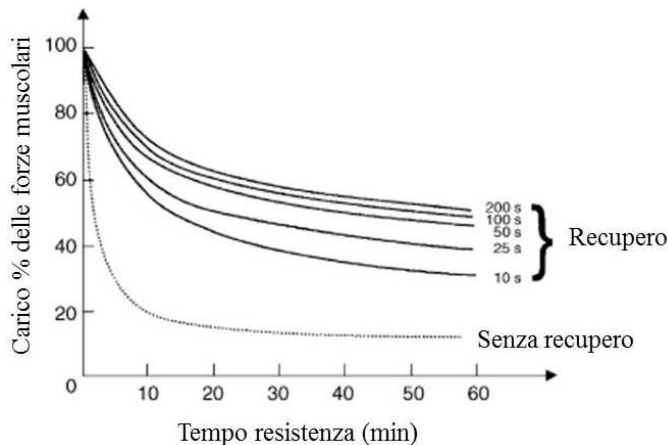
Un altro importante elemento da considerare per quanto riguarda il carico delle forze dell'apparato muscoloscheletrico è la relazione tra lunghezza e resistenza dei muscoli. La posizione di riposo, che solitamente è quella fetale, corrisponde al momento in cui i muscoli hanno la maggiore capacità di esercitare forza.

Quando la lunghezza del muscolo si modifica, rispetto alla situazione di riposo, la capacità del muscolo di generare forza è molto ridotta perché i ponti (porzioni delle fibre muscolari che permettono la generazione della forza) tra i componenti delle proteine dei muscoli diventano insufficienti. Questa relazione interagisce sinergicamente con il sistema della leva della schiena perché può influire in modo importante sulle forze interne a livello delle articolazioni della schiena. Per cui tendere a creare attività nelle quali i muscoli della schiena si avvicinino alla lunghezza di riposo può essere una soluzione alla diminuzione dello sforzo muscolare, della fatica e del rischio di sovraccarico biomeccanico del rachide.

La durata della forza è un altro fattore considerevole quanto la tolleranza. Il lavoratore può essere in grado di esercitare in uno sforzo maggiore ed intenso in una sola volta; ma se deve svolgere una attività che richieda una ripetitività o si protragga per un periodo di tempo, la forza che riuscirà a generare sarà molto inferiore, mentre aumenterà la fatica e di conseguenza si ridurrà la tolleranza muscolare. Gli studi in merito hanno dimostrato che la massima forza (statica) può essere generata solamente per un breve periodo (Chaffin, 1991). Con l'aumentare del tempo, la forza diminuisce esponenzialmente, del 20% rispetto alla massima contrazione volontaria, dopo 7 minuti. Risultati simili si possono osservare per quanto riguarda i lavori in condizione dinamica con differenti periodi di recupero tra uno sforzo e l'altro (Grafico 4).

Il periodo di recupero è un altro fattore che può influenzare la capacità di esercitare forza da parte del lavoratore. La contrazione muscolare per poter avvenire ha necessità che l'ossigeno arrivi alle cellule muscolari attraverso i vasi sanguigni, ma quando la contrazione statica si protrae il sangue non giunge più alle fibre, di conseguenza anche l'ossigeno, questa carenza diminuisce drasticamente la resistenza

del muscolo. Maggiore è il numero di recuperi all'interno di un compito che richiede forza, maggiore sarà la resistenza allo sforzo esercitato.



**Grafico 4 - Tempi di resistenza muscolare in contrazioni statiche della durata di 2.5s con vari periodi di recupero (Chaffin DB, Andersson GB. Occupational Biomechanics NewYork (NY): John Wiley & Sons, Inc.; 1991)**

Considerando tale la relazione è possibile intervenire, per una diminuzione del rischio, con una organizzazione del lavoro che preveda brevi ma frequenti interruzioni durante il compito lavorativo che richieda uno sforzo prolungato.

Le considerazioni espone fino a questo punto, sui possibili interventi per migliorare la condizione lavorativa di un lavoratore che svolge sollevamento manuale dei carichi, dovrebbero essere incorporate nella progettazione del lavoro, trovando dei compromessi tra attività lavorativa, fattori di rischio e tutela della salute e sicurezza dei lavoratori.

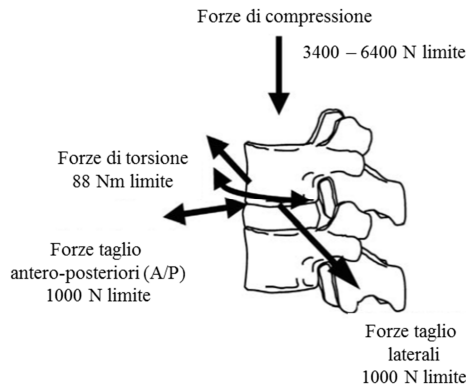
### 3.1.6 Le forze sulla colonna vertebrale

Le forze che insistono sulla colonna vertebrale sono la risposta ad attività o compiti di sollevamento svolti da una persona. La somma delle varie forze che agiscono sulla colonna vertebrale può essere rappresentata da un vettore che ha una propria direzione e intensità. Per valutare se le forze possano comportare un rischio per la colonna vertebrale sarà necessario paragonare le loro dimensioni con le dimensioni delle forze valutate come di tolleranza.

La natura delle forze che agiscono sulla colonna vertebrale può essere riassunta attraverso diversi tipi di carichi (Figura 1)

- forze assiali: generano compressione o tensione lungo l'asse longitudinale della colonna

- forze laterali: generano forze di “*taglio*” laterali da destra a sinistra alla colonna
- forze antero-posteriori: generano forze avanti e dietro la colonna
- forze di torsione: sono forze che generano il torcersi delle strutture della colonna



**Figura 16 – Forze di carico sui dischi vertebrali e limiti**

Un elemento importante per valutare la relazione tra tolleranza-forze di carico e il potenziale rischio associato al lavoro è poter eseguire una analisi accurata e realistica della risposta dei tessuti della colonna vertebrale durante l’attività di sollevamento. Le modalità per misurare queste risposte dei tessuti, si basano su misure dirette, ma difficilmente eseguibili, o misure indirette che si basano sulle misure biomeccaniche. Misurare le forze interne è ciò che permette di comprendere la reale reazione dei tessuti. I modelli biomeccanici utilizzati sono diversi e tutti si avvalgono di determinati compromessi tra capacità di misurazione e la misurazione reale associata alle forze di carico generati dallo svolgimento di un compito di sollevamento.

In sintesi i modelli biomeccanici permettono di consolidare la logica riguardante il funzionamento del sistema biomeccanico della colonna vertebrale in un modo più comprensibili. Il loro utilizzo inoltre quantifica come l’esposizione in eccesso possa produrre una risposta, e delle conseguenze, nei tessuti della colonna vertebrale rispetto al livello di tolleranza. Ciò che però risulta di maggior interesse di studio è il contributo che la contrazione muscolare può apportare rispetto alle forze di carico sulla colonna. In questo modo è possibile quindi comprendere come la risposta muscolare determini l’intensità, la direzione e la durata dell’attività di sollevamento rispetto i tessuti della colonna. Ci sono stati molti tentativi di studio per comprendere come i muscoli fossero coinvolti in queste attività, ma nessuno è mai stato così

accurato da predire le risposte reali allo sforzo data la variabilità delle attività dinamiche cui i lavoratori sono esposti nell'ambiente di lavoro.

### 3.2 Principi di base del metodo NIOSH (1981)

Il metodo NIOSH per la valutazione del rischio da sovraccarico del rachide è stato presentato per la prima volta negli USA dal National Institute for Occupational Safety and Health nel 1981(NIOSH). Il manuale sulla valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide ha studiato quali sono, secondo diversi approcci di analisi, quali psicofisico, biomeccanico e fisiologico, le conseguenze delle attività di sollevamento all'interno di una attività lavorativa che implica compiti di sollevamento manuale dei carichi (NIOSH, 1981). Questa guida in principio valutava il rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide per situazioni di sollevamento manuale, singolo, che avvenivano in lento movimento ed eseguite esclusivamente in direzione del piano sagittale del lavoratore, frontale.

Il manuale definiva due valori limite individuati attraverso studi scientifici sperimentali. Il primo limite è l'*action limit* (AL) che rappresenta il valore del peso limite, in una attività di sollevamento, oltre il quale si cominciano a verificare i primi disturbi lombari. L'AL era associato al punto in cui un soggetto di 40 anni iniziava ad avere disturbi alla colonna vertebrale in particolare a livello dei corpo vertebrali (L5-S1) sui quali si presentavano le prime micro fratture (340 kg in termini di forze compressive). L'identificazione delle micro fratture del corpo vertebrale è stata uno dei metodi per comprendere la degenerazione dello stesso. Partendo da questa premessa, effettuata attraverso studi sperimentali scientifici, la guida del NIOSH ha definito che le forze sulla colonna vertebrale durante l'attività di sollevamento dovessero essere paragonate al livello di AL stabilito. Se il peso dell'oggetto restituisce forze sul corpo vertebrale essere inferiori all' AL allora l'attività può essere ritenuta non a rischio per l'insorgenza della lombalgia. Altrimenti, se il peso dell'oggetto restituisce forze sul corpo vertebrale essere superiori all' AL allora l'attività può esistere la possibilità di avere un rischio associato all'insorgenza della lombalgia. La formula che è stata costruita per comprendere come una attività di sollevamento può essere valutata è la seguente (Equazione 1).

**Equazione 1 - Formula calcolo Action Limit (AL), NIOSH 1981**

$$AL = k (HF) (VF) (DF) (FF)$$

dove

AL = limite di azione consentito in kg per le forze di compressione sulla colonna vertebrale

k = costante di peso (kg) considerata essere il massimo peso consentito da sollevare dal lavoratore in condizioni ideali

HF = fattore orizzontale definito come distanza orizzontale dal punto medio tra la distanze delle caviglie e il baricentro dell'oggetto sollevato all'origine del sollevamento. Definito algebricamente come  $15/H$  (cm).

VF = fattore verticale definito come l'altezza dal punto di prelievo dell'oggetto rispetto al piano di calpestio. Definito algebricamente come  $(0,004 | V-75)$ (cm).

DF = fattore dislocazione definito come o tragitto verticale dal punto di prelievo dell'oggetto al punto di deposito. Definito algebricamente come  $0,7 + 7,5/D$  (cm).

FF = fattore frequenza o frequenza di sollevamenti, definito algebricamente come  $1 - F/F_{max}$ .

F = la media della frequenza di sollevamento e  $F_{max}$  è considerata tra i 12 e 18 atti di sollevamento al minuto.

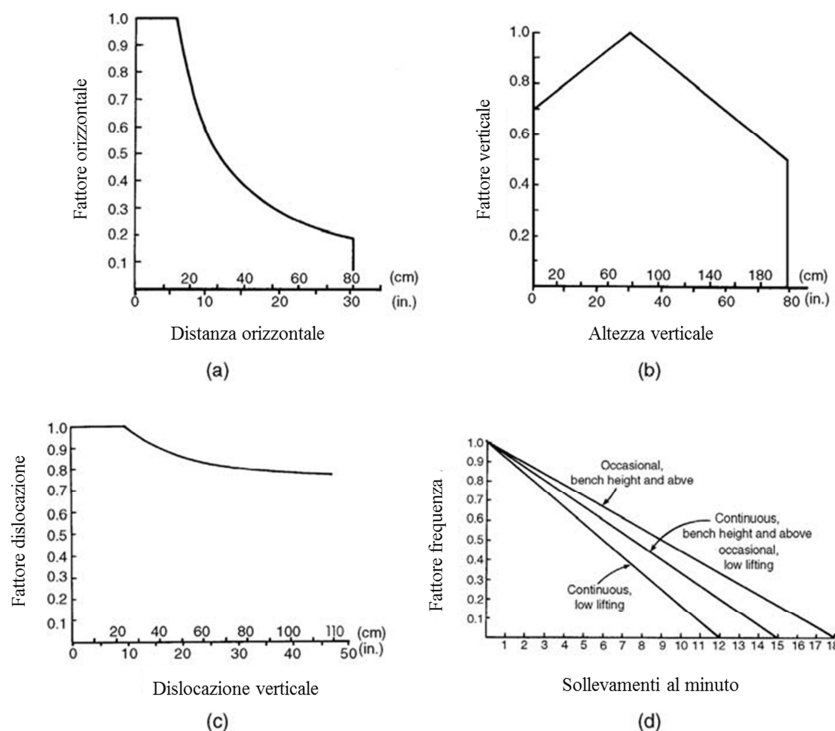
Le variabili che modificano le condizioni di rischio nel sollevamento di pesi sono quindi molte, e per questo motivo all'interno del manuale sono stati individuati dei limiti di inapplicabilità della formula.

- La distanza orizzontale (H) deve essere compresa tra i 15 e gli 80 cm.
- L'altezza verticale (V) di prelievo, o deposito, dell'oggetto deve essere compresa tra gli 0 e i 175 cm.
- La dislocazione (D) verticale deve essere compresa tra i 25 e i (200-V) cm; per movimentazioni inferiori a 25 cm  $D=25$ ;
- La frequenza deve essere compresa tra 0.2 (un sollevamento ogni 5 minuti) e  $F_{max}$  Per frequenze di sollevamento inferiori ad una ogni 5 minuti allora  $F=0$ .

Questa equazione considera che il sollevamento di un oggetto avvenga in condizioni ideali, che negli studi e nel manuale, sono state definite come condizioni all'interno delle quali l'attività può essere ritenuta non a rischio. Le condizioni ideali di sollevamento prevedono che l'oggetto sia prelevato con tronco eretto, che lo spazio

di spostamento verticale sia compreso tra le anche e le spalle, che il carico sia mantenuto vicino al corpo e quindi di piccolo volume, e facilmente afferrabile, con una buona presa.

La costante di peso è stata identificata come 40kg. Qualora i fattori sopra descritti non fossero ideali questa costante deve essere moltiplicata per i valori corrispondenti individuati nella guida. Come si osserva in figura (Figura 17) i vari fattori sono stati messi relazione alla forza del momento esercitato esternamente (peso dell'oggetto). È possibile osservare come i diversi fattori incidono in maniera più o meno importante rispetto al valore demoltiplicativo da associare. Il fattore orizzontale (HF) è quello che si modifica in modo più significativo rispetto alla condizione ideale man mano che la distanza dell'oggetto dal corpo del lavoratore aumenta. Sia il fattore verticale (VF) sia il fattore dislocazione (DF) sono associati alla forza di contrazione muscolare. Infine il fattore frequenza (FF) fa riferimento a ciò che può essere definito come effetto cumulativo dell'attività di sollevamento ripetuto.



**Figura 17 - Modificazione dei fattori in funzione del momento della forza (a), dell'altezza verticale (b), della dislocazione verticale (c) e della frequenza (d), sulla base della variazione delle forze di carico sui corpi (NIOSH, 1981)**

Il secondo valore limite definito dal NIOSH (1981) è il *maximum permissible limit* (MPL). Il MPL rappresenta il valore limite rispetto al quale il rischio è elevato nel provocare lesioni del piatto vertebrale. Il MPL è associato ad un valore di forze

compressive a livello delle vertebre (L5-S1) pari a 640 kg, che corrisponde alla probabilità che il 50% delle persone possa andare incontro a fratture del corpo vertebrale. Il MPL è una funzione dell' AL e ed definito come pari a 3 volte AL.

Le forze compressive, risultanti dal peso sollevato da un lavoratore durante l'attività manuale, devono quindi essere sempre paragonate ai due valori limite di AL e MPL. Se il peso è inferiore all'AL il lavoro è considerabile ad un livello di rischio accettabile per il quale non sono necessari interventi di miglioramento; mentre se le forze compressive, risultanti dal momento generato dal peso sollevato, fossero superiori al valore di MPL il livello di rischio è inadeguato allo svolgimento dell'attività da parte del lavoratore, per cui l'intervento di miglioramento dovrà essere immediato e consistere in una riprogettazione dell'attività lavorativa, nell'ottica di ridurre i fattori maggiormente influenti sul risultato dell'AL e del MPL. Qualora il risultato delle forze fosse in un valore compreso tra l'AL e il MPL, le indicazioni della guida NIOSH sono quelle di intervenire dal punto di vista della riprogettazione sia da un punto di vista fisico, ingegneristico, sia dal punto di vista dell'organizzazione del lavoro.

È importante ricordare che i valori limite di AL e MPL non fanno riferimento solamente a criteri di studio biomeccanici, ma anche a criteri basati sulla forza esercitata durante l'attività di sollevamento, sul dispendio energetico e sui fattori psicofisici che definiscono anch'essi dei livelli di accettabilità del rischio.

Il manuale del NIOSH (1981) è uno strumento ideale per permettere di individuare la presenza o meno del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, valutarlo e provvedere all'attuazione degli interventi di miglioramento qualora necessari. I limiti del metodo e della formula sono però evidenti e derivano dal fatto che la valutazione del rischio durante il sollevamento prevede che il compito sia svolto ad una velocità rallentata, non dinamica, e avvenga frontalmente al lavoratore, non considerando lo spostamento dell'oggetto rispetto al piano sagittale dello stesso. Inoltre può valutare un solo compito semplice di sollevamento.



### 3.3 Evoluzione: NIOSH RENLE e Lifting Index (1993)

L'evoluzione della formula del NIOSH (1981), per il calcolo delle forze compressive rispetto al peso sollevato manualmente, è stata necessaria per superare uno degli svantaggi dovuto alla mancata considerazione dei compiti che presentassero sollevamenti non simmetrici rispetto al piano sagittale (Waters, 1994). Per definire questo nuovo concetto la formula ha sostituito i valori limite di AL e MPL con il *Lifting Index* (LI), detto anche indice di sollevamento. La formula per il calcolo del LI è la seguente (Equazione 2):

Equazione 2 - Formula calcolo Lifting Index, NIOSH 1993

$$LI = \frac{L}{RWL}$$

dove

*LI* = indice di rischio per la stima del sovraccarico biomeccanico del rachide in grado di aumentare la probabilità dell'insorgenza dei disturbi lombari

*L* = peso (kg) dell'oggetto sollevato

*RWL* = limite di peso (kg) sollevabile raccomandato in determinate condizioni di sollevamento (*Recommended Weight Limit*)

Il *RWL* è paragonabile all'*AL* del NIOSH del 1981 (Equazione 1), dato che il calcolo dello stesso contiene i fattori moltiplicativi relativi alla distanza orizzontale, altezza verticale, altezza di dislocazione e frequenza di sollevamento. A questi fattori precedentemente studiati sono stati aggiunti altri elementi caratterizzanti l'attività di sollevamento in grado di influenzare il livello di carico delle forze di compressione a livello dei corpi vertebrali. La costante di peso considerata dal NIOSH del 1993 è pari a 23kg, diversamente dai 40kg definiti dalla precedente formula. Inoltre sono stati inseriti il cosiddetto fattore asimmetria (*A*), misurabile in gradi di spostamento del baricentro oggetto rispetto al piano sagittale del lavoratore, e il fattore presa, relativamente alla presenza o meno di maniglie ovvero di punti di presa agevoli (e.g. fessure per l'inserimento delle mani).

La formula per il calcolo del *RWL* è la seguente (Equazione 3):

**Equazione 3 – Formula calcolo RWL, NIOSH 1993**

$$RWL \text{ (kg)} = 23 (25/H) (1-0.003|V-75|) (0.82+4.5/D) (FM)(1-(0.0032A)) (CM)$$

dove

$H$  = misura della distanza orizzontale (cm)

$V$  = misura dell'altezza (cm) nel punto di origine di prelievo dell'oggetto rispetto al piano di calpestio.

$D$  = misura della distanza verticale (cm) tra il punto di prelievo e il punto di posizionamento dell'oggetto sollevato

$FM$  = moltiplicatore della frequenza ( )

$A$  = misura dell'angolo (gradi) che si forma tra il punto medio tra le caviglie e la proiezione del punto medio tra le mani all'origine del sollevamento

$CM$  = fattore presa che si distingue in buona, scarsa e insufficiente

Di seguito sono descritte nello specifico le variabili che definiscono il peso limite raccomandato sollevabile (RWL).

*Distanza orizzontale*

La distanza orizzontale è misurata come la distanza del punto medio tra le caviglie e la proiezione del baricentro dell'oggetto sul piano di calpestio. Se il sollevamento richiede un posizionamento preciso dell'oggetto, è necessario misurare  $H$  sia all'origine sia alla destinazione.

$$HM = 25/H$$

La misura ideale per la quale il fattore è pari a 1 è di 25cm di distanza del punto medio tra le mani dal baricentro del corpo.

La condizione critica che non dovrebbe mai essere raggiunta è la distanza orizzontale superiore ai 63cm per la quale il fattore è pari a 0, il che non permette di calcolare il limite quindi una situazione da correggere immediatamente ancor prima di procedere con la valutazione del rischio.

Questo fattore, da quanto descritto nei capitoli precedenti, è quello che maggiormente incide sulla diminuzione del RWL in quanto la distanza del braccio dal baricentro del corpo genera sulla colonna vertebrale delle forze compressive rilevanti (teoria della leva).

#### *Altezza verticale*

L'altezza verticale si misura dal punto medio di presa tra le mani rispetto al piano di calpestio, che deve essere misurato all'inizio e al termine del sollevamento.

$$VM = 1 - 0.003|V - 75|$$

La condizione ideale di sollevamento per la quale il fattore VM è pari a 1 è per una altezza verticale di sollevamento pari a 75cm, distanza tra le mani nel punto di presa dell'oggetto e pavimento.

I limiti per questa misura per i quali il fattore è pari a 0 sono associati a sollevamenti al di sotto del piano di appoggio dei piedi e al di sopra dei 175cm.

#### *Dislocazione verticale*

La dislocazione verticale si misura come la differenza tra altezza verticale all'origine del sollevamento e altezza verticale al termine del sollevamento. Se l'oggetto deve superare un ostacolo allora l'altezza verticale da considerare è la massima raggiunta durante il sollevamento.

$$DM = 0.82 + 4.5/D$$

La condizione ideale con fattore dislocazione pari a 1 si rileva quando la differenza tra le altezze verticali di origine e destinazione rientra nei 25cm di spostamento verticale.

#### *Asimmetria*

L'asimmetria è uno dei fattori inserito nella formula rivista da Waters (1994). Il fattore è calcolabile considerando lo spostamento angolare del baricentro dell'oggetto rispetto al piano sagittale del soggetto che sta compiendo il sollevamento. Il fattore asimmetria è importante perché determina sulla colonna un carico discale ulteriore dovuto all'incremento delle forze di taglio. Idealmente la condizione che risulta avere un fattore pari ad 1 è lo spostamento massimo di 25°.

$$AM = 1 - (0.0032A)$$

Se durante il sollevamento eccede un angolo di 135° allora siamo in presenza di una condizione critica con fattore pari a 0.

Il fatto di aver aggiunto questa variabile è dovuto alla necessità di poter applicare la formula anche a situazioni che non fossero solamente caratterizzate da compiti di sollevamento che avvenissero frontalmente, considerando che di frequente questa condizione è difficile da osservare.

In merito possono essere fatte anche ulteriori considerazioni rispetto alle motivazioni che causano il fenomeno dell'asimmetria.

- il lavoratore non ha spazio sufficiente per porsi in una postura frontale/simmetrica rispetto al sollevamento dell'oggetto;
- il lavoratore deve svolgere la propria attività di sollevamento velocemente, per cui non ha tempo utili per potersi porre in postura frontale/simmetrica rispetto l'oggetto da sollevare.

### *Presa*

Ulteriore fattore introdotto da Waters (1994) è la presa, intesa come caratteristica dell'oggetto per svolgere con minor sforzo il sollevamento manuale. Il fattore presa viene individuato sulla base di alcune caratteristiche dell'oggetto in particolare per la presenza di maniglie, o manici, e rispetto alle dimensioni. I criteri di valutazione della presa sono:

- a. Una maniglia ideale deve avere un diametro da 1.9 a 3.8cm, una lunghezza superiore o uguale a 11.5 cm, una capienza di almeno 5 cm, di forma cilindrica, con una superficie non scivolosa alla presa
- b. Ottimi incavi per il posizionamento delle mani con determinate caratteristiche altezza superiore o uguale a 3.8cm, con lunghezza non inferiore a 11.5cm, con forma semi ovale, e con capienza non minore di 5cm, con superficie non scivolosa; lo spessore non può essere inferiore a 0.60cm.
- c. Le dimensioni ideali dell'oggetto sono una larghezza di 40cm, una altezza non superiore ai 30cm con una superficie non scivolosa da afferrare.

- d. Le dita del lavoratore sono in una posizione di 90° durante la presa dell'oggetto, come nel sollevamento di una scatola in cartone dal pavimento.
- e. Un oggetto da sollevare non è più ideale quando la sua larghezza è superiore a 40cm, l'altezza superiore ai 30cm, con una superficie scivolosa e approssimativa, con elementi taglienti, asimmetrico dal punto di vista della distribuzione del peso, contenente del materiale instabile (es.: liquidi), necessità l'utilizzo di guanti per poter essere sollevato. Un oggetto ingombrante è difficilmente afferrabile a causa di un limite nel mantenerlo in equilibrio.
- f. Un lavoratore dovrebbe riuscire ad avvolgere facilmente l'oggetto con le proprie mani, senza andare in contro a possibili deviazioni del polso o posture inadeguate, e la presa non dovrebbe richiedere uno sforzo eccessivo.

Sulla base di queste considerazioni una presa viene considerata *buona*, *scarsa* o *insufficiente*, rispettivamente con punteggi di 1, 0.95 o 0.90.

### *Frequenza*

La frequenza viene misurata in termini di atti di sollevamento al minuto. Essendo il metodo di valutazione di tipo osservativo rispetto una data attività, è necessario osservare per almeno 15 minuti un lavoratore per comprendere come viene eseguita l'attività di movimentazione manuale dei carichi. Può accadere che la frequenza possa variare tra una sequenza di lavoro osservato e l'altra, per cui le due situazioni andrebbero analizzate separatamente. Per identificare però il fattore è necessario selezionare uno dei tre scenari di durata netta dell'attività di sollevamento nel turno (Tabella 6).

Per attività che prevedono una frequenza inferiore a 0.2 atti al minuto (ossia un sollevamento ogni 5 minuti) il fattore frequenza si pone pari a 1. Per gli altri valori della frequenza fare riferimento alla tabella al termine del capitolo.

**Tabella 6 - Fattore frequenza in relazione alla frequenza di sollevamento e durata del compito (Waters, 1994)**

Frequenza	Durata del compito nel turno (ore)
-----------	------------------------------------

soll./min (F) <sup>a</sup>	≤ 1		> 1 h ma ≤ 2 h		> 2 ma ≤ 8	
	V < 30	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30	V < 30	V ≥ 30
≥ 2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0,5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.80	0.80	0.60	0.60	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.50	0.50	0.27	0.27
7	0.70	0.70	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.60	0.60	0.35	0.35	0.00	0.18
9	0.52	0.52	0.30	0.30	0.00	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0.00	0.13
11	0.41	0.41	0.00	0.23	0.00	0.00
12	0.37	0.37	0.00	0.21	0.00	0.00
13	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
> 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-

### *Durata del compito di sollevamento*

La durata del compito di sollevamento permette di individuare quale sia il fattore frequenza. Sulla base degli studi eseguiti (Garg, et al., 1978; Snook, 1971), in merito al principio del consumo metabolica, è stato possibile identificare tre tipologie di periodi temporali all'interno dei quali il fattore frequenza si modifica rispetto alla frequenza stessa.

Waters (1993) ha definito queste tre tipologie di scenario di tempo sulla base di alternanza di lavoro continuo di sollevamento e periodi recupero, caratterizzati da compiti privi di sollevamento manuale di carichi (monitoraggio, osservazione, assemblaggio manuale di parti di peso inferiore ai 3kg).

Lo scenario di *durata breve* è definito da un tempo di attività di sollevamento inferiore o uguale a 60 minuti, ma condizione necessaria è che siano seguiti da almeno il 120% di tempo di recupero rispetto al tempo di lavoro continuato, successivamente ridotto a 100% dallo stesso Waters (2006).

Lo scenario di *durata media* rientra nel periodo delle 2 ore di attività di sollevamento continuo, ma condizione necessaria per rientrare in questa categoria è che il tempo di recupero sia almeno il 30% dei 120 minuti.

Lo scenario di *durata lunga* invece ingloba tutto quello che va oltre le 2 ore di attività continua di sollevamento fino alle otto ore, comprendendo anche le pause standard dal lavoro.

Per valutare la capacità predittiva della formula in termini di relazione tra indice di rischio LI e probabilità di insorgenza del danno lombare sono stati eseguiti due tipologie di analisi. La prima analisi ha verificato la capacità della formula di distinguere le tipologie di rischio, basso o alto, sulla base di un database di dati storico (Marras et al, 1999). Il risultato ha restituito un odds ratio (OR) pari a 3.1. Ulteriori analisi hanno rilevato una sensibilità maggiore della formula NIOSH 1993, rispetto la formula NIOSH 1981, ma inferiore specificità. Per questo motivo la formula NIOSH 1993 risulta essere *protettiva* rispetto la probabilità del rischio di insorgenza dei disturbi lombari. Questa modalità di calcolo del rischio è sicuramente più accurata nell'identificazione del rischio, ma la sua inferiore specificità determina una valutazione dell'attività di sollevamento problematica e rischiosa, mentre potrebbe non esserlo.

Un secondo tipo di analisi, utilizzando database differenti, ha studiato il confronto tra odds ratios mettendo in relazione l'indice di rischio (LI) con le diverse attività sollevamento e l'insorgenza della lombalgia (Waters, 1993). Per indici di rischio LI tra valori di 1 e 3, l'odds ratio calcolato era tra 1.54 e 2.45, che indica l'effettivo incremento della probabilità dell'insorgenza del danno lombare all'aumentare dell'indice di rischio. Dallo studio emerge inoltre che la relazione tra le due variabili non è monotonica (odds ratio pari a 1,63), la cui motivazione è legata al cosiddetto "fenomeno del lavoratore sano".

Il limite fissato per il LI è pari a 1. Se il valore di LI è superiore a 1 allora la probabilità di andare incontro al verificarsi della lombalgia esiste.

Di seguito sono presentati i livelli di rischio individuati dallo Standard ISO/TR 11295. In questo TR gli indici di rischio sono suddivisi in classi che si distinguono in  $0.1 < LI \leq 1$ , condizione di accettabilità del rischio,  $1 < LI \leq 3$  condizione di rischio che può essere ulteriormente suddivisa (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Per ogni livello di rischio sono individuati i possibili interventi di miglioramento per l'attività che espone i lavoratori a tale livello di rischio.

### *Considerazioni*

Per questo tipo di valutazione è importante riconoscere quali sono le attività che espongono al rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, dove il peso minimo è stato fissato a 3kg. Altro dato fondamentale è conoscere il peso degli oggetti sollevati e la loro quantità sia in termini di numerosità sia di sollevamenti. Inoltre bisogna ricostruire l'organizzazione del lavoro in termini di attività di sollevamento per poter individuare il fattore frequenza adeguato.

Per concludere vale la pena introdurre due ulteriori fattori che sono stati studiati e che influenzano le forze di carico sulla colonna vertebrale, aggiunti dalla norma tecnica UNI EN 1005-2: il sollevamento manuale di un oggetto contemporaneamente di due o più operatori e il sollevamento manuale di un oggetto con un solo arto.

#### **3.3.1 Limiti di applicabilità del metodo NIOSH**

Il metodo NIOSH pur avendo delle considerevoli note positive per la valutazione del sovraccarico biomeccanico del rachide, ha però dei limiti di applicabilità, ossia l'utilizzo della formula è rivolto solamente a compiti con determinate caratteristiche.

Di seguito sono elencati e descritti (Waters, 1994).

- 1) Rispetto alle attività di sollevamento manuale le altre attività di movimentazione manuale, come traino/spinta, trasporto, camminare o arrampicarsi, non debbono prevedere un dispendio energetico significativo. Queste attività non debbono superare il 10% del tempo totale di svolgimento dei compiti di sollevamento del lavoratore.
- 2) La formula non include fattori che tengono conto di situazioni non prevedibili, come oggetti più pesanti del previsto, possibilità di scivolamenti e cadute. Inoltre il microclima deve rientrare in un range corrispondente a 19°C-26°C per la temperatura e 35-50% per l'umidità, questi elementi influiscono sul dispendio energetico.
- 3) I compiti di sollevamento non debbono prevedere sollevamenti con un arto, da seduti o inginocchiati, o sollevamenti che avvengono in spazi di lavoro costretti. Inoltre non possono essere valutati sollevamenti di oggetti instabili,



per i quali il baricentro cambia durante la movimentazione. Non si applica alle carriole, alle pale o a compiti altamente veloci.

- 4) Altro limite prevede che la superficie delle scarpe del lavoratore abbia un coefficiente di attrito con il pavimento almeno di 0.4 (preferibilmente di 0.5). Il pavimento deve essere pulito, asciutto non scivoloso.
- 5) Nella formula si assume che il sollevamento e l'abbassamento di un oggetto siano sullo stesso livello di rischio.

Riassumendo la Revised Lifting Equation non può essere applicata per:

- Sollevamento/abbassamento con un arto
- Sollevamento/abbassamento per una durata superiore alle 8 ore
- Sollevamento/abbassamento seduto o in ginocchio
- Sollevamento/abbassamento in spazi costretti
- Sollevamento/abbassamento di oggetti instabili (liquidi, non completamente pieni)
- Sollevamento/abbassamento con attività di traino/spinta e/o trasporto
- Sollevamento/abbassamento di carriole o pale
- Sollevamento/abbassamento con velocità sostenuta (superiore a 0.76 m/s)
- Sollevamento/abbassamento su superfici di calpestio con coefficiente di attrito inferiore a 0.4
- Sollevamento/abbassamento in ambienti di lavoro con microclima 19°C-26°C per la temperatura e 35-50% per l'umidità.

Di seguito è descritto come alcuni di questi limiti sono stati superati attraverso l'utilizzo delle norme tecniche ISO 11228-1, UNI EN 1005-2 e ISO/TR 11295.

### **3.3.2 Sollevamento con un arto**

Uno dei limiti di applicabilità della formula NIOSH è dovuto alla modalità di sollevamento che deve essere svolto sempre con due arti. Seppur l'attività di sollevamento è una attività che necessita di tenere in equilibrio un oggetto per poterlo

movimentare senza che questo si rovini o cada a terra, può accadere che la sua forma permetta di poterlo afferrare con un arto, per comodità o per velocità.

Per sopperire a questo limite sono stati svolti degli studi che hanno permesso di capire come il sollevamento con un arto potesse influire sulle forze di carico che insistono sulla colonna vertebrale e come questo nuovo fattore potesse essere integrato alla formula di calcolo RNLE.

Mital et al. (1997), nella guida alla movimentazione manuale dei carichi, ha fornito sulla base di studi psicofisici sperimentali, dei dati in merito ai pesi limite sollevabili con un arto, distintamente per le donne e per gli uomini, in un periodo di attività di 2 ore e in base alle distanze orizzontali sia che avvenisse in posizione eretta e seduta. I limiti di peso sono anche proposti per sollevamenti infrequenti dove per gli uomini è fissato a 9kg e per le donne a 6kg.

Studi biomeccanici concordano che il carico relativo sulla colonna vertebrale è maggiore quando si solleva con un arto (anziché due). Inoltre, il modello di sovraccarico biomeccanico sui cambiamenti del carico lombare della colonna vertebrale, come forze di compressione, sono approssimativamente uguali a quelli osservati durante il sollevamento con due mani; mentre le forze di taglio antero-posteriori diminuiscono e quelle laterali aumentano (Mital, Nicholson e Ayoub, 1997; Marras e Davis , 1998; Marras, 2008).

Per quanto riguarda l'integrazione di questo fattore all'interno della formula RNLE la norma tecnica UNI EN 1005-2 inserisce un fattore che deve essere moltiplicato al RWL (denominatore della formula NIOSH Lifting Index). Il fattore è pari a 0.6 che si inserisce come segue (Equazione 4).

Equazione 4 - Formula di calcolo RNLE integrata con fattore sollevamento con un solo arto, UNI EN 1005-2

$$LI = \frac{W}{RWL * 0.6}$$

### **3.3.3 Sollevamento manuale con più operatori**

In alcune situazioni di lavoro, sulla base della tipologia dell'oggetto e del suo peso, è possibile che sia necessario l'intervento di due o più lavoratori per poterlo sollevare.

Infatti non sempre è possibile disporre di mezzi meccanici di sollevamento. Per il sollevamento in più operatori, a differenza di altri metodi che offrono dei limiti di peso sollevabile, non esistono soglie di tolleranza.

Sulla base degli studi presenti in letteratura non è possibile comprendere come questo comportamento nell'attività di sollevamento effettivamente influisca sulla determinazione delle forze a livello dei corpi discali. Infatti non sono presenti in letteratura degli studi che mettano a confronto le forze di carico sulla colonna durante il sollevamento individuale e durante il sollevamento con due operatori.

In uno studio Marras (1999), utilizzando un metodo biomeccanico supportato da basi biologiche, ha valutato le caratteristiche del carico discale confrontando il sollevamento effettuato da un solo lavoratore o da due lavoratori contemporaneamente, sia in condizioni di simmetria sia di asimmetria. Le forze valutate sono state di compressione, di taglio laterali e antero-posteriori. Dai risultati è emerso che nella situazione di un sollevamento frontale (in linea con il piano sagittale) svolto da due operatori produceva delle forze di compressione e di taglio di molto inferiori rispetto al sollevamento individuale. Per i resto dei sollevamenti asimmetrici le forze risultavano essere sempre maggiori se non uguali rispetto al sollevamento individuale. Quest'ultima considerazione è dovuta al fatto che il coinvolgimento dei differenti gruppi muscolari, seppur il peso risulterebbe inferiore, è comunque molto compromesso per il fatto che il movimento da svolgere quando il sollevamento avviene in due persone è diverso rispetto a quello svolto individualmente. È stato osservato più nello specifico che i muscoli obliqui aumentano la loro contrazione del 25% quando sono in una condizione di sollevamento asimmetrico condiviso; questo potrebbe provocare un aumento della possibilità di andare incontro a disturbi/patologie lombari. Non solo, ricordando che l'asimmetria è un fattore che provoca in particolar modo lo sviluppo delle forze di taglio, queste, in tali condizioni aumentano, fino al raggiungimento del valore limite di tolleranza del disco (1000N). Nello studio è stata anche considerata la sincronia nell'azione di sollevamento. La sincronia ha dimostrato essere importante quando il sollevamento avviene asimmetricamente per le forze di taglio, infatti si nota una diminuzione delle stesse, rispetto alla situazione senza coordinamento tra i due lavoratori con una riduzione di 140N (da 1200N), così come per le forze di compressione ridotti di 300N (da 5200N).

Da questo studio è comunque deducibile che il sollevamento in due operatori ha comunque un suo peso nell'incremento del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, pur apportando un accorgimento a livello della formula per la valutazione di questa tipologia di sollevamenti.

Secondo quanto inserito all'interno della norma tecnica UNI EN 1005-2 e l'ISO 11228-1 questa variabile deve essere tenuta in considerazione.

All'interno della norma tecnica UNI EN 1005-2 il fattore viene considerato pari a 0.85, e come gli altri fattori deve essere moltiplicato al RWL. La differenza rispetto alla formula del LI è il dimezzamento del peso dell'oggetto sollevato (numeratore). Non vi sono riferimenti per il sollevamento con più lavoratori (Equazione 5).

**Equazione 5 – Formula calcolo LI con fattore 2 o più operatori, EN 1005-2**

$$LI = \frac{L}{RWL_{1\ op}} * \left( \frac{1}{2_{or\ more}} \right) * \frac{1}{0.85}$$

Per quanto riguarda lo standard ISO 11228-1 questo considera la variabile in due situazioni, una dove l'oggetto è sollevato da due operatori, per cui il peso sollevato viene dimezzato, come nella UNI EN 1005-2, mentre il RWL viene moltiplicato per 0.67 (Equazione 6); l'altra situazione è il sollevamento di un oggetto contemporaneamente da 3 operatori, per cui il peso sollevato viene diviso per questi operatori, e il RWL è moltiplicato per 0.50 (Equazione 7).

**Equazione 6 - Formula calcolo LI con fattore 2 operatori, ISO 11228-1**

$$LI = \frac{L}{RWL_{1\ op}} * \left( \frac{1}{2_{op}} \right) * \frac{1}{0.67}$$

**Equazione 7 - Formula calcolo LI con fattore 3 operatori, ISO 11228-1**

$$LI = \frac{L}{RWL_{1\ op}} * \left( \frac{1}{3_{op}} \right) * \frac{1}{0.50}$$

### 3.4 Evoluzione: NIOSH Composite Lifting Index (1993)

La formula sopra presentata può essere applicata solamente a compiti semplici di sollevamento, dove il compito prevede il sollevamento di un oggetto sempre dello stesso peso e sempre con le stesse geometrie di movimentazione. Questo è un limite dal punto di vista delle valutazioni del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, in quanto le realtà aziendali presentano spesso compiti che coinvolgono prodotti e organizzazione degli stessi che possono cambiare tra loro. È dunque stato necessario implementare la formula prevedendo l'accorpamento di più compiti semplici, dando origine al Composite Lifting Index (CLI). La formula prevede che gli oggetti sollevati abbiano lo stesso peso, ma possono essere dislocati in punti diversi (es.: pallet, scaffalature, ecc.). Il fatto che la dislocazione degli oggetti possa essere differente implica l'applicazione dei diversi fattori demoltiplicativi per ogni oggetto sollevato. I compiti semplici a questo punto diventano dei sub-compiti rispetto all'attività di sollevamento manuale complessiva. Per ogni misura individuata dalla nuova formula sono stati individuati i rispettivi fattori.

La formula è la seguente (Equazione 8)

**Equazione 8 – Formula calcolo Composite Lifting Index, NIOSH 1993**

$$CLI = LI_1 + \sum \Delta LI_n$$

$$CLI = LI_1 +$$

$$FILI_2 \left( \frac{1}{FM_{1+2}} - \frac{1}{FM_1} \right) +$$

$$FILI_3 \left( \frac{1}{FM_{1+2+3}} - \frac{1}{FM_{1+2}} \right) +$$

$$FILI_4 \left( \frac{1}{FM_{1+2+3+4}} - \frac{1}{FM_{1+2+3}} \right) +$$

$$FILI_5 \left( \frac{1}{FM_{1+2+3+4+5}} - \frac{1}{FM_{1+2+3+4}} \right) + \dots$$

dove

LI = lifting index calcolato (Equazione 2)

LI<sub>1</sub> = lifting index calcolato del sub-compito peggiore

FILI = lifting index calcolato non considerando il fattore frequenza (FM)

$FIL_{2,3,4,ecc}$  = lifting index dei diversi sub-compiti calcolati non considerando il fattore frequenza (FM), sommati dal peggiore al migliore

FM = fattore frequenza (FM) / durata del singolo sollevamento

$FM_{2,3,4,ecc}$  = fattore frequenza (FM) / durata dei singoli sollevamenti, sommati dal peggiore al migliore

Per utilizzare questa formula è necessario quindi individuare quali siano i sub-compiti da analizzare. Ogni sub-compito è caratterizzato da un punto di prelievo, con rispettiva altezza e distanza orizzontale, e un punto di deposito con rispettiva altezza e distanza orizzontale. In base al numero di altezze e distanze orizzontali all'origine e alla destinazione si avranno i vari sub-compiti per i quali calcolare il rispettivo lifting index; successivamente si procede con l'applicazione della formula del CLI per ottenere la stima dell'indice di rischio complessivo al quale quel compito composito espone i lavoratori.

La scelta di utilizzare questa formula risiede in determinati presupposti individuati da Waters (1994) nello studio dell'esposizione a compiti multipli. Di seguito sono descritti.

- Eseguire compiti di sollevamento multipli può aumentare il sovraccarico biomeccanico o il consumo metabolico, e questi incrementi dovrebbero essere tenuti in considerazione nel calcolo del peso limite sollevabile raccomandato che determinerà quindi un aumento del L.
- Un aumento dell'indice di rischio LI dipende dalle caratteristiche dei vari compiti di sollevamento aggiuntivi.
- L'aumento dell'indice di rischio risultante dall'addizione dei vari compiti di sollevamento è indipendente dagli indici di rischio dei singoli compiti svolti in precedenza.

In uno studio, successivo alla proposta della nuova formula, è stata dimostrata, con dati epidemiologici, l'associazione tra la prevalenza dei disturbi lombari e l'esposizione a determinati livelli di rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide (Waters, et al., 1999) valutato con LI e CLI (Tabella 7). L'associazione è stata studiata attraverso una analisi multivariata con odds ratio e regressione logistica semplice che ha confermato con un trend significativo la relazione.

**Tabella 7 - Odds Ratio (OR) dei LBP negli ultimi 12 mesi in funzione del Lifting Index (LI). Aggiustato per età, genere, BMI e fattori psicosociali (Waters, 1999)**

<b>Lifting Index</b>	<b>OR</b>	<b>95% CI</b>	<b>n</b>
LI = 0	<b>1.00</b>	Reference	80
0 < LI ≤ 1	<b>1.04</b>	0.13 – 5.84	9
1 < LI ≤ 2	<b>1.96</b>	0.69 – 5.53	36
2 < LI ≤ 3	<b>2.20</b>	1.01 – 4.96	121
> 3	<b>1.09</b>	0.37 – 3.10	38

Sebbene la formula possa essere applicata a compiti di sollevamento con un certo grado di variabilità, il numero di sub-compiti valutabili è limitato ad un massimo di 10. Qualora la valutazione del rischio preveda l'analisi di un numero più elevato di sollevamenti ciò che si modifica è la frequenza. La frequenza complessiva dovrebbe essere ripartita tra tutti i compiti e diventerebbe talmente minima che il risultato dell'indice di rischio CLI non sarebbe più attendibile (Waters, 1993). Infatti il calcolo delle singole frequenze tenderebbe a zero generando una sottostima del rischio, dato che il moltiplicatore per frequenza pari a 0 è uguale ad 1.

Per questo limite sono state studiate altre possibilità di agevolazione del calcolo per situazioni lavorative più complesse, in termini di organizzazione del lavoro e variabilità produttiva, sempre basato sui principi della formula NIOSH LI per compito semplice.

### **3.5 Evoluzione: NIOSH Variable Lifting Index (2009)**

Il Variable Lifting Index è una nuova forma di calcolo dell'indice di rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, che utilizza il principio di base della formula per il calcolo del LI (1993). Ciò che si evolve, anche rispetto al CLI, è la sua applicabilità in situazioni lavorative più complesse, con attività di sollevamento altamente variabili durante il turno di lavoro.

Questo metodo permette di avere una stima della probabilità del rischio, da sollevamento manuale dei carichi, al quale il lavoratore sarà stato esposto durante la giornata (Waters, et al., 2009; Colombini et al., 2009). La particolarità consiste nel poter valutare un numero di sub-compiti superiore ai 10 della formula del CLI, quindi di calcolare un indice di rischio che accorpa tutti i compiti semplici di sollevamento svolti nella giornata lavorativa. La loro frequenza è distribuita in base ad una semplificazione matematica apportata dall'autore. Il VLI valuta attività di

prelievo e deposito per molteplici oggetti, con pesi diversi e geometrie di movimentazione differenti tra loro. Le semplificazioni apportate riguardano il fattore frequenza, ma anche le altre variabili considerate nella formula di calcolo, cioè le categorie di peso, e i fattori associati alle varie geometrie di movimentazione.

Di seguito sono spiegate le semplificazioni e le modalità di utilizzo del nuovo metodo, dalla raccolta dei dati all'interpretazione del risultato. Questo metodo è stato riportato all'interno di un file Excel che permette di compilare i campi riferiti ai dati necessari per il calcolo dell'indice finale in modo automatico.

### Il gruppo omogeneo

Il metodo VLI come prima informazione richiede di individuare all'interno di una realtà organizzativa quali sono le aree da analizzare per la valutazione del rischio da MMC, quindi identificare situazioni lavorative nelle quali i lavoratori debbono sollevare oggetti di peso superiore ai 3kg. Quando l'area è stata identificata si dovrà comprendere se tutti i lavoratori, dedicati ad una determinata attività, sono coinvolti allo stesso modo nel sollevamento manuale dei carichi così da distribuire il carico di lavoro in modo omogeneo. Il gruppo omogeneo non è sempre individuabile, perché il lavoro può essere svolto anche da un singolo lavoratore. Queste informazioni possono essere reperite consultando i responsabili di reparto o comunque soggetti coinvolti nell'organizzazione del lavoro.

### Le categorie di peso

Per la valutazione di dei compiti multipli inizialmente, utilizzando le formule per compiti di sollevamento semplice o con CLI, il peso sollevato era selezionato tra quelli peggiori ovvero facendo un peso medio tra quelli sollevati, o addirittura dividendo, arbitrariamente, i pesi sollevati per l'attività analizzata. Questo comportava una valutazione a dir poco soggettiva la quale poteva indurre ad una valutazione non rappresentativa dell'esposizione effettiva all'attività di sollevamento, ad una sovrastima del rischio o ad una sottostima dello stesso. Inoltre qualora fosse necessario un confronto, o una verifica della valutazione non era possibile confrontare quanto valutato in quanto i criteri di scelta dei dati da raccogliere erano a discrezione del valutatore.



Con la nuova formula semplificata la raccolta dei dati, in merito al numero degli oggetti movimentati in un turno e al loro peso, diventa più semplice ed omogenea da gestire. Ciò che il valutatore deve conoscere sono il peso degli oggetti, il numero e le movimentazioni tra origine e destinazione che questi subiscono. Da precisare è che non sempre il peso è noto e quindi è necessario fare un censimento che permetta di avere informazioni in merito. Questi dati poi debbono essere aggregati statisticamente in un massimo di 5 categorie di peso, in base alla tipologia e alla quantità. L'organizzazione dei dati in questo modo fa sì che la soggettività sia ridotta al minimo nella raccolta dei pesi.

Il file Excel messo a disposizione contiene un foglio dove questa aggregazione viene fatta automaticamente; ciò che il valutatore deve fare è compilare due colonne nelle quali riportare, per ogni classe di peso da 3 kg a 25 kg (limite massimo di peso sollevabile in condizioni ideali) con una progressione incrementale di un kilogrammo, il numero di oggetti sollevati per quella classe e il numero di movimentazioni (sollevamenti) che quell'oggetto subisce. Questa procedura deve applicata per tutti gli oggetti sollevati dal gruppo omogeneo individuato nel turno di lavoro.

La suddivisione permette di avere a disposizione le seguenti informazioni:

- numero degli oggetti che afferiscono ad ogni categoria di peso
- il peso medio per categoria di appartenenza degli oggetti, secondo media ponderata, sul quale verrà stimato l'indice di rischio
- la percentuale degli oggetti sul totale del numero degli oggetti sollevati

### La frequenza

Per il VLI la frequenza viene calcolata conoscendo l'organizzazione del lavoro in termini di durata del sollevamento. Per questo motivo il valutatore dovrà conoscere per quanto tempo il gruppo omogeneo, se presente, svolge l'attività di sollevamento.

Per ottenere la frequenza complessiva è necessario conoscere:

- numero dei lavoratori che svolgono lo stesso compito nella stessa area di lavoro
- durata del turno di lavoro
- durata complessiva del tempo di sollevamento manuale
- numero degli oggetti sollevati nel turno dall'intero gruppo omogeneo

Dalla compilazione del file Excel a disposizione, dove i calcoli avvengono automaticamente, si ottiene la frequenza di sollevamento di ogni singolo lavoratore.

### Le geometrie di movimentazione

Per quanto riguarda le misure relative alle altezze verticali e alle distanze orizzontali, distintamente per origine e destinazione dei sollevamenti, i dati sono da raccogliere per le tipologie di peso individuate. Inizialmente, nella formula principale, le variabili dei moltiplicatori erano individuate per misure precise al centimetro, mentre ora sono stati individuati dei valori che semplificano la valutazione e la rendono meno onerosa in termini di tempo. Il file Excel, messo a disposizione, prevede la compilazione di un foglio nel quale compaiono le diverse categorie di peso, create grazie alla raccolta dei dati precedentemente fatta, per le quali è necessario segnalare per ogni oggetto movimentato presente in tale categoria, le altezze verticali e distanze orizzontali all'origine, e le altezze verticali e distanze orizzontali alla destinazione. Inoltre per la categoria di peso è anche necessario segnalare la presenza o meno dell'asimmetria, caratterizzata da determinate condizioni. Di seguito le semplificazioni apportate.

#### *Fattore altezza verticale*

Il fattore altezza verticale (VF) è relativo all'altezza delle mani all'inizio e alla fine del sollevamento. Per individuare il fattore non è più necessario misurare al centimetro ma sono state individuate due condizioni (Tabella 8), una detta *ideale* in cui le mani sono posizionate tra i 51 e i 125 cm, dove il moltiplicatore è pari a 1, e una condizione detta *non ideale* in cui le mani sono poste al di sotto dei 50 cm o al di sopra dei 125 cm, in entrambe le situazioni il fattore è pari a 0.78. Inoltre sono contemplate le aree critiche di lavoro e cioè un'altezza superiore ai 175 cm e al di sotto del piano di calpestio per le quali il fattore è pari a 0. Queste ultime non dovrebbero mai essere presenti per cui l'organizzazione del lavoro andrebbe immediatamente rivista al di là della valutazione del rischio.

**Tabella 8 - Semplificazione del fattore altezza verticale nel metodo VLI, (Waters, 2009)**

<b>AREA</b>	<b>MISURE (cm)</b>	<b>VALORE MEDIO (cm)</b>	<b>FATTORE</b>
<b>IDEALE</b>	51 – 125	75	1
<b>NON IDEALE</b>	< 50 - > 125	0 o 150	0.78
<b>CRITICA</b>	0 - $\geq$ 175	0 - $\geq$ 175	0

### *Fattore distanza orizzontale*

Il fattore distanza orizzontale (HF) è relativo alla distanza tra il punto medio individuato tra le caviglie e la proiezione del punto medio della distanza tra le mani. La semplificazione consiste nella creazione di tre aree di misura (Tabella 9). Una detta distanza *vicina/ideale* misurata tra i 25 e i 40 cm, con fattore pari a 0.71, una detta distanza *media/non ideale* compresa tra i 41 e i 50 cm, con fattore pari a 0.56 e una distanza detta *lontana/non ideale* compresa tra i 51 e i 63 cm, per la quale il fattore è pari a 0.40. Anche per questa variabile esiste un'area critica che non dovrebbe mai essere raggiunta ed è quella superiore ai 63 cm per la quale il fattore corrisponde a 0. Quando questa situazione si presenta, la valutazione del rischio sarebbe nulla e quindi un intervento di miglioramento dell'attività di lavoro sarebbe auspicabile.

**Tabella 9 - Semplificazione del fattore distanza orizzontale nel metodo VLI, (Waters, 2009)**

<b>AREA</b>	<b>MISURE (cm)</b>	<b>VALORE MEDIO (cm)</b>	<b>FATTORE</b>
<b>VICINA/IDEALE</b>	25 – 40	35	0.71
<b>MEDIA/NON IDEALE</b>	41 – 50	45	0.56
<b>LONTANTA/NON IDEALE</b>	51 – 63	63	0.40
<b>CRITICA</b>	> 63	> 63	0

### *Fattore asimmetria*

Il fattore asimmetria (AF) è riferito alla dislocazione angolare dell'oggetto rispetto al piano sagittale del soggetto che compie il sollevamento. La sua misura si effettua in gradi ed è l'angolo che si forma tra la proiezione del punto medio tra le caviglie e lo spostamento del punto medio tra le mani rispetto ad esso (Tabella 10). La misurazione dell'angolo è di difficile rilevazione in quanto non tutti i sollevamenti avvengono allo stesso modo. La semplificazione apportata consiste nel considerare la condizione *ideale* quando l'oggetto è disposto frontalmente al soggetto, con fattore pari a 1, ed una condizione *non ideale* quando lo spostamento rispetto al piano sagittale è pari a 45°, per la quale il fatto è pari a 0.81. Per assegnare o meno la presenza dell'asimmetria è necessario verificare, osservando il lavoratore, se i sollevamenti che eccedono di 45° sono presenti per almeno il 50% delle azioni di sollevamento. Anche per questo fattore esiste un'area critica da evitare durante il compito ed è lo spostamento angolare superiore ai 135° per il quale il valore moltiplicativo è pari a 0.

Tabella 10 - Semplificazione del fattore asimmetria nel metodo VLI, (Waters, 2009)

AREA	MISURE (gradi)	FATTORE
IDEALE	45	1
NON IDEALE	> 45	0.81
CRITICA	51 – 63	0

#### *Fattore dislocazione verticale*

Il fattore dislocazione (DF) è riferito alla differenza tra l'altezza verticale all'origine e l'altezza verticale al deposito dell'oggetto sollevato. Anche per questo fattore i valori dei moltiplicatori rispondevano alla necessità di effettuare delle misure precise durante l'attività di lavoro. Con le semplificazioni del VLI questo fattore è stato considerato come una costante pari a 1 in quanto il metodo considera entrambe le altezze verticali per il calcolo dell'indice di rischio.

#### *Fattore presa*

Il fattore presa (CM) nella formula del RNLE era posto come buono, sufficiente o scarso, rispettivamente con fattori pari a 1, 0.95 e 0.90. Ora, con le semplificazioni apportate al metodo sulla base delle esperienze nel campo della valutazione del rischio da MMC, è stato osservato che la presa buona per rispondere a questa definizione deve avere determinate caratteristiche individuate all'interno della norma UNI EN 1005-2 che pone misure specifiche per il punto di presa. Tali requisiti non sono mai presenti nelle realtà lavorative, per questo motivo anche questo fattore è stato posto come costante pari a 0.90 corrispondente alla cosiddetta presa scarsa.

#### La durata del compito di sollevamento

Per poter calcolare il fattore frequenza è necessario che siano individuati i tempi di attività di sollevamento all'interno del turno di lavoro. Queste informazioni permettono di comprendere come è organizzato il lavoro e a quale tipologia di scenario di durata appartiene il corrispondente fattore frequenza come individuato anche dalla precedente formula di calcolo RNLE (Tabella 11). Gli scenari di durata sono tre, una durata *breve* per attività di sollevamento inferiore all'ora, una durata *media* per attività di sollevamento di durata inferiore alle due ore e una durata *lunga* oltre le due ore e inferiore alle otto ore. La durata è necessaria anche per il calcolo della frequenza (atti di sollevamento al minuto). Una volta calcolati gli atti di sollevamenti al minuto, nota la durata netta del tempo dedicato al sollevamento e

noto il numero totale degli oggetti sollevati nel turno, è possibile individuare quale sia il fattore frequenza corrispondente. Da ricordare è che il limite inferiore per il quale il fattore è pari a 1 sono è una frequenza inferiore ai 2 atti al minuto (pari a 1 sollevamento ogni 5 minuti) mentre il limite superiore sono 15 atti al minuto oltre il quale la tendenza della fattore frequenza per tutti gli scenari è pari allo zero.

**Tabella 11 - Semplificazione del fattore frequenza nel metodo VLI, (Waters, 2009)**

FREQUENZA Atti/minuto	DURATA DEL LAVORO NETTO di SOLLEVAMENTO		
	8 ore (lunga)	2 ore (media)	1 ora (breve)
≥ 2	0.85	0.95	1.00
0,5	0.81	0.92	0.97
1	0.75	0.88	0.94
2	0.65	0.84	0.91
3	0.55	0.79	0.88
4	0.45	0.72	0.84
5	0.35	0.60	0.80
6	0.27	0.50	0.75
7	0.22	0.42	0.70
8	0.18	0.35	0.60
9	0.15	0.30	0.52
10	0.13	0.26	0.45
11	0.00	0.23	0.41
12	0.00	0.21	0.37
13	0.00	0.00	0.34
14	0.00	0.00	0.31
15	0.00	0.00	0.28
> 15	-	0.00	0.00

### Calcolo del Variable Lifting Index

Una volta che tutti i dati sono stati raccolti e quindi è stata effettuata la valutazione di tutti i sub-compiti svolti per tutti gli oggetti sollevati durante il turno di lavoro da parte del gruppo omogeneo, per riportare il tutto alla formula CLI è necessario applicare una ulteriore semplificazione rispetto la frequenza dei singoli compiti.

I sub-compiti totali che risultano dalle semplificazione precedentemente descritte sarebbero 30, risultanti da:

- 5 categorie di peso
- 2 altezze verticali (ideale, non ideale alta/bassa)
- 3 distanze orizzontali (vicina/ideale, media/non ideale, lontana/non ideale)
- presenza di asimmetria o meno

Per fare è una aggregazione dei singoli LI dei 30 compiti semplici si esegue un raggruppamento in 6 classi di LI. Ritornando alla formula del CLI devono essere calcolati i differenti FILI (*Frequency Independent Lifting Index*) per ognuno di essi. Facendo una distribuzione dei FILI si determinano i valori relativi al 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentile. La decisione di considerare questi percentili tiene conto della variabilità dei LI ottenuti. La suddivisione della distribuzione permette di avere le seguenti categorie:

- fino al 10° percentile compreso
- dal 10° al 25° percentile compreso
- dal 25° al 50° percentile compreso
- dal 50° al 75° percentile compreso
- dal 75° al 90° percentile compreso
- dal 90° al 100° percentile

All'interno di ogni area della distribuzione così suddivise si sceglie il valore medio di FILI, ad eccezione dell'ultima categoria per la quale si considera il più elevato. Per ogni categoria deve anche essere individuata la frequenza complessiva di sollevamento. A questo punto per ogni categoria è possibile calcolare i nuovi LI e  $LI_{max}$  per applicare la formula definita per il CLI (Waters, et al., 1994). Tutta la procedura di semplificazione compresa la formula conclusiva per il calcolo dell'indice identifica il metodo Variable Lifting Index.

Di seguito si riporta la formula per il calcolo del VLI.

$$VLI = LI_{max} + \sum_{i=2}^n \left\{ FILI_i \times \left( \frac{1}{FM_{1+\dots+i}} - \frac{1}{FM_{1+\dots+(i-1)}} \right) \right\}$$

dove

$LI_{max}$  = lifting index del compito più gravoso

$$FILI = \frac{\text{peso medio sollevato}}{FIRWL}$$

dove il peso medio sollevato sono relativi alle 5 categorie individuate; FIRWL sono i pesi limite raccomandati relativi alle singole geometrie individuate in ogni categoria di peso

FM = moltiplicatori delle frequenze individuate nelle 6 categorie per il calcolo dei FILI

Con questi accorgimenti di semplificazione si vuole ridurre al minimo la possibilità di sottostimare il rischio a causa della tendenza delle frequenze allo 0. In questo modo si mantiene la base del calcolo del NIOSH per il Composite Lifting Index e il principio del calcolo del RWL secondo la formula RNLE.

Ulteriori considerazioni rispetto il VLI debbono essere poi fatte in merito ad altri due fattori di cui il metodo tiene conto:

- la possibilità che all'interno di una categoria di peso possano essere presenti oggetti sollevati contemporaneamente da due operatori
- la possibilità che all'interno di una categoria di peso possano essere presenti oggetti sollevati con un solo arto.

## **4 STUDIO DELLA ASSOCIAZIONE TRA METODO DI VALUTAZIONE NIOSH-VLI E PROBABILITÀ DI INSORGENZA DELLA LOMBALGIA ACUTA IN AMBIENTE OCCUPAZIONALE**

In questo capitolo sarà presentato l'intero svolgimento del progetto. Lo studio è di tipo *cross-sectional-trasversale*.

Il punto di partenza è stato quello di ricercare una evidenza epidemiologica e lo stato dell'arte per quanto riguarda l'associazione tra indice di rischio NIOSH e insorgenza della lombalgia acuta. In un secondo momento, dopo aver studiato anche i fattori occupazionali connessi e quelli individuali di possibile confondimento, è stata portata avanti la modalità di reclutamento del campione, la numerosità ed i protocolli da seguire per la raccolta dei dati necessari. Di seguito sono state individuate le aziende e i loro referenti i quali hanno collaborato attivamente alla progressione del progetto che ha richiesto impegno e risorse. Al termine della raccolta dei dati provenienti dalle aziende aderenti è stato possibile cominciare in un primo momento l'analisi di questi ultimi e successivamente l'elaborazione che ha portato ai risultati pubblicati.

Lo studio ha permesso non solo di portare avanti un progetto di ricerca che potrà avere delle conseguenze nel campo della valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, ma anche di dimostrare che nell'ambito della gestione del problema è possibile trovare delle soluzioni migliorative e riprogettare in un'ottica di prevenzione e reinserimento dei soggetti con limitazioni funzionali dovute proprio all'attività di movimentazione manuale dei carichi, tenendo conto anche dell'avanzamento dell'età media della popolazione lavorativa.

### **4.1 Materiale e metodi**

Le aziende coinvolte nel progetto hanno aderito volontariamente, dopo diversi contatti preliminari. I settori di cui fanno parte sono molto diversi di cui il manifatturiero, il farmaceutico, il metalmeccanico, l'alimentare e i servizi. All'inizio del 2013 le aziende erano 19, di cui 8 si sono aggiunte nel corso del 2014, per un totale di 27 aziende.

Infine le aziende che sono rientrate nel progetto sono 16 a causa di riorganizzazioni interne delle stesse che hanno configurato una indisposizione del personale da dedicare al progetto, e nuovi setting produttivi che non disponevano di lavoratori che



svolgessero attività quotidiane continuative con un numero di giornate lavorate inferiore alle 167.

Inoltre per includere le aziende nel progetto sono stati analizzati i criteri utilizzati nei precedenti studi di associazione che prevedevano la scelta di *cut-off* necessari ad individuare un campione che fosse il più rappresentativo possibile, e al quale fosse applicabile il metodo di valutazione NIOSH VLI. I criteri sono stati selezionati sulla base di articoli scientifici precedentemente pubblicati.

- a) Attività lavorative dove il sollevamento manuale è eseguito quotidianamente, con almeno 25 sollevamenti al giorno/turno
- b) Attività lavorative senza variabilità nell'organizzazione del lavoro, ritmo di lavoro ed esperienza lavorativa di almeno due anni
- c) Attività di lavoro dove non sono previste variazioni nelle caratteristiche del compito
- d) Attività lavorative che rispondono all'applicabilità dei criteri stabiliti per il calcolo del peso limite raccomandato
- e) Non sono previsti sollevamenti effettuati con un solo arto, o eseguiti in posizione seduta, sollevamenti che avvengono in spazi ristretti, o movimentando oggetti ingombrati/instabili, e non devono essere previsti nella stessa attività altri compiti come traino e spinta o trasporto di carichi
- f) I turni non devono superare le dodici ore
- g) Attività lavorative che non comportino esposizione alle vibrazioni al corpo intero (es.: guida di un mezzo pesante per più di 4h/die)
- h) Attività di T/S o trasporto che superano il 10% del tempo di movimentazione si considera la sua esclusione dallo studio

Il campione rappresentativo si è composto da lavoratori esposti che:

(A) Aver eseguito le attività quotidiane sollevamento per almeno 167 giorni nel passato anno, indipendentemente dal numero di oggetti sollevati al giorno;

(B) Aver trascorso più di 12 mesi sul posto di lavoro corrente viene esposto al rischio;

(C) Le attività di traino, spinta, e trasporto devono essere compiti residuali rispetto al turno di lavoro;

(D) Nessuna esposizione alle vibrazioni al corpo intero;

(E) Nessuna esposizione per la gestione delle attività per più di 8 ore in un turno di lavoro.

Per la raccolta dei dati, sia riguardo la valutazione del rischio sia la rilevazione del danno, le aziende si sono avvalse del rispettivo personale interno, in particolare del responsabile del servizio di salute e sicurezza (HSE) e del medico competente. Preliminarmente entrambe le figure hanno partecipato ad un incontro, formativo/informativo, nel quale veniva comunicato lo scopo del progetto, di quali fossero le loro responsabilità in merito, e dell'applicazione dei protocolli distintamente per le due variabili in analisi. In questo modo tutte le persone coinvolte avevano la stessa base di partenza.

#### **4.1.1 La valutazione del rischio**

Per quanto riguarda la valutazione del rischio da movimentazione manuale dei carichi (MMC), secondo la metodologia NIOSH VLI, le informazioni da raccogliere sono state la numerosità degli oggetti sollevati manualmente dai lavoratori coinvolti nella stessa attività durante un turno di lavoro, i relativi pesi, le misure delle altezze e distanze orizzontali di prelievo e deposito. Per semplificare la raccolta di questi dati è stato messo a disposizione dei rilevatori un documento cartaceo da compilare in loco durante l'osservazione diretta delle attività dei lavoratori (ANNEX A). Inoltre, molto importante, è stato lo studio dell'organizzazione del lavoro di ogni compito. Preliminarmente ad ogni azienda sono stati anche chiesti dei filmati, con relativa descrizione dell'attività e valutazione del rischio, così da verificare la comprensione e l'applicazione del protocollo da parte dei rilevatori. Successivamente sono stati fatti dei sopralluoghi al fine di appurare l'attendibilità dei dati ed in particolar modo ricostruire l'organizzazione del lavoro. I lavoratori sono stati informati del progetto e hanno dato il loro consenso con liberatoria per effettuare le video registrazioni.

I sopralluoghi hanno permesso di verificare in prima persona l'adeguatezza della raccolta dei dati e l'attendibilità dell'indice di rischio restituito dalla valutazione. Inoltre, data l'elevata variabilità delle attività svolte nelle differenti realtà aziendali, le visite in loco sono state necessarie per risolvere quei casi particolari dove l'applicazione del metodo di valutazione del rischio fosse difficoltosa e complessa.

Il sopralluogo è stato di fondamentale importanza perché ha messo in luce degli aspetti prettamente pratici che se non fossero stati corretti all'origine avrebbero

potuto complicare l'andamento dello studio. Uno dei problemi è stato quello di notare una mancata comunicazione tra il responsabile rilevatore del rischio e il medico competente. Questa mancanza aveva inizialmente creato un'incompatibilità di dati dettati da una disomogeneità delle informazioni in merito alla denominazione dei reparti, delle mansioni e dei compiti. In queste occasioni è stato quindi necessario ribadire innanzitutto quali fossero i cut off per selezionare i soggetti esposti e quale fosse la strategia migliore per poter successivamente fare il link tra indice di rischio del soggetto esposto e relativo questionario anamnestico per la rilevazione del danno. In questo modo è stato deciso di procedere chiedendo ai responsabili HSE di farsi consegnare un elenco da ogni capo linea, o caporeparto, con i nominativi dei lavoratori esposti a MMC con relativa mansione in modo da permettere al medico di identificare subito le persone da chiamare in visita e compilare correttamente i campi tecnici che riconducessero il lavoratore alla mansione. Relativamente a questo aspetto non si è trattato di un solo caso aziendale ma di una situazione diffusa dove le persone che dovrebbero occuparsi di un medesimo problema non riescono a raggiungere un livello di collaborazione tale da rendere la gestione di quest'ultimo più semplice ed efficace (applicazione della cosiddetta "*participatory ergonomics*").

Le informazioni in merito alla valutazione del rischio (numero e peso degli oggetti movimentati, numero di sollevamenti per ogni oggetto, geometrie di movimentazione per origine e destinazione) sono state utilizzate per la compilazione del file Excel, reperibile gratuitamente in [www.epmresearch.org](http://www.epmresearch.org), così da garantire un'omogeneità nel calcolo degli indici del VLI per tutto il campione dei soggetti esposti al sollevamento manuale dei carichi.

Tutti i soggetti coinvolti nella raccolta dei dati per la valutazione del rischio non erano a conoscenza dei lavoratori esposti che avevano avuto episodi di lombalgia. Da sottolineare il fatto che tutte le valutazioni del rischio effettuate dai referenti aziendali sono state controllate dal un gruppo di esperti del progetto, in particolare per ciò che riguarda il NIOSH Lifting Index e i Variable Lifting Index, attraverso l'"approccio di analisi organizzativo sistematico" (Waters et al., 2015).

Sulla base delle indicazioni degli standard europei, gli indici di rischio VLI sono stati calcolati per genere ed età per tutti gli intervalli di esposizione.

Per questo motivo il RWL è stato calcolato secondo le diverse masse di riferimento (peso limite sollevabile in condizioni ideali), come indicato all'interno del ISO/TR 112295. Per lo standard i pesi individuati sono:

- a) 25 kg per uomini di età compresa tra i 18 e i 45 anni
- b) 20 kg per uomini di età inferiore ai 18 anni e superiore ai 45, e donne di età compresa tra i 18 e i 45 anni
- c) 15 kg per donne di età inferiore ai 18 anni e superiore ai 45

La valutazione del rischio è stata svolta applicando sia la costante di peso del NIOSH 23 kg sia utilizzando i riferimenti della norma tecnica, quindi sono state create due codifiche differenti uno  $VLI_{23}$  mentre l'altro  $VLI_{EU}$ .

L'analisi ha anche incluso compiti di sollevamento con fattori di distanza orizzontale e altezza verticale che fossero oltre i limiti stabiliti dal metodo NIOSH; quando uno dei fattori nel calcolo del RWL risultava 0, il valore del LI tenderebbe all'infinito. Per lo scopo del progetto questi valori limite sono stati sostituiti con il valore peggiore individuato nel VLI per distanza orizzontale e altezza verticale, pur evidenziando la presenza di una condizione critica da segnalare.

Per quanto riguarda il fattore H, Waters (2011) aveva affermato che la procedura di semplificazione del fattore potesse causare una sottostima o una sovrastima del livello di rischio. Per la semplificazione del fattore V nella procedura del VLI è possibile inserire le altezze di prelievo e deposito, per questo motivo il fattore D (dislocazione) è sempre posto pari a 1. Qualora una delle altezze all'origine o alla destinazione fosse superiore ai 175 cm, per quanto riguarda le misure antropometriche del soggetto secondo gli studi biomeccanici, una estensione della colonna vertebrale per raggiungere tale altezza potrebbe causare un danno a livello della parte frontale dell'anulus (National Research Council [NRC], 2001), di conseguenza l'indice VLI semplificato potrebbe sottostimare questa situazione.

Nello studio sono anche stati inclusi compiti nei quali potessero presentarsi situazioni di sollevamento frequente con un singolo arto e il sollevamento in più operatori.

Qualora dall'osservazione dell'attività emergesse più del 50% degli oggetti sollevati con singolo arto, allora questo era segnalato e per il calcolo del RWL è stato aggiunto il moltiplicatore indicato dalla norma tecnica EN 1005-2 pari a 0.6 (Equazione 9).

**Equazione 9 - Formula calcolo lifting index LI corretta per sollevamento con singolo arto, EN 1005-2**

$$LI = \frac{L}{RWL * 0.6}$$

Quando invece l'oggetto fosse sollevato da due operatori, la formula utilizzata per il calcolo è stata la seguente:

**Equazione 10 - Formula calcolo lifting index LI corretta per sollevamento in due operatori, ISO/TR 12295**

$$LI = \frac{L/2}{RWL * 0,85}$$

dove L è il peso sollevato.

Dalle informazioni provenienti dal calcolo dell'indice VLI è possibile risalire al valore della massa cumulata sollevata dal singolo operatore durante il turno di lavoro. La massa cumulata è il risultato della somma dei singoli oggetti, moltiplicati per il loro peso e per il rispettivo numero di sollevamenti.

#### **4.1.2 La valutazione del danno**

La valutazione del danno lombare, definito nel progetto, ha considerato tale l'evento come lombalgia acuta avvenuta nei precedenti 12 mesi rispetto al momento della compilazione del questionario (Colombini et al., 1999).

Chaffin et al. (1973) e Clemer et al. (1991) hanno utilizzato il termine "back injury", differenziandolo dal "low back pain", quando si consideravano episodi di tipo acuto.

La variabile del danno utilizzata nello studio è riferita agli episodi acuti di lombalgia pervenuti nei 12 mesi precedenti. Per la sua identificazione nel questionario anamnestico (ANNEX B) è stato definito come "*episodio di dolore intenso in sede lombosacrale che non consente i movimenti di flessione, inclinazione e rotazione ("colpo della strega") e quindi costringe a letto l'interessato, il cui esordio può essere acuto o subdolo e durato almeno 2 giorni, ovvero un solo giorno con terapia farmacologica. Questo tipo di episodi devono provocare una assenza dal lavoro o la permanenza a letto se occorre in giorni non lavorativi*".

La scelta del danno in termini di lombalgia acuta è stata fatta sulla base della conoscenza scientifica in merito alla relazione che esiste tra il sovraccarico

biomeccanico del rachide e l'insorgenza del disturbo lombare (Yassi et al. 1995; Radwin et al. 2001; Marras, 2008, pp.16).

Quando nella definizione della lombalgia acuta si parla di assenza dal lavoro con grave limitazione nei movimenti della colonna vertebrale, la prevalenza nella popolazione generale, presa come gruppo di riferimento, si registra un valore tra il 2-3%, dove i maschi spesso sono maggiormente affetti e senza evidenziare una relazione lineare rispetto l'avanzamento dell'età (Abenhaim and Suissa, 1987; Clemmer, Mohr and Mercer, 1991; "Control of Work-Related Cumulative Trauma", 1993).

Per la rilevazione del danno, i medici competenti sono stati formati sulla somministrazione del questionario e sulla necessità di inserirlo nel database on line. Ogni medico ha avuto una propria password di accesso per la compilazione del *form* in rete, progettato al fine di archiviare i dati inseriti e poterli esportare in Excel. Anche in questo caso è stato chiesto ai medici di compilare almeno dieci questionari e inviarli per mail, prima di cominciare l'inserimento on line, al fine di verificare la comprensione del protocollo per la raccolta delle informazioni sanitarie. Il server on line è stato reso accessibile solo ai responsabili del progetto, che bimestralmente hanno eseguito dei report per monitorare la compilazione dei questionari on line e trasmettere ai medici la loro posizione. I questionari sono stati somministrati individualmente, ai soggetti esposti al rischio da MMC e non esposti, in occasione della visita periodica o su chiamata da parte del medico.

Il questionario strutturato comprendeva una parte in merito alle informazioni personali ed antropometriche, ma anche informazioni relative ai possibili fattori di confondimento (Gyntelbers, 1974; Heneweer, Vanhees, Susan and Picavet, 2009; Shiri et al., 2010, Knox, Orchowski and Owens, 2012; Ono et al., 2012).

Un'altra parte invece valuta la presenza o meno di disturbi, relativa sintomatologia e possibile diagnosi e trattamento.

#### **4.1.3 Aggregazione dei dati**

Una volta che i sopralluoghi hanno dato esito positivo, e quindi referenti tecnici e medici competenti hanno potuto proseguire con le rilevazioni autonomamente, è stato implementato un file Excel che raccogliesse i dati di interesse provenienti dai file compilati per la valutazione del rischio. Questo file riassuntivo è stato

predisposto per ogni azienda e contiene le variabili da studiare. È stato scelto di estrarre anche variabili che potrebbero essere approfondite in un secondo momento, una di queste è la massa cumulata (cioè la massa totale sollevata in un turno di lavoro da un singolo lavoratore). Ogni azienda ha inviato le valutazioni del rischio per tutte le attività di MMC alle quali i propri lavoratori fossero esposti.

Per quanto riguarda i dati inseriti on line da parte dei medici competenti è stato necessario estrarre tutti i campi di interesse, in formato Excel e successivamente fare una “pulizia” del database. Sono stati eliminati tutti quei casi in cui i questionari non fossero completi (quindi dati mancanti rilevanti), e quelli non attendibili dal punto di vista delle risposte che non dimostravano coerenza. Per fare una prima analisi in termini di prevalenza delle lombalgie acute, e studiarne la distribuzione secondo i diversi indici di rischio, sono stati selezionati i questionari che dichiarassero la presenza della lombalgia acuta insorta negli ultimi dodici mesi certificata da esame e diagnosi.

Al termine del periodo di ricerca il campione si componeva di 3357 soggetti esposti e 1409 soggetti non esposti a movimentazione manuale dei carichi, per un totale di 4766. Dopo aver applicato i criteri di eleggibilità, il campione si è ridotto passando a 2385 esposti e 1028 non esposti. Le esclusioni di alcuni soggetti dal database sono state dovute a una mancata esposizione quotidiana alla movimentazione manuale dei carichi e, in alcune aziende, alla non corrispondenza tra dati clinici e dati di esposizione al rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide.

Lo studio dell’associazione tra esposizione al rischio, con indice VLI, e il danno, come lombalgia acuta, è stato eseguito con una analisi logistica di regressione (Kleinbaum, Kupper and Morgenstern, 1982), considerando una variabile di risposta binaria per ogni soggetto relativamente alla presenza del danno (“*almeno un episodio di lombalgia acuta negli ultimi 12 mesi*”) ovvero l’assenza del danno (nessun episodio). Per ogni livello di indice di rischio è stata calcolata la Prevalenza di Odds Ratio (POR o semplicemente OR), utilizzando come popolazione di riferimento i soggetti non esposti provenienti dalle stesse aziende dei soggetti esposti, assicurando così una raccolta dati spazio-tempo specifica per entrambi.

In questo caso l’utilizzo dell’OR, e quindi della analisi logistica di regressione, è appropriato in quanto la frequenza della presenza delle lombalgie acute nel campione

è al di sotto del 10%, e inoltre l'OR può essere interpretato come stima del rischio relativo (rapporto delle proporzioni).

Le prime analisi sono state eseguite con dati grezzi, e successivamente le analisi multivariate hanno previsto gli aggiustamenti per i fattori di confondimento individuate (sesso, età e BMI).

Il software utilizzato per l'analisi statistica è stato PROC GENMOD in SAS (SAS Institute, Cary, NC).



## 4.2 Risultati

Il campione totale per l'analisi dei dati è stato di 3402 soggetti, di cui 1028 non esposti e 2374 esposti (11 soggetti tra gli esposti sono stati eliminate in quanto non raggiungevano il periodo di almeno un anno nello svolgimento della loro attuale attività).

Sono stati valutati 298 attività di sollevamento manuale, di cui 37 rientravano nella condizione critica della distanza orizzontale ( $H > 63$  cm) e 22 superavano i 175 cm dell'altezza limite per il fattore verticale ( $V > 175$  cm).

La Tabella 12 mostra una prima analisi descrittiva del campione in termini di livelli di indice di rischio  $VLI_{EU}$  e alcune variabili. Appare evidente come la numerosità dei soggetti all'interno delle varie categorie di  $VLI_{EU}$  sia cospicua. Non sono presenti differenze rilevanti in merito alla variazione dell'età tra le categorie, né per BMI, per anzianità di mansione e per anzianità di settore. Per quanto riguarda i soggetti esposti invece esiste un aumento del rapporto tra maschi e femmine in relazione all'incremento dell'indice di rischio, in particolare per il livello più elevato.

Tabella 12 - Descrizione del campione in funzione dei livelli dell'indice di rischio  $VLI_{EU}$

Variabili	Classi Variable Lifting Index $VLI_{EU}$ *				
	Non esposti	Esposti			
	$VLI = 0$	$0 < VLI \leq 1$	$1 < VLI \leq 2$	$2 < VLI \leq 3$	$VLI > 3$
Età media (aa)	43.5	40.3	43	42.5	42.5
Genere (M/F)	2.35	1.6	1.8	1.9	7.3
BMI medio	25	24.8	25.5	25.4	26.3
Anni stesso settore (media)	15.4	13.4	14.5	14	14.7
Anni stessa attività (media)	13.6	11	12.3	12.4	11.8
Numero lavoratori	<b>1028</b>	<b>329</b>	<b>626</b>	<b>960</b>	<b>459</b>

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) indicate nello standard ISO/TR 12295

In Tabella 13 la descrizione del campione è stata fatta in funzione del calcolo del VLI con la costante di peso proposta dal NIOSH, pari a 23 kg. Da questo punto di vista ciò che appare evidente è la diminuzione del numero dei soggetti esposti all'aumentare dell'indice di rischio, così come per rapporto tra maschi e femmine all'aumentare dell'indice di rischio. Per le altre variabili non ci sono particolari differenze rispetto alla Tabella 12.

**Tabella 13 - Descrizione del campione in funzione dei livelli dell'indice di rischio VLI<sub>23</sub>**

Variable	Classi Variable Lifting Index <b>VLI<sub>23</sub></b> *				
	Non esposti	Esposti			
	VLI = 0	0 < VLI ≤ 1	1 < VLI ≤ 2	2 < VLI ≤ 3	VLI > 3
Età media (aa)	43.5	41.3	42.7	42.7	41.9
Genere (M/F)	2.35	1.4	1.7	2.7	9.4
BMI medio	25	25.23	25.2	25.7	26.2
Anni stesso settore (media)	15.4	13.6	14.6	13.8	14.8
Anni stessa attività (media)	13.6	11.5	12.6	12.0	11.7
Numero lavoratori	<b>1028</b>	<b>477</b>	<b>755</b>	<b>806</b>	<b>336</b>

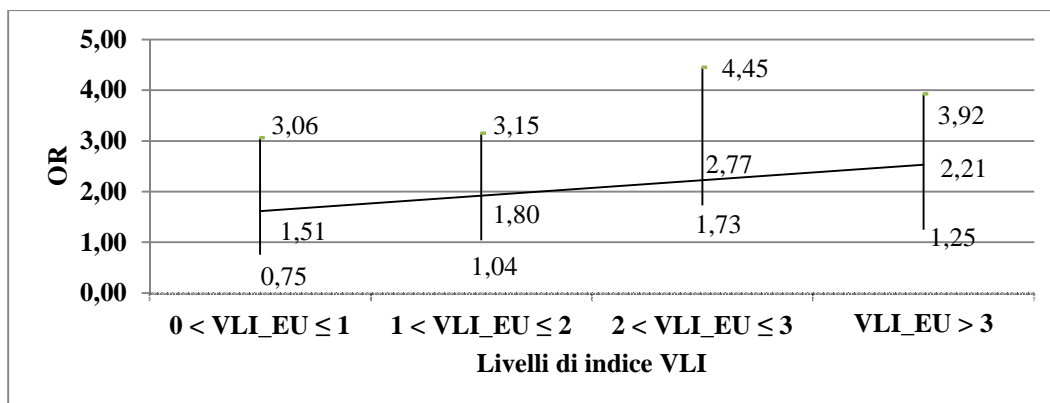
\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) NIOSH-RNLE

La Tabella 14 fornisce una prima analisi statistica, indipendente dai fattori di confondimento, associando i livelli di indice di rischio alla presenza o meno di episodi di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti. All'aumentare del VLI<sub>EU</sub> i valori di OR hanno lo stesso andamento (non per la categoria di rischio superiore a 3). Non di meno la tendenza lineare dell'OR indica una relazione tra livello di rischio e probabilità di insorgenza di lombalgia acuta (Grafico 5).

**Tabella 14 - Analisi grezza dell'associazione tra VLI<sub>EU</sub> ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti**

Variable Lifting Index <b>EU</b> *	odds	OR	95% CI	
			LI	UI
<b>VLI<sub>EU</sub> = 0</b>	0.024925	1	<b>Reference</b>	
<b>0 &lt; VLI<sub>EU</sub> ≤ 1</b>	0.037855	1.51	0.754	3.055
<b>1 &lt; VLI<sub>EU</sub> ≤ 2</b>	0.045076	1.80	1.040	3.145
<b>2 &lt; VLI<sub>EU</sub> ≤ 3</b>	0.069045	2.77	1.726	4.445
<b>VLI<sub>EU</sub> &gt; 3</b>	0.055172	2.21	1.250	3.919

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) indicate nello standard ISO/TR 12295 - **Linear trend** per **OR = 1,2445; p = 0,001**



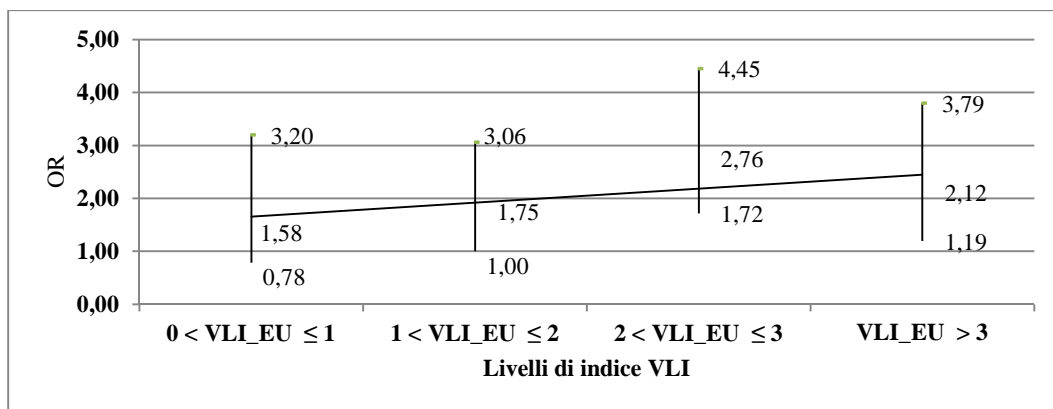
**Grafico 5 - OR grezzo VLI<sub>EU</sub> associato alla lombalgia acuta**

Come presentato in Tabella 15 il risultato dei vari OR non si modifica di molto, pur aggiungendo i vari fattori di confondimento (BMI, genere ed età). La tendenza lineare continua ad essere positiva (Grafico 6). L'unica variabile di confondimento che ha un ruolo importante è il BMI in particolare per i soggetti sottopeso. Seppur gli indici  $VLI_{EU}$  sono già calcolati distinguendo per genere ed età le varie costanti di peso, i seguenti dati confermano l'ipotesi che questi fattori siano irrilevanti. In entrambe le analisi statistiche sopra presentate gli intervalli di confidenza degli OR sono significativi al 95%, per valori di  $VLI_{EU}$  superiori ad 1.

**Tabella 15 - Associazione tra  $VLI_{EU}$  ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età**

Variable Lifting Index $_{EU}$	odds	OR	95% CI	
			LI	UI
$VLI_{EU} = 0$	0.034024	1	<b>Reference</b>	
$0 < VLI_{EU} \leq 1$	0.053821	1.58	0.782	3.196
$1 < VLI_{EU} \leq 2$	0.059606	1.75	1.004	3.055
$2 < VLI_{EU} \leq 3$	0.094024	2.76	1.718	4.445
$VLI_{EU} > 3$	0.072411	2.12	1.193	3.794
<b>Body Mass Index</b>				
Normopeso	0.031236	1	<b>Reference</b>	
Sottopeso	0.126085	4.03	1.495	10.897
Sovrappeso	0.0494	1.58	1.084	2.305
Obeso	0.064235	2.05	1.263	3.345
<b>Genere</b>				
Femmina	0.062101	1	<b>Reference</b>	
Maschio	0.056932	0.91	0.633	1.327
<b>Età (aa)</b>				
15-34	0.040591	1	<b>Reference</b>	
35-54	0.064797	1.59	0.921	2.764
$\geq 55$	0.079914	1.96	0.911	4.251

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) indicate nello standard ISO/TR 12295 - **Linear trend** per **OR = 1.2298; p = 0,002**



**Grafico 6 - OR VLI<sub>EU</sub> associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età**

La medesima analisi statistica è stata svolta per VLI<sub>23</sub>, che prende in considerazione la costante di peso (massa di riferimento sollevabile in condizioni ideali) proposta nella formula NIOSH RNLE. La Tabella 16 e la Tabella 17 presentano rispettivamente i dati prima con analisi statistica grezza e successivamente con analisi aggiustata per i fattori di confondimento selezionati (Grafico 7, Grafico 8). Da notare come i dati siano molto simili a quelli che si evincono nelle analisi relative a VLI<sub>EU</sub>. Infatti anche in questo caso l'unico fattore di confondimento che incide è il BMI. In entrambe le analisi statistiche di seguito presentate gli intervalli di confidenza degli OR sono significativi al 95%, per valori di VLI<sub>23</sub> superiori ad 1. Inoltre in questa analisi ci si aspettava che anche i fattori di confondimento di genere ed età fossero importanti, in quanto non ne viene tenuto conto, ma questo risultato era già stato presentato da Waters nei suoi precedenti studi (1999, 2011).

**Tabella 16 - Analisi grezza dell'associazione tra VLI<sub>23</sub> ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti**

Variable Lifting Index 23	odds	OR	95% CI	
			LI	UI
VLI <sub>23</sub> = 0	0.024925	1	Reference	
0 < VLI <sub>23</sub> ≤ 1	0.039388	1.580	0.853	2.925
1 < VLI <sub>23</sub> ≤ 2	0.04414	1.771	1.040	3.01
2 < VLI <sub>23</sub> ≤ 3	0.076101	3.053	1.890	4.932
VLI <sub>23</sub> > 3	0.056603	2.271	1.223	4.216

\* RWL calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) NIOSH-RNLE

Linear trend per OR = 1.258474; p = 0,0009

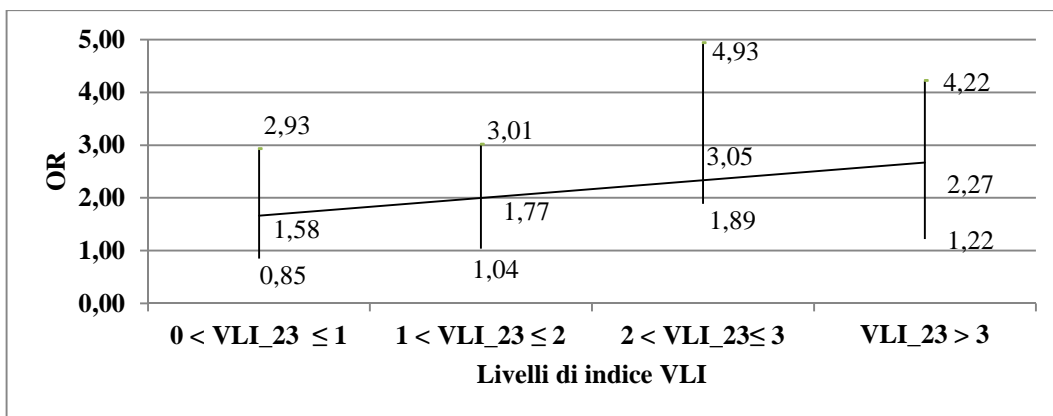


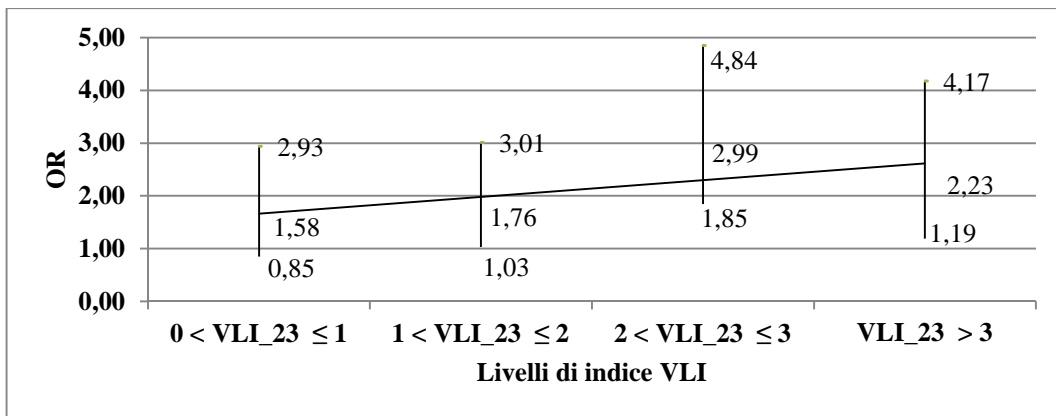
Grafico 7 - OR grezzo VLI<sub>23</sub> associato alla lombalgia acuta

Tabella 17 - Associazione tra VLI<sub>23</sub> ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età

Variable Lifting Index 23	odds	OR	95% CI	
			LI	UI
<b>VLI<sub>23</sub> = 0</b>	0.0340	1	<b>Reference</b>	
0 < VLI <sub>23</sub> ≤ 1	0.0536	1.577	0.848	2.932
1 < VLI <sub>23</sub> ≤ 2	0.0598	1.761	1.031	3.006
2 < VLI <sub>23</sub> ≤ 3	0.1016	2.989	1.846	4.842
VLI <sub>23</sub> > 3	0.0758	2.229	1.192	4.169
<b>Body Mass Index</b>				
Normopeso	0.0327	1	<b>Reference</b>	
Sottopeso	0.1271	3.887	1.439	10.500
Sovrappeso	0.05	1.546	1.060	2.255
Obeso	0.0656	2.006	1.233	3.264
<b>Genere</b>				
Femmina	0.0652	1	<b>Reference</b>	
Maschio	0.0569	0.873	0.602	1.265
<b>Età (aa)</b>				
15-34	0.0416	1	<b>Reference</b>	
35-54	0.0667	1.604	0.926	2.778
≥ 55	0.0816	1.963	0.909	4.238

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) NIOSH-RNLE

**Linear trend per OR = 1.25143; p = 0,0014**



**Grafico 8 - OR VLI<sub>23</sub> associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età**

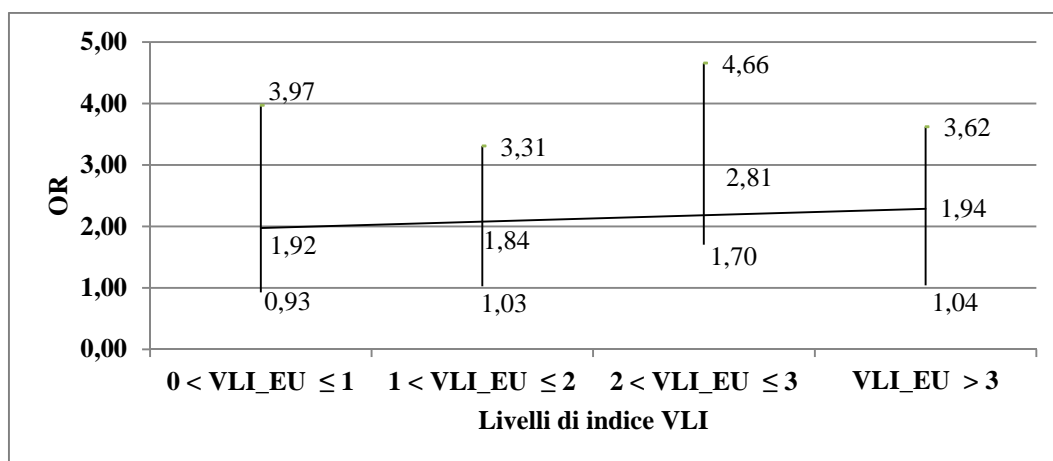
Un altro elemento che è stato necessario analizzare è quello delle basse frequenze osservate in termini di sollevamenti manuali durante il turno di lavoro. Tra i criteri di inclusione dei compiti di sollevamento negli studi di Waters (1999, 2011) era necessario che questi prevedessero almeno 25 sollevamenti al giorno. Questo criterio deriva dalla definizione di “compito frequente” (Liles and Deivanayagam, 1984) utilizzato per il calcolo del “Job Severity Index” (JSI). Nello studio tale definizione rispondeva alla presenza di almeno 25 sollevamenti al giorno/turno, il sollevamento di un oggetto del peso di almeno 4.53kg e con una esposizione di almeno 2 ore al giorno. Nella formula del NIOSH RNLE (Waters, 1994) il valore del fattore frequenza è relativo alla durata del compito di sollevamento manuale. Per sollevamenti cosiddetti infrequenti la frequenza è inferiore a 0.1 sollevamenti al minuto e per questi è sufficiente considerare la durata breve di un’ora. In questo modo il fattore frequenza è pari a 1. In questi casi può accadere che il valore dell’indice VLI sia uguale al valore dell’indice LI più elevato, in questo modo il contributo degli altri sub-compiti è nullo.

Per verificare in che modo i sollevamenti “rari”, infrequenti, possono incidere sull’esposizione a determinati livelli di rischio è stata eseguita una analisi eliminando i compiti con frequenza inferiore allo 0.1 sollevamenti al minuto. Questa restrizione ha ridotto il campione da 2374 esposti a 1083 esposti. Seppur la riduzione è stata del 24% questo ha lasciato invariata la distribuzione degli esposti nelle varie categorie di rischio.

**Tabella 18 - Associazione tra VLI<sub>EU</sub> ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età, per compiti con F ≥ 0.1**

Variable Lifting Index _EU	odds	OR	95% CI	
			LI	UI
VLI <sub>EU</sub> = 0	0.0323	<b>1</b>	<b>Reference</b>	
0 < VLI <sub>EU</sub> ≤ 1	0.0618	1.917	0.926	3.968
1 < VLI <sub>EU</sub> ≤ 2	0.0594	1.841	1.025	3.307
2 < VLI <sub>EU</sub> ≤ 3	0.0907	2.813	1.699	4.656
VLI <sub>EU</sub> > 3	0.0626	1.939	1.039	3.620
<b>Body Mass Index</b>				
Normopeso	0.0343	1	<b>Reference</b>	
Sottopeso	0.0921	2.683	0.777	9.257
Sovrappeso	0.0524	1.524	1.005	2.310
Obeso	0.0697	2.028	1.197	3.436
<b>Genere</b>				
Femmina	0.0631	1	<b>Reference</b>	
Maschio	0.0538	0.853	0.571	1.272
<b>Età (aa)</b>				
15-34	0.0400	1	<b>Reference</b>	
35-54	0.0622	1.557	0.861	2.818
≥ 55	0.0796	1.993	0.883	4.498

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) indicate nello standard ISO/TR 12295 - **Linear trend** per **OR = 1.1862; p = 0,0182**



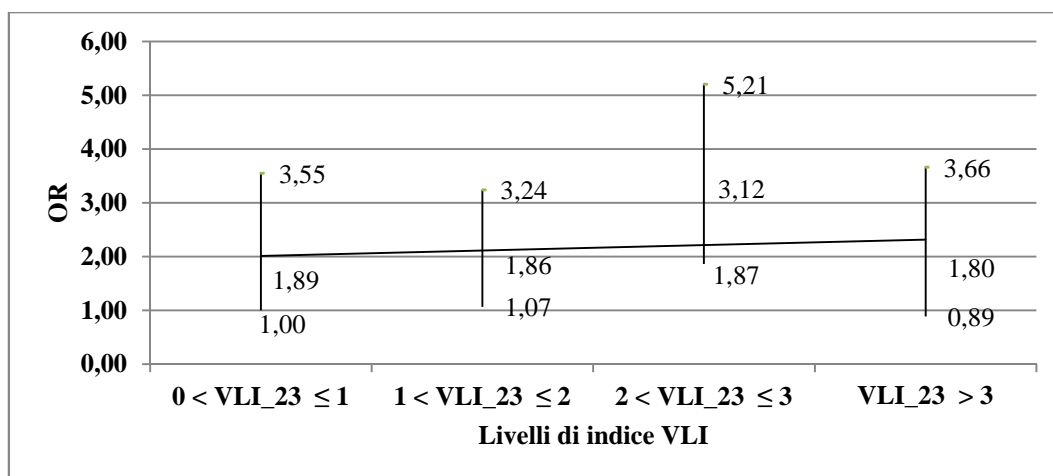
**Grafico 9 - OR VLI<sub>EU</sub> associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età, per compiti con F > 0.1**

Nella Tabella 18 e nella Tabella 19 sono presentate le analisi statistiche distinte per VLI<sub>EU</sub> e VLI<sub>23</sub> per le quali sono stati selezionati i compiti con F ≥ 0.1. Paragonando le due analisi con quelle precedentemente effettuate non sono state riscontrate particolari differenze. L'unica cosa che si evince è una leggera diminuzione del trend lineare e una differenza inferiore di OR tra le classi VLI <1 e VLI <2 (Grafico 9).

**Tabella 19 - Associazione tra VLI<sub>23</sub> ed episodio di lombalgia acuta nei 12 mesi precedenti; aggiustata per BMI, genere ed età, per compiti con F ≥ 0.1**

Variable Lifting Index 23	odds	OR	95% CI	
			LI	UI
VLI <sub>23</sub> = 0	0.0320	<b>1</b>	<b>Reference</b>	
0 < VLI <sub>23</sub> ≤ 1	0.0604	1.885	1.000	3.551
1 < VLI <sub>23</sub> ≤ 2	0.0596	1.861	1.067	3.243
2 < VLI <sub>23</sub> ≤ 3	0.0998	3.116	1.865	5.205
VLI <sub>23</sub> > 3	0.0577	1.803	0.888	3.661
<b>Body Mass Index</b>				
Normale	0.0349	1	<b>Reference</b>	
Sottopeso	0.0913	2.612	0.756	9.026
Sovrappeso	0.0518	1.482	0.977	2.248
Obeso	0.0692	1.981	1.169	3.357
<b>Genere</b>				
Femmina	0.0637	1	<b>Reference</b>	
Maschio	0.0530	0.831	0.560	1.234
<b>Età (anni)</b>				
15-34	0.0402	1	<b>Reference</b>	
35-54	0.0628	1.561	0.862	2.826
≥ 55	0.0778	1.934	0.857	4.366

\*RWL calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali)  
 NIOSH-RNLE - Linear trend per OR = 1.1831; p = 0.0315



**Grafico 10 - OR VLI<sub>23</sub> associato alla lombalgia acuta corretto per BMI, genere ed età, per compiti con F > 0.1**



### 4.3 Discussione e conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti è innegabile, nonostante alcuni limiti che saranno riportati, l'esistenza di una relazione tra indice di rischio VLI e la manifestazione di un episodio di lombalgia acuta negli ultimi 12 mesi.

Le analisi statistiche dimostrano che il rischio di avere esperienza di una lombalgia acuta cresce linearmente all'aumentare dell'indice di rischio a partire da 1.0 fino a 3.0, sia per  $VLI_{EU}$  sia per  $VLI_{23}$ . Questo risultato così evidente è dovuto alla numerosità del campione, dal numero degli esposti all'interno di ogni categoria di rischio e dal numero dei compiti osservati.

Questo metodo dall'applicazione semplice, per valutare situazioni organizzative altamente complesse e variabili, non era ancora disponibile tra gli altri metodi di valutazione del rischio da sollevamento manuale dei carichi. Riuscire a semplificare gli strumenti di valutazione è fortemente conveniente in quanto permette di spostare le risorse necessarie all'effettuazione della valutazione del rischio, alla ricerca delle strategie di miglioramento di quelle situazioni individuate come fonte di esposizione. Uno strumento in grado di stimare la percentuale di lavoratori a rischio di sviluppare lombalgia acuta dovuta alla tipologia di esposizione al rischio da sollevamento manuale dei carichi, è da considerarsi un'importante applicazione pratica.

Considerando che il Variable Lifting Index è una evoluzione della Revised Lifting Equation (Waters, 1994), questo comporta che anche esso abbia gli stessi limiti di applicabilità. Alcuni di questi limiti sono stati considerati nello studio, come l'esclusione di compiti di sollevamento che andassero oltre le 8 h al turno, attività di sollevamento svolte inginocchiati o seduti, sollevamenti eseguiti in spazi di lavoro ristretti, e attività con compiti di traino e spinta preponderanti rispetto a quelle di sollevamento manuale, altrimenti considerate residuali. Altri limiti che sono stati posti nello studio, perché difficili da valutare nella pratica, sono stati la velocità del movimento di sollevamenti e il coefficiente di frizione tra la suola delle scarpe e il pavimento.

Inoltre ci sono altri criteri di inapplicabilità come il sollevamento di oggetti con un solo arto o da parte di due operatori contemporaneamente, sollevamenti che superano la soglia dei 175 cm di altezza verticale o i 63 cm di distanza orizzontale, per i quali il fattore è pari a 0.

Per quanto riguarda lo studio, questi ultimi limiti sono stati elusi considerando quanto esplicitato dalle norme internazionali UNI ISO 11228-1 e UNI EN 1005-2. Come è stato spiegato nei capitoli precedenti, nella UNI ISO 11228-1 e nella UNI EN 1005-2 sono stati considerati studi biomeccanici che hanno permesso di stimare dei fattori correttivi per integrare nella formula una variabile che riproducesse il carico discale dovuto al sollevamento con un arto. Dagli studi è emerso che per le forze compressive la differenza tra sollevamento con un arto e sollevamento con due arti non era particolarmente rilevante, mentre le forze di taglio A/P e laterali aumentavano visibilmente (Mital, Nicholson and Ayoub, 1997; Marras and Davis, 1998; Marras, 2008). Allo stesso modo è stato fatto per il sollevamento simultaneo di un oggetto in due o più operatori. In questo caso è stato preso di riferimento quanto presentato nello Standard Europeo En 1005-2 per il quale il RWL ha un fattore moltiplicativo aggiuntivo di 0.85, e il peso sollevato viene diviso per 2. La letteratura in merito è un po' contraddittoria (Karwowski 1988; Sharp et al., 1995; Rice et al., 1995; Marras et al., 1999; Marras, 2008), considerando che solamente uno studio dimostra che il sollevamento in più operatori riduce il carico delle forze di compressione e torsione, a livello della L4/L5, di circa il 20%, rispetto al sollevamento individuale (Dennis and Barret, 2002). Nel sollevamento con più operatori sarebbero da considerare altre caratteristiche che sono la simultaneità e la coordinazione dei movimenti (Marras, 2008).

Per quanto riguarda i limiti dovuti alle geometrie di movimentazione è stato scelto di non escludere quei compiti che risultavano in *condizioni critiche* ( $V > 175$  cm,  $H > 63$  cm), e quindi per effettuare la valutazione sono stati considerati i valori moltiplicativi peggiori del metodo VLI.

Dalle analisi statistiche sono emersi alcune evidenze. Una di queste è la differenza statistica rilevante tra il livello di rischio  $1 < VLI < 2$  e il gruppo dei non esposti, questa differenza non è invece così presente se il confronto viene fatto con il livello  $0 < VLI < 1$ . In particolare questa differenza è ancora inferiore quando non si considerano i compiti di sollevamento con una frequenza inferiore allo 0.1 (sollevamenti/minuto). Questo fenomeno potrebbe essere dovuto alla scelta della variabile *danno* in quanto i compiti in cui la frequenza di sollevamento è bassa, esiste la possibilità che questi possano causare, al momento del loro sollevamento, lombalgia acuta. La scelta di questa variabile dunque non può spiegare completamente l'effetto dei sollevamenti occasionali. C'è comunque da confermare

che così come per lo studio di Waters per LI e CLI, i dati provenienti dalle analisi sono molto simili per le stesse categorie di peso, seppur la variabile *danno* considerata e la sua rilevazione fossero differenti.

In merito alla classe di rischio  $2 < \text{VLI} < 3$  si osserva un OR chiaramente rilevante rispetto agli altri in tutte le analisi svolte, mentre per il livello di rischio  $\text{VLI} < 3$  non è visibile un ulteriore incremento. Questo andamento si definisce come “*effetto del lavoratore sano*”, che appare in numerosi studi epidemiologici. Nonostante queste considerazioni ciò che è inequivocabile è la presenza di un trend positivo della relazione.

Per quanto riguarda ciò che può essere definito come il *carico cumulativo* si necessita di un approfondimento. Questo perché gli episodi di lombalgia acuta sono riferiti in particolare alla tipologia dei compiti di sollevamento, in termini di geometrie e organizzazione del lavoro, anziché ad un riferimento al totale dei pesi sollevati durante il turno. Ancorché siano indispensabili ulteriori studi, questo aspetto sottolinea il fatto che la base teorica del NIOSH come metodo di valutazione, che possa essere LI, CLI o VLI, è realmente efficace nel predire la probabilità di insorgenza della lombalgia acuta per i soggetti esposti a qualsiasi livello di rischio. Rimane pur sempre di interesse generale il tema relativo alla definizione di un metodo in grado di valutare l'effetto cumulativo dell'esposizione al rischio rispetto all'insorgenza della lombalgia (Coenen et al., 2013).

I risultati dello studio inoltre non presentano alcune differenze rispetto alla distinzione per genere ed età, seppur nello formula NIOSH (1994) compare la costante di peso pari 23 kg (massa di riferimento sollevabile in condizioni ideali), che protegge il 90% degli uomini e il 75% delle donne. A tal proposito vale la pena citare anche quanto esposto nel 1962 dall'International Labour Office ([ILO], “Lifting and Carrying”, 1962), che suggerisce di differenziare i limiti di peso per genere ed età anche per sollevamenti occasionali. Diversi autori si pronunciano a riguardo affermando la necessità di tenere in considerazione queste due variabili in termini di prevenzione (Jaeger and Luttmann, 1991; Jager, Luttmann and Laurig, 1999; Adams, McNally and Dolan, 1996; Garg, 1991; Mital, Nicholson and Ayoub, 1997; Marras 2008).

In merito a questi aspetti l'International Organization for Standardization (ISO TR 12295) prevede un approccio protettivo, dove l'intenzione è quella di promuovere la prevenzione di tale rischio, nonostante non si è ancora in grado di definire quale costante di peso sia da applicare alla formula per il calcolo dell'indice, in relazione ad età e genere.

Altro aspetto da portare a conoscenza, per quanto riguarda la validazione del Lifting Index (Waters 1999, 2011, Lu 2014), è la considerazione di una ulteriore variabile come fattore di confondimento, cioè i fattori psicosociali. Dagli studi l'unico fattore di questo tipo che ha una significatività statistica risulta essere la soddisfazione lavorativa. Sebbene nella letteratura scientifica i fattori psicosociali sono messi in risalto nella determinazione delle lombalgie (Hoogendoorn et al., 2000; National Academy of Sciences [NAS], 2001; Yu et al., 2012; Sterud and Tynes, 2013; Widanarko, Legg, Devereux and Stevenson, 2015) pochi studi considerano sia fattori biomeccanici sia fattori psicosociali. Uno dei limiti di questo studio è proprio il fatto di non aver considerato questi ultimi, sebbene sembrano essere importanti quando i livelli di esposizione al sollevamento manuale dei carichi risultano essere bassi (Marras, 2008)

Durante l'avanzamento del progetto è stato anche possibile comprendere come poter apportare soluzioni di miglioramento alle condizioni di lavoro, nelle attività di sollevamento manuale, semplicemente simulandone l'effetto grazie al file Excel a disposizione. Questo strumento è risultato quindi fondamentale per poter comprendere e stimare quali ripercussioni potessero avere le scelte decisionali in merito alla prevenzione, sulla base di una analisi costo benefici delle soluzioni trovate. Inoltre il è stata omogeneizzata la procedura di calcolo dell'indice di rischio e nel contempo la semplificazione del metodo ha permesso di spostare gli sforzi, anche economici, dalla valutazione del rischio verso la ricerca dei miglioramenti, sia strutturali sia organizzativi, andando incontro all'interesse dell'efficienza produttiva aziendale.

## 5 LA MASSA CUMULATA

Uno dei limiti riscontrati, all'interno della valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide con metodo NIOSH VLI, è stato quello di avere risultati di indice uguali per compiti diversi con masse cumulate diverse. Questo problema indica che non si tiene in considerazione il volume dei pesi sollevati in termini di quantità di massa, ma solamente la tipologia del sollevamento in termini di geometrie di spostamento. Per questo motivo è stato deciso di approfondire ulteriormente questo argomento, tentando di dimostrare, attraverso i dati a disposizione, e successivo studio statistico, la presenza di una possibile relazione tra VLI e massa cumulata ed efficacia nel predire con quale probabilità possa insorgere una lombalgia acuta, se esposti ad un determinato livello di rischio.

Di seguito sarà descritto quanto è stato riscontrato da una ulteriore analisi bibliografica, elaborazione dei dati e analisi degli stessi con relative conclusioni.

### 5.1 Introduzione

Il concetto di *massa cumulata* è stato introdotto, in termini di limiti di esposizione, all'interno dello Standard ISO 11228-1 per il sollevamento e per il trasporto manuale dei carichi. Sebbene alcuni autori abbiano cercato di dimostrare l'ipotesi di una relazione positiva tra il *carico discale cumulato* e i disturbi lombari (Kumar, 1990; Coenen, Kingma, Boot, Bongers, & van Dieën, 2013; Norman et al., 1998), per la *massa cumulata*, calcolata come il prodotto tra il totale del peso degli oggetti sollevati in un turno in funzione della frequenza di sollevamento, non sono presenti studi in letteratura che abbiano considerato questa variabile nell'analisi della relazione tra movimentazione manuale dei carichi e lombalgia (Garg, Boda et al., 2014; Lavender, Oleske, Nicholson, Andersson, & Hahn, 1999; Lu, Waters, Krieg, & Werren, 2014; Wang et al., 1998; Waters et al., 1999; Waters, Lu, Piacitelli, Werren, & Deddens, 2011). Studi simili sono stati fatti anche per i carichi massimi sostenuti dai corpi vertebrali (Norman et al., 1998, Neumann et al., 2001).

McGill (1997) ha ipotizzato il danno che può verificarsi a livello delle unità motorie vertebrali (corpi vertebrali, dischi intervertebrali, legamenti e faccette articolari) può avvenire in due modi: uno dovuto ad un sovraccarico improvviso oltre il livello di tolleranza e un altro determinato da sforzi ripetuti di carico della colonna che determinano comunque una riduzione del livello di tolleranza, per poi causare un deterioramento del corpo vertebrale. Il metodo NIOSH 1994 (Waters, Putz-Anderson

& Garg, 1994) contiene al suo interno, in modo intrinseco, la combinazione del carico di picco massimo e quello cumulato all'interno del fattore frequenza, definito come "numero di sollevamenti al minuto" in relazione alla durata dell'attività di sollevamento nel turno. Quando la frequenza è inferiore ad un sollevamento ogni dieci minuti, lo scenario di durata che si seleziona è quello cosiddetto *breve*, di un'ora (Waters et al., 1994). Chiaramente si tratta di un approccio molto cautelativo dal punto di vista della tutela della salute e sicurezza dei lavoratori. Tuttavia in alcune situazioni seppur alcuni compiti con frequenze di sollevamento basse e stessi indici di sollevamento possono avere masse cumulate molto diverse tra loro. In condizioni ideali il risultato della massa cumulata per un oggetto del peso di 23kg, sollevato una volta ogni ora in un turno di 8 ore, è pari a 184kg. Se lo stesso oggetto fosse sollevato una volta ogni 10 minuti la massa cumulata risulterebbe essere di 1104kg, da sottolineare che il Lifting Index per entrambe le situazioni è pari a 1 (LI=1). Questa differenza in termini di massa cumulata è stata riscontrata nello studio di associazione tra VLI e lombalgia acuta (Battevi, Pandolfi & Cortinovia, 2016) e all'interno delle varie classi di rischio VLI sono contenute masse cumulate molto diverse tra loro a parità di indice.

La *massa cumulata* dovrebbe essere considerata come stima del carico cumulativo delle forze che agiscono sulla colonna vertebrale. Utilizzando il database a disposizione dallo studio precedente (Battevi et al., 2016), è stato possibile approfondire l'argomento e analizzare come modificare il VLI considerando la massa cumulata, e testare allo stesso tempo la sua efficacia nel predire l'aumento di probabilità dell'insorgenza della lombalgia acuta nei soggetti esposti. Si presuppone che il rischio di sviluppare la lombalgia acuta può variare in relazione alla massa cumulata, all'interno di una singola categoria di rischio VLI.

## **5.2 Materiale e metodi**

Sulla base del database a disposizione le informazioni in merito alla massa cumulata sono state recuperate dal precedente studio (Battevi et al., 2016). Il campione dei soggetti esposti rispettava quindi i criteri di inclusione che sono:

- i. Aver svolto l'attività di sollevamento in modo quotidiano nell'anno precedente
- ii. Aver svolto almeno 12 mesi nell'attività di sollevamento attuale

- iii. Le attività di traino, spinta e trasporto dovevano essere attività residuali rispetto all'intero compito di lavoro nel turno
- iv. Non devono essere svolte attività che espongano il lavoratore a vibrazioni a corpo intero
- v. L'esposizione ad attività di sollevamento per più di otto ore nel turno di lavoro non è ammesso
- vi. I soggetti non esposti sono stati reclutati nelle stesse aziende degli esposti, ma non devono aver in alcun modo attività di sollevamento, svolgendo attività amministrative, impiegatizia.

Lo studio ha previsto la partecipazione al progetto di 16 aziende che hanno aderito volontariamente. Utilizzando l'approccio della valutazione del rischio secondo uno schema di "analisi organizzativa sistematica" (Waters, Occhipinti, Colombini, Alvarez-Casado, & Fox, 2016), per ogni soggetto esposto è stato calcolato il rispettivo indice di esposizione al rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide. Grazie a queste valutazioni è stato possibile avere le informazioni relative alla massa cumulata di ogni compito valutato.

Ribadendo alcuni concetti che derivano dallo studio precedente si deve ricordare che:

- La valutazione del rischio è stata svolta da personale tecnico formato, che è stato seguito durante la raccolta dei dati e nella compilazione dei file per il calcolo dell'indice VLI; con possibile attività di sopralluogo;
- Per la raccolta dei dati anamnestici è stato utilizzato un questionario strutturato, somministrato dal personale sanitario dell'azienda, e successivamente caricato online per analizzare ed elaborare le informazioni acquisite.

### **5.2.1 La massa cumulata**

Lo Standard ISO 11228-1 (ISO, 2003) pone i primi limiti in termini di massima quantità di massa sollevabile da un lavoratore durante un turno di lavoro di 8 ore. Questo limite è stato posto per una massa complessiva di 10000kg. L'approfondimento che lo studio in essere vuole proporre è quello di comprendere

come la massa cumulata possa essere messa in relazione all'indice VLI e in termini di fattore moltiplicativo aggiuntivo.

Grazie al file Excel a disposizione, è possibile calcolare la massa cumulata per ogni compito semplicemente inserendo per classi di peso, che vanno da un peso superiore a 3kg fino a 25kg progressivamente di kilogrammo in kilogrammo, il numero degli oggetti sollevati, per quella classe, e il numero di sollevamenti per ognuno di essi.

Dopo aver analizzato dal punto di vista descrittivo la distribuzione della massa cumulata per i vari indici di rischio, sono stati assegnati dei valori che potessero rappresentare i possibili fattori moltiplicativi del VLI. Questi valori sono presentati in Tabella 20

**Tabella 20 - Classi dei moltiplicatori della massa cumulata (MC)**

<b>Cumulative Mass (in kg)</b>	<b>Multiplier</b>
< 100	1
100 < e 200	1,01
200 < e 300	1,02
300 < e 400	1,03
400 < e 500	1,04
500 < e 600	1,05
600 < e 700	1,06
700 < e 800	1,07
800 < e 900	1,08
900 < 1000	1,09
1000 < 2000	1,10
2000 < 3000	1,20
3000 < 4000	1,30
4000 < 5000	1,40
5000 < 6000	1,50
6000 < 7000	1,60
7000 < 8000	1,70
8000 < 9000	1,80
9000 < 10.000	1,90
10.000 < 15.000	2,00
15.000 < 20.000	2,50
20.000 < 30.000	3,00
30.000	4,00

Per applicare questi moltiplicatori della massa cumulata (MC) al calcolo dell'indice VLI è stata formulata la seguente equazione (Equazione 11):



**Equazione 11 - Formula per il calcolo del VLI aggiustato per la massa cumulata (MC) con masse di riferimento EN 1005-2 (a), con massa di riferimento NIOSH (1994).**

$$VLI_{EU\_MC} = VLI_{EU} * MC \quad (a)$$

$$VLI_{NIOSH\_MC} = VLI_{NIOSH} * MC \quad (b)$$

Per comprendere se l'associazione tra il nuovo indice, corretto per la massa cumulata, e la lombalgia acuta sia rimasta tale dallo studio precedente, è stato necessario ricondurre l'analisi logistica di regressione (Kleinbaum, Kupper and Morgenstern, 1982). Le due variabili di studio sono state di tipo binario: presenza del danno lombare, nei 12 mesi precedenti diagnosticata, per ogni soggetto, ovvero assenza della lombalgia acuta. L'analisi è stata condotta prendendo in considerazione le classi di rischio indicate dallo Standard ISO/TR 12295 (2014).

Per ogni classe di rischio sono stati calcolati la prevalenza degli Odds Ratio (POR o OR) e successivamente paragonati al gruppo di riferimento dei non esposti.

Per la prima analisi i dati sono stati lasciati in forma grezza, in un secondo momento sono state introdotte le variabili di confondimento precedentemente descritte e cioè BMI, genere ed età. Le analisi statistiche sono state condotte con il programma SAS (SAS Institute, Cary, NC).

### **5.3 Risultati**

Prima di assegnare i valori moltiplicativi alle varie categorie di massa cumulata è stata eseguita una analisi descrittiva dei dati, per comprendere come le masse cumulate si distribuiscono all'interno delle classi di rischio VLI. Le analisi sono state fatte sia per  $VLI_{EU}$  sia per  $VLI_{NIOSH}$ , rispettivamente in Tabella 21 e in

Tabella 22, come distribuzioni asimmetriche log-norm. I dati hanno mostrato valori molto variabili della massa cumulata per tutte le classi di indice VLI; da poche centinaia a migliaia di kg. Per i valori di MC tra 1000 e 10000 kg, è stato assegnato un moltiplicatore del 10% ogni 1000 kg di MC (quindi il fattore risultava essere 1.1; 1.2; ecc.), che aumentava l'indice di rischio. Quando le masse cumulate raddoppiavano, tra 10000 e 15000 kg, sono stati applicati fattori doppi; 2.5 volte più grande per le masse cumulative tra 15000 e 20000kg; tre volte più grandi per masse cumulative tra 20000 e 30000 e quattro volte più grandi per i valori superiori a MC 30000kg. I valori di massa cumulata tra 1 e 1000 kg sono stati trattati in modo

diverso. Il moltiplicatore 1 è stato originariamente scelto, in modo da lasciare il VLI finale inalterato. Tuttavia, la distribuzione dei valori delle masse cumulate nelle classi di indice VLI mostravano che circa il 38% del campione (con una punta del 61% per i valori VLI tra 2 e 3) risultasse essere in quella determinata classe di massa cumulata (tra 1 e 1000kg). Pertanto, questa classe è stata ulteriormente classificata e è stato assegnato un moltiplicatore del 1% ogni 100 kg (i.e.: 1.01; 1.02; etc.).

**Tabella 21 - Distribuzione delle masse cumulate (MC) in percentili, per classe di  $VLI_{EU}$**

$VLI_{EU}$	Massa Cumulata (kg)						
	N°	Media	Mediana	10° perc	25° perc	75° perc	90° perc
$0 < VLI \leq 1$	329	1205	900	104	159	1886	2625
$1 < VLI \leq 2$	626	1913	730	202	211	2609	4620
$2 < VLI \leq 3$	963	2064	448	198	299	3070	6793
$VLI > 3$	459	4183	1519	386	717	4014	13987

**Tabella 22 - Distribuzione delle masse cumulate (MC) in percentili, per classe di  $VLI_{NIOSH}$**

$VLI_{NIOSH}$	Massa Cumulata (kg)						
	N°	Media	Mediana	10° perc	25° perc	75° perc	90° perc
$0 < VLI \leq 1$	475	1336	1057	104	335	1940	3176
$1 < VLI \leq 2$	757	1783	465	202	257	2072	6240
$2 < VLI \leq 3$	806	2202	655	198	300	3084	7491
$VLI > 3$	336	5168	2620	386	775	6322	13987

In entrambi i casi la massa cumulata si modifica molto all'interno delle 4 classi di VLI. I valori che si trovano nella classe  $0 < VLI \leq 1$  sembra avere maggior significato rispetto le altre classi. Per questa categoria di rischio infatti, secondo quanto riportato dallo Standard ISO 11228-1 (ISO, 2003) e ISO/TR 12295 (ISO, 2014), nella interpretazione dell'indice si dice che a quel tipo di rischio "è accettabile per la maggior parte della popolazione di riferimento". Rimane comunque il fatto che il rimanente 50% dei soggetti esposti a tale livello solleva una massa cumulata di almeno una tonnellata al turno.

Paragonando questi dati alle analisi dello studio precedente (Battevi et al., 2016), l'aggiunta del moltiplicatore della massa cumulata (MC) nel calcolo del VLI genera un cambiamento nella composizione del campione (Tabella 23,

Tabella 24).

**Tabella 23 - Analisi descrittiva della distribuzione del campione in classi di VLI<sub>EU</sub> e VLI<sub>EU\_MC</sub>**

		N°	Età media	Rapporto (M/F)	BMI medio	Anni stesso settore (media)	Anni stesso compito (media)
<b>Non esposti</b>	VLI=0	1028	43,5	2,3	25,1	15,4	13,7
<b>VLI<sub>EU</sub></b>	0 < VLI ≤ 1	329	40,3	1,6	24,8	13,4	11,1
	1 < VLI ≤ 2	626	43,1	1,8	25,6	14,5	12,3
	2 < VLI ≤ 3	960	42,5	2,0	25,4	14,0	12,5
	VLI > 3	459	42,5	7,3	26,3	14,7	11,8
<b>VLI<sub>EU_MC</sub></b>	0 < VLI ≤ 1	294	40,0	1,5	24,8	13,1	10,9
	1 < VLI ≤ 2	569	43,1	1,6	25,5	15,0	12,8
	2 < VLI ≤ 3	548	43,0	1,8	25,4	15,3	13,0
	VLI > 3	963	42,2	4,1	25,9	13,5	11,5

**Tabella 24 - Analisi descrittiva della distribuzione del campione in classi di VLI<sub>NIOSH</sub> e VLI<sub>NIOSH\_MC</sub>**

		N°	Età media	Rapporto (M/F)	BMI medio	Anni stesso settore (media)	Anni stesso compito (media)
<b>Non esposti</b>	VLI=0	1028	43,5	2,3	25,09	15,4	13,7
<b>VLI<sub>NIOSH</sub></b>	0 < VLI ≤ 1	475	41,3	1,4	25,24	13,7	11,6
	1 < VLI ≤ 2	757	42,7	1,7	25,20	14,6	12,6
	2 < VLI ≤ 3	806	42,7	2,7	25,71	13,9	12,0
	VLI > 3	336	41,9	8,3	26,23	14,8	11,9
<b>VLI<sub>NIOSH_MC</sub></b>	0 < VLI ≤ 1	416	41,1	1,2	24,97	13,5	11,2
	1 < VLI ≤ 2	666	42,7	1,8	25,40	15,0	13,2
	2 < VLI ≤ 3	646	43,1	3,3	25,78	15,4	13,1
	VLI > 3	646	41,9	3,1	25,76	12,6	10,5

In queste tabelle si evidenziano alcuni aspetti interessanti che sono lo spostamento di un gran numero di soggetti esposti in una classe di rischio superiore, mentre il rapporto M/F non aumenta così rapidamente con i livelli di rischio.

In Tabella 25 si evince dall'analisi grezza dell'associazione tra indice di rischio modificato con il moltiplicatore della massa cumulata e insorgenza della lombalgia acuta avvenuta negli ultimi 12 mesi.

L'analisi grezza presenta degli OR significativamente positivi. Nell'intervallo del VLI<sub>EU\_MC</sub> da 1 a 3, gli OR relativi alla lombalgia acuta aumentano con crescere del

livello di rischio  $VLI_{EU\_MC}$ . È importante inoltre sottolineare la presenza di un trend lineare degli OR che segue l'andamento del livello di esposizione.

Per quanto riguarda i fattori di confondimento presi in considerazione sono il Body Mass Index, il genere e l'età (raggruppati in classi).

**Tabella 25 – Analisi grezza dell'associazione tra  $VLI_{EU\_MC}$  e insorgenza della lombalgia acuta degli ultimi 12 mesi**

Variable Lifting Index $_{EU\_MC}$	OR	95% CI	
		LI	UI
$VLI_{EU\_MC} = 0$	1	Reference	
$0 < VLI_{EU\_MC} \leq 1$	1.267	0.585	2.745
$1 < VLI_{EU\_MC} \leq 2$	1.999	1.149	3.478
$2 < VLI_{EU\_MC} \leq 3$	2.242	1.299	3.867
$VLI_{EU\_MC} > 3$	2.666	1.658	4.287

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) indicate nello standard ISO/TR 12295 - Linear trend for OR = **1.270**; **p** < 0.0001

La Tabella 26 presenta gli OR analizzati considerando i fattori di confondimento. La tendenza di linearità positiva rimane inalterata così come per l'analisi grezza. Il fattore di confondimento che maggiormente sembra essere importante è il BMI, soprattutto per quanto riguarda i soggetti sottopeso. Per il resto dei fattori come per il  $VLI_{EU}$  la rilevanza rimane indifferente, come ci si aspettava.

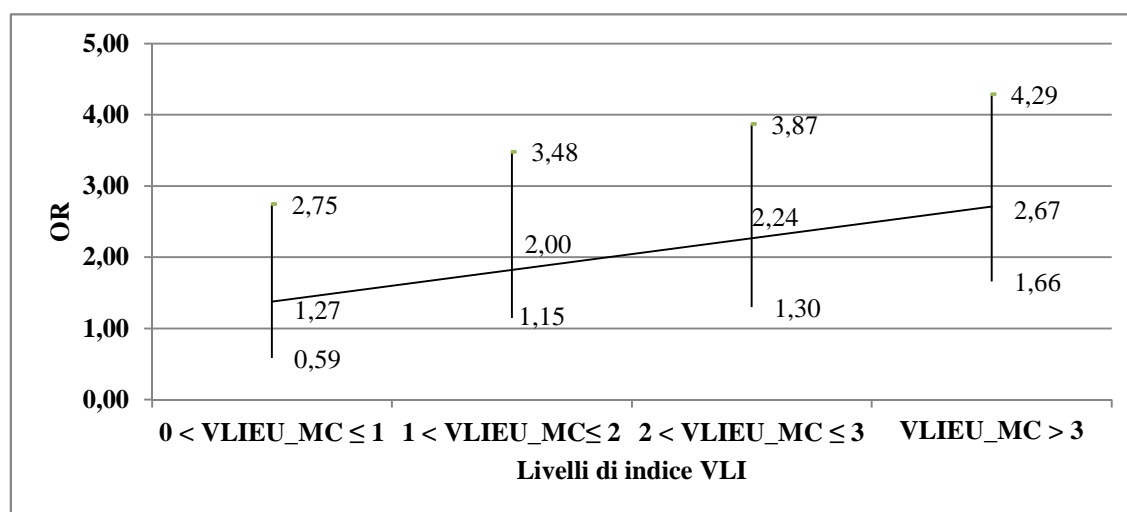
**Tabella 26 - Analisi dell'associazione tra  $VLI_{EU\_MC}$  e insorgenza della lombalgia acuta degli ultimi 12 mesi, aggiustata per BMI, genere ed età**

Variable Lifting Index $_{EU\_MC}$	OR	95% CI	
		LI	UI
$VLI_{EU\_MC} = 0$	1	Reference	
$0 < VLI_{EU\_MC} \leq 1$	1.306	0.600	2.842
$1 < VLI_{EU\_MC} \leq 2$	1.938	1.110	3.384
$2 < VLI_{EU\_MC} \leq 3$	2.194	1.268	3.796
$VLI_{EU\_MC} > 3$	2.650	1.641	4.279
<b>Body Mass Index</b>			
Normale	1	Reference	
Sottopeso	3.940	1.459	10.637
Sovrappeso	1.566	1.075	2.282
Obeso	2.004	1.233	3.258
<b>Genere</b>			
Femmine	1	Reference	
Maschi	0.863	0.595	1.250

Età (anni)			
15-34	1	Reference	
35-54	1.585	0.915	2.746
≥ 55	1.958	0.907	4.228

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali) indicate nello standard ISO/TR 12295 - Linear trend for OR = **1.268**; **p** < 0.0001

Rimane comunque invariato il trend lineare in cui l'OR, solamente nell'ultima classe, vede una diminuzione come per il  $VLI_{EU\_MC}$  per il "fenomeno del lavoratore sano (Grafico 11).



**Grafico 11 - OR  $VLI_{EU\_MC}$  grezzo associato alla lombalgia acuta**

In Tabella 27 e in Tabella 28 sono illustrati i risultati rispettivamente dell'analisi grezza della associazione tra i livelli di indice di  $VLI_{NIO\_SH\_MC}$  e l'insorgenza della lombalgia acuta, e della analisi aggiustata per i fattori di confondimento di BMI, genere ed età.

Le tabelle mostrano un aumento delle lombalgie acute nei soggetti esposti, a prescindere valori di indice di rischio, rispetto i soggetti non esposti. Aggiungendo all'analisi i fattori di confondimento non ci sono delle modificazioni sostanziali rispetto al trend lineare degli OR risultanti dall'analisi grezza (Grafico 10Grafico 12). Anche in questo caso il BMI è l'unico fattore di confondimento che evidentemente nei soggetti sottopeso può aumentare la probabilità di andare incontro ad episodi di lombalgia acuta.

Tabella 27 - Analisi grezza dell'associazione tra  $VLI_{NIO\text{SH\_MC}}$  e l'insorgenza della lombalgia acuta negli ultimi 12 mesi

Variable Lifting Index $NIO\text{SH\_MC}$	OR	95% CI	
		LI	UI
$VLI_{NIO\text{SH\_MC}} = 0$	1	Reference	
$0 < VLI_{NIO\text{SH\_MC}} \leq 1$	1.709	0.913	3.200
$1 < VLI_{NIO\text{SH\_MC}} \leq 2$	1.565	0.891	2.748
$2 < VLI_{NIO\text{SH\_MC}} \leq 3$	2.932	1.776	4.840
$VLI_{NIO\text{SH\_MC}} > 3$	2.578	1.545	4.302

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali)  
 $NIO\text{SH-RNLE}$  - Linear trend for OR = **1.281**  $p = < 0.0001$

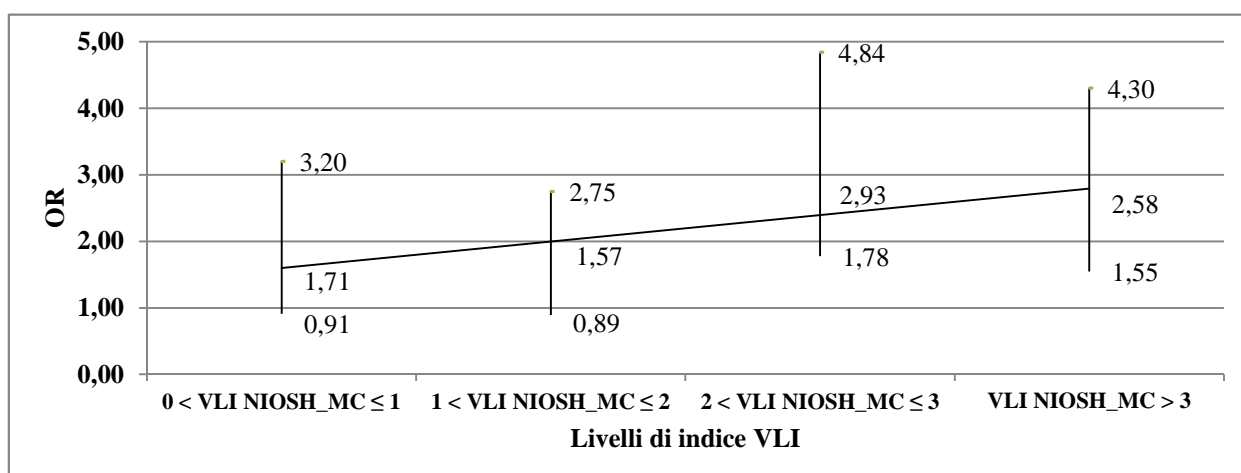


Grafico 12 - OR  $VLI_{NIO\text{SH\_MC}}$  grezzo associato alla lombalgia acuta

Tabella 28 - Analisi dell'associazione tra  $VLI_{NIO\text{SH\_MC}}$  e l'insorgenza della lombalgia acuta negli ultimi 12 mesi, aggiustata per BMI, genere ed età

Variable Lifting Index $NIO\text{SH\_MC}$	OR	95% CI	
		LI	UI
$VLI_{NIO\text{SH\_MC}} = 0$	1	Reference	
$0 < VLI_{NIO\text{SH\_MC}} \leq 1$	1.728	0.918	3.252
$1 < VLI_{NIO\text{SH\_MC}} \leq 2$	1.531	0.869	2.697
$2 < VLI_{NIO\text{SH\_MC}} \leq 3$	2.858	1.726	4.734
$VLI_{NIO\text{SH\_MC}} > 3$	2.585	1.544	4.327
<b>Body Mass Index</b>			
Normale	1	Reference	
Sottopeso	3.968	1.471	10.701
Sovrappeso	1.550	1.063	2.260
Obeso	1.995	1.227	3.245
<b>Genere</b>			
Femmine	1	Reference	
Maschi	0.860	0.595	1.244
<b>Età (anni)</b>			
15-34	1	Reference	
35-54	1.609	0.927	2.792

$\geq 55$	1.994	0.923	4.307
-----------	-------	-------	-------

\* **RWL** calcolato secondo le masse di riferimento (peso limite raccomandato sollevato in condizioni ideali)  
NIOSH-RNLE

Linear trend for OR = **1.279**; **p** <0.0001

#### 5.4 Discussione e conclusioni

La decisione di considerare un nuovo moltiplicatore all'interno della formula per il calcolo dell'indice VLI, che introduca la massa cumulata, può essere uno spunto per stimare quale possa essere il contributo di un potenziale carico cumulativo.

Come detto precedentemente nell'introduzione, il metodo NIOSH VLI può essere uno strumento per la prevenzione della lombalgia acuta, sia quando si è situazioni con carichi di picco (secondo i criteri biomeccanici di valutazione; Waters, 1994) oppure quando si è in situazioni di carichi cumulati (secondi i criteri fisiologici di valutazione; Waters, 1994). In quest'ultimo caso, la combinazione dei diversi scenari di durata (breve, medio e lungo) e la frequenza dei sollevamenti al minuto dovrebbero fornire una valutazione realistica del rischio. Non dimentichiamo che lo scopo principale del metodo NIOSH (LI, CLI, SLI e VLI) è quello di fornire una guida per la progettazione di un compito di sollevamento, o la riprogrammazione di un lavoro di sollevamento esistente, a seconda della data priorità (Waters et al, 1994). Rimane comunque il fatto che dalla analisi del campione raccolto si evince una notevole variabilità delle masse cumulate all'interno delle classi di indice VLI.

A questo proposito si vuole evidenziare il fenomeno della presenza di valori di indice VLI entrambi nella classe di rischio 2 e 3 con una distribuzione della massa cumulata che trova nel 10°perc 198kg e al 90°perc 6793kg. Il ragionamento a questo punto verte sulla necessità di apportare delle azioni correttive, che magari prevedono la riorganizzazione dell'attività del lavoro dal punto di vista della logistica, operando sui i flussi del processo produttivo che possono risultare inefficienti, in quanto alle volte la massa cumulata può dipendere non tanto dai pesi sollevati, quanto dal numero delle volte che ogni oggetto viene sollevato. Da tenere in considerazione è che le modifiche apportate possono non modificare il VLI, ma di sicuro la massa cumulata.

Le nuove indicazioni in merito alla sorveglianza sanitaria per i soggetti esposti al rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide possono avere delle applicazioni pratiche anche per quanto riguarda la massa cumulata.

Prendendo in considerazione il valore di  $VLI \leq 1$ , lo standard ISO/TR 12295 (ISO, 2014) indica che seppur ci si trova in una condizione di rischio accettabile, la popolazione ipersuscettibile non è protetta. Per cui a maggior ragione se fosse



considerata la massa cumulata, per questi valori di indice VLI potrebbero corrispondere delle masse cumulate di circa 1000kg al turno almeno per metà dei soggetti esposti del campione dello studio. Un'indagine simile deve essere eseguita con un metodo psicofisico con lo scopo di verificare come la durata del compito e la frequenza di sollevamento considerano l'estrema variabilità della massa cumulata. Al momento della redazione dell'articolo non erano ancora stati effettuati studi in merito.

L'ipotesi portata avanti in questo studio di approfondimento è quella di dimostrare che la massa cumulata contribuisce all'aumento del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide lombare. Per rispondere alla questione dove a stessi indici di VLI corrispondono masse cumulate diverse, queste ultime sono state suddivise in categorie e convertite in valori numerici. Questi valori sono stati utilizzati come nuovi moltiplicatori per il calcolo del VLI.

Dai risultati provenienti dalle analisi dello studio dell'associazione tra VLI e lombalgia acuta, di cui almeno un episodio negli ultimi 12 mesi, l'associazione è stata positiva sia per  $VLI_{EU}$  sia per  $VLI_{NIOSH}$ . I dati hanno mostrato un progressivo incremento degli OR tra le classi di rischio, tranne per  $VLI > 3$ . I dati hanno presentato un incremento progressivo degli OR all'interno delle classi di rischio, fino a  $VLI < 3$ . Nonostante gli OR fossero alti, questa ultima classe non ha mostrato un trend crescente. Tuttavia, la tendenza è rimasta positiva (rispettivamente  $p = 0.002$  e  $p = 0.0014$ ).

I risultati di questo studio hanno comunque dimostrato un incremento degli OR in tutte le classi di rischio  $VLI_{EU\_MC}$ , con una maggiore affidabilità ( $p < 0.0001$ ). La classe  $1 < VLI_{EU\_MC} < 2$  ora appare più significativa con una differenza di 0.6 tra il suo OR e le classi di rischio appena prima menzionate (diversamente dal  $VLI_{EU}$  che era solo di 0.2).

Per la classe di rischio  $2 < VLI_{EU\_MC} < 3$  il suo OR è aumentato di 0.2 rispetto ai valori delle classi precedenti, quindi risulta essere meno significativo se paragonato come i dati provenienti dall'analisi per  $VLI_{EU}$ . L'ultima classe di  $VLI_{EU}$  ha subito un incremento di 0.4 rispetto all'OR della classe precedente; questo trend significativo non è presente nell'analisi delle classi di rischio  $VLI_{EU}$ .

Per quanto riguarda il  $VLI_{NIO\text{SH\_MC}}$ , sebbene esista una linearità del trend ( $p < 0.0001$ ), gli OR non aumentano progressivamente attraverso le classi di indice di rischio. Inoltre, mentre nello studio di partenza le differenze tra i valori di OR nella classe di rischio  $2 < VLI_{NIO\text{SH}} < 3$  e  $VLI_{NIO\text{SH}} > 3$  era di 0.7, ora con il moltiplicatore delle massa cumulata assegnato la differenza è di 0.3. Sebbene siano necessari ulteriori approfondimenti in merito all'analisi fatta per il  $VLI_{NIO\text{SH}}$  aggiustata per i fattori di confondimento, questa risulta avere un trend lineare.

I dati analizzati finora permettono di affermare che paragonando  $VLI_{EU\_MC}$  e  $VLI_{NIO\text{SH\_MC}}$ , il  $VLI_{EU\_MC}$  risulta essere un indice più efficace per l'associazione con l'insorgenza della lombalgia acuta.

Diversi autori hanno studiato la possibile relazione tra il carico cumulato e il numero degli episodi di disturbi lombari (*low back pain*, ernia discale e dolori lombari) con vari metodi. Per quanto riguarda il mal di schiena, un'associazione positiva con il carico lombare è già stato dimostrato.

Norman et al. (1998) e Coenen et al. (2014) hanno applicato il modello biomeccanico per calcolare quale fossero i momenti che componevano il carico cumulato a livello della L5-S1, utilizzando dei video. Kumar (1990) ha associato i disturbi lombari alle forze compressive e di taglio a livello delle vertebre toracolombari e lombosacrali. Le informazioni che sono state raccolte nello studio sono state in merito alle posture e ai movimenti (nei casi del lavoro attuale e della vita lavorativa del soggetto) ed ha utilizzato un modello biomeccanico statistico per il calcolo delle forze.

Village et al. (2005) nel suo studio aveva calcolato le forze di compressione cumulate sui corpi vertebrali negli assistenti alla cura, mettendole in relazione al danno riportato, rilevato con un sistema EMG (elettromiografia) indossato durante tutto il turno di lavoro, ricostruendo i compiti svolti attraverso video e interviste. Nello studio di Hung et al. (2014) sono state raccolte informazioni sulle varie attività lavorative, al fine di riproporle in laboratorio per calcolare le forze di compressione utilizzando un modello biomeccanico. L'analisi ha riguardato la relazione dose-risposta tra durata del carico di sollevamento cumulato e la degenerazione del disco lombare. Questo tipo di metodi di valutazione sono particolarmente elaborati in quanto richiedono l'impiego di risorse rilevanti e la sua applicazione non è alla portata di tutti. Per avere un campionamento rappresentativo è necessario eseguire un

gran numero di misurazioni che richiederebbero tempo, spesso non disponibile; contrariamente a quanto può essere rilevato attraverso il semplice calcolo di un indice di rischio.

La combinazione tra massa cumulata e le misure di sollevamento (geometrie) può essere una stima delle forze di compressione e di taglio che la colonna vertebrale subisce.

Il nuovo indice NIOSH VLI combinato alla massa cumulata può continuare ad essere applicato a gruppi omogenei di lavoratori. Considerando che il calcolo della massa cumulata viene incluso nella valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide nello standard ISO 11228-1 (2004), in merito al danno lombare, il valore del carico lombare cumulato potrebbe anche essere considerato per esposizioni pregresse.

Alcuni autori hanno discusso sulla associazione tra la presenza di ernia discale e carico cumulative lombare. Seidler et al. (2003, 2001) aveva calcolato l'esposizione cumulata. Dopo aver raccolto le informazioni sulla storia lavorativa dei soggetti attraverso questionari strutturati e interviste, erano giunti a calcolare le forze a livello lombosacrale a partire dal peso dell'oggetto sollevato, dalla modalità di movimentazione (geometrie) e dalle posture incongrue assunte. I risultati dello studio hanno dimostrato l'esistenza di una associazione positiva tra l'esposizione cumulata al tipo di attività di sollevamento e la presenza del verificarsi dell'episodio di ernia discale, con associata osteocodrosi/spondilosi. Al verificarsi dell'ernia la misura delle forze risultava essere superiore a  $9.0 \times 10^6$  con un OR di 2.5.

Ahsan et al. (2013) attraverso le informazioni sulla vita occupazionale dei lavoratori, raccolte con interviste, era riuscito a classificarle sulla base del tipo di sovraccarico biomeccanico con una associazione positiva (OR 3.48) rispetto l'ernia discale sopraggiunta dopo l'esposizione a sollevamento manuale pesante e trasporto di materiale.

La metodologia proposta nello studio corrente permette di stimare il carico lombare cumulativo attraverso la conoscenza della storia lavorativa del soggetto. In questo modo si può risalire ad un concetto di cronicità del danno.

Il nuovo indice di rischio si basa su eventi degenerativi si conclude con una patologia del disco lombare, per cui non è più associato ad un evento acuto come il mal di

schiena. Ulteriori studi sono necessari per verificare l'associazione tra il VLI rettificato per cumulativa di massa e la presenza di patologia lombare.

Uno dei limiti del metodo NIOSH riguarda la durata dei compiti di movimentazione, il moltiplicatore di frequenza non cambia per compiti di durata superiore a due ore.

Per questo motivo, il campione è stato analizzato anche sulla base della durata di attività come mostrato in Tabella 29.

**Tabella 29 - Distribuzione dei soggetti in relazione alla durata (ore) delle attività con movimentazione manuale dei carichi**

Durata attività (ore)	No. soggetti	%	cumulata %
1	178	7,5	7,5
2	254	10,6	18,1
3	53	2,2	20,3
4	378	15,8	36,2
5	98	4,1	40,3
6	182	7,6	47,9
7	392	16,4	64,4
8	850	35,6	100,0
Total	2385	100,0	

La maggior parte dei soggetti svolgono i compiti di sollevamento tra le due e le otto ore di durata. Considerare un lavoratore di 40 anni di età, che solleva oggetti del peso di 5kg con una frequenza pari a 3 volte al minuto per 121 minuti, e l'oggetto viene prelevato da terra e posizionato ad una altezza di 75cm con un distanza orizzontale pari a 40cm. La massa cumulata per questo soggetto è pari a  $3(\text{soll./min}) \times 121(\text{min}) \times 5(\text{kg}) = 1815 \text{ kg}$ , con un risultato di indice LI pari a 1.02. Aumentando la durata dell'attività di sollevamento fino a 470 minuti, questo non determina un cambiamento nell'indice di sollevamento, ma sicuramente incide sulla massa cumulata che risulterà  $3(\text{soll./min}) \times 470 (\text{min}) \times 5(\text{kg}) = 7050 \text{ kg}$ . Questo fenomeno che può essere considerato un limite del metodo ci fa capire come dietro un indice VLI possano esserci diverse masse cumulate, specialmente se ci troviamo nelle situazioni a cavallo dei limiti dei range di durata come 122 minuti per turno (ma anche per scenari di durata che possono risultare brevi, seppur non ve ne siano molti casi). Garg e Kapell (2016) hanno evidenziato un limite del metodo RNLE (1994), affermando che non sia "in grado di distinguere tra 2 e 8 ore di esposizione ad un compito particolarmente problematico in quanto può portare ad una sovrastima dello stress biomeccanico che va oltre le due, ma possa anche essere ben al di sotto delle 8ore". Per questo motivo, hanno suggerito un nuovo moltiplicatore per il RNLE, come una funzione continua della frequenza di sollevamento e durata di un compito

di sollevamento (ore al giorno). In generale, il nuovo moltiplicatore di frequenza è maggiore di quello proposto per la RNLE, e il LI tende ad essere sottostimato.

La proposta dello studio sulla massa cumulata segue un percorso opposto, all'aumento dell'indice VLI (e LI) così aumenta la MC (fattore massa cumulata), che dipende direttamente dalla durata dell'attività. Anziché modificare il RNLE con un nuovo moltiplicatore di frequenza, quindi, sarebbe opportuno esaminare la massa cumulata come possibile indicatore di stress biomeccanico lombare. Anche se sono necessari ulteriori studi, i risultati di questo studio sembrano confermare questa ipotesi.

Utilizzando la massa cumulate come fattore di moltiplicazione del VLI permette con maggior probabilità di stimare il rischio del verificarsi della lombalgia acuta. Per quanto riguarda studi successivi sarà necessario comprendere se esista una associazione tra la movimentazione manuale dei carichi e le patologie cronico degenerative del rachide lombare.

## **Valutazione del percorso di Dottorato in Epidemiologia Ambiente e Sanità Pubblica, XXIX ciclo, della dottoranda Monica Pandolfi**

### **Valutazione finale**

La Dottoranda Monica Pandolfi ha svolto la propria attività nell'ambito della Sezione di Ergonomia del Dipartimento di Medicina Preventiva, presso la Clinica del Lavoro "Luigi Devoto". Il percorso che la dottoranda ha svolto è partito dallo studio dell'ergonomia intesa come approccio di studio alla medicina occupazionale e all'igiene industriale. In seguito l'approfondimento è stato rivolto all'ergonomia fisica in termini di analisi del sovraccarico biomeccanico degli arti superiori e del rachide lombare. In merito a questi ultimi la dottoranda ha approfondito i vari metodi di valutazione del rischio presenti in letteratura scientifica e nella normativa internazionale, considerando anche quanto richiesto dalla normativa nazionale in materia di salute e sicurezza dei lavoratori.

Il suo percorso formativo sull'argomento specifico l'ha vista partecipare prima come tutor dei corsi svolti presso la Fondazione ma anche presso imprese private e poi come co-docente con buoni risultati verificati attraverso le schede compilate dai discenti di customer satisfaction.

La ricerca svolta ha indagato la possibile associazione tra l'indice di valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide, per il sollevamento manuale dei carichi NIOSH Variable Lifting Index (VLI), e l'aumento della probabilità di insorgenza della lombalgia acuta a parità di indice calcolato. Il VLI è una metodologia di valutazione del rischio introdotta per la prima volta a livello internazionale con il TR ISO 12295 del 2015 senza tuttavia che se ne abbia testata la sua validità nel predire danni lombari. Lo studio epidemiologico è stato di tipo cross sectional e ha richiesto un periodo di tre anni. Ciò di cui si necessitava era un cospicuo numero di soggetti esposti al sollevamento manuale dei carichi e un numero adeguato di soggetti non esposti, provenienti dallo stesso contesto socio-economico. Per comprendere l'esistenza dell'associazione di sopra sono stati somministrati dei questionari anamnestici per verificare l'insorgenza della lombalgia acuta negli ultimi 12 mesi prima della somministrazione del questionario, sia ai soggetti non esposti sia ai soggetti esposti, inoltre per questi ultimi è stato calcolato l'indice di rischio con il metodo NIOSH Variable Lifting Index. Dall'aggregazione dei dati provenienti da queste due informazioni è stato possibile eseguire una analisi logistica di regressione

che ha dimostrato una relazione lineare tra le due variabili significativa. All'aumentare dell'indice di rischio NIOSH-VLI aumenta la probabilità dell'insorgenza della lombalgia acuta.

### **Fasi del progetto di ricerca**

Nei tre anni di progetto la dottoranda ha seguito le fasi della ricerca nel suo sviluppo come segue:

- Analisi dello stato dell'arte sulla base della ricerca bibliografica degli studi precedenti
- Progettazione della ricerca dal punto di vista cronologico in base alle fasi di avanzamento
- Istituzione del comitato scientifico, uno per la parte sanitaria, uno per la parte tecnica nella valutazione del rischio con metodo NIOSH
- Coinvolgimento delle aziende alla partecipazione volontaria al progetto
- Coinvolgimento delle figure aziendali nella realizzazione del progetto secondo i protocolli elaborati
- Formazione del personale addetto alla rilevazione dei dati per la valutazione del rischio
- Formazione del personale addetto alla rilevazione dei dati anamnestici
- Tutoraggio e sopralluoghi presso le aziende
- Raccolta dei dati
- Aggregazione dei dati
- Elaborazione ed analisi dei dati
- Divulgazione dei risultati con pubblicazione su rivista scientifica, e organizzazione seminario internazionale.

### **Ulteriori attività**

La dottoranda ha svolto attività di supporto alla formazione all'interno dei corsi di Laurea Magistrale in Scienze delle Professioni Sanitarie della Prevenzione in materia di ergonomia occupazionale, oltre a corsi specifici sull'argomento, sempre all'interno dell'Istituzione Universitaria.

La dottoranda è stata inoltre coinvolta in collaborazioni esterne con aziende richiedenti supporto tecnico-pratico e formazione in merito all'ergonomia, nello specifico nella valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico del rachide e alla sua applicazione in ambito aziendale.

Sono state inoltre seguite collaborazioni con altre realtà Universitarie come il Politecnico di Milano e l'Università Politecnica delle Marche, nello specifico il dipartimento di Ingegneria Meccanica, in merito agli sviluppi della ricerca delle soluzioni in materia di ergonomia, nello specifico alla prevenzione del rischio da sovraccarico biomeccanico con sistemi di *virtual prototyping*, *design for ergonomics* e analisi dei processi produttivi nell'ottica di ottimizzare i flussi di avanzamento nella produzione dei prodotti.

### **Publicazioni e poster**

- Battevi, N., Pandolfi, M. (2015). Variable lifting index for manual lifting risk assessment: a preliminary validation study. *Human Factors & Ergonomics. Special Issue in memory of Thomas R. Waters. Vol. XX, No. X, Month XXXX*, pp. 1–14. DOI: 10.1177/0018720816637538
- V° Convegno Nuccio Abbate  
Pandolfi, M., Battevi, N. (2015). *La valutazione del rischio per la movimentazione manuale dei carichi (MMC) in situazioni lavorative altamente variabili*. Poster.
- Stucchi, G., Battevi, N., Pandolfi, M., Galinotti, L., Iodice, S. and Favero, C. Cumulative Mass and NIOSH-Variable Lifting Index Method for Risk Assessment: Possible Relations. (*in review*)
- Articolo in elaborazione con collaborazione di una azienda farmaceutica: Ergonomic approach, risk assessment and cost effectiveness analysis in a pharmaceutical company *Applied Ergonomics. (in review)*.

### **Collaborazioni**

- Politecnico di Milano: *Virtual Prototyping and Ergonomics evaluation*
- Università Politecnica delle Marche Dipartimento di Ingegneria: *Ergonomics evaluation and design for ergonomics*.
- Formazione e tutoraggio in materia di *Ergonomia*

### **Eventi**

- V° Convegno Nazionale “Nuccio Abbate” delle Scuole Italiane di Medicina del Lavoro. 10-11 Settembre 2015 (Parma)
- Università degli Studi di Milano. Publishing Connect Author Workshop. *Elsevier Publishing Campus*, 13 aprile 2015 (Milano).



- S., Milani. Target high as a predictor of adult height. Life and opinions of terminal biostatistician on the predictions based on statistics. Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Cliniche e di Comunità. 3 novembre 2015.
- Seminario Internazionale “Il metodo NIOSH per la valutazione del rischio da movimentazione manuale dei carichi”. Aula Pio XII, Palazzo Schuster, Università degli Studi di Milano. 25 novembre 2016.

## ANNEX A

Scheda raccolta dati in loco. Permette di raccogliere i dati necessari alla compilazione del file Excel predisposto per il calcolo dell'indice di rischio secondo la metodologia NIOSH Variable Lifting Index (VLI).

Azienda _____ Reparto _____ Mansione _____					Distanze vert/orizz. ORIGINE (cm)			Distanze vert/orizz. DESTINAZIONE (cm)			Gr. Omog.____					
Pos.	Descrizione articolo	Peso (kg)	Nr pz.	Nr. Soll.	CB (0-50)			B (51-125)			CA (126-175)			As.	Arti	Op
					V	M	L	V	M	L	V	M	L			

Dove

**Pos.:** postazione

**Descrizione articolo:** necessario descrivere la tipologia di oggetto, indicando numero di lotto o altre caratteristiche distintive (es.: codici, cifre, ecc.)

**Nr. pz.:** numero pezzi movimentati con le stesse caratteristiche

**Peso:** peso oggetto descritto

**Nr. soll.:** numero dei sollevamenti che quell'oggetto subisce durante l'attività di lavoro; può accadere che possa essere movimentato più volte a causa di una disorganizzazione dei flussi produttivi che può provocare un'inefficienza in termini di tempo.

**Distanze vert./orizz. ORIGINE e DESTINAZIONE:** geometrie di movimentazione

**Altezze verticali:** Cattiva Bassa (CB); Buona (B); Cattiva Alta (CA)

**Distanze orizzontali:** Vicina (V) 25-40cm; Media (M) 41-50cm; Lontana (L) 51-63cm

**As.:** presenza di asimmetria secondo i criteri del metodo NIOSH VLI (SI/NO)

**Arti:** indica il numero di arti utilizzati per compiere il sollevamento (1 o 2)

**Op.:** indica il numero di operatori coinvolti nel sollevamento di uno stesso oggetto contemporaneamente

**Gr. Omog.:** gruppo omogeneo di lavoratori esposti allo stesso compito di sollevamento manuale. Possono far parte dello stesso reparto o ricoprire la stessa mansione nel turno di lavoro.


## ANNEX B

QUESTIONARIO ANAMNESTICO DISTURBI MUSCOLOSCHIELETRICI DI RACHIDE, ARTI SUPERIORI E ARTI INFERIORI			
Data di compilazione _____			
Azienda _____	Reparto _____	Mansione: _____	
Anzianità di mansione Attuale (anni) _____		Anzianità nello specifico Settore (anni) _____	
Cognome _____		Nome _____	
Data di nascita ____/____/____	Sesso <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F	Fumo: si <input type="checkbox"/> ex <input type="checkbox"/> mai <input type="checkbox"/>	
Razza: Bianca(caucasica) <input type="checkbox"/> Nera <input type="checkbox"/> Sudamericana <input type="checkbox"/> Asiatica <input type="checkbox"/>			
Peso _____ kg	Assume regolarmente farmaci e per quale malattia _____		
Altezza _____ cm			
Attività fisica: Tipo _____ Nulla o Saltuaria (< 1 v/settimana) <input type="checkbox"/> Regolare (2-3 v/settimana) <input type="checkbox"/>			
Intensa (> 3 v/settimana) <input type="checkbox"/>			
PORTATORE DI LIMITAZIONI LAVORATIVE PER MMC <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI			
Se <b>SI</b> PER PATOLOGIE RACHIDE <input type="checkbox"/>	PER PATOLOGIE ARTI SUPERIORI <input type="checkbox"/>	PER PATOLOGIE GINOCCHIA <input type="checkbox"/>	ALTRO <input type="checkbox"/>
N° TOTALE GIORNI MALATTIA (per qualsiasi patologia) ULTIMI 12 MESI: _____			
E' esposto al rischio da Movimentazione Manuale dei Carichi ? <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI			

### ARTI SUPERIORI DISTURBI NEGLI ULTIMI 12 MESI


DOLORI ALLA SPALLA DISTURBI ? (anno) _____	QUANDO SONO INIZIATI I	DX	SX
	<b>Riguardo ai disturbi riferiti:</b> <input type="checkbox"/> ha assunto farmaci <b>ha effettuato:</b> <input type="checkbox"/> fisioterapia <input type="checkbox"/> visita ortopedica/fisiatrica <input type="checkbox"/> RX/ ECO/ RISONANZA	dolore ai movimenti dolore a riposo <input type="checkbox"/> dolore continuo o subcontinuo <input type="checkbox"/> almeno 1 settimana di dolore negli ultimi 12 mesi <input type="checkbox"/> almeno 1 volta al mese negli ultimi 12 mesi	
	<b>ASSENZE DAL LAVORO PER DISTURBI arti superiori</b> Ultimi 12 mesi _____ giorni		
TRAUMI - DIAGNOSI (già conosciute e documentate) <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO			
<b>SPALLA</b> (periartrite scapolo-omeroale; tendiniti etc.)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>TRAUMA</b> <input type="checkbox"/> SI	QUANDO? _____
<b>GOMITO</b> (epicondilitite; epitrocleite; etc.)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>TRAUMA</b> <input type="checkbox"/> SI	QUANDO? _____
<b>POLSO/MANO</b> tendiniti; cisti tendinee; ecc	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>TRAUMA</b> <input type="checkbox"/> SI	QUANDO? _____
<b>POLSO/MANO</b> : sindrome del tunnel carpale, Guyon	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>TRAUMA</b> <input type="checkbox"/> SI	QUANDO? _____

### RACHIDE DISTURBI AL RACHIDE NEGLI ULTIMI 12 MESI

	<b>LOMBOSACRALE</b> (fastidio, senso di peso, dolore) <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Quando sono iniziati i disturbi ? (anno) _____			
	<b>RARAMENTE</b>	<b>ALMENO 3-4 EPISODI DI 2-3 GIORNI CIASCUNO</b>	<b>ALMENO 3-4 EPISODI con uso di farmaci o trattamento</b>	<b>PRESSOCCHIE' TUTTI I GIORNI</b>
	<input type="checkbox"/> FASTIDIO	<input type="checkbox"/> FASTIDIO	<input type="checkbox"/> FASTIDIO	<input type="checkbox"/> FASTIDIO
	<input type="checkbox"/> DOLORE	<input type="checkbox"/> DOLORE	<input type="checkbox"/> DOLORE	<input type="checkbox"/> DOLORE
	IRRADIAZIONE	<input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SX	ARTO INFERIORE	<input type="checkbox"/> DX <input type="checkbox"/>

ASSENZE DAL LAVORO PER DISTURBI LOMBARI Ultimi 12 mesi _____ giorni	
per soglia anamnestica positiva RACHIDE ( identificata con riquadri grigi) si intende la presenza di : dolore/ fastidio pressoché tutti i giorni negli ultimi 12 mesi o dolore a episodi (3-4 episodi di 2-3 giorni; 10 episodi di 1 giorno; 8 episodi di 2 giorni; 2 episodi di 30 giorni; 1 episodio di 90 giorni).	
<b>LOMBALGIE ACUTE Per lombalgia acuta si intende: episodio di dolore intenso in sede lombosacrale che non consente i movimenti di flessione, inclinazione e rotazione (“colpo della strega”) e quindi costringe a letto l’interessato, il cui esordio può essere acuto o subdolo e durato almeno 2 giorni (o uno con terapia farmacologica). Questo tipo di episodi devono provocare una assenza dal lavoro o la permanenza a letto se occorre in giorni non lavorativi</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
n° episodi acuti Totali _____	anno del 1° episodio _____
n° episodi acuti nell’ultimo anno _____	Irradiati a uno o entrambi gli arti inferiori <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
ASSENZE DAL LAVORO PER LOMBALGIE ACUTE Ultimi 12 mesi _____ giorni	
<b>PER I DISTURBI AL RACHIDE LOMBARE:</b> <input type="checkbox"/> ha assunto farmaci <b>ha effettuato:</b> <input type="checkbox"/> fisioterapia <input type="checkbox"/> visita ortopedica/fisiatrice <input type="checkbox"/> RX <input type="checkbox"/> TAC/ RISONANZA MAGNETICA	
DIAGNOSI PATOLOGIE RACHIDE (già conosciute e documentate) <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
<b>ERNIA / PROTRUSIONE DISCALE LOMBOSACRALE</b> DIAGNOSTICATA QUANDO? _____ TRATTATA CHIRURGICAMENTE <input type="checkbox"/> Data intervento _____ ALTRE PATOLOGIE o TRAUMI DEL RACHIDE LOMBOSACRALE Quale/i _____ QUANDO? _____	

**ARTI INFERIORI DISTURBI NEGLI ULTIMI 12 MESI**

<b>DOLORI ALLE GINOCCHIA</b> <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> QUANDO SONO INIZIATI I DISTURBI ? (anno) _____		<b>DX</b>	<b>SX</b>
	<b>Riguardo ai disturbi riferiti:</b> <input type="checkbox"/> ha assunto farmaci <b>ha effettuato:</b> <input type="checkbox"/> fisioterapia <input type="checkbox"/> visita ortopedica/fisiatrice <input type="checkbox"/> RX <input type="checkbox"/> ECOGRAFIA/ <input type="checkbox"/> RISONANZA	dolore in salita o discesa di gradini	
		dolore in appoggio delle ginocchia	
		dolore in posizione accovacciata	
<b>SOGLIA POSITIVA</b> <input type="checkbox"/> dolore continuo <input type="checkbox"/> almeno 1 settimana di dolore negli ultimi 12 mesi <input type="checkbox"/> almeno 1 volta al mese negli ultimi 12 mesi			
<b>DISTURBI MINORI</b> dolore a episodi inferiori alla soglia			
<b>ASSENZE DAL LAVORO PER DISTURBI arti inferiori (ginocchia) Ultimi 12 mesi _____ giorni</b>			
TRAUMI - DIAGNOSI (già conosciute e documentate) <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO			
<b>menisco</b> (lesione meniscale, intervento chirurgico per lesione meniscale etc.)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	QUANDO? _____	
<b>legamenti</b> (lesione legamenti collaterali, lesione crociato, intervento chirurgico per lesione legamentosa etc.)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	QUANDO? _____	
<b>articolazione</b> (gonartrosi, lesione rotulea etc)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	QUANDO? _____	

**OSSERVAZIONI - NOTE**

---



---



---



---

FIRMA DEL MEDICO/SANITARIO \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

## **Bibliografia**

- Abenhaim, L., & Suissa, S. (1987). Importance and economic burden of occupational back pain: A study of 2500 cases representative of Quebec. *Journal of Occupational Medicine*, 29, 670–674.
- Adams, M. A., McNally, D. S., & Dolan, P. (1996). “Stress” distributions inside intervertebral discs: The effects of age and degeneration. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 78, 965–972. doi:0301-620X/96/61287.
- Ahsan, M.K., Matin, T., Ali, M.I., Ali, M.Y., Awwal, M.A., & Sakeb, N. (2013). Relationship between physical work load and lumbar disc herniation. *Mymensingh Med J*, 22(3):533-540.
- Allread, W. G., Marras, W. S., & Parnianpour, M. (1996). Trunk kinematics of one-handed lifting, and the effects of asymmetry and load weight. *Ergonomics*, 39, 322–334. doi:10.1080/00140139608964462.
- American National Standards Institute. (1993). ANSI Z-365: Control of cumulative trauma disorders [Draft].
- Andersen, J.H., et al. (2000). Physical, psychosocial, and individual risk factors for neck/shoulder pain with pressure tenderness in the muscles among workers performing monotonous, repetitive work. *Spine*, 27(6), 660–667.
- Andersson, G. (1997). The epidemiology of spinal disorders. In Frymoyer, J.W., editor *The Adult Spine*. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers; 93–141.
- Aquilano, N.J. (1968). A physiological evaluation of time standards for strenuous work as set at stopwatch time study and two predetermined motion time data system. *J. Industrial Eng.*, 19, 425-432.
- Archambault, J.M., Hart, D.A., Herzog, W. (2001). Response of rabbit Achilles tendon to chronic repetitive loading. *Connect Tissue Res* 2001;42:13–23.
- Arjmand, N., Plamondon, A., Shirazi-Adl, A., Parnianpour, M., & Larivière, C. (2012). Predictive equations for lumbar spine loads in load-dependent asymmetric one- and two handed lifting activities. *Clinical Biomechanics*, 27, 537–544. doi:10.1016/j.clinbiomech.2011.12.015.

- Asmussen, E. and Heeboll-Nielsen, K. (1961). Isometric muscle strength of adult men and women. *Communications from Testing and Observation Institute of the Danish National Association for Infantile Paralysis*, 11(1), 11-44.
- Atlas, S.J. et al. (2004). Primary care involvement and outcomes of care patients with a workers' compensation claim for back pain. *Spine*. 29(9), 1041-1048.
- Ayoub, M.M, McDaniel, J.W. (1973). Predicting lifting capacity. Paper presented at the Fifth Congress on Ergonomics, Amsterdam, Holland.
- Ayoub, M.M, McDaniel, J.W. and Dryden, R.D. (1973). Modeling in lifting activities. Paper presented at the American Industrial Hygiene Association Meeting.
- Ayoub, M.M, Dryden, R.D. and Knipfer, R.E. (1976). Psychophysical based models for the prediction of lifting capacity of the industrial worker. Paper presented at the Automotive Engineering Congress and Exposition (SAE), Detroit.
- Ayoub, M.M, Dryden, R.D. McDaniel, J.W, Knipfer, R.E. and Aghazadeh, F. (1978a). Modeling of lifting capacity as a function of operator and task variables. *Safety in manual materials handling*. C.G. Drury, Ed. DHEW (NIOSH)Publication No. 78-185, 120-130.
- Ayoub, M.M. and El-Bassoussi, M.M (1978b). Dynamic Biomechanical model for sagittal plane lifting activities. *Safety in manual materials handling*. C.G. Drury, Ed. DHEW (NIOSH)Publication No. 78-185, 88-95.
- Ayoub, M.M., Nethea, N.J., Deivanayagam, S., Asfour, S.S. Bakken, G.M., Liles, D., Mital, A. and Sherif, M. (1978c). Determination and modeling of lifting capacity. Final Report, DHEW (NIOSH), Grant, 5 RO1 OH 00545-02.
- Baldaccioni, E Nocchi, G. Rosci, A. Rossi (2010). *Il rischio da danno biomeccanico*, Ippsoa, Milano.
- Barbe, M.F., Barr, A.E., Gorzelany, I., Amin, M., Gaughan, J.P., Safadi, F.F. (2003). Chronic repetitive reaching and grasping results in decreased motor performance and widespread tissue responses in a rat model of MSD. *J Orthop Res*, 21, 167–176.
- Barbe, M.F. and Barr, A.E. (2006). Inflammation and the pathophysiology of work-related musculoskeletal disorders. *Brain Behav Immun*, 20, 423–429.

- Barr, A.E., Safadi, F.F., Gorzelany, I., Amin, M., Popoff, S.N., Barbe, M.F. (2003) Repetitive, negligible force reaching in rats induces pathological overloading of upper extremity bones. *J Bone Miner Res*, 18, 2023–2032.
- Barr, A.E., and Barbe M.F. (2004). Inflammation reduces physiological tissue tolerance in the development of work-related musculoskeletal disorders. *J Electromyogr Kinesiol*, 14, 77–85.
- Biering-Sørensen, F., Thomsen, C., & Hilden, J. (1989). Risk indicators for low back trouble. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 21, 151–157.
- Boivie, J. (1996). Central pain syndromes. In Campbell, J. editor. *Pain – An Updated review*. Seattle: IASP Press, 77-86.
- Boivie, J. (1996). Central pain syndromes. In Campell, J. editor. *Pain – An Updated review*. Seattle: IASP Press, 23–29.
- Burdorf, A. and Zondervan, H. [1990]. An epidemiological study of low-back pain in crane operators. *Ergonomics*, 33(8), 981–987.
- Burdorf, A., Govaert, G., Elders, L. (1991). Postural load and back pain of workers in the manufacturing of prefabricated concrete elements. *Ergonomics*, 34(7), 909–918.
- Chaffin, D. B., & Park, K. S. (1973). A longitudinal study of low back pain as associated with occupational weight lifting factors. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 34, 513–525. doi:10.1080/0002889738506892.
- Chaffin, D.B. (1974). Human strength capability and low back pain. *J Occ Med*, 16(4), 248-254.
- Checkoway, H., Pearce, N. L., & Crawford-Brown, D. J. (1989). Issues of study design and analysis. In *Research methods in occupational epidemiology* (pp. 72–102). New York, NY: Oxford University Press.
- Clark, B.D., Barr, A.E., Safadi, F.F., Beitman, L., Al-shatti, T., Amin, M., Gaughan, J.P., Barbe, M.F. (2003). Median nerve trauma in a rat model of work-related musculoskeletal disorder. *J Neurotrauma*, 20, 681–695.
- Clemmer, D. J., Mohr, D. L., & Mercer, D. J. (1991). Low back injuries in a heavy industry: Worker and workplace factors. *Spine*, 16, 824–830.

Coenen, P., Kingma, I., Boot, C. R. L., Twisk, J. W. R., Bongers, P. M., & Van Dieen, J. H. (2013). Cumulative low back load at work as a risk factor of low back pain: A prospective cohort study. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 23, 11–18. doi:10.1007/s10926-012-9375-z.

Coenen, P., Kingma, I., Boot, C., Bongers, P.M., & van Dieën, J.H. (2014). Cumulative mechanical low-back load at work is a determinant of low-back pain. *Occup Environ Med*, 71(5):332–337. doi: [10.1136/oemed-2013-101862](https://doi.org/10.1136/oemed-2013-101862)

Colombini, D., Cianci, E., Panciera, D., Martinelli, M., Venturi, E., Gianmartini, P., Ricci, M. G., Menoni, O., & Battevi, N. (1999). La lombalgia acuta da movimentazione manuale nei reparti di degenza: Dati di prevalenza e incidenza [Acute low back pain caused by manual lifting of patients in hospital wards: Prevalence and incidence data]. *La Medicina del Lavoro*, 90, 229–243.

Colombini, D., Occhipinti, E., Alvarez, E., Hernandez, A. V., & Waters, T. (2009, August). Procedures for collecting and organizing data useful for the analysis of variable lifting tasks and for computing the VLI. Paper presented at the 17th IEA World Conference, Beijing, China.

Colombini, D., Occhipinti, E., Alvarez-Casado, E., & Waters, T. R. (Eds.). (2012). *Manual lifting: A guide to the study of simple and complex lifting tasks*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.

Cornefjord M, Sato K, Olmarker K, Rydevik B, Nordborg C. (1997). A model for chronic nerve root compression studies. Presentation of a porcine model for controlled, slow-onset compression with analyses of anatomic aspects, compression onset rate, and morphologic and neurophysiologic effects. *Spine*, 22, 946–957.

Croft, P.R., Papageorgiou, A.C., Thomas, E., Macfarlane, G.J., Silman, A.J. (1999). Short-term physical risk factors for new episodes of low back pain. Prospective evidence from the South Manchester Back Pain Study. *Spine*, 24(15),1556–1561.

Davis, K.G., Marras, W.S. (2000) Assessment of the relationship between box weight and trunk kinematics: does a reduction in box weight necessarily correspond to a decrease in spinal loading? *Human Factors*, 42(2), 195–208.

Dennis, G. J., & Barrett, R. S. (2002). Spinal loads during individual and team lifting. *Ergonomics*, 45, 671–681. doi:10.1080/00140130210148537.



Department of Health and Human Services. (1981). Work practices guide for manual lifting. (NIOSH Pub. No. 81-122). Washington, DC: Author.

Driscoll, T., Jacklyn, G., Orchard, J., Passmore, E., Vos, T., Freedman, G., Lim, S., & Punnet, L. (2014). The global burden of occupationally related low back pain: Estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73, 975–981. doi:10.1136/annrheumdis-2013-204631.

Emanuel, I., Chafee, J. and Wing, J. (1956). A study of human weight lifting capabilities for loading ammunition into the F-35 Aircraft. U.S. Air Force (WADC-TR 056-367).

Evans, F.G. and Lissner, H.R. (1959). Biomechanical studies on the lumbar spine and pelvis. *Journal of Bone Joint Surgery*, 41A, 218-290.

Eurofound. (2012). Fifth European Working Conditions Survey: Overview report. Retrieved from <http://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2012/working-conditions/fiftheuropean-working-conditions-survey-overview-report>.

European Committee for Standardization. (2003). EN 1005-2: Safety of machinery—Human physical performance. Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery. Brussels, Belgium: Author.

Garg, A., Chaffin, D.B. and Herrin, G.D. (1978). Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. *Am. Ind Hyg. Assoc. J.*, 39, 661-674

Garg, A. (1991). Biomechanical basis for manual lifting guidelines. National Technical Information Service: Scientific support documentation for the Revised NIOSH Lifting Equation (Technical Contract Report 115-175). Springfield, VA: National Institute for Occupational Safety and Health.

Garg, A., Boda, S., Hegmann, K. T., Moore, J. S., Kapellusch, J. M., Bhojar, P., Thiese, M.S., Merryweather, A., Deckow-Schaefer, G., Bloswick, D., & Malloy, E.J. (2014). The NIOSH lifting equation and lowback pain, Part 1: Association with low-back pain in the backworks prospective cohort study. *Human Factors*, 56(1), 6–28.

Garg, A., & Kapell, J.M. (2016). The Cumulative Lifting Index (CULI) for the Revised NIOSH Lifting Equation: Quantifying Risk for Workers With Job Rotation. *Hum Factors*, 58(5):683-94. doi:10.1177/0018720815627405.

Granata, K.P. and Marras, W.S. (1995). An EMG-assisted model of trunk loading during free-dynamic lifting. *J Biomech.* 28 (11), 1309–1317.

- Greenberg, P.E., Brown, M.D., Pallares, V.S., Tompkins, J.S., Mann, N.H. (1988). Epidural anesthesia for lumbar spine surgery. *J Spinal Disord*,1,139–143.
- Guo, H., Tanaka, S., Cameron, L., Seligman, P. J., Behrens, V. J., Ger, J., Wild, D. K., & Putz-Anderson, V. (1995). Back pain among workers in the United States: National estimates and workers at high risk. *American Journal of Industrial Medicine*, 28, 591–602.
- Gyntelbers, F. (1974). One year incidence of low back pain among male residents of Copenhagen aged 40–59. *Danish Medical Bulletin*, 21, 30–36.
- Hagen KB, Tambs K, Bjerkedal T (2002) A prospective cohort study of risk factors for disability retirement because of back pain in the general working population. *Spine*, 27(16),1790–1796.
- Hamilton, B.J. and Chase, R.B. (1969). A work physiology study of the relative effects of pace and weight in a carton handling task. *AIIE Transactions*, 1, 106-111.
- Hans, H., Staes, F., Aufdemkampe, G., van Rijn, M. and Vanhees, L. (2011). Physical activity and low back pain: a systematic review of recent literature. *Eur Spine J*, 20, 826–845 DOI 10.1007/s00586-010-1680-7.
- Heneweer, H., Vanhees, L., Susan, L., & Picavet, L. (2009). Physical activity and low back pain: A U-shaped relation? *Pain*, 143, 21–25. doi:10.1016/j.pain.2008.12.033.
- Hidalgo, J., Genaidy, A., Karwowski, W., Christensen, D., Huston, R., & Stambough, J. (1995). A cross-validation of NIOSH limits for manual lifting. *Ergonomics*, 38, 2455–2464. doi: 10.1080/00140139508925279.
- Hirsch, C., Ingelmark, B.E., Miller, M. (1963). The anatomical basis for low back pain. Studies on the presence of sensory nerve endings in ligamentous, capsular and intervertebral disc structures in the humanlumbar spine. *Acta Orthop Scand*; 33, 1–17.
- Holmström, E.B., Lindell, J. and Moritz, U. (1992). Low back and neck/shoulder pain in construction workers: occupational work-load and psychosocial risk factors. *Spine*, 17(6), 663–671.
- Hoogendoorn, W., Van Poppel, M., Bongers, P., Koe, B., & Bouter, L. (2000). Systematic review of psychosocial factors at work and private life as risk factors for back pain. *Spine*, 25, 2114–2125. doi: 10.1097/00007632-200008150-00017.

Huang, J., Ono, Y., Shibata, E., Takeuchi, Y., Hisanaga, N. (1988). Occupational musculoskeletal disorders in lunch centre workers. *Ergonomics*, 31(1), 65–75.

Hung, Y.J., Shih, T.T-F., Chen, B-B. , Hwang, Y-H., Ma, L-P., Huang, W-H., Liou, S-H., Ho, K., & Guo, Y.L. (2014). The dose-response relationship between cumulative lifting load and lumbar disk degeneration based on magnetic resonance imaging findings. *Phys Ther.*, 94(11):1582-1593. doi: 10.2522/ptj.20130095

International Labour Office. (1962). *Lifting and carrying* (Sheet No. 3). Geneva, Switzerland: International Occupational Safety and Health Information Center.

International Organization for Standardization. (2003). *ISO 11228-1—Ergonomics—Manual handling—Part 1: Lifting and carrying*. Geneva, Switzerland: Author.

International Organization for Standardization. (2014). *ISO-TR 12295—Ergonomics—Application document for ISO standards on manual handling (ISO 11228-1, ISO 11228-2 and ISO 11228-3) and evaluation of static working postures (ISO 11226)*. Geneva, Switzerland: Author.

Jäger, M., Luttman, A. (1991). Compressive strength of lumbar spine elements related to age, gender, and other influences. *J Electromyogr Kinesiol*, 1, 291-294.

Jäger, M., Luttman, A. and Laurig, W. (1991). Lumbar load during one-hand bricklaying. *Int J Ind Ergon*, 8, 261-277.

Jäger, M., & Luttmann, A. (1999). Critical survey on the biomechanical criterion in the NIOSH method for the design and evaluation of manual lifting tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, 331–337.

Jäger, M., Luttmann, A., & Laurig, W. (1999). Lumbar load during one-hand bricklaying. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 8, 261–277. doi:10.1016/0169-8141(91)90037-M.

Johansson, J.A., Rubenowitz, S. [1994]. Risk indicators in the psychosocial and physical work environment for work-related neck, shoulder and low back symptoms: a study among blue and white collar workers in eight companies. *Scand J Rehabil Med*, 26,131–142.

Karwowski, W. (1983). A pilot study of the interaction between physiological, biomechanical and psychophysical stresses involved in manual lifting tasks. In *Proceedings of the Ergonomics Society Conference* (pp. 95–100). London, UK: Taylor

& Francis. Downloaded from hfs.sagepub.com by guest on April 2, 2016 Validation Study of VLI.

Karwowski, W., & Mital, A. (1986). Isometric and isokinetic testing of lifting strength of males in teamwork. *Ergonomics*, 29, 869–878. doi:10.1080/00140138608967199.

Karwowski, W., & Pongpatanasuegsa, N. (1988). Testing of isometric and isokinetic lifting strengths of untrained females in teamwork. *Ergonomics*, 31, 291–301.

Kelsey, J.L. (1975a). An epidemiological study of acute herniated lumbar inter-vertebral disc. *Rheumatol Rehabil*, 14,144.

Kelsey JL (1975b). An epidemiological study of the relationship between occupations and acute herniated lumbar intervertebral discs. *Int J Epidemiol*, 4(3), 197–205.

Kelsey J.L., Githens, P.B., White, A.A., Holford, T.R., Walter, S.D., O'Connor, T., et al. (1984). An epidemiologic study of lifting and twisting on the job and risk for acute prolapsed lumbar intervertebral disc. *J Orthop Res*, 2(1), 61–66.

Kingma, I. and VanDieen, J.H. (2004). Lifting over an obstacle: effects of one-handed lifting and hand support on trunk kinematics and low back loading. *J Biomech*, 37(2), 249–255.

Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., & Morgenstern, H. (Eds.). (1982). *Epidemiologic research: Principles and quantitative methods*. Hoboken, NJ: Wiley.

Knibbe, J.J., Friele, R.D. (1996). Prevalence of back pain and characteristics of the physical workload of community nurses. *Ergonomics*, 39(2), 186–198.

Knox, J. B., Orchowski, J. R., & Owens, B. (2012). Racial differences in the incidence of acute low back pain in United States military service members. *Spine*, 37, 1688–1692. doi:10.1097/BRS.0b013e318255a07b.

Kroemer, K.H.E. (1969). Push forces exerted in 65 common working positions. *Aerospace Med. Res. Lab. Tech. Report, AMRL-TR*, Wright Patterson Air Force Ohio, 68-143.

Kromer, K.H.E. (1999). Engineering anthropometry. In Karwowski, W., Marras, W., editors. *The occupational ergonomics handbook*. Boca Raton (FL); CRC Press. 139-165.

Kumar, S. (1990). Cumulative load as a risk factor for back pain. *Spine*, 15(12), 1311-16.

- Kuslich, S.D., Ulstrom, C.L., Michael C.J. (1991). The tissue origin of low back pain and sciatica: a report of pain response to tissue stimulation during operations on the lumbar spine using local anesthesia. *Orthop Clin North Am*, 22, 181–187.
- Laubach, L.L and McConville, J.T. (1969). The relationship of strength to body size and typology. *Med. Sci. Sports*, 1, 189-194.
- Laubach, L.L, Kroemer, K.H.E. and Thordsen, M.L. (1972). Relationships among isometric forces measured in aircraft control locations. *Aerospace Med.*, 43, 738-742.
- Lavender, S. A., Oleske, D. M., Nicholson, L., Andersson, G. B., & Hahn, J. (1999). Comparison of five methods used to determine low back disorder risk in a manufacturing environment. *Spine*, 24(14),1441–1448.
- Liberty Mutual Research Institute for Safety. (2009). Liberty Mutual workplace safety index. Boston, MA: Author. Retrieved from <http://www.libertymutual.com/researchinstitute>.
- Liles, D. H., & Deivanayagam, S. (1984). A job severity index for the evaluation and control of lifting injury. *Human Factors*, 26, 683–693. doi:10.1177/001872088402600608.
- Lindman R, Hagberg M, Angqvist KA, Söderlund K, Hultman E, Thornell L. (1991). Changes in muscle morphology in chronic trapezius myalgia. *Scand J Work Environ Health*, 17, 347-55
- Lu, M. L., Waters, T. R., Krieg, E., & Werren, B. (2014). Efficacy of the revised lifting equation to predict risk of low-back pain associated with manual lifting: One-year prospective study. *Human Factors*, 56, 73–85. doi:10.1177/0018720813513608.
- Magora, A. [1972]. Investigation of the relation between low back pain and occupation. III. Physical requirements: sitting, standing, and weight lifting. *Ind Med*, 41(12), 5–9.
- Magora, A. [1973]. Investigation of the relation between low back pain and occupation. IV. Physical requirements: bending, rotation, reaching, and sudden maximal effort. *Scand J Rehabil Med*, 5, 191–196.
- Marras, W.S. et al. (1993). The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally related low back disorders. The effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury. *Spine*, 18(5), 617-628.

Marras, W.S. et al. (1995). Biomechanical risk factors for occupationally related low back pain disorders. *Ergonomics*, 38(2), 377-410.

Marras, W. S., & Davis, K. G. (1998). Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands. *Ergonomics*, 41, 817–834. doi:10.1080/001401398186667.

Marras, W.S., et al (1999). The effectiveness of commonly used lifting assessment methods to identify industrial jobs associated with elevated risk of low-back disorders. *Ergonomics*, 42(1), 229-245.

Marras, W. S., Davis, K. G., Kirking, B. C., & Granata, K. P. (1999). Spine loading and trunk kinematics during team lifting. *Ergonomics*, 42, 1258–1273. doi:10.1080/001401399184938.

Marras, W.S. et al. (2000). The influence of psychosocial stress, gender, and personality on mechanical loading of the lumbar spine. *Spine*;25(23):3045–3054

Marras, W.S. et al (2001). Female and male trunk geometry: size and prediction of the spine loading trunk muscles derived from MRI. *Clin Biomec (Bristol, Avon)*, 29(5), 38-46

Marras, W.S., et al. (2006). Spine loading as a function of lift frequency, exposure duration, and work experience. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 21(4), 345-352.

Marras, W. S. (2008). *The working back*. Hoboken, NJ: Wiley.

McGill, S.M. (1997). The biomechanics of low back injury: implications on current practice in industry and the clinic. *J Biomech.*, May;30(5):465-75.

Merskey, H. (1986). Pain terms. *Pain*, S211–S215.

Mital A., Ayoub, M.M., Asfour, S.S. and Bethea, N.J. (1978). Relationship between lifting capacity and injuries in occupations requiring lifting. *Proceedings of the Human Factors Society 22<sup>nd</sup> Annual Meeting*, Detroit.

Mital, A., Nicholson, A. S., & Ayoub, M. M. (Eds.). (1997). *A guide to manual material handling*. Washington, DC: Taylor & Francis.

Mooney, V. (1987). Presidential address. International Society for the Study of the Lumbar Spine. Dallas, 1986. Where is the pain coming from? *Spine* 1987, 12, 754–759.

Myers, P., Myers, K., *Myers–Briggs Type Indicator*, Palo Alto (CA): Consulting Psychologists Press; 1998.

National Academy of Sciences & National Research Council. (2001). *Musculoskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremity*. Washington, DC: National Academy Press.

Neumann, W.P., Wells, R.P., Norman, R.W., Frank, J., Shannon, H., Kerrb, M.S. OUBPS Working Group. (2001). A posture and load sampling approach to determining low-back pain risk in occupational settings. *Int J Ind Ergon*, 27(2):65-77.

Nordgren, B. (1972). Anthropometric measures and muscle strength in young women. *Scan. J. Rehab. Med.*, 4, 165-169.

Norman, R., Wells, R., Neumann, P., Frank, J., Shannon, H., & Kerr, M. (1998). A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. *Clin Biomech.*, 13(8), 561-573.

Olmaker, K., Rydevik, B., Holm, S. (1989). Edema formation in spinal nerve roots induced by experimental, graded compression. An experimental study on the pig cauda equina with special reference to differences in effects between rapid and slow onset of compression. *Spine*, 14, 569–573

Ono, R., Yamazaki, S., Takegami, M., Otani, K., Sekiguchi, M., Onishi, Y., Hayashino, Y., Kikuchi, S., Konno, S., & Fukuhara, S. (2012). Gender difference in association between low back pain and metabolic syndrome: Locomotive Syndrome and Health Outcome in Aizu Cohort Study (LOHAS). *American Journal of Epidemiology*, 37, 1130–1137. doi:10.1097/BRS.0b013e31824231b8.

Parnianpour, M., Nordin, M., Kahanovitz, N., Frankel, V. (1988). Volvo award in biomechanics. The triaxial coupling of torque generation of trunk muscles during isometric exertions and the effect of fatiguing isoinertial movements on the motor output and movement patterns. *Spine*,13, 982–992.

Radwin, R. G., Marras, W. S., & Lavender, S. A. (2001). Biomechanical aspects of work-related musculoskeletal disorders. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2, 153–217. doi:10.1080/14639220110102044.

Ramsey, D. (1996). *Anatomy of Pain Ontario Inter-Urban Pain Conference*; Waterloo, Ontario, Canada;1996 (updated 2001).

Roebuck, J.A., Kromer, K.H.E. and Thompson, W.G. (1975). *Engineering anthropometry methods*. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Pinder A.D.J. and Boocock, M.G. (2014). Prediction of the maximum acceptable weight of lift from the frequency of lift. *Int. J. Ind. Ergonomics*, 44, 225-237.

Poulson, E. and Jorgenson, K. (1971). Back muscle strength, lifting and stoop working postures. *Applied Ergonomics*, 1, 133-137.

Punnet, L. et al. (1991). Back disorders and non-neutral trunk posture of automobile assembly workers. *Scan J Work Environ Health*, 17(5), 337-346.

Rice, V., Sharp, M., Nindl, B., & Bills, R. (1995). Prediction of two-person team lifting capacity. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting* (pp.645–649). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society. doi:10.1177/154193129503901022.

Rydevik, B.L., Myers, R.R., Powell, H.C. (1989). Pressure increase in the dorsal root ganglion following mechanical compression. Closed compartment syndrome in nerve roots. *Spine*, 14, 574–576.

Sarno, J.E. *Mind Over Back Pain*. New York (NY): Berkley Books; 1982.

Sarno, J.E. *Healing Back Pain*. New York (NY):WarnerBooks; 1991.

Seidler, A., Bolm-Audorff, U., Heiskel, H., Henkel, N., Roth-Küver, B., Kaiser, U., Bickeböller, R., Willingstorfer, W. J., Beck, W., & Elsner, G. (2001). The role of cumulative physical work load in lumbar spine disease: risk factors for lumbar osteochondrosis and spondylosis associated with chronic complaints. *Occup Environ Med*, 58(11):735-746.

Seidler, A., Bolm-Audorff, U., Siol, T., Henkel, N., Fuchs, C., Schug, H., Leheta, F., Marquardt, G., Schmitt, E., Ulrich, P.T., Beck, W., Missalla, A., & Elsner, G. (2003). Occupational risk factors for symptomatic lumbar disc herniation; a case-control study. *Occup Environ Med*, 60(11):821-830.

Sharp, M., Rice, V., Nindl, B., & Mello, R. (1995). Maximum acceptable load for lifting and carrying in two person teams. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting* (pp. 640–644). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society. doi:10.1177/15419312950390102.

Shiri, R., Karppinen, J., Leino-Arjas, P., Solovieva, S., & Viikari- Juntura, E. (2010). The association between obesity and low back pain: A meta-analysis. *American Journal of Medicine*, 171, 135–154. doi:10.1093/aje/kwp356.



- Shiri, R., Karppinen, J., Leino-Arjas, P., Solovieva, S., Juntura, V. (2010). The Association between Smoking and Low Back Pain: A Meta-analysis. *The American Journal of Medicine*, 123, 87.e7-87.e35.
- Smyth, M.J., Wright, V. (1958). Sciatica and the intervertebral disc: an experimental study. *J Bone Joint Surg (Am)*, 40(A),1401–1418.
- Snook, S.H., Irvine, C.H. and Bass, S.F. (1970). Maximum weights and workloads acceptable to male industrial workers. *Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal*, 31, 579-586.
- Snook, S.H. (1971). The effects of age and physique on continuous work capacity. *Human Factors*, 13, 467-479.
- Snook, S.H. and Ciriello, V.M. (1974). Maximum weights and workloads acceptable to female workers. *J. Occup. Med.*, 16, 527-534.
- Snook, S.H. (1978). Psychophysiological indices- what people will do. Safety in manual materials handling. C.C. Drury, Ed. DHEW (NIOSH) Publication No. 78-185, 63-67.
- Sonoda, T. (1962). Studies on the compression, tension, and torsion strength of human vertebral column. *J. Kyoto Perfect Ned. Univ.*, 71, 659-702.
- Soslowsky, L.J., Thomopoulos, S., Tun, S., Flanagan, C.L., Keefer, C.C., Mastaw, J., Carpenter, J.E. (2000). Overuse activity injures the supraspinatus tendon in an animal model: a histologic and biomechanical study. Neer Award 1999. *J Shoulder Elbow Surg*, 9, 79–84.
- Sterud, T., & Tynes, T. (2013). Working related psychosocial and mechanical risk factors for low back pain: A 3-year follow-up study of the general working population in Norway. *Journal of Occupational Environmental Medicine*, 70, 293–302. doi:10.1136/oemed-2012-101116.
- Stevens, S.S. (1960). The psychophysics of sensory function". *Am. Sci.*, 48, 226-253.
- Strindberg, L. and Peterson, N.F. (1972). Measurement of force perception in pushing trolleys. *Ergonomics*, 15, 435-438.
- Svensson, H., Andersson, G.B.J. (1989). The relationship of low-back pain, work history and work environment, and stress: a retrospective cross-sectional study of 38- to 64-year old women. *Spine* 14(5):517–522.

Switzer, S.A. (1962). Weight lifting capabilities of a selected sample of human males. Aerospace Med. Re. Lab., Report No. AD284054, Wright Patterson Air Force Base, Ohio.

Thorbjornsson, C.B., et al. (2000). Physical and psychosocial factors related to lowback pain during a 24-year period. A nested case-control analysis. *Spine*, 25 (3), 369–374; discussion 375.

Toroptsova, N.V., Benevolenskaya, L.I., Karyakin, A.N., Sergeev, I.L., and Erdesz, S. (1995). Cross-sectional study of low back pain among workers at an industrial enterprise in Russia. *Spine*, 20(3), 328–332.

Troup, J.D.G. and Chapman, A.E. (1969). The strength of the flexor and extensor muscles of the trunk. *J. Biomech*, 2, 49-62.

Undeutsch, K., Gärtner, K.H., Luopajarvi, T., Küpper, R., Karvonen, M.J., Löwenthal, I., et al. [1982]. Back complaints and findings in transport workers performing physically heavy work. *Scand J Work Environ Health* 8(Suppl 1):92–96.

Videman, T., Nurminen, T., Tola, S., Kuorinka, I., Vanharanta, H., Troup, J.D.G. (1984). Low-back pain in nurses and some loading factors of work. *Spine*, 9(4), 400–404.

Village, J., Frazer, M., Cohen, M., Leyland, A., Park, I., & Yassi, A. (2005). Electromyography as a measure of peak and cumulative workload in intermediate care and its relationship to musculoskeletal injury: an exploratory ergonomic study. *Appl Ergon.*, Sep;36(5):609-18. doi: 10.1016/j.apergo.2005.01.019

Walsh, K., Varnes, N., Osmond, C., Styles, R., Coggin, D. (1989). Occupational causes of low back pain. *Scand J Work Environ Health*, 15(1), 54–59.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36, 749–776. doi:10.1080/00140139308967940.

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

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

- Waters, T. R., Lu, M.-L., Piacitelli, L. A., Werren, D., & Deddens, J. A. (2011). Efficacy of the Revised NIOSH Lifting Equation to predict risk of low back pain due to manual lifting: Expanded cross-sectional analysis. *Journal of Occupational Environmental Medicine*, 53, 1061–1067. doi:10.1097/JOM.0b013e31822cfe5e.
- Waters, T., Occhipinti, E., Colombini, D., Alvarez-Casado, E., & Fox, R. (2015). Variable lifting index (VLI): A new method for evaluating variable lifting tasks. *Human Factors*. Advance online publication.
- Weinstein, J.. Basic pain mechanism and its control. In Nordin, M., Andersson, G., Pope, M. editors. *Musculoskeletal Disorders in the Workplace: Principles and Practice*. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc. 1997, 45–50.
- Whitney, R.J. (1958). The strength of the lifting action in man. *Ergonomics*, 1, 101-128.
- Widanarko, B., Legg, S., Devereux, J., & Stevenson, M. (2015). Interaction between physical and psychosocial work risk factors for low back symptoms and its consequences amongst Indonesian coal mining workers. *Applied Ergonomics*, 46, 158–167. doi:10.1016/j.apergo.2014.07.016.
- Winkelstein, B.A., Rutkowski, M.D., Weinstein, J.N., Deleo, J.A. (2001) Quantification of neural tissue injury in a rat radiculopathy model: comparison of local deformation, behavioral outcomes, and spinal cytokine mRNA for two surgeons *J Neurosci Methods*, 111, 49–57.
- Winkelstein B.A. and Deleo J.A. (2004). Mechanical thresholds for initiation and persistence of pain following nerve root injury: mechanical and chemical contributions at injury. *J Biomech Eng*, 126, 258–263.
- Womersley, L., & May, S. (2006). Sitting posture of subjects with postural backache. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 29, 213–218.
- Yassi, A., Khokhar, J., Tate, R., Cooper, J., Snow, C., & Vallentyne, S. (1995). The epidemiology of back injuries in nurses at a large Canadian tertiary care hospital: Implication for prevention. *Occupational Medicine*, 45, 215–220.
- Yu, S., Lu, M. L., Gu, G., He, L., & Wang, S. (2012). Musculoskeletal risk factors in a large sample of Chinese workers in Henan province of China. *American Journal of Industrial Medicine*, 55, 281–293. doi:10.1002/ajim.21037.

Zanuto, E.A., Codogno, J.S., Christófaro, D.G., Vanderlei, L.C., Cardoso J.R. and Fernandes, R.A.(2015). Prevalence of low back pain and associated factors in adults from a middle-size Brazilian city. *Cien Saude Colet*, 20(5):1575-82. doi: 10.1590/1413-81232015205.02162014.