

**HUMAN CENTERED DESIGN:  
sviluppo di un metodo per la  
valutazione oggettiva del comfort  
posturale degli arti inferiori**

**MARIAROSARIA VALLONE**





Unione Europea



*Ministero dell'Istruzione,  
dell'Università e della Ricerca*



UNIVERSITÀ DEGLI  
STUDI DI SALERNO

***Università degli studi di Salerno  
Department of Industrial Engineering***

***Ph.D. Course in Industrial Engineering  
(XV Cycle-New Series, XXIX Cycle)***

**Tesi di dottorato in HUMAN CENTERED  
DESIGN: sviluppo di un metodo per la  
valutazione oggettiva del comfort posturale degli  
arti inferiori  
Volume 1**

2014-2017

**Supervisors**

*Prof. Nicola Cappetti*

**Ph.D. student**

*Mariarosaria Vallone*

**Ph.D. Course Coordinator**

*Prof. Ernesto Reverchon*





# Ringraziamenti

Al termine di questi tre anni di Dottorato desidero ringraziare tutte le persone che a vario titolo mi hanno accompagnato in questo percorso e senza le quali questo lavoro di tesi non sarebbe stato possibile realizzare.

Innanzitutto voglio ringraziare i Prof. Nicola Cappetti ed Alessandro Naddeo per essersi sempre dimostrati disponibili a offrirmi il proprio preziosissimo contributo teorico e metodologico durante tutte le fasi del mio lavoro di ricerca e per essersi sempre prodigati a far sì che potessi fare esperienze costruttive e utili alla mia crescita come dottore di ricerca e non solo.

Ringrazio la Prof.ssa Marcella Niglio per la stima dimostratami e per l'immenso contributo teorico e metodologico offertomi e la sua dedizione a seguirmi nella parte di statistica della mia ricerca.

Ringrazio i Prof. Arcangelo Pellegrino e Francesco Villecco per i loro consigli in questi anni e per essere stati un esempio di correttezza e professionalità che costituirà sempre per me un modello da perseguire nella nel lavoro.

Voglio, inoltre, ringraziare tutti i colleghi e amici dottorandi con cui ho condiviso lezioni, impegni, preoccupazioni e frustrazioni, oltre a idee e soddisfazioni. In particolar modo Rosaria, la mia amica- collega senza la quale questa esperienza non sarebbe stata la stessa e con la quale ho condiviso un'ulteriore esperienza di vita, Damiano, Mario, Francesco e Giuseppe la cui amicizia è stata un tesoro scoperto per caso in questa non facile avventura e senza la quale questo dottorato non sarebbe mai stato altrettanto prezioso.

Ringrazio, infine, immensamente la mia famiglia per non avermi mai fatto mancare il proprio sostegno morale e spesso anche materiale e senza la quale nulla sarebbe stato possibile.

# Lista delle pubblicazioni

- Naddeo, A., Vallone, M., Cappetti, N., Califano, R. (2014). New trend line of research about comfort evaluation: proposal of a framework for weighing and evaluating contributes coming from cognitive, postural and physiologic comfort perceptions. In: *Advances in Social and Organizational Factors Cracovia (PL)* 19-23 July 2014 Delft Peter Vink Vol.unico, Pag.503-515 ISBN: 9781495121029
- Vallone M., Naddeo A., Cappetti N. and Califano R. (2014) Comfort Driven redesign methods: an application to mattress production system. *The Open Mechanical Engineering Journal*. Vol. 9. Pag.492-507 ISSN:1874-155X.
- Naddeo, A., Califano, R., Cappetti, N., Vallone, M. (2014). Manual assembly workstation redesign based on a new quantitative method for postural comfort evaluation. In *Honghua Tan applied mechanics and materials*, vol.459 Pag.368-379 Durnten-Zurich, Honghua Tan, Trans Tech Publication Ltd., Switzerland. ISSN: 1660-9336.
- Naddeo, A., Califano, R., Cappetti, N., Vallone, M. (2015). The effect of external and environmental factors on perceived comfort: the car-seat experience. In *Annual Meeting 2015 Human Factors & User Experience in everyday life, medicine, and work*.
- Naddeo, A. Fasulo, L., Vallone, M. (2015). Ergonomic Analysis and Comfort driven redesign of Student Classroom combo desks at University of Salerno (ITALY). In *International Conference on Engineering Graphics and Design*
- Naddeo A., Cappetti N., Califano R., Vallone M. (2015). The role of expectation in comfort perception: the mattresses' evaluation experience. *Procedia Manufacturing*, vol. 3, 2015, Pages 4784–4791
- Cappetti, N., Naddeo, A., Califano, R., Vallone, M. (2016) Using axiomatic design to identify the elements that affect the evaluation of comfort/discomfort perception. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 487, pp. 235-248
- Naddeo, A., Vallone, M., Cappetti, N., Califano, R., Di Napoli, F. (2016) Ergonomic-driven redesign of existing work cells: the “Oerlikon Friction System” case. *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing*, part VIII pp. 1197-1207
- Califano, R., Negri, A.C., Giordano, M., Tortora, G., Vallone, M. (2016) A cheap and effective method for virtual ergonomic analysis and comfort driven redesign: An application to lunch-boxes' distribution station at university of Salerno. *International Journal of Applied Engineering Research* 11(11), A7292, pp. 7292-7297

- Califano, R., Cozzitorto, P., Delmastro, M., Sellitto, G., Vallone, M. (2016) Virtual ergonomic analysis and redesign methods: An application to lunch payment station at university of Salerno. *International Journal of Applied Engineering Research* 11 (10), pp. 7114-7118
- Apostolico, F., Califano, R., Nicola, M.D., Tucci, F., Vallone, M. (2016) An easy and not invasive method for virtual ergonomic analysis and redesign of workplaces: The case of the pizzeria at university of Salerno. *International Journal of Applied Engineering Research* 11(11), pp. 7312-7317
- Bruno, F., Califano, R., Greco, R., Ricco, G., Vallone, M., Valter, V. (2016) Virtual ergonomic analysis and redesign of a dentist's workcycle. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* vol. 11, NO. 21
- Todisco, V., Clemente, V., Califano, R., Vallone, M. (2016) The effect of wearing eyeglasses upon postural comfort perception while using multi-tasking electronic devices in sitting position. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 486, pp. 551-565

# Sommario

Indice delle figure .....	III
Indice delle tabelle .....	III
Abstract .....	IX
Introduzione .....	X
<b>Ergonomia</b> .....	1
I.1 Le origini dell'ergonomia .....	1
I.2 L'ergonomia oggi: evoluzione dell'approccio ergonomico .....	2
I.3 Il progetto centrato sull'uomo.....	4
I.4 Il ritorno degli investimenti in ergonomia .....	5
I.5 L'ergonomia nella legislazione italiana .....	7
I.6 Le norme sui principi ergonomici.....	8
I.7 Intervalli di movimento articolare e metodi di misura.....	9
I.7.1 Piani di misura .....	11
I.7.2 Fattori di influenza per il ROM.....	18
I.7.3 Metodi di misura .....	21
I.8 Disturbi e patologie muscolo-scheletriche degli arti correlati al lavoro .....	26
I.8.1 La ripetitività come causa di disturbo .....	29
I.8.2 Patologie da sovraccarico biomeccanico degli arti inferiori .....	30
I.8.3 I principali metodi per la valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico.....	31
I.8.4 Tappe fondamentali per lo studio di un'attività lavorativa .....	35
Il Comfort.....	37
II.1 Differenza tra l'ergonomia e il comfort.....	37
II.1 Tendenza della società verso il comfort di seduta.....	38
II.1.1 Gli effetti dello spazio personale sul comfort e sul discomfort ..	40
II.2 I fattori umani che influenzano il comfort e il discomfort.....	40
II.3 Modello di percezione del comfort.....	42

II.3.1	Proposta di un modello di più ampia percezione del comfort.....	43
II.3.2	Modello di percezione del comfort NC: caso expectations .....	46
II.3.3	La matrice di comfort .....	53
II.3.4	Matrice di comfort: car-seat.....	62
Il Comfort	posturale degli arti superiori.....	75
III.1	CaMAN: metodo di oggettivazione del comfort posturale degli arti superiori.....	75
III.2	CaMAN: convalida del metodo.....	76
III.2.1	CaMAN Upper Limbs: caso Valflex S.r.l. ....	77
III.2.2	CaMAN Upper Limbs: caso Oerlikon.....	82
La postura a riposo	degli arti inferiori.....	91
IV.1	Range of Motion(ROM) e Comfort Range of Motion (CROM).....	91
IV.2	Range of Rest Position .....	94
IV.2.1	RRP e scelta del campione .....	95
IV.2.3	Individuazione punti di riferimento: anca .....	95
IV.2.4	Individuazione punti di riferimento: ginocchio.....	98
IV.2.5	Individuazione punti di riferimento: la caviglia.....	101
IV.2.6	Procedura di elaborazione delle immagini .....	103
IV.2.7	Layout setup sperimentale.....	107
IV.2.8	Post-elaborazione: analisi statistica dei dati .....	110
IV.2.9	Tabelle riassuntive degli RRP .....	127
Il Comfort	posturale degli arti inferiori .....	129
V.1	Definizione dei punteggi di Comfort.....	129
V.2	Scelta del campione e delle posture.....	129
V.3	Il questionario di comfort .....	133
V.4	Le curve di comfort .....	137
Conclusioni.....		151
Bibliografia.....		153

# Indice delle figure

<b>Figura I. 1</b> I contenuti dell'ergonomia dei sistemi di lavoro.....	3
<b>Figura I. 2</b> I contenuti dell'ergonomia del prodotto.....	3
<b>Figura I. 3</b> Modello delle interazioni tra lavoratore e sistema di lavoro.....	4
<b>Figura I. 4</b> Apparato scheletro umano.....	10
<b>Figura I. 5</b> Piani di suddivisione del corpo umano.....	12
<b>Figura I. 6</b> Piani di suddivisione del corpo umano: piano sagittale.....	13
<b>Figura I. 7</b> Piani di suddivisione del corpo umano: piano frontale.....	14
<b>Figura I. 8</b> Piani di suddivisione del corpo umano: piano trasversale.....	15
<b>Figura I. 9</b> Esempio di AROM per la movimentazione del ginocchio e dell'anca.....	16
<b>Figura I. 10</b> Esempio di PROM per la movimentazione del ginocchio e dell'anca.....	17
<b>Figura I. 11</b> Movimento attivo (A), Movimento passivo (P).....	17
<b>Figura I. 12</b> Disco goniometrico.....	21
<b>Figura I. 13</b> Goniometri ortopedici a braccio.....	22
<b>Figura I. 14</b> Inclinometro CROM (Cervical Range of Motion).....	23
<b>Figura I. 15</b> Inclinometro BROM (Back Range of Motion).....	24
<b>Figura II. 1</b> Ergonomia e Comfort.....	38
<b>Figura II. 2</b> Distribuzione della statura di differenti popolazioni maschili.....	41
<b>Figura II. 3</b> Modello di percezione del comfort di Moes.....	43
<b>Figura II. 4</b> Modello di percezione del Comfort di Vink-Hallbeck.....	43
<b>Figura II. 5</b> Proposta di un modello di una più ampia percezione del comfort.....	44
<b>Figura II. 6</b> Questionario per la valutazione del Comfort.....	49
<b>Figura II. 7</b> Schematizzazione degli elementi che influenzano il comfort.....	63
<b>Figura II. 8</b> Questionario con termini Kansei.....	70
<b>Figura II. 9</b> Prototipo virtuale della seduta.....	71
<b>Figura II. 10</b> Media dei punteggi di comfort in funzione delle differenti presentazioni delle sedute.....	72
<b>Figura II. 11</b> Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di interazione fisica con il prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile.....	72
<b>Figura II. 12</b> Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di sola osservazione del prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile.....	73
<b>Figura II. 13</b> Confronto punteggi medi dei questionari nel caso della presentazione fotografica della seduta e nel caso della seduta all'interno dell'automobile.....	73
<b>Figura II. 14</b> Confronto punteggi medi dei questionari nel caso del prototipo 3D digitalizzato e nel caso della seduta all'interno dell'automobile.....	73

<b>Figura III. 1</b> Interfaccia grafica di CaMAN	76
<b>Figura III. 2</b> Modellazione virtuale bordatrice.....	78
<b>Figura III. 3</b> Ipotesi di riprogettazione seduta .....	81
<b>Figura III. 4</b> Ipotesi di riprogettazione supporto etichette .....	81
<b>Figura III. 5</b> Modellazione virtuale del layout.....	84
<b>Figura III. 6</b> Limiti di peso raccomandabili per la popolazione maschile ..	88
<b>Figura III. 7</b> Pressa con leva riprogettata.....	89
<b>Figura IV. 1</b> Ossa, articolazioni e legamenti dell'anca	97
<b>Figura IV. 2</b> Punti di riferimento anatomici nella vista laterale dell'anca ..	98
<b>Figura IV. 3</b> Punti di riferimento anatomici nella vista frontale e superiore dell'anca .....	98
<b>Figura IV. 4</b> Ossa, articolazioni e legamenti del ginocchio .....	101
<b>Figura IV. 5</b> Punti di riferimento anatomici nella vista laterale del ginocchio .....	101
<b>Figura IV. 6</b> Ossa, articolazioni e legamenti della caviglia .....	102
<b>Figura IV. 7</b> Punti di riferimento anatomici nella vista laterale dell'anca	103
<b>Figura IV. 8</b> Anca: gradi di libertà.....	104
<b>Figura IV. 9</b> Ginocchio: gradi di libertà.....	105
<b>Figura IV. 10</b> Caviglia: gradi di libertà.....	105
<b>Figura IV. 11</b> Immagine elaborata: soggetto maschile .....	106
<b>Figura IV. 12</b> Immagine elaborata: soggetto femminile .....	107
<b>Figura IV. 13</b> Layout ambiente di lavoro.....	108
<b>Figura IV. 14</b> Ambiente acquisizione dati .....	109
<b>Figura IV. 15</b> Ambiente acquisizione dati:caviglia.....	110
<b>Figura IV. 16</b> Esempio fotografico di acquisizione caviglia.....	110
<b>Figura IV. 17</b> Distribuzione di densità: flessione anca soggetto maschile	112
<b>Figura IV. 18</b> Distribuzione di densità: flessione anca soggetto femminile .....	113
<b>Figura IV. 19</b> Funzione di distribuzione di probabilità: flessione anca soggetto maschile .....	114
<b>Figura IV. 20</b> Funzione di distribuzione di probabilità: flessione anca soggetto femminile.....	114
<b>Figura IV. 21</b> Distribuzione di densità: abd/adduzione anca soggetto maschile.....	115
<b>Figura IV. 22</b> Distribuzione di densità: abd/adduzione anca soggetto femminile .....	115
<b>Figura IV. 23</b> Funzione di distribuzione di probabilità: abd/adduzione anca soggetto maschile .....	116
<b>Figura IV. 24</b> Funzione di distribuzione di probabilità: add/abduzione anca soggetto femminile.....	117
<b>Figura IV. 25</b> Distribuzione di densità: rotazione anca soggetto maschile	117
<b>Figura IV. 26</b> Distribuzione di densità: rotazione anca soggetto femminile .....	118

<b>Figura IV. 27</b> Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione anca soggetto maschile .....	119
<b>Figura IV. 28</b> Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione anca soggetto femminile.....	119
<b>Figura IV. 29</b> Distribuzione di densità: flessione/ estensione ginocchio soggetto maschile .....	120
<b>Figura IV. 30</b> Distribuzione di densità: flessione/ estensione ginocchio soggetto femminile.....	120
<b>Figura IV. 31</b> Funzione di distribuzione di probabilità: flessione/ estensione ginocchio soggetto maschile .....	121
<b>Figura IV. 32</b> Funzione di distribuzione di probabilità: flessione/ estensione ginocchio soggetto femminile.....	122
<b>Figura IV. 33</b> Distribuzione di densità: rotazione ginocchio soggetto maschile.....	122
<b>Figura IV. 34</b> Distribuzione di densità: rotazione ginocchio soggetto femminile .....	123
<b>Figura IV. 35</b> Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione ginocchio soggetto maschile .....	124
<b>Figura IV. 36</b> Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione ginocchio soggetto femminile.....	124
<b>Figura IV. 37</b> Distribuzione di densità: flessione dorsale-plantare della caviglia soggetto maschile .....	125
<b>Figura IV. 38</b> Distribuzione di densità: flessione dorsale-plantare della caviglia soggetto femminile .....	125
<b>Figura IV. 39</b> Funzione di distribuzione di probabilità: flessione plantare- dorsale caviglia soggetto maschile.....	126
<b>Figura IV. 40</b> Funzione di distribuzione di probabilità: flessione plantare- dorsale caviglia soggetto femminile.....	127
<b>Figura V. 1</b> Esempio acquisizioni angoli in posture alla massima e minima altezza (flessione anca; flessione/estensione ginocchio) 131	
<b>Figura V. 2</b> Esempio acquisizioni angoli in posture alla massima e minima altezza (abd/adduzione anca) .....	132
<b>Figura V. 3</b> Esempio acquisizioni angoli soggetto in piedi (rotazione interna- esterna anca) .....	133
<b>Figura V. 4</b> Funzione di densità per la flessione anca maschio .....	138
<b>Figura V. 5</b> Curva di comfort per la flessione anca maschio .....	139
<b>Figura V. 6</b> Funzione di densità per la flessione anca femmina.....	139
<b>Figura V. 7</b> Curva di comfort per la flessione anca femmina .....	140
<b>Figura V. 8</b> Funzione di densità per l'abd/adduzione anca maschio.....	140
<b>Figura V. 9</b> Curva di comfort per l'abd/adduzione anca maschio.....	141
<b>Figura V. 10</b> Funzione di densità per l'abd/adduzione anca femminile....	141
<b>Figura V. 11</b> Curva di comfort per l'abd/adduzione anca femmina.....	142
<b>Figura V. 12</b> Funzione di densità per la rotazione interna/esterna anca maschio .....	142

<b>Figura V. 13</b> Curva di comfort per la rotazione interna/esterna anca maschio .....	143
<b>Figura V. 14</b> Funzione di densità per la rotazione interna/esterna anca femmina.....	143
<b>Figura V. 15</b> Funzione di densità per la rotazione interna/esterna anca femmina.....	144
<b>Figura V. 16</b> Funzione di densità per la flessione ginocchio maschio .....	145
<b>Figura V. 17</b> Curva di comfort per la flessione ginocchio maschio .....	145
<b>Figura V. 18</b> Funzione di densità per la flessione ginocchio femmina .....	146
<b>Figura V. 19</b> Curva di comfort per la flessione ginocchio femmina .....	146
<b>Figura V. 20</b> Funzione di densità per la rotazione ginocchio maschio .....	147
<b>Figura V. 21</b> Curva di comfort per la rotazione ginocchio maschio .....	147
<b>Figura V. 22</b> Funzione di densità per la rotazione ginocchio femmina.....	148
<b>Figura V. 23</b> Curva di comfort densità per la rotazione ginocchio femmina .....	148
<b>Figura V. 24</b> Funzione di densità per la flessione caviglia maschio .....	149
<b>Figura V. 25</b> Curva di comfort per la flessione caviglia maschio .....	149
<b>Figura V. 26</b> Funzione di densità per la flessione caviglia femmina .....	150
<b>Figura V. 27</b> Curva di comfort densità per la flessione caviglia femmina	150

# Indice delle tabelle

<b>Tabella I. 1</b>	Fattori di influenza per il ROM dell'anca.....	19
<b>Tabella I. 2</b>	Fattori di influenza per il ROM del ginocchio.....	19
<b>Tabella I. 3</b>	Fattori di influenza per il ROM della caviglia.....	20
<b>Tabella I. 4</b>	Fattori di rischio per i DMS.....	28
<b>Tabella II. 1</b>	Descrizione statistica del Comfort percepito per le diverse parti del corpo	50
<b>Tabella II. 2</b>	Descrizioni statistiche all'interno dei 4 clusters.....	51
<b>Tabella II. 3</b>	La matrice: personal characteristics.....	54
<b>Tabella II. 4</b>	La matrice: work/task characteristics.....	55
<b>Tabella II. 5</b>	La matrice: working environment's characteristics.....	58
<b>Tabella II. 6</b>	La matrice: level of gratification.....	60
<b>Tabella II. 7</b>	La matrice: tools and instruments for comfort measuring.....	61
<b>Tabella II. 8</b>	Sottomatrice di Comfort: caso car-seat.....	63
<b>Tabella III. 1</b>	Risultati analisi Checklist OCRA 79	
<b>Tabella III. 2</b>	Analisi Indici di Comfort.....	80
<b>Tabella III. 3</b>	Indici di Comfort a valle delle ipotesi di riprogettazione.....	82
<b>Tabella III. 4</b>	Misure antropometriche dei manichini per la simulazione.....	84
<b>Tabella III. 5</b>	Indici dell'analisi di Comfort.....	85
<b>Tabella III. 6</b>	Calcolo dei valori della forza di azionamento.....	88
<b>Tabella III. 7</b>	Valori limiti percepiti.....	88
<b>Tabella III. 8</b>	Indici dell'analisi di Comfort post riprogettazione.....	90
<b>Tabella III. 9</b>	Confronto analisi OCRA prima e dopo la riprogettazione.....	90
<b>Tabella IV. 1</b>	Range of Motion dell'anca raccolti dalle fonti bibliografiche	92
<b>Tabella IV. 2</b>	Comfort of Range Motion dell'anca.....	93
<b>Tabella IV. 3</b>	Range of Motion del ginocchio raccolti dalle fonti bibliografiche.....	93
<b>Tabella IV. 4</b>	Comfort Range of Motion del ginocchio.....	93
<b>Tabella IV. 5</b>	Range of Motion della caviglia raccolti dalle fonti bibliografiche.....	94
<b>Tabella IV. 6</b>	Comfort Range of Motion della caviglia.....	94
<b>Tabella IV. 7</b>	Statistiche del campione maschile.....	111
<b>Tabella IV. 8</b>	Statistiche del campione femminile.....	111
<b>Tabella IV. 9</b>	Range of Rest Positions.....	127
<b>Tabella V. 1</b>	Scala di valutazione S.A.E.	134
<b>Tabella V. 2</b>	Questionario per la valutazione del comfort per le posture alla massima e minima altezza.....	135
<b>Tabella V. 3</b>	Questionario per la valutazione del comfort per rotazione anca/ginocchio e flessione caviglia.....	136



# Abstract

L'obiettivo dello studio proposto in questa trattazione è quello di fornire indicazioni sul comfort in relazione all'interfaccia uomo-macchina e di garantire tutti gli strumenti per la valutazione degli stessi.

Per poter analizzare il comfort è stato necessario effettuare un'indagine bibliografica sull'ergonomia, nello specifico quella fisica, e successivamente sul comfort, individuando le carenze e tutti gli aspetti non considerati. A valle di tali studi è stato realizzato un modello di percezione del comfort in grado di sintetizzare il concetto che il comfort e il discomfort siano la misura del grado di apprezzamento legato alle aspettative e all'interazione tra la persona e l'ambiente. Poiché il comfort e il discomfort di seduta sono ampiamente studiati in campo automotive, il modello di percezione del comfort è stato applicato a tale caso, andando ad individuare tutti gli elementi del modello che partecipano alle esperienze di comfort/discomfort.

È stato analizzato, inoltre, il fattore aspettativa, al fine di comprendere il meccanismo dell'influenza dell'aspettativa sul comfort generale; per dimostrarlo è stata realizzata una prova sperimentale che utilizza l'effetto "placebo".

Nella fase finale della trattazione viene presentato il modello di misurazione oggettiva del comfort degli arti inferiori realizzato, che è applicabile a qualsiasi contesto, dalla postazione di lavoro nel settore industriale al luogo di lavoro in generale. Tale modello tiene conto al suo interno dei Range of Rest Positions, ossia gli intervalli angolari all'interno dei quali un'articolazione si trova nello stato di massimo comfort e presenta come output le curve di comfort, individuando quindi, al variare dell'angolo delle articolazioni, un punteggio di comfort oggettivo.

# Introduzione

Lo studio condotto in questa trattazione approfondisce il tema dell'ergonomia e del comfort all'interfaccia uomo-macchina nell'accezione più ampia del termine, fino allo sviluppo di un metodo di percezione del comfort e di un metodo di misurazione oggettiva del livello di comfort posturale percepito dall'uomo.

L'importanza dello sviluppo di tali tipi di strumenti è stata dettata da esigenze industriali sempre più pressanti e dalla continua ricerca di leve di mercato che spingono anche grandi colossi mondiali a far uso più intenso della tecnologia per avvicinarsi all'ottimizzazione di tutti i parametri di progetto che definiscono le caratteristiche dei loro prodotti. Sicuramente oggi l'acquirente tipo è molto più attento di quanto non lo fosse qualche decennio fa, ma la sua attenzione in genere ricade sulle caratteristiche di "qualità apparente" del prodotto, ovvero sulle prerogative con le quali ha diretto contatto e/o ne ha una più diretta cognizione. Non a caso hanno assunto maggiore importanza l'aspetto estetico ed ergonomico, entrambi fattori sui quali l'industria oggi investe molto proprio perché miglioramenti in queste due direzioni hanno un ritorno di immagine immediato e un forte peso sulla valutazione finale del prodotto.

Nell'ambito dell'ergonomia la ricerca e lo sviluppo hanno lavorato molto nella riduzione del rischio da posture incongrue. Ciò è dimostrato dal fioccare di norme e guide di ausilio alla progettazione, che definiscono le caratteristiche geometriche di massima di prodotti, quali l'abitacolo di un mezzo di lavoro o di trasporto persone, i parametri geometrici che deve avere una postazione di ufficio, l'intervallo di altezze del tavolo da cucina ma anche del ripiano di lavoro di un'officina.

Non si può dire lo stesso per il comfort, oggi è possibile riconoscere forti differenze nella qualità dell'interfaccia uomo/macchina e in generale nelle sensazioni di confortevolezza che ci trasferiscono; ciò è frutto di un'analisi molto più dettagliata della definizione geometrica di alcuni parametri caratteristici del prodotto. Sono stati proprio la scarsità degli studi sul comfort e la necessità da parte delle aziende e/o dell'utilizzatore di un prodotto le motivazioni iniziali e principali per lo sviluppo di questo progetto di ricerca e

per l'individuazione di strumenti che possano oggettivare il livello di comfort percepito nel caso di interazioni e di un modello alla base che ne governi le interazioni stesse.

Per la presentazione dell'attività di ricerca svolta è stato indispensabile fornire alcune conoscenze propedeutiche per l'argomento, in particolar modo inerenti al comfort ed all'ergonomia, in modo da garantire la piena comprensione delle tematiche affrontate.

Inoltre, è stata introdotta un'analisi dei metodi di misura atti a descrivere le articolazioni e a caratterizzarne i movimenti. Per fare ciò è stato necessario analizzare una grande mole di informazioni, provenienti da un'ampia bibliografia di ambito medico/ingegneristico, sulla quale si è cercato di mettere ordine, confrontandone dati salienti in modo da verificarne la coerenza dei risultati.

Il modello di percezione del comfort realizzato è in grado di sintetizzare il concetto che il comfort e il discomfort (disagio) siano la misura del grado di apprezzamento legato alle aspettative e all'interazione tra la persona e l'ambiente. Il modello dà una definizione di un ampio numero di elementi che appartengono all'ambiente e che generano, tramite l'interazione con la persona, effetti interni al corpo che si tramutano in esperienza di comfort, discomfort o di nessuna percezione. Ogni elemento coinvolto in un'esperienza HMI (Human Machine Interface) può contribuire ad uno o più dei quattro tipi di comfort: posturale, cognitivo, fisiologico e ambientale; tale schematizzazione delle esperienze di comfort / disagio permette di individuare la maggior parte degli elementi che contribuisce al comfort/ discomfort classificandoli in termini di effetti interni umani.

Poiché il comfort e il discomfort di seduta sono ampiamente studiati in campo automotive, il modello di percezione del comfort è stato applicato a tale caso, andando ad individuare tutti gli elementi del modello che partecipano alle esperienze di comfort/discomfort. Sono stati effettuati, inoltre, degli studi per verificare l'ipotesi di valutazione del comfort, ossia che la valutazione del comfort associato all'utilizzo di un oggetto-prodotto la si può fare solo se l'oggetto viene testato nel suo ambiente e solo se vengono considerati tutti gli elementi presenti nella matrice derivante dal modello di percezione del comfort. Nel caso della seduta di una macchina, infatti, si è dimostrato che il prodotto di interazione con l'uomo, ossia la seduta, deve essere valutato all'interno dell'abitacolo della macchina, se lo stesso oggetto viene valutato in maniera isolata o considerando solo alcuni dei tanti aspetti il livello di comfort percepito varia notevolmente e tale risultato è difficilmente utilizzabile in quanto, nella realtà, le persone si troveranno a valutare sempre la seduta all'interno dell'automobile e non all'interno di un laboratorio.

Il modello di misurazione oggettiva del comfort sarà applicabile a qualsiasi contesto, dalla postazione di lavoro nel settore industriale al luogo di lavoro in generale, all'abitacolo di un'autovettura o di un mezzo di cantiere, allo scopo di migliorarne la qualità avvertita dall'utente. Il modello sulla base di

campagne di test effettuati nel Laboratorio T10 di Ingegneria dell'Università di Salerno, tiene conto al suo interno dei Range of Rest Positions, ossia gli intervalli angolari all'interno dei quali un'articolazione si trova nello stato di massimo comfort e presenta come output le curve di comfort, è possibile quindi, al variare dell'angolo delle articolazioni individuare un punteggio di comfort oggettivo.

# Capitolo I

## Ergonomia

### I.1 Le origini dell'ergonomia

Il termine ergonomia (“ergon” (lavoro) e “nomos” (legge) a volere significare “leggi del lavoro”) si deve a K.F.H. Murrell che definì l'ergonomia come “adattamento del lavoro all'uomo”. Per esso lo scopo dell'ergonomia era di aumentare l'efficienza dell'attività umana fornendo dati che dessero la possibilità di prendere decisioni a ragion veduta. Essa dovrebbe permettere di minimizzare il costo per il lavoratore, in particolare togliendo quelle caratteristiche della progettazione che, probabilmente a lungo termine, sono causa di inefficienza o di inabilità fisica. Attraverso l'analisi economica dovrebbe crearsi nell'industria la consapevolezza dell'importanza di considerare i fattori umani nella progettazione del lavoro, rendendo perciò un contributo al benessere umano, ma anche all'economia nazionale nel suo complesso.

Le parole di Murrell rendono evidente un primo aspetto teorico concettuale dell'approccio ergonomico, rappresentato dalla ricerca del benessere umano, concetto attualmente bene inquadrato nella definizione di salute dell'O.M.S. (organizzazione mondiale della sanità). Gli obiettivi dell'ergonomia sono andati progressivamente ampliandosi parallelamente al consolidarsi delle conoscenze in ambito psicologico e allo svilupparsi dei suoi campi di interesse a seguito dello sviluppo della tecnologia.

Un secondo aspetto che caratterizza l'approccio ergonomico è la sua natura scientifico applicativa: l'ergonomia nasce con lo scopo di affrontare e risolvere problemi concreti, per migliorare in modo significativo la salute ed il benessere degli individui.

La collaborazione tra esperti di discipline diverse che studiano l'uomo e il lavoro nelle sue diverse componenti, rafforza la natura scientifico applicativa

## Chapter I

dell'approccio, conferendogli un valore sistemico, con l'obiettivo concreto di trovare risposta razionale alla complessità.

### **I.2 L'ergonomia oggi: evoluzione dell'approccio**

#### **ergonomico**

Nell'arco di circa 50 anni l'ergonomia ha subito un'evoluzione che ha attraversato diverse fasi. Nella sua prima applicazione si è posta come tentativo quello di adattare la macchina ed il lavoro all'uomo, avendo al centro della sua attenzione il microcosmo della postazione di lavoro, distinguendosi in due ambiti d'azione:

- **ergonomia di concezione**, il cui scopo era la progettazione di nuovi sistemi di lavoro e di sistemi uomo-macchina;
- **ergonomia di correzione**, il cui scopo era quello di modificare sistemi di lavoro e macchine già funzionanti per renderle più adatte all'uomo.

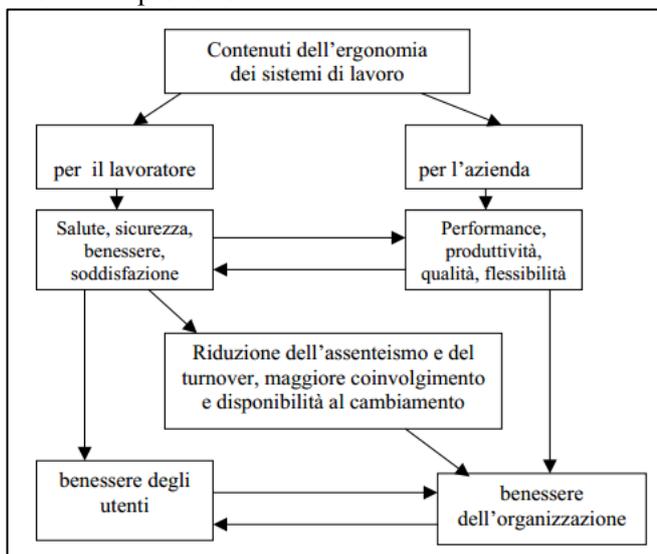
Verso la metà degli anni '70 l'oggetto del suo studio si è spostato dalla prestazione dell'individuo nella sua postazione di lavoro, alla relazione tra gli individui e il contenuto definito dalle attrezzature di lavoro, dall'ambiente circostante e dalle caratteristiche organizzative del lavoro. L'ambito di riferimento è divenuto il sistema uomo – macchina – ambiente.

A partire dagli anni '80 l'interesse si è esteso agli aspetti ambientali dei luoghi di lavoro, comprendendo tutte le aree produttive e il lavoro d'ufficio. Negli anni '90, con la scomparsa di gran parte dei lavori manuali, sostituiti da mansioni di controllo di apparecchiature automatizzate operanti nelle linee di produzione, l'informatizzazione diffusa del lavoro d'ufficio, la comparsa di nuove forme di organizzazione e gestione della produzione e dei rapporti interni alle aziende, hanno spostato l'attenzione dell'ergonomia sullo studio delle interfacce, sull'usabilità dei sistemi uomo-macchina nei quali la macchina non è più intesa come macchina meccanica, ma come insieme di dispositivi controllati dall'operatore. Parallelamente il campo di ricerca e di intervento si è esteso allo studio dell'uomo nell'interazione con l'ambiente e con gli oggetti di uso quotidiano. Gli interventi ergonomici tendevano sempre più a spostarsi sul fronte del progetto, nella convinzione che la vera prevenzione si ottenesse intervenendo in sede di progetto, prima che l'evento dannoso si manifestasse, elaborando idonee metodologie revisionali.

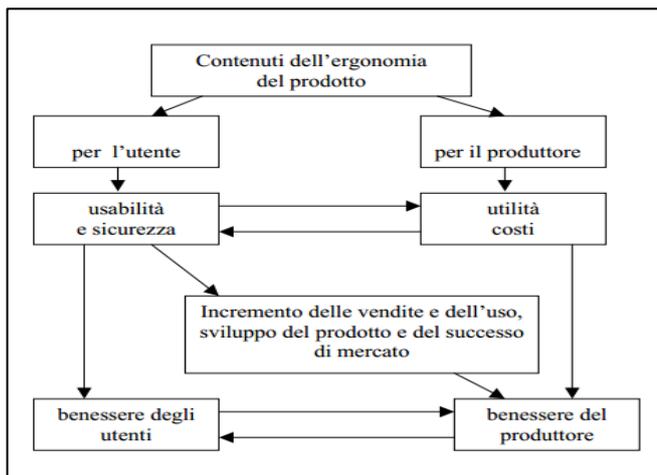
Oggi gli obiettivi dell'ergonomia sono l'usabilità e la sicurezza dei sistemi dei quali l'uomo si serve, in quanto utente, in qualità di operatore, fruitore, acquirente o nei quali è parte integrante del sistema stesso. I campi di ricerca e di intervento oggi privilegiati sono le verifiche di usabilità e di sicurezza delle attrezzature e dei dispositivi utilizzati nell'ambito dei processi produttivi

e di lavoro organizzato e applicate anche nel settore dei prodotti di uso quotidiano.

L'ergonomia si configura oggi come studio e progettazione di sistemi complessi la cui efficienza è determinata non solo dal funzionamento del sistema in sé, ma anche dal sistema tecnologico e sociale in cui lo stesso è collocato. Si distingue pertanto una "ergonomia dei sistemi di lavoro" (Figura I.1), rispetto ad una "ergonomia del prodotto" (Figura I.2), la prima avente come campo di applicazione l'originaria relazione tra l'uomo ed il suo ambito di lavoro, la seconda avente invece come campo di applicazione la relazione tra l'utilizzatore ed il prodotto.



**Figura I. 1** I contenuti dell'ergonomia dei sistemi di lavoro



**Figura I. 2** I contenuti dell'ergonomia del prodotto

## Chapter I

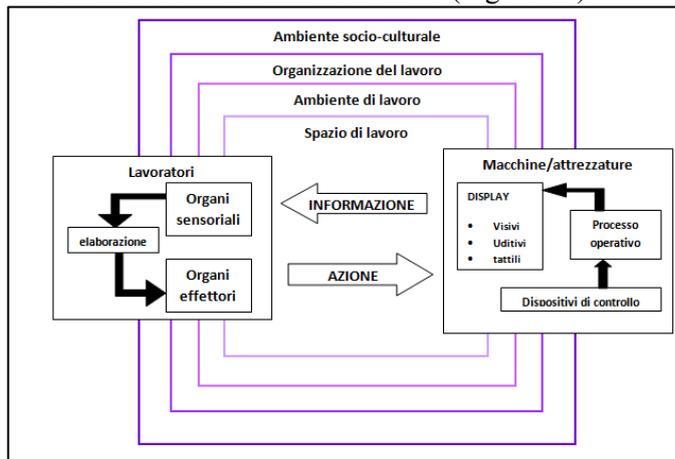
Attualmente si possono riconoscere **quattro** componenti principali dell'ergonomia:

- **l'ergonomia dell'hardware (hardware ergonomics):** la tecnologia dell'interfaccia uomo-macchina;
- **l'ergonomia dell'ambiente (environmental ergonomics):** la tecnologia dell'interfaccia uomo-ambiente;
- **l'ergonomia cognitiva (cognitive ergonomics):** la tecnologia dell'interfaccia uomo-software;
- **la macroergonomia:** la tecnologia dell'interfaccia uomo-organizzazione.

Le prime tre componenti hanno come oggetto l'utente o il gruppo di utenti che interagisce con un prodotto o un ambiente. La loro applicazione riguarda un livello microergonomico relativo allo studio, alla progettazione e alla valutazione dell'interazione uomo-ambiente-prodotto, nell'ambito di un determinato contesto d'uso. La macroergonomia si occupa invece dell'interazione uomo-organizzazione e secondo H.W. Hendrik (1999) può essere definita come un approccio sociotecnico top-down al progetto di organizzazioni, sistemi di lavoro, mansioni, interfacce, rapporti uomo-macchina e uomo-ambiente.

### I.3 Il progetto centrato sull'uomo

Il grande insieme nel quale gli uomini e le macchine operano in sinergia per raggiungere, mediante attività più o meno complesse e progettate per essere svolte in un certo spazio, in un certo ambiente e alle condizioni imposte dall'organizzazione del lavoro, è il "sistema di lavoro". Esso comprende vari stati che definiscono la complessità del rapporto tra l'uomo, le macchine/attrezzature ed il contesto lavorativo (Figura I.3).



**Figura I. 3** Modello delle interazioni tra lavoratore e sistema di lavoro

Lo studio di queste interazioni chiama in causa varie discipline, ognuna delle quali offre un contributo importante, ma non esaustivo, alla soluzione del problema. La soluzione va, infatti, ricercata nell'insieme dei contributi che ciascuna disciplina offre. Pertanto nel modello di lavoro ergonomico non vi possono essere discipline sovraordinate rispetto ad altre.

Una caratteristica che distingue l'ergonomia dalle discipline che la compongono è la sua impostazione antropocentrica, prospettiva con la quale si vuole dare risalto al fatto che l'uomo è al tempo stesso beneficiario e modello di riferimento del progetto ergonomico. Questo fatto può creare delle perplessità se si ragiona nell'ottica di individuare soluzioni adatte a tutti. Per sciogliere eventuali dubbi è importante chiarire cosa si intende per "uomo" nella prospettiva ergonomica.

In primo luogo va detto che data la elevata variabilità inter e intra soggettiva in una progettazione ergonomica corretta, è necessario individuare i destinatari, reali e presunti, dell'intervento. Una soluzione che permette di semplificare tale operazione è quella di ragionare per immagini operative, riconoscendo quattro dimensioni di analisi dell'uomo:

- **antropometrica**: descrive la morfologia del corpo umano e la sua capacità di esplorazione dello spazio, evidenziando le sue esigenze dal punto di vista dimensionale;
- **fisiologica**: rappresenta i processi che sottendono alla produzione e consumo di energia da parte del corpo umano per l'esecuzione delle attività e alla valutazione di fenomeni quali la fatica fisica e mentale e i recuperi;
- **percettiva**: spiega i processi di acquisizione delle informazioni attraverso gli organi di senso;
- **cognitiva**: evidenzia il concetto secondo il quale ogni attività comporta dei processi cognitivi.

Le immagini operative consentono di rappresentare un modello descrittivo delle capacità operative dell'uomo, che andrà caratterizzato sotto il profilo quantitativo per rappresentare una quota ampia dei potenziali utilizzatori finali (90/95%). L'ergonomia non condivide infatti il concetto di valore medio. Affinché il modello risponda in modo adeguato alla realtà, i dati teorici dovranno necessariamente essere sempre arricchiti con informazioni prelevate direttamente dagli utenti finali attraverso il loro coinvolgimento diretto nelle attività di progetto.

### **I.4 Il ritorno degli investimenti in ergonomia**

Un ambiente di lavoro che offre condizioni poco ergonomiche può determinare danni sia fisici che psicologici al lavoratore. Il problema dell'ergonomia dell'ambiente di lavoro riguarda tutti i settori produttivi e tutte le postazioni di lavoro, sia che si tratti di attività d'ufficio, sia di compiti svolti

## Chapter I

in un reparto di montaggio o nel settore agricolo, con attrezzi di qualsiasi tipo, come pure di servizi quali il commercio o la ristorazione.

Gli eventuali danni psico-fisici hanno ricadute sul rendimento del lavoratore, che potrebbe assentarsi per periodi più o meno lunghi, o essere spinto a cercare un diverso lavoro, con danni sia per la singola impresa che per l'economia del Paese.

Le imprese, quindi, non dovrebbero considerare l'ergonomia come finalizzata soltanto ad evitare danni fisici e sovraccarichi ai lavoratori; piuttosto, essa è una strategia per affrontare i problemi della sicurezza sul lavoro con un approccio globale, in condizioni di efficienza organizzativa e finanziaria per il datore di lavoro.

Un'organizzazione del lavoro rispettosa delle capacità e delle esigenze dell'individuo riesce a calibrare i sovraccarichi fisici e mentali aumentando la motivazione del lavoratore e facendo sì che non si stanchi in breve tempo. La conseguente maggiore soddisfazione nel lavoro comporta una riduzione del turn-over, così che l'impresa possa conservare al suo interno il know-how e la professionalità dei dipendenti che ha contribuito a creare. È infine comprensibile come tutti questi fattori influiscano positivamente sulla qualità dei prodotti, sulle prestazioni umane e sulla produttività complessiva delle imprese.

Un ambiente di lavoro ergonomico può quindi comportare risparmi considerevoli, considerato che l'analisi ergonomica consente sia di identificare carenze preesistenti, sia di individuare le soluzioni migliori da adottare ai fini dell'efficienza complessiva del sistema di produzione.

È possibile applicare i principi ergonomici nella progettazione, attraverso l'organizzazione e l'installazione di:

- nuove attrezzature di lavoro;
- nuovi metodi di lavoro;
- nuovi impianti di produzione;
- nuove postazioni di lavoro.

L'approccio ergonomico nella valutazione dei luoghi di lavoro si rivela particolarmente utile se:

- è richiesto incremento del livello di sicurezza sul lavoro;
- le ore di assenza per malattia sono numerose;
- si vuole motivare maggiormente i lavoratori;
- si vuole migliorare il benessere dei lavoratori;
- ci sono problemi legati a elevati costi di produzione;
- si riscontrano elevati costi di manutenzione e riparazione degli impianti o si vuole migliorare la qualità del prodotto finito;
- si rilevano ritardi nella produzione e insoddisfazione dei clienti.

### **I.5 L'ergonomia nella legislazione italiana**

I principi fondamentali sulla tutela dei lavoratori risiedono nella Costituzione stessa e, in particolare, l'art. 38 sancisce che: "I lavoratori hanno diritto che siano preveduti ed assicurati mezzi adeguati alle loro esigenze di vita [...]". Alla luce di detto principio, l'art. 2087 del Codice Civile tutela le condizioni di lavoro stabilendo l'obbligo per il datore di lavoro di attenersi al principio della massima sicurezza tecnica, organizzativa e procedurale tecnologicamente fattibile: *"L'imprenditore è tenuto ad adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro"*.

Si impone all'imprenditore l'obbligo di adottare, nell'esercizio dell'impresa, le misure che, a seconda del lavoro, dell'esperienza e della tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro. Pertanto, qualora si verifichi un infortunio, incombe sul Datore di Lavoro l'onere di provare l'avvenuto adempimento di tale obbligo, che riguarda non solo le attrezzature, i macchinari e i servizi, ma anche l'ambiente di lavoro nel suo complesso. Le cautele che l'imprenditore deve adottare, infatti, devono essere idonee a prevenire sia i rischi insiti al tipo di attività svolta, sia quelli inerenti al luogo in cui l'ambiente di lavoro si trova.

Considerando l'estrema diversità delle tipologie lavorative, non possono essere dettate delle rigorose "norme ergonomiche" universalmente valide, ma bisognerà riferirsi a standard di riferimento validati da "norme UNI (italiane), EN (europee) e ISO (internazionali)". A queste si affiancano le norme DIN (tedesche) le quali sebbene valide solo in Germania, rappresentano però un utile panorama normativo di riferimento.

Il termine ergonomia compare per la prima volta nel panorama legislativo italiano con il D. Lgs. n.626/94 nell'ambito delle misure generali di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori. Si tratta di una delle maggiori innovazioni introdotte da questo decreto legislativo, in quanto in precedenza, fermo restando l'obbligo di non causare danni ai lavoratori, non vi erano vincoli legislativi specifici relativi a principi di carattere ergonomico.

È possibile affermare che i principi ergonomici si sono tradotti in principi giuridici essenzialmente per due motivi:

1. perché le direttive comunitarie impongono allo Stato Italiano l'adeguamento della legislazione in materia di tutela dell'ambiente di vita e di lavoro anche ai principi ergonomici;
2. perché vi è un'esigenza costituzionale di tutela della persona umana. L'individuo, tutelato nel diritto fondamentale al pieno sviluppo della personalità, in tutte le formazioni sociali in cui opera e quindi in tutti i rapporti di vita, vanta un preciso diritto costituzionale al benessere.

Il D. Lgs. n. 626/94 riguarda il miglioramento della sicurezza e della salute sul luogo di lavoro.

## Chapter I

Oggi, in Italia la norma fondamentale cui fare riferimento per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori durante il lavoro è il D. Lgs. 81/08. Uno dei principi ispiratori del Testo Unico è quello di garantire la salute, intesa come "l'integrità psicofisica dei lavoratori". Appare chiaro che il legislatore intende assicurare che il rispetto dei principi ergonomici conduca alla prevenzione dei disturbi psicofisici collegati ad un cattivo disegno del sistema organizzato del lavoro.

Il D. Lgs. 81/08, attuazione dell'articolo 1 della legge 3 Agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, è composto da 306 articoli, su 13 Titoli (a loro volta suddivisi in capi e sezioni) e 51 allegati.

In particolare l'ergonomia è citata nell'articolo 15, lett. d) del D. Lgs. 81/2008 e che impone *"il rispetto dei principi ergonomici nell'organizzazione del lavoro, nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, in particolare al fine di ridurre gli effetti sulla salute del lavoro monotono e di quello ripetitivi"*

Rispetto al corrispondente art. 3 del D.Lgs. 626/94, il nuovo Testo Unico dà maggiore enfasi all'organizzazione del lavoro.

L'articolo 22 obbliga anche i progettisti dei luoghi e dei posti di lavoro e degli impianti al rispetto dei principi generali di prevenzione in materia di salute e sicurezza sul lavoro al momento delle scelte progettuali e tecniche. Tale articolo va letto in maniera congiunta con la "Direttiva Macchine" (D.lgs. 17/2010) la quale indica che le macchine di nuova progettazione, o quelle "vecchie" che subiscono variazioni costruttive o di destinazione d'uso, devono essere conformi a una serie di requisiti di sicurezza e di ergonomia stabiliti specificatamente dalle "norme armonizzate" (o standard) emanate su mandato della Comunità Europea, dal CEN (Comitato Europeo di Normazione).

### **I.6 Le norme sui principi ergonomici**

Per effettuare un'analisi di ergonomia secondo la normativa prevista, occorre rifarsi alla norma ISO 11228 che è suddivisa come segue:

- ISO 11228-1: sollevamento e trasporto manuale di carichi;
- ISO 11228-2: traino e spinta manuale di carichi;
- ISO 11228-3: compiti ripetitivi di movimentazione di piccoli carichi ad alta frequenza.

La ISO 11228-1 specifica i pesi limite raccomandati (o meglio la massa raccomandata) sia in funzione della percentuale e tipologia di popolazione da proteggere, della geometria del sollevamento, della frequenza di sollevamento, delle condizioni di presa, ecc. (analogamente al metodo NIOSH), che delle eventuali azioni di trasporto abbinate al sollevamento.

La ISO 11228-2 si occupa della valutazione del rischio per le operazioni di traino e spinta, ed in particolare della definizione di un peso limite raccomandato, e prevede due metodi di analisi: un metodo generale ed un metodo specialistico.

Il metodo generale è in sostanza il metodo Snook Ciriello e si basa sull'utilizzo di tavole e tabelle sperimentali, da cui ricavare i valori limite raccomandati da confrontare con i valori misurati delle azioni di traino/spinta.

Il metodo specialistico invece, è un metodo complesso che consente di effettuare la valutazione sulla base dei dati demografici ed antropometrici della popolazione in esame. A causa della sua complessità, di fatto è un metodo di scarsa utilità pratica.

La norma ISO 11228-3 infine, si occupa della valutazione del rischio di movimenti ripetuti. La valutazione del rischio si basa sostanzialmente su due procedure; una prima procedura di screening iniziale, basata sull'uso di una check-list proposta dalla norma, ed una procedura dettagliata che rimanda ad affermati metodi di analisi riconosciuti a livello internazionale (metodo RULA, REBA, STRAIN INDEX, OCRA, HAL, OREGÉ), con un'espressa preferenza per il metodo OCRA. A differenza delle due Norme su esposte, la seguente si basa sulla stima di una frequenza limite raccomandata, spostando quindi l'attenzione dal carico manipolato, alla frequenza con cui vengono acquisite determinate posture.

La norma ISO 11228 nasce dunque con il preciso scopo di tutelare il lavoratore in termini di sicurezza, sancendo quali posture e quali situazioni possono potenzialmente divenire causa scatenante di malattie professionali per l'apparato muscolo scheletrico. Il limite così individuato rappresenta il livello di ergonomia minimo.

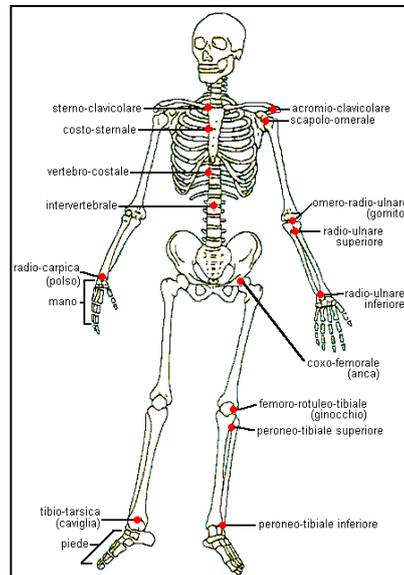
## **I.7 Intervalli di movimento articolare e metodi di misura**

Il movimento del corpo umano è garantito dall'apparato locomotore, che è costituito da due parti distinte:

- apparato scheletrico
- sistema muscolare

In particolare, riferendosi all'apparato locomotore, ci si riferisce ai muscoli scheletrici (o muscoli striati), alle ossa ed alle articolazioni che nella loro azione congiunta permettono al corpo umano di muoversi in tutti i suoi gradi di libertà. Per tale ragione, nel seguito, ci si riferirà all'apparato locomotore anche come sistema muscolo-scheletrico, ed in particolare ci si soffermerà con l'intento di caratterizzarne quelle che sono le articolazioni di maggiore interesse.

## Chapter I



**Figura I. 4** *Apparato scheletrico umano*

Le articolazioni sono giunzioni tra capi ossei, interconnessi tramite i tessuti connettivi. A seconda della loro differente mobilità, cioè della loro escursione o range articolare, possono essere di tipo mobile (ad esempio l'articolazione della spalla), semimobile (come le vertebre) o fisso (il cranio).

In un corpo umano adulto esistono 206 ossa ed una moltitudine di articolazioni delle quali solo una parte è interessante, dal punto di vista cinematico, per la caratterizzazione di una postura o di un movimento.

Di seguito gli arti del corpo saranno suddivisi nel modo seguente:

- arti inferiori: piede, gamba e coscia;
- busto;
- arti superiori: braccio, avambraccio e mano;

A questo punto, sulla base di tale raggruppamento, è possibile procedere ad una caratterizzazione schematica delle principali articolazioni:

- articolazioni inferiori: caviglia, ginocchio ed anca;
- articolazioni del busto: vertebre cervicali (collo), vertebre toraciche, vertebre lombari (anche);
- articolazioni superiori: complesso articolare della spalla, gomito e polso.

Nel seguito della trattazione capiterà di confondere arti ed articolazioni per una esigenza espositiva legata alla terminologia utilizzata nelle pubblicazioni delle fonti analizzate. In ogni caso, vista la corrispondenza diretta tra arto ed articolazione, si è certi di non incorrere in situazioni di malinteso.

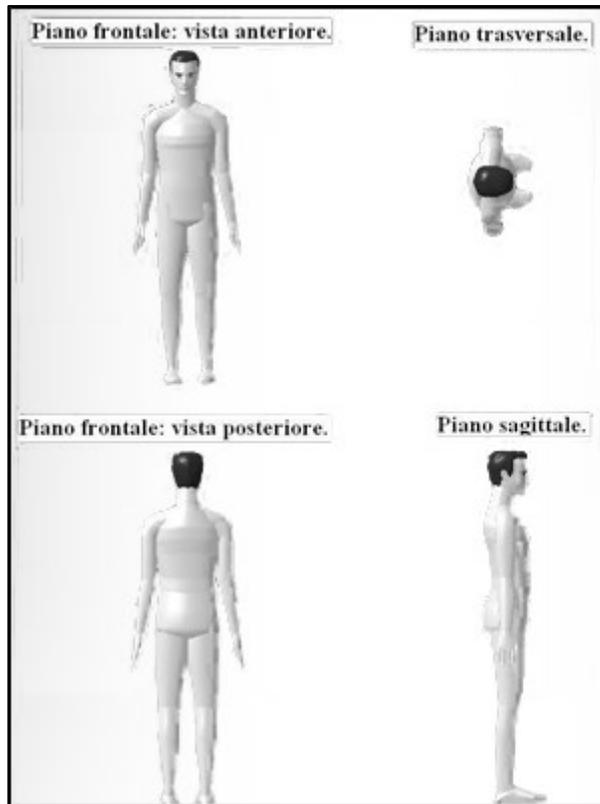
Lo studio cinematico di un'articolazione consiste sostanzialmente nella misurazione di una quota angolare, che ne caratterizza il range articolare (Range of Motion, ROM), ovvero l'ampiezza dell'escursione del movimento.

Riferendosi ad un'articolazione, generalmente, si parla di "mobilità" quando ci si riferisce al movimento passivo, di "motilità" nel caso in cui il movimento sia attivo. La differenza nella modalità di movimento è facilmente intuibile dalla definizione, e trasferibile in un contesto di misurazione: misurare un ROM attivo (Active ROM: AROM) significa registrare la misura del movimento eseguito direttamente dal soggetto in esame, mentre la misurazione di un ROM passivo (Passive ROM: PROM) è eseguita guidando il movimento dell'arto, senza che il soggetto contragga i muscoli associati a tale articolazione.

Ciascuna articolazione presenta uno o più ROM caratteristici che è possibile identificare come gradi di libertà, la cui misurazione è espressa in gradi. Nella pratica medica, gli strumenti comunemente impiegati per effettuare le misurazioni comprendono goniometri e inclinometri, che possono essere di tipo elettronico/digitali o meccanici.

### **I.7.1 Piani di misura**

In relazione all'articolazione da valutare, al grado di libertà che se ne vuole esaminare ed allo strumento impiegato, occorre scegliere opportunamente il piano nel quale eseguire la misurazione.



**Figura I. 5** *Piani di suddivisione del corpo umano*

In figura I.5 sono rappresentati i piani principali in cui è possibile visualizzare il corpo umano:

- Piano Frontale (PF): vista anteriore (a), vista posteriore (p);
- Piano Sagittale (PS);
- Piano Trasversale (PT).

Rispetto a tali piani, è possibile riportare i gradi di libertà delle varie articolazioni:

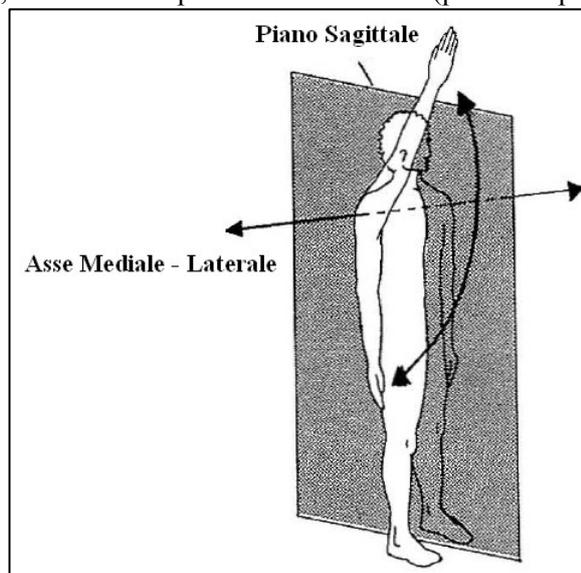
- Piano Frontale: flessione laterale, abduzione ed adduzione;
- Piano Sagittale: flessione ed estensione;
- Piano Trasversale: rotazione.

Per una corretta misurazione, dunque, è necessario porsi in posizione da cui è facilmente accessibile e controllabile il piano sul quale si esplica il movimento.

Nel seguito si identificheranno accuratamente le caratteristiche dei vari piani.

### Piano Sagittale

Il piano sagittale è un piano che decorre in senso antero - posteriore e divide un corpo in due parti, destra e sinistra. I piani sagittali possono essere a qualsiasi altezza, ma quello che divide il corpo in due metà a massa uguale e approssimativamente simmetriche e speculari è detto piano sagittale mediano. Gli altri, paralleli a questo, sono chiamati parasagittali. Rispetto al piano mediano gli altri possono essere mediali, cioè prossimi al piano mediano, o laterali, più lontani. Per esempio, nell'uomo anatomico un piano sagittale che taglia il corpo umano all'altezza della spalla è più mediale di uno che si trovi all'altezza della mano, ma è più laterale di un piano che passi per il margine esterno del collo. Nel piano sagittale i movimenti possibili sono quelli di flessione ed estensione. I termini di flessione e in contrapposizione di estensione indicano rispettivamente la realizzazione di un'angolazione, a livello di una articolazione, tra gli assi longitudinali di due segmenti ossei contigui ( ad esempio la flessione dell'avambraccio sul braccio, o della colonna vertebrale sul bacino) o il ripristino della linea di continuità tra gli assi longitudinali di due ossa contigue, con scomparsa dell'angolazione ( ad esempio l'estensione dell'avambraccio sul braccio). Un'eccezione è rappresentata dal caso della gamba (la parte dell'arto inferiore al di sotto del ginocchio): si considera flessione il movimento che avvicina il polpaccio alla coscia. Nel caso del piede invece si può parlare di flessione dorsale (punta del piede in alto), e di flessione plantare o estensione (punta del piede in basso).

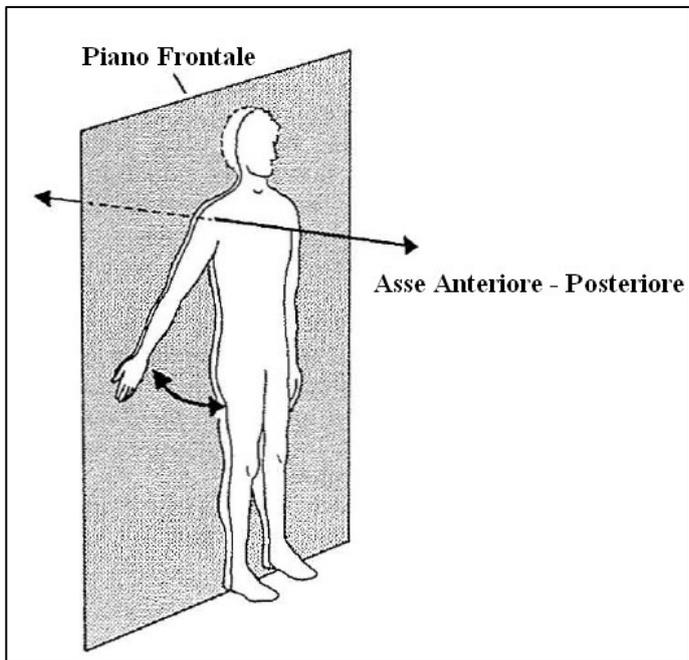


**Figura I. 6** Piani di suddivisione del corpo umano: piano sagittale

### **Piano Frontale**

Il piano frontale o piano coronale è un piano che corre parallelo alla fronte (o alla sutura coronale). Il piano coronale che suddivide il corpo in due metà di massa uguale è detto mediano. I piani coronali anteriori a questo (cioè verso l'osservatore) saranno detti "anteriori" o "ventrali", mentre "posteriori" o "dorsali" gli altri. In tal modo si può distinguere una faccia ventrale, o anteriore, dell'avambraccio o della coscia, per esempio. Nella mano la faccia anteriore è detta anche "palmare", mentre la faccia anteriore del piede è detta anche "superiore" o "dorsale", mentre "plantare" la faccia "inferiore". I movimenti che avvengono lungo il piano coronale sono quelli di inclinazione laterale del busto, detto anche flessione (destra e sinistra).

Per quanto riguarda gli arti si parla di abduzione l'allontanamento di un arto (superiore od inferiore) dal corpo umano verso l'esterno. Si dà il nome invece di adduzione al movimento opposto al precedente e cioè all'avvicinamento verso il corpo di un arto (superiore od inferiore) o al ritorno verso l'asse di simmetria bilaterale del capo e della colonna vertebrale. Per quanto concerne i movimenti delle dita, si considera un asse che passa per il dito medio: un movimento che allontana le altre dita dal medio è detto di "abduzione", mentre un movimento che avvicina le dita al medio è detto di "adduzione".

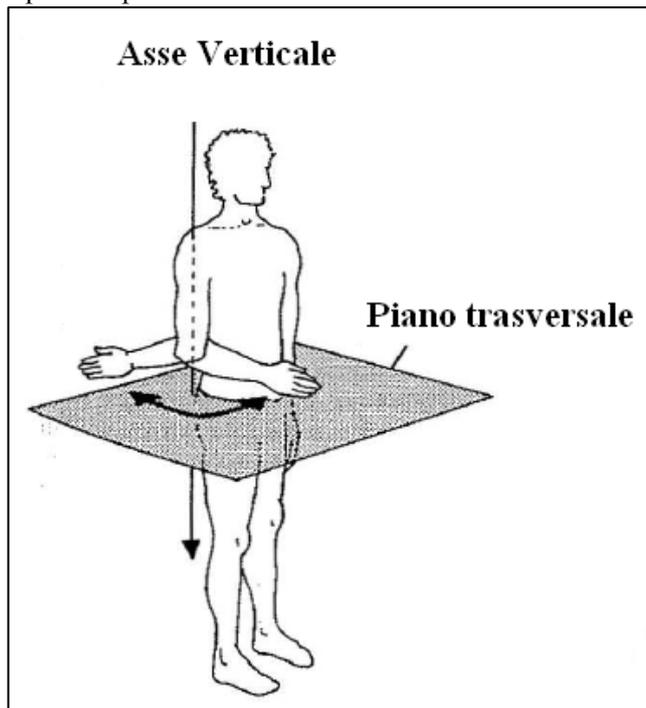


**Figura I. 7** Piani di suddivisione del corpo umano: piano frontale

**Piano Trasversale**

Il piano trasversale o piano orizzontale taglia il corpo in due metà, una superiore e una inferiore. I movimenti su questo piano sono quelli di rotazione. Con il termine rotazione si intende il movimento di torsione di un osso sul proprio asse longitudinale (ad esempio la rotazione del femore su se stesso). La rotazione può avvenire verso l'interno o verso l'esterno rispetto all'asse del corpo umano, per cui si parlerà di rotazione interna e di rotazione esterna. Per l'avambraccio al termine di rotazione si preferisce quello di pronazione ed a quello di rotazione esterna il termine supinazione.

Nel caso del rachide si parla di rotazione destra o sinistra. Vale ricordare, a tal proposito, che nel caso dell'avambraccio questi due movimenti vengono eseguiti dal radio sull'ulna, che rimane ferma, nel giuoco articolare. Si parla di intra-rotazione in caso di movimento che porti la faccia anteriore dell'arto (quella rivolta verso l'osservatore) medialmente, mentre l'extra-rotazione porta tale faccia lateralmente. Nel caso della mano si indica come pronazione il movimento che, a braccio flessa a 90°, porta il palmo delle mani verso il basso, mentre la supinazione è il contrario. Nel caso del piede per pronazione si intende il movimento che porta la pianta verso l'esterno, mentre la supinazione porta la pianta medialmente.



**Figura I. 8** Piani di suddivisione del corpo umano: piano trasversale

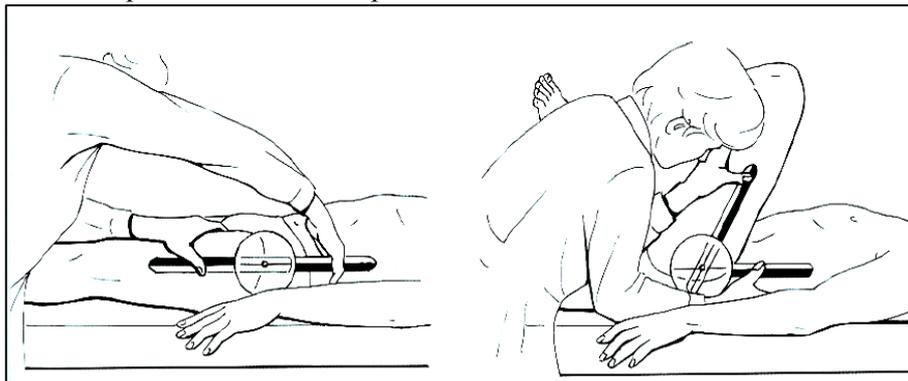
### **Range of Motion (ROM)**

Il Range of Motion (ROM) è un arco di movimento che include una o una serie di articolazioni (ampiezza dell'escursione angolare). La posizione di partenza per la valutazione del ROM, ad eccezione delle rotazioni nel piano trasversale, è la posizione anatomica. Si parla di mobilità oppure PROM (passive range of motion) quando il movimento di un arto è un movimento passivo; si parla di motilità oppure AROM (active range of motion) quando il movimento di un arto è un movimento attivo.

### **Active Range of Motion (AROM)**

L'AROM è il movimento che viene eseguito dall'arto del soggetto analizzato in maniera autonoma. Da questa analisi si può capire quale disponibilità ha il soggetto a muoversi, nonché il suo coordinamento e il suo sforzo muscolare. Se si verificano alcuni dolori da parte del soggetto nel momento in cui egli esegue alcune movimentazioni è possibile attribuire la loro causa alle articolazioni o tessuti muscolari come ad esempio i legamenti.

È chiaro che tale AROM permette in prima battuta di fare una valutazione fisica non invasiva sul soggetto per quanto concerne il ROM. Ovviamente l'analisi è puramente visiva da parte dell'esaminatore.

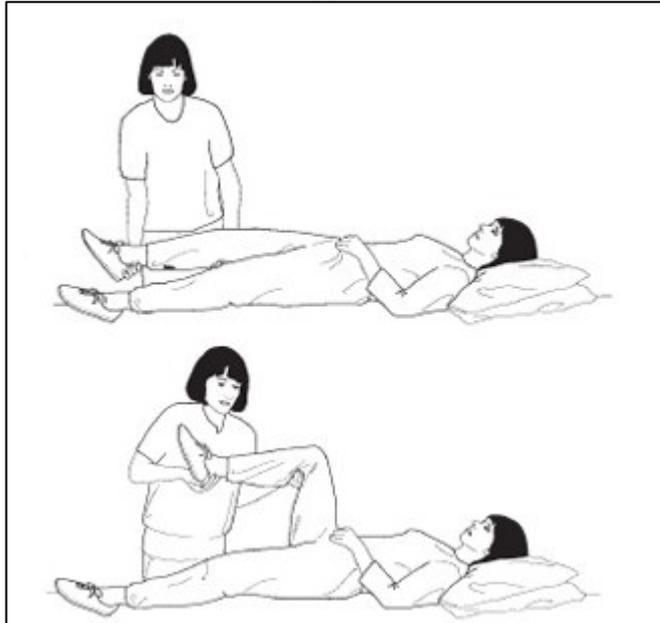


**Figura I. 9** Esempio di AROM per la movimentazione del ginocchio e dell'anca

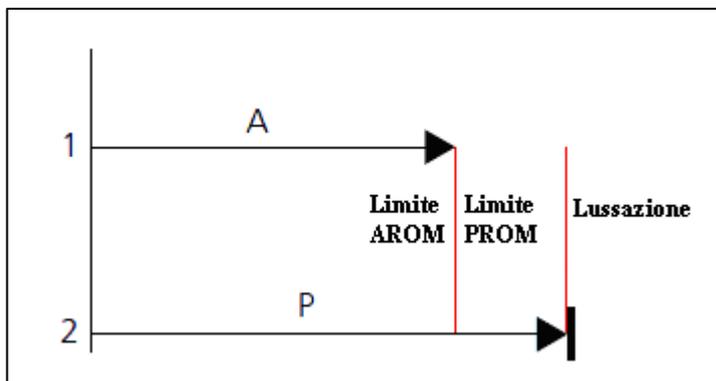
### **Passive Range of Motion (PROM)**

Il PROM è il movimento che viene eseguito dall'arto del soggetto tramite un esaminatore il quale si prende pieno carico nella sua movimentazione. Tale tecnica risulta essere superiore a quella precedente in quanto è possibile far eseguire alcune movimentazioni al soggetto non possibili altrimenti nel caso in cui esse fossero eseguite volontariamente. È chiaro che in questo modo l'esaminatore può egli stesso rendersi conto di come variano le articolazioni del corpo umano ed eventualmente capire se sussistono problemi in esse (tastare il muscolo e capire se esso presenta una contrazione ed un eventuale infiammazione). Di solito il PROM viene eseguito dopo che il soggetto ha compiuto il suo AROM in quanto il PROM può essere considerato come un

intervallo di protezione che l'articolazione ha nel momento in cui viene sottoposta ad una forza (Figura I.10). A differenza dell'AROM esso non dipende dalla forza muscolare del soggetto e dalla sua coordinazione.



**Figura I. 10** Esempio di PROM per la movimentazione del ginocchio e dell'anca



**Figura I. 11** Movimento attivo (A), Movimento passivo (P)

Nella Figura I.11 di sopra è mostrato il limite dell'AROM, fin dove è possibile estendere il movimento attraverso il PROM, oltre il quale si ha una lussazione.

### **I.7.2 Fattori di influenza per il ROM**

Il normale ROM può variare a seconda dell'individuo che si va ad analizzare ed è influenzato da fattori come l'età, il genere e da se il movimento è realizzato attivamente o passivamente. I fattori come l'età ed il genere sono determinanti perché lo modificano pienamente. Altri fattori che possono essere presi in considerazione nella modifica del ROM possono essere la professione o le attività ricreative del soggetto. Risulta chiaro che una ballerina professionista di danza classica abbia un ROM estremamente più spinto rispetto ad una persona che non ha mai praticato ginnastica durante la sua vita. Per questi motivi, nella scelta del campione significativo, deve essere presa in considerazione la storia clinica e professionale del soggetto, in modo da tenere in conto tutto ciò che possa portare fuori media l'analisi realizzata.

#### **Età**

Sono stati condotti numerosi studi per determinare gli effetti del fattore età sui ROM degli arti e della colonna vertebrale.

Dagli studi realizzati, risulta che in confronto agli adulti, i soggetti più giovani abbiano una maggiore: flessione, abduzione e rotazione laterale dell'anca, flessione dorsale della caviglia e movimento del gomito (Cynthia, 2009).

#### **Genere sessuale**

Gli effetti del genere sessuale sui ROM delle estremità e della colonna vertebrale sembrano essere collegati a specifiche articolazioni e movimenti (Boone, 1981; A.A.O.S, 1972; Auflem, 1989). Boone et al. (1981) ha riscontrato che i soggetti di genere femminile con un'età che va dai 21 ai 69 anni presentano una minore estensione dell'anca, ma una flessione maggiore, rispetto ai soggetti maschili appartenenti allo stesso campione. I soggetti femminili dal primo anno di vita ai 29 anni hanno, invece, una minore adduzione e rotazione laterale dell'anca rispetto ai soggetti maschili appartenenti allo stesso campione. Beighton et al. (1973), in uno studio di popolazione Africana, ha riscontrato che i soggetti femminili tra i 0 e 80 anni sono caratterizzati da un range di mobilità articolare maggiore rispetto al corrispettivo campione maschile.

Nella tabella seguente è possibile vedere come variano i ROM dell'anca in funzione di tali fattori:

**Tabella I. 1** *Fattori di influenza per il ROM dell'anca*

Articolazione	Svenningsen		Boone		Roach and Miles		
	Femmine	Maschi	Maschi		Maschi e Femmine		
	4 anni	4 anni	6-12 anni	13-19 anni	25-39 anni	40-59 anni	60-74 anni
	n=52	n=51	n=17	n=17	n=433	n=727	n=523
	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
Flessione	151	149	124,4	122,6	122,0	120,0	118,0
Estensione	29	28	10,4	11,6	22,0	18,0	17,0
Abduzione	55	53	48,1	46,8	44,0	42,0	39,0
Adduzione	30	30	27,6	26,3			
Rotazione mediale	60	51	48,4	47,1	33,0	31,0	30,0
Rotazione laterale	44	48	47,5	47,4	34,0	32,0	29,0

È possibile notare dai tre studi come i valori di ROM dell'anca vanno a crescere o decrescere, a seconda dell'articolazione, in funzione dell'età e del genere.

Anche per il ginocchio i fattori di età e genere possono influenzare i ROM. Alla nascita, ad esempio, sono normali le limitazioni sull'estensione del ginocchio e molto simili a quelle dell'anca. Questa limitazione gradualmente scompare, anzi addirittura tra 1-2 anni di vita, l'estensione diventa eccessiva. Nella tabella seguente è possibile vedere come variano i ROM del ginocchio in funzione dell'età:

**Tabella I. 2** *Fattori di influenza per il ROM del ginocchio*

Articolazione	Boone				Roach and Miles		
	1-5 anni	6-12 anni	13-19 anni	20-29 anni	40-45 anni	40-59 anni	60-74 anni
	n=19	n=17	n=17	n=19	n=19	n=727	n=523
	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
Flessione	141,7	147,1	142,9	140,2	142,6	132,0	131,0
Estensione	5,4	0,4	0,0	0,4	1,6		

È possibile notare dagli studi che dopo i 5 anni la flessione del ginocchio aumenta, per poi diminuire nel tempo e lo stesso avviene per l'estensione che è massima nei primi anni di vita e diminuisce nel tempo.

Per quanto riguarda l'influenza del genere, Beighton, Solomon e Soskolne (Beighton, 1973) hanno usato più di dieci gradi di estensione per il ginocchio, partendo dallo 0 (iperestensione) come uno dei criteri in uno studio di riposo delle articolazioni (per determinare l'arto rilassato) in 1081 maschi e femmine. Essi hanno determinato che il genere femminile ha un maggiore range di riposo rispetto a quello maschile, ad ogni età.

Loudon, Goist e Loudon (Loudon, 1998) nel loro studio, invece, hanno osservato che non solo l'iperestensione è più comune nel genere femminile, che in quello maschile, ma che, inoltre, le condizioni possono essere associate a deficits funzionali nella forza muscolare.

## Chapter I

James e Parker (James, 1989) hanno studiato la flessione del ginocchio in 80 uomini e donne, con età compresa tra i 70 e gli 80 anni.

Le donne hanno riportato un ROM più ampio rispetto a quello degli uomini e, in ogni caso, i valori ottenuti per entrambi i generi, sono risultati inferiori rispetto ai valori attesi, risultati dovuti, molto probabilmente, alla scelta della posizione, prona, in cui i ROM sono stati misurati. In contrasto con tale studio, Escalante et al (James, 1989), hanno riscontrato che il genere maschile ha un ROM più ampio rispetto a quello femminile, anche se di soli 2 gradi.

Anche per la caviglia i fattori di età e genere possono influenzare i ROM. I bambini fino ai 2 anni, ad esempio, hanno una flessione dorsale più ampia rispetto a quelli più grandi.

Nella tabella seguente è possibile vedere come variano i ROM della caviglia in funzione dell'età:

**Tabella I. 3** *Fattori di influenza per il ROM della caviglia*

	Boone						Boone et al.
	1-5 anni n=19 Media	6-12 anni n=17 Media	13-19 anni n=17 Media	20-29 anni n=19 Media	30-39 anni n=18 Media	40-54 anni n=19 Media	61-69 anni n=10 Media
Flessione Dorsale	14,5	13,8	10,6	12,1	12,2	12,4	8,2
Flessione Plantare	59,7	59,6	55,5	55,4	54,6	52,9	46,2

È possibile notare dagli studi che la flessione dorsale subisce un decremento dal primo anno di vita fino ai 13 anni, per poi incrementare di poco di 20 anni, subendo però un crollo nella fascia di età più alta osservata. Per quanto riguarda, invece, la flessione plantare essa scende in tutti gli anni, perdendo 4° all'incirca, tra i primi 12 anni e i successivi 15, meno di 1° tra i 30 e i 39 anni e 2° tra i 40 e 54 anni. Essa subisce un crollo, come per quella dorsale, dopo i 60 anni.

Gli effetti del genere sui ROM della flessione della caviglia sono spesso legati anche all'età.

Nigg et al. (1992) ha riscontrato differenze di genere nell'articolazione della caviglia con l'aumentare dell'età. Solo il gruppo femminile più adulto presenta 8° in più rispetto a quello maschile.

L'unica differenza di genere individuata da Boone, Walker e Perry (Boone 1981) nel proprio studio è stata che i due campioni femminili, quello con età compresa tra gli 1 e 9 anni e tra 61 e 69 anni, presentano un ROM significativamente superiore nella flessione plantare rispetto ai corrispondenti campioni maschili.

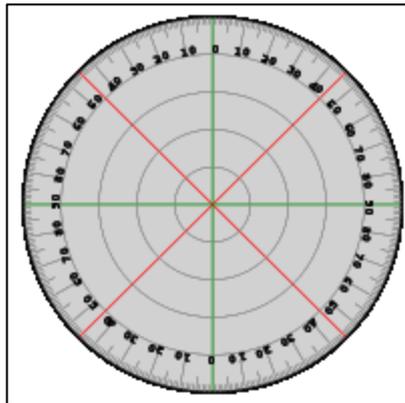
Altri tre studi hanno evidenziato una flessione plantare femminile maggiore rispetto a quella maschile (Bell, 1981; Walker, 1984; James, 1989),

in contrasto con i tre studi (Nigg, 1992; Vandervoort 1992; Grimsron, 1993) che hanno individuato, invece, una flessione dorsale femminile minore.

### I.7.3 Metodi di misura

L'escursione articolare può essere analizzata attraverso:

- l'utilizzo di Strumenti meccanici ed elettronici: goniometri ed inclinometri;
- l'analisi Cinematica del Movimento.



**Figura I. 12** Disco goniometrico

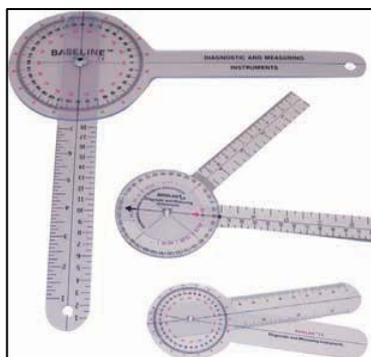
Il *goniometro* o *disco goniometrico* è uno strumento per la misurazione di angoli.

Nella tipologia più semplice è costituito da un cerchio (o un semicerchio) con la circonferenza graduata e un puntatore sul centro di quest'ultima. Centrando il puntatore sull'origine dell'angolo, e facendo coincidere lo zero della gradazione su un lato, si può rilevare il valore dell'angolo leggendo la posizione dell'altro lato lungo la circonferenza graduata.

I goniometri da ufficio e per il disegno tecnico sono realizzati in plastica trasparente, onde facilitare la lettura della posizione dei lati attraverso lo strumento stesso. Questi, pur di scarsa precisione, sono peraltro economici.

I goniometri da officina sono realizzati in materiale più robusto, tipicamente acciaio inossidabile, onde prevenire che la ruggine renda difficoltosa la lettura o cancelli la scala. Spesso la superficie viene opacizzata per evitare abbagliamenti durante la lettura.

Il goniometro a bracci (chiamato anche *goniometro universale*) può essere considerato come una squadra ad *apertura variabile*, su cui è stato montato un goniometro sulla cerniera.



**Figura I. 13** *Goniometri ortopedici a braccio*

Un braccio è parte integrante del goniometro, dove è incisa la scala graduata, l'altro braccio viene incernierato nel centro del goniometro, e dispone di un *indice* che punta sulla scala. I bracci così incernierati, possono ruotare liberamente posizionandosi tra loro ad un angolo qualsiasi.

Quando si deve effettuare una misura per valutare il ROM articolare, i due bracci vengono posizionati a *battuta* sulle due superfici di cui si vuole misurare l'angolo, il rilievo può essere così fatto leggendo la posizione dell'indice. Il goniometro va posto precisamente sul centro della articolazione e, mentre si allinea uno dei due bracci al segmento osseo fisso, rispetto al quale avviene il movimento del segmento contiguo, l'altro ne segue l'escursione e, a fine corsa, la quantizza. Si tratta di rilevazioni a rapporto con uno zero e con un valore perfettamente utilizzabile a scopi statistici.

### **Scale**

Nei goniometri semplici, la scala viene realizzata sulla circonferenza preventivamente smussata, per ridurre al minimo errori di parallasse durante la lettura; questa inoltre viene realizzata incidendo la superficie, e colorando l'interno dell'incisione stessa, in questo modo da evitare che abrasioni accidentali possano cancellarla. Normalmente questi goniometri dispongono di una scala sessagesimale (0-180° o 0-360°) con risoluzione di 1°. Solo nei modelli di maggiori dimensioni è possibile risolvere a occhio nudo scale con divisioni di 0,5°.

In commercio si trovano anche goniometri universali di grande precisione, dove il semplice indice viene sostituito da un nonio circolare sessagesimale, spesso dotato di una lente per facilitare la lettura e ridurre i relativi errori. Questi goniometri possono avere risoluzioni di 1' (1/60 di grado sessagesimale).

### **Inclinometri**

L'inclinometro è uno strumento, che consente il controllo dell'inclinazione. Costituito in maniera semplice da un dispositivo a bolla d'aria con un ago che

indica il numero di gradi sulla scala di un goniometro con caratteristica on-off per interdire tutti i movimenti qualora si trovi su di un piano inclinato oltre i limiti ammessi. In posizione di lavoro oltre una certa altezza che varia da modello a modello, il modulo di controllo dell'inclinometro emette un segnale sonoro d'allarme se si supera la massima inclinazione ammissibile.

La maggior parte degli inclinometri sono calibrati in riferimento alla forza di gravità in analogia alla livella utilizzata dai carpentieri. Dato che la gravità è uguale per tutti i punti dello spazio in cui viene effettuata la misura, significa che la posizione di partenza dell'inclinometro può essere sempre identificata in modo coerente.

Gli inclinometri sono disponibili in due tipi:

- inclinometro meccanico
- inclinometro elettronico

Il meno costoso ovviamente è quello meccanico costituito in maniera semplice da un pendolo che segna la misura su di un goniometro. Gli inclinometri elettronici sono invece i più costosi, il loro vantaggio consiste nell'interfacciarsi a software attraverso il computer al fine di essere tarati nella massima precisione. Esistono tipologie di inclinometri a seconda della parte da misurare. Il CROM è quello utilizzato per calcolare la flessione/estensione, flessione laterale e rotazione laterale della cervicale. Il BROM invece è adibito ai movimenti del tronco.



**Figura I. 14** *Inclinometro CROM (Cervical Range of Motion)*



**Figura I. 15** *Inclinometro BROM (Back Range of Motion)*

#### **Altri strumenti di misura**

Per condurre un'indagine sui ROM articolari, è possibile dotarsi di strumenti di misura differenti. Le differenze da individuare e da tener presente per una scelta adeguata dello strumento sono principalmente il costo, l'accuratezza, la versatilità, la semplicità di utilizzo e l'invasività.

Il costo, insieme all'accuratezza, rientra tra le prime voci da considerare; è plausibile infatti, in prima approssimazione, ritenere queste due caratteristiche dello strumento in un rapporto di proporzionalità diretta. La prima scelta da operare, dunque, è quella di selezionare l'accuratezza desiderata per la misura parallelamente al minimo livello di costo possibile.

La versatilità, invece, è una caratteristica di importanza prevalentemente pratica. Uno strumento versatile consente di misurare ROM differenti su articolazioni differenti. Ad esempio con un estensimetro triassiale collocato sulla spalla è possibile ricavare le misure di flessione/estensione così come di abduzione/adduzione; con lo stesso strumento, opportunamente ricollocato, si può misurare inoltre la flessione/estensione del ginocchio. La versatilità dello strumento quindi, è una proprietà da tenere in forte considerazione quando si valuta il tempo di acquisizione delle misure.

Accanto alla versatilità va valutata la semplicità di utilizzo. Questa caratteristica è da ritenersi in senso lato, cioè riveste più aspetti dello strumento che vanno dalla semplicità di messa in opera (configurazione, fissaggio, calibrazione, etc.) alla semplicità di lettura e raccolta dei dati.

Un'altra proprietà importante, al pari di quelle elencate fino ad ora, è senza dubbio l'invasività dello strumento. Dato per assunto che la misura dei ROM articolari deve essere presa senza intralciare in alcun modo la libertà di movimento dell'arto su cui è disposto lo strumento, questo tuttavia può essere elemento di disturbo per il soggetto semplicemente per il fatto di essere un

corpo estraneo con un proprio peso. Occorre quindi prestare attenzione ad alcuni fattori importanti quali la modalità e la posizione di fissaggio, ed il peso dello strumento in relazione a quello dell'arto su cui è collocato.

Nell'attività di misurazione è possibile vagliare tre tipologie di soluzione per lo strumento di misura, e sono:

- strumenti elettronici (SE);
- strumenti ottici (SO);
- strumenti meccanici (SM).

Gli **strumenti elettronici** quali ad esempio gli estensimetri, garantiscono in genere una qualità di misura più elevata e dati più accurati, sebbene nel complesso tendano ad essere più costosi. La scelta può facilmente ricadere su questa tipologia, specialmente se si tiene in considerazione il fattore peso dello strumento, che rende questi dispositivi poco invadenti e dunque adatti alla collocazione su arti dal peso ridotto, come avambraccio, mano e piede. Gli strumenti elettronici, inoltre, garantiscono semplicità di calibrazione, rendendo più facile la collocazione dello strumento stesso, senza dover preferire una particolare configurazione iniziale per rendere efficace la misurazione.

Gli **strumenti ottici**, come la fotografia, sono sicuramente più economici di quelli elettronici, e particolarmente utili per quelle articolazioni che coinvolgono arti dalla lunghezza pronunciata, facilmente schematizzabili in segmenti di retta di cui andarne a misurare l'angolazione reciproca. Se condotta con criterio, l'analisi fotografica per l'estrapolazione dei ROM articolari può garantire un discreto livello di accuratezza, non comparabile forse con quello di strumenti elettronici o meccanici, ma pur sempre significativo. I punti di forza di questa tipologia di dispositivi risiedono senz'altro nella versatilità, semplicità e scarsa invadenza della modalità di misurazione. Attraverso gli strumenti ottici, infatti, è possibile misurare praticamente tutti i ROM articolari (previo opportuno collocamento di macchine fotografiche), richiedendo al soggetto di eseguire semplici istruzioni e senza l'intralcio di dispositivi da collocarsi sugli arti. Per effettuare le misurazioni, occorre tuttavia studiare preventivamente il sistema macchina – ambiente - soggetto; una corretta disposizione del soggetto, in relazione all'ambiente in cui viene scattata la foto ed al punto di acquisizione delle immagini, è indispensabile per ricavare materiale adatto ad una successiva elaborazione. Altrettanto importante nella configurazione del sistema di cui sopra, è la distanza tra il soggetto e l'obiettivo, che è da mantenersi costante sia al variare dei piani di acquisizione, sia al variare dei soggetti stessi, al fine di garantire uno standard rispetto al quale confrontarsi nella fase di analisi dei dati a posteriori. Un'ulteriore accortezza da seguire, è quella di riportare all'interno dell'ambiente fotografato un sistema di riferimento, che possa restituire eventuali distorsioni dell'immagine presa: tale riferimento può essere scelto come una griglia uniforme collocata alle spalle del soggetto.

## Chapter I

Gli **strumenti meccanici**, come ad esempio i goniometri ed inclinometri, sono sicuramente più economici di quelli elettronici. Essi garantiscono un buon livello di accuratezza nella misura e, se ben progettati, non risultano neanche di particolare intralcio. Per quanto riguarda la versatilità, la semplicità di utilizzo e l'invasività, queste possono variare da strumento a strumento e si possono ottenere, in linea di massima, dei giusti compromessi.

### **I.8 Disturbi e patologie muscolo-scheletriche degli arti correlati al lavoro**

I disturbi muscolo-scheletrici e le patologie da sovraccarico biomeccanico rappresentano le principali tecnopatie a carico della colonna vertebrale, delle articolazioni, dei tendini, dei nervi e del sistema muscolare quanto quello circolatorio; ascrivibili all'assunzione di posture incongrue e coatte, all'esposizione prolungata a microtraumi ripetuti come anche alle ipersollecitazioni funzionali, oppure ai sovraccarichi articolari diffusamente riscontrabili nei luoghi di lavoro (European Agency For Safety And Health At Work, 1999). Tali affezioni di carattere cronico-degenerativo, sotto il profilo della molteplicità delle sofferenze e dei costi economici e sociali da esse indotti (perdita di produzione, assenze per malattia, costi di indennizzi assicurativi dovuti ad invalidità temporanee o permanenti, perdita di esperienza del personale e costi per l'assunzione e la formazione di nuovo personale) rappresentano uno dei principali problemi sanitari nel mondo del lavoro, infatti sempre con maggior frequenza nelle realtà produttive dell'agricoltura, dell'industria e del terziario vengono denunciate patologie che interessano l'apparato muscolo-scheletrico. Diverse, al riguardo, sono le definizioni rinvenibili dagli ambienti accademici e scientifici, nell'ambito delle quali (Carayon, 1995) queste particolari malattie professionali, sono indicate come "un eterogeneo gruppo di disordini, molti dei quali solo vagamente noti". L'Agenzia europea per la salute e sicurezza sul lavoro, invece, le definisce come "un vasto complesso di malattie e di disordini infiammatori e degenerativi che esitano in dolore e limitazione funzionale"; mentre in Italia la definizione più recente è quella del gruppo milanese (EPM) che le cataloga come "alterazioni delle unità muscolo tendinee, dei nervi e del sistema vascolare, aggravate da movimenti e/o sforzi ripetuti dell'arto superiore". Alla luce di queste tre definizioni di livello internazionale, comunitario e nazionale è possibile desumere come questi particolari disturbi non siano ben definiti nel genere e soprattutto nella loro manifestazione, rappresentando limiti significativi in materia di gestione della prevenzione e di accertamento del nesso causale nel caso di manifestazioni patologiche. Tuttavia il forte interesse dimostrato in letteratura ne evidenzia la diffusione in ogni contesto lavorativo e le considerevoli ricadute sociali susseguenti.

Questi disturbi a differenza delle “malattie professionali specifiche” (Barletta, 2000), per le quali è riscontrabile una causa-effetto diretta tra un agente nocivo e la malattia, sono definiti dall’Organizzazione mondiale della sanità (OMS) come «malattie ad eziopatogenesi multifattoriale» in quanto riscontrabili anche nella popolazione non esposta e causate, secondo la letteratura medica, da ulteriori fattori extra-lavorativi quali:

- invecchiamento
- pregressi traumatismi
- patologie croniche (diabete, ipotiroidismo, artrite reumatoide o altre situazioni come la menopausa, la gravidanza o l’assunzione di contraccettivi orali)
- movimenti eseguiti scorrettamente e ripetutamente durante lo svolgimento di attività sportive e/o hobbistiche (ad esempio la patologia del cosiddetto gomito del tennista).

Risulta ben chiaro, quindi, che la genesi di questi particolari disturbi può avere origini diverse e non strettamente legate all’attività lavorativa. Per tale ragione, per poter considerare i disturbi muscoloscheletrici e le patologie da sovraccarico biomeccanico quali malattie professionali lavoro-correlate, si deve verificare la sussistenza dei fattori di rischio così come individuati e distinti dall’Agenzia europea per la salute e sicurezza sul lavoro (EU-OSHA). L’Agenzia europea, appunto, ritiene che sussistano due macro classificazioni di rischio specifico da lavoro, in cui da un lato rientrano i fattori di rischio fisico, dove ogni riferimento è fatto alla modalità in cui si espleta la prestazione lavorativa considerando la mansione di attribuzione, e dall’altro lato vengono elencati i fattori di rischio ambientale e organizzativo, quali elementi ulteriori che incidono o possono incidere sulla manifestazione delle patologie costituendo vere e proprie concause lavorative se consideriamo i fattori di rischio fisico come principali cause lavoro correlate.

**Tabella I. 4** *Fattori di rischio per i DMS*

<b>Fattori di rischio</b>	
<b>Fattori di rischio fisico</b>	<b>Fattori di rischio ambientale ed organizzativo</b>
Sollevamento carichi	Ritmi di lavoro
Posizioni ergonomiche incongrue	Attività ripetitive
Movimenti altamente ripetitivi	Orari di lavoro
Lavorazioni manuali con carichi pesanti	Retribuzione
Pressione meccanica diretta sulle attrezzature	Attività monotona
Vibrazioni	Fatica
	Microclima ambientale
	Percezione dell'organizzazione di lavoro
	Fattori psicosociali presenti sul lavoro

Quanto alla rilevanza di questi fenomeni, è dimostrata particolare evidenza fenomenologica in tutti i settori e in tutte le occupazioni lavorative, con particolare riguardo ai lavoratori addetti nelle lavorazioni manuali dei settori: agricolo, forestale e pesca, manifatturiero e minerario, trasporti, edilizia, artigianato, vendita al dettaglio e all'ingrosso nella grande distribuzione, alberghiero e ristorazione, sanitario. A queste considerazioni è doveroso aggiungere altri due elementi, il primo riguarda l'importanza dell'ulteriore fattore di rischio rappresentato dall'elemento contrattuale che colpisce i lavoratori, specie se giovani, in precarie condizioni occupazionali, i quali statisticamente sono i più colpiti in quanto impiegati prevalentemente nello svolgimento di attività pericolose, il secondo elemento riguarda la maggior incidenza di questi disturbi rispetto al genere femminile e soprattutto, come evidenziato da numerosi studi accreditati, per quel che riguarda la sindrome del tunnel carpale. Le affezioni muscolo-scheletriche e da sovraccarico biomeccanico comprendono un panorama vasto di disturbi della salute comprendenti: le patologie del rachide, le patologie da movimenti ripetitivi degli arti superiori, le patologie da movimenti ripetitivi dell'arto inferiore. La relativa manifestazione (Battevi, 2004) è prevalentemente circoscritta in disturbi alla schiena, al collo, alle spalle, agli arti superiori e agli arti inferiori, che degenerano in vere e proprie patologie quali lombalgia acuta, spondilo disco artrosi, ernia del disco, lombosciatalgia e spondilolisi per quel che riguarda le affezioni del rachide, sindrome del tunnel carpale, epicondilite, sindrome di De Quervain, sindrome del dito a scatto, sindrome della cuffia dei rotatori, sindrome dello stretto toracico e sindrome di Guyon riguardo agli arti superiori e talalgia plantare, tendinite di Achille, sindrome del tunnel tarsale,

lesione del menisco, borsite pre-rotulea e la tendinopatia del ginocchio rispetto agli arti inferiori.

### **I.8.1 La ripetitività come causa di disturbo**

La ripetitività nelle attività lavorative è un fattore da valutare con molta attenzione. Può infatti determinare un sovraccarico biomeccanico con la conseguenza di traumi e infortuni da sforzo e di microtraumi che si ripetono nel tempo con effetto cumulativo.

Per la valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico da movimenti ripetuti degli arti si devono innanzitutto considerare i seguenti fattori di rischio, in relazione alla durata dell'intero tempo netto di lavoro ripetitivo:

- frequenza di azione elevata: se la ripetitività è uno dei rischi maggiori per le sindromi degli arti superiori, per quantificare e valutare la ripetitività dei movimenti bisogna far riferimento alla frequenza d'azione, che risulta dal conteggio delle azioni tecniche in un ciclo, riferite all'unità di tempo (espressa in minuti). Per ognuna di queste azioni tecniche si analizzerà la presenza di posture incongrue, il livello di forza ed eventuali fattori complementari. Per stimare le effettive azioni tecniche è indispensabile video-filmare l'attività lavorativa e riesaminarla a rallentatore. In caso di compiti complessi si può procedere alla descrizione delle azioni tecniche attraverso l'ausilio di personale esperto di tale compito o consultare documenti di analisi del lavoro, disponibili nell'azienda, che riportano in successione le fasi presenti nel ciclo;
- uso di forza eccessivo: la forza è l'impegno biomeccanico necessario per compiere una o più azioni tecniche. La forza può essere interpretata sia come forza esterna (forza applicata) o interna (tensione sviluppata nei tessuti miotendinei e periarticolari). Lo sviluppo di forza durante l'attività lavorativa è allacciato alla movimentazione, al mantenimento di oggetti o strumenti di lavoro, al mantenimento costante di una posizione di un determinato segmento corporeo, quindi ad azioni sia dinamiche che statiche. L'interazione di forza e frequenza delle azioni, va ad accrescere il rischio di patologie da sovraccarico biomeccanico. In particolare la quantificazione della forza utilizzata può avvenire attraverso un'appropriata scala "BORG CR10 SCALE";
- posture e movimenti degli arti superiori incongrui e/o stereotipati: la postura assunta durante l'esecuzione dei compiti ripetitivi, concorre a determinare il rischio di patologie a carico degli arti superiori. Sono qualificate come deleterie le posture e i movimenti estremi di ogni articolazione, le posture mantenute in modo prolungato ed i movimenti ripetuti uguali a sé stessi in modo frequente (stereotipia). Le caratteristiche del posto di lavoro, come lo spazio circostante il

## Chapter I

lavoratore, o la sedia sulla quale egli è seduto influenzano la postura che assume il lavoratore. Sarebbe adeguato permettere al lavoratore di decidere liberamente di scambiare posizioni sedute con quelle in piedi;

- carenza di periodi di recupero adeguati: il periodo di recupero “è definito come un lasso di tempo in cui si ha una sostanziale inattività di uno o più gruppi miotendinei”. Ad esempio, le pause di lavoro, ufficiali e non, compresa la pausa pasto; i periodi di svolgimento di compiti lavorativi che comportano il sostanziale riposo dei gruppi muscolari, impegnati precedentemente in compiti; periodi, che all'interno del ciclo, comportano il completo riposo dei gruppi muscolari.
- 

### **I.8.2 Patologie da sovraccarico biomeccanico degli arti inferiori**

Anche gli arti inferiori possono essere interessati da problemi muscolo-scheletrici, ma tali disordini al momento sono ancora sottostimati e pochi sono gli studi e le ricerche confrontabili. Nonostante ciò si possano riscontrare problemi specifici sulla base del genere e della professione: in settori di impiego prettamente femminile, come l'assistenza sanitaria o la vendita al dettaglio, in cui si trascorre la maggior parte della giornata in piedi. In queste specifiche situazioni si possono riscontrare problemi alle anche, alle gambe ed ai piedi, mentre in comparti più propriamente maschili, come ad esempio l'edilizia, sono molto comuni i problemi alle ginocchia. Più nel dettaglio le alterazioni muscolo-scheletriche lavoro-correlate agli arti inferiori possono riguardare soprattutto: il piede e il ginocchio. Le stesse si manifestano, per quanto riguarda il piede, sotto forma di:

- talalgia plantare: che consiste in un dolore nella zona del tallone dovuta a prolungata postura eretta e sottoposizione prolungata a traumi;
- tendinite di Achille: quale infiammazione del tendine di Achille con conseguente dolore alla zona posteriore della caviglia e al tallone;
- sindrome del tunnel tarsale: che si manifesta con formicolii e dolori alla pianta del piede ed è dovuta alla compressione del nervo tibiale posteriore.

Relativamente al ginocchio, invece le patologie più comuni sono:

- le lesioni del menisco: che si manifesta con dolori nella zona del menisco, accentuato nei movimenti di flessione del ginocchio, in alcuni casi anche accompagnato da gonfiore dell'articolazione;
- la borsite pre-rotulea: ossia il cosiddetto “ginocchio della lavandaia”, provocato da prolungate posizioni in ginocchio, caratterizzato da

rigonfiamento al di sopra della rotula accompagnato spesso da arrossamento e calore locale, riduzione della mobilità dell'articolazione e dolore all'atto dell'inginocchiamento e della palpazione;

- la tendinopatia del ginocchio: da distinguere tra tendinite del rotuleo, con dolore nella parte bassa della rotula e tendinite del quadricipite, con dolore nella parte alta della rotula; il dolore, che in genere aumenta con la palpazione, si concentra sotto sforzo ed in particolare saltando ed inginocchiandosi; in alcuni casi si manifestano anche gonfiore arrossamento e calore locale.

È chiaro come tale ordine di patologie, a differenza dei disturbi al rachide e agli arti superiori, sia connesso ad un numero contenuto di fattori di rischio quali principalmente rappresentati da:

- posizione di lavoro;
- intensità e durata delle attività che prevedono sollecitazioni ripetute • ripetitività dei movimenti;
- possibilità di cambiamento della posizione.

Alla luce di tali considerazioni, anche i comparti nei quali sarà possibile riscontrare tali disturbi sono individuabili in un numero piuttosto ristretto comprendente il settore dei posatori di moquette, piastrelle e parquet, l'industria in cui ci sono catene di montaggio e assemblaggio, gli addetti al data entry e le cassiere dei supermercati.

### **I.8.3 I principali metodi per la valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico**

In letteratura esistono vari metodi per la valutazione dei rischi da sovraccarico biomeccanico degli arti ognuno dei quali ha specifici ambiti di interesse e modalità di applicazione. Per ciascun metodo varia, inoltre, il valore in termini di previsione del rischio. Da ciò scaturisce la difficoltà, in chi è incaricato di effettuare la valutazione, di riuscire a conoscere tutti gli strumenti disponibili e a distinguerne le caratteristiche.

Tra i metodi più utilizzati vanno citati i seguenti: metodo RULA (Carlett, 1993), metodo REBA (Hignett, 2000), metodo LUBA (Karwowski, 2001), metodo NIOSH, metodo Snook e Ciriello, metodo Job Strain Index (Arun, 1995) e metodo OCRA (Grieco, 1998; Colombini, 2009).

#### **I.8.3.1 RULA (Rapid Upper Limb Assessment)**

RULA è un metodo di valutazione ergonomico sviluppato per utilizzarlo nelle indagini di ergonomia dei luoghi di lavoro in cui vengono segnalati disturbi degli arti superiori legati al lavoro. Questo metodo non richiede strumenti speciali per acquisire e valutare le posture: la fase iniziale è

## Chapter I

L'osservazione del lavoratore durante il corso di diversi cicli di lavoro, al fine di individuare qual è il compito più significativo e la postura da analizzare. La scelta può essere effettuata scegliendo sia la postura che viene mantenuta per la maggior parte del tempo del lavoro sia quella che impiega un maggiore stress sugli arti. Gli angoli analizzati sono la flessione/estensione e l'abduzione/adduzione del braccio, la flessione/estensione dell'avambraccio, la flessione frontale del collo, la flessione del tronco e la flessione/estensione e deviazione radio-ulnare della mano. I movimenti di ogni sezione del corpo sono suddivise in intervalli angolari appropriati, conformemente ai criteri derivanti dalla letteratura. Questi intervalli sono numerati in modo tale che il numero 1 corrisponda alla gamma di movimenti o della postura di lavoro in cui il relativo rischio è minimo. I numeri più alti sono assegnati ad intervalli di movimento per le posture più estreme ed indicano un aumento del fattore di rischio a carico della sezione in questione. L'analisi RULA, secondo una combinazione appropriata di punteggi angolari determina un punteggio finale che indica il livello di intervento necessario per ridurre i rischi di lesioni dovuti al carico fisico per l'operatore.

### I.8.3.2 REBA (Rapid Entire Body Assessment)

L'idea di base di REBA è simile a quella del metodo RULA, questo strumento di valutazione ergonomica utilizza un processo sistematico per valutare il disturbo muscolo-scheletrico posturale e i rischi associati con attività di lavoro per tutto il corpo. Per valutare le posture del corpo richiesto, gli sforzi, la ripetitività e i tipi di movimenti viene utilizzato un foglio di lavoro. Utilizzando tale foglio di lavoro REBA, il valutatore assegnerà un punteggio per ciascuna delle seguenti regioni del corpo: polso, avambraccio, gomito, collo, tronco, schiena, coscia e gamba. La selezione delle posture da valutare è basata sull'individuazione delle posture o attività lavorative più complicate in termini di movimenti articolari, sulle posture tenute per molto tempo e su quelle che richiedono elevati sforzi fisici. Il metodo REBA può essere condotto rapidamente, in modo tale da analizzare più posizioni e compiti, senza un particolare costo in termini di tempo e sforzo. In REBA gli arti destri e sinistri sono valutati separatamente, nello specifico, solo dopo che il lavoratore è stato intervistato e osservato, si determina se è necessaria una valutazione per entrambe le parti o no. In relazione agli angoli formati da ciascuna sezione del corpo viene assegnato un punteggio, tali punteggi vengono incrementati o sottratti di alcune unità a seconda della presenza o meno di determinati fattori di peggioramento/miglioramento, che possono essere ad esempio supporti o carichi.

### I.8.3.3 LUBA (Loading on the Upper Body Assessment)

Il LUBA è una tecnica di valutazione di carichi posturali relativi agli arti superiori, incentrata sul discomfort dei movimenti articolari e sul tempo

massimo di durata. Il metodo consente la definizione dell'indice di disagio percepito (tramite punteggi) per le articolazioni della mano, del braccio, del collo e della schiena, ed i corrispondenti tempi massimi di tenuta per le posture statiche. Nella prima fase l'operatore viene videoregistrato in modo tale da poter selezionare le attività e le posture da valutare nella seconda fase sulla base del tempo di mantenimento e/o di forti sollecitazioni posturali. Dopo l'assegnazione di un punteggio numerico viene definita la relazione tra l'indice di carico posturale (PLI) e il tempo massimo di mantenimento (MHT). Il criterio per la valutazione complessiva dei disagi delle posture lavorative e dei rischi si basa su quattro categorie di azione distinte, in modo tale da consentire agli operatori di applicare le opportune azioni correttive.

#### I.8.3.4 NIOSH

Il metodo NIOSH è comunemente impiegato per la valutazione ergonomica di azioni di sollevamento e trasporto manuale di carichi. La procedura proposta permette di sintetizzare un indice, a partire dalla stesura di un'equazione, che tiene in considerazione il peso (la massa) da sollevare, con l'aggiunta di una serie di ulteriori variabili che possono contribuire all'aumento del livello di rischio. Per determinare tale indice, comunemente denominato "limite di peso raccomandato" o RWL (Recommended Weight Limit), occorre misurare alcuni parametri relativi all'ambiente ed alle modalità di esecuzione del sollevamento, quali: la distanza orizzontale rispetto al baricentro delle anche, alla quale il carico è sollevato; la distanza verticale delle mani rispetto al suolo, nella posizione di partenza; l'escursione verticale del sollevamento; il tempo che intercorre tra le azioni di sollevamento o frequenza di sollevamento; l'angolazione del carico rispetto al corpo; la tipologia di presa a seconda dell'impugnatura disponibile.

L'indice di sollevamento è il risultato del rapporto tra il peso del carico effettivo ed il limite di peso consigliato.

#### I.8.3.5 Snook e Ciriello

Per le azioni di traino, spinta e trasporto in piano non esistono metodi universalmente riconosciuti come quello proposto dal NIOSH, sebbene gli studi condotti da Snook e Ciriello costituiscano un valido supporto per la valutazione dell'indice ergonomico (o indice di rischio) in tali contesti.

Gli studi partono con la scomposizione del movimento complessivo in azioni elementari che sono: azioni di traino/spinta e azioni di mantenimento.

Per ciascun tipo di azione, la valutazione del rischio avviene per diversi percentili di protezione per un campione costituito da soggetti sani, considerando sia differenze di sesso, sia differenze nella tipologia di azione come la frequenza, l'altezza da terra e la distanza di trasporto. Per le azioni di traino e spinta, svolte con l'intero corpo, la procedura per il calcolo dell'indice di rischio fornisce il valore limite della forza raccomandata, rispettivamente

## Chapter I

nella fase iniziale e poi di mantenimento dell'azione. Per le azioni di trasporto, invece, il metodo fornisce i valori limite di riferimento del peso raccomandato.

Tali valori limite sono forniti in funzione dei vari parametri caratteristici, e si riferiscono a quei valori che tendono a salvaguardare il novanta per cento delle rispettive popolazioni adulte sane, maschili e femminili.

Individuata la situazione che meglio rispecchia il reale scenario lavorativo in esame, si estrapola il valore raccomandato di peso o di forza e lo si rapporta al peso o alla forza effettivamente coinvolti nella movimentazione, ottenendo così un indicatore di rischio del tutto analogo a quello proposto dal metodo NIOSH per le azioni di sollevamento.

### I.8.3.6 Job Strain Index

Lo Strain Index è un metodo di analisi dei compiti lavorativi che consente di determinare il rischio di disturbi, malattie muscolo-scheletriche delle estremità degli arti superiori (gomito, avambraccio, polso, mano).

Per quanto riguarda gli aspetti fisiologici del lavoro, tiene conto dell'intensità degli sforzi, della loro durata e della durata dei periodi di recupero- riposo. L'aspetto epidemiologico si riferisce agli ampi studi che evidenziano l'associazione tra l'insorgenza di disturbi muscolo-scheletrici agli arti superiori e l'intensità, frequenza e durata degli sforzi esercitati dagli stessi. L'aspetto biomeccanico relativamente al principio che gli sforzi esercitati esternamente dagli arti si traducono in forze interne di tensione e di compressione sui tendini-muscoli, e queste sono proporzionali agli sforzi esercitati.

Le forze interne di compressione sono funzione delle posture assunte dagli arti superiori. Il calcolo dello Strain Index si basa essenzialmente sulla determinazione di sei variabili: l'intensità dello sforzo nell'effettuare l'operazione-compito; la durata dello sforzo all'interno del compito; il numero di sforzi al minuto; la postura assunta dal segmento mano-polso nell'eseguire il compito; la velocità di esecuzione del compito; la durata del compito nella giornata lavorativa.

### I.8.3.7 Metodo OCRA

Il metodo OCRA è uno dei più completi e diffusi metodi per la valutazione e prevenzione dei rischi, in caso di lavoro ripetitivo. Questo strumento fornisce un unico punteggio di rischio sulla base dell'esposizione di un individuo ai parametri di fattori di rischio fisici sul lavoro. Esso tiene conto della frequenza delle azioni tecniche, della forza, delle posture e dei movimenti incongrui, dei fattori aggiuntivi, della mancanza di recupero e della durata di attività. È possibile distinguere la Checklist OCRA e il metodo dell'Indice di OCRA: la Checklist OCRA dà una prima mappa dei rischi e per raggiungere il valore del punteggio finale, si deve semplicemente sommare i punteggi ottenuti in ciascuno dei fattori di rischio, separatamente per l'arto

destro e sinistro, e moltiplicare tale somma con il fattore di recupero e il fattore di durezza; l'Indice OCRA, invece, fa una valutazione analitica ed il punteggio è il risultato del rapporto tra il numero assoluto delle azioni tecniche realmente effettuate (azioni tecniche attuali, ATA) in un turno, e il numero totale delle azioni tecniche raccomandate (azioni tecniche consigliate, RTA).

### **I.8.4 Tappe fondamentali per lo studio di un'attività lavorativa**

Lo studio di una determinata attività lavorativa deve tener conto oltre che dei fattori di rischio anche delle variabili per l'analisi del lavoro organizzato, il cui risultato deve essere sia dettagliato ma anche capace di riassumere in una visione unitaria l'intero lavoro.

Un idoneo percorso di analisi si può articolare nelle seguenti tappe:

- individuazione dei compiti caratterizzanti un lavoro e fra di essi quelli che si compiono, per tempi significativi, secondo cicli ripetuti uguali a sé stessi per più della metà del tempo: i compiti ripetitivi;
- individuazione, in uno o più cicli rappresentativi o comunque in periodi rappresentativi di ciascun compito ripetitivo, della sequenza e del numero delle azioni tecniche;
- descrizione e quantificazione, in ciascun ciclo o periodo rappresentativo, dei fattori di rischio: frequenza, forza, posture incongrue, stereotipia e complementari;
- ricomposizione dei dati riguardanti i cicli, in relazione ai compiti e al turno di lavoro, considerando le durate dei diversi compiti e dei periodi di recupero;
- valutazione sintetica e integrata dei fattori di rischio per l'intero turno di lavoro.

Dunque la prima fase da analizzare in uno schema di lavoro organizzato è l'individuazione dell'orario di lavoro, dei compiti lavorativi svolti nel turno, della presenza di pause programmate o di altre interruzioni di attività, della presenza di significativi tempi di attesa o tempi passivi interni al ciclo.



# Capitolo II

## Il Comfort

### II.1 Differenza tra l'ergonomia e il comfort

In questa sede si vogliono marcare le differenze intercorrenti tra comfort ed ergonomia, fornendone le definizioni e le esigenze applicative.

Il comfort (o confortevolezza) è una sensazione percepita dall'utente, nell'ambiente di lavoro o in determinate condizioni di servizio, e serve ad indicare il livello di benessere percepito.

L'ergonomia, invece, secondo la I.E.A. (International Ergonomics Association), è quella scienza che si occupa dell'interazione tra gli elementi di un sistema (umani e di altro tipo) e la funzione per cui vengono progettati (nonché la teoria, i principi, i dati ed i metodi che vengono applicati nella progettazione), allo scopo di migliorare la soddisfazione dell'utente e l'insieme delle prestazioni del sistema. In sintesi è possibile definire l'ergonomia come la scienza delle interazioni tra l'uomo e la tecnologia. La qualità del rapporto tra l'utente ed il mezzo utilizzato è determinata dal livello di ergonomia, ed il requisito più importante per determinare tale livello è la sicurezza.

La parola chiave che richiama immediatamente la differenza più significativa tra comfort ed ergonomia è proprio "sicurezza". In effetti, per la tutela del lavoratore, la legge stabilisce sulla base di un punteggio di ergonomia, gli intervalli entro i quali una postura lavorativa è da ritenersi rischiosa per la salute. Essi devono fungere da limite per chi è chiamato a progettare una postazione di lavoro.

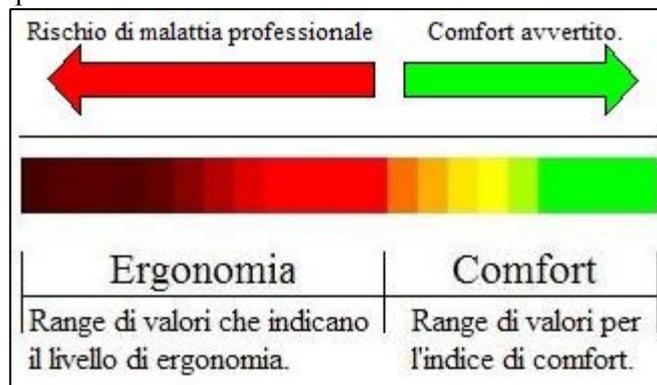
Come mostrato in figura II.1, esiste un intervallo di valori ergonomici (quelli a sinistra, con la scala in rosso) che associati ad una postura ne caratterizzano la non conformità rispetto ai termini di legge. Si evidenzia a questo punto un limite che divide il range di ergonomia da quello del comfort.

## Chapter II

È chiaro che ogni valore dell'indice di comfort è in accordo con i requisiti ergonomici dettati dalla normativa, tuttavia non è prevista da quest'ultima un metodo per la valutazione di tale indice.

La realtà dunque, è che due posture che rispettino entrambe i requisiti della norma ISO 11228, possono risultare molto differenti in termini di comfort avvertito dall'utente.

A questo punto è possibile spiegare con maggior chiarezza gli scopi di questa trattazione. Considerando i limiti ergonomici sanciti dalla norma come valori angolari con punteggio di comfort minimo, si è sviluppato un modello di valutazione per il comfort posturale che attribuisca a ciascuna postura un indice compreso tra valori dati come riferimento.



**Figura II. 1** *Ergonomia e Comfort*

### II.1 Tendenza della società verso il comfort di seduta

Il comfort viene definito come una sensazione puramente soggettiva di benessere percepito dall'utente in un ambiente di lavoro e/o a contatto con prodotti e sistema-macchina.

Secondo Zhang et al. (1996), il comfort e il discomfort sono due elementi indipendenti associati a diversi fattori. Il discomfort è associato alla sensazione di dolore, indolenzimento, intorpidimento e rigidità, ed è causato dai contrasti fisici nel design. Il comfort, invece, è associato alle sensazioni di relax e di benessere che possono essere influenzate, ad esempio, dalle impressioni estetiche. In questo modo, riducendo il discomfort non necessariamente c'è un aumento del comfort, ma per raggiungere un alto livello di comfort, il livello di discomfort dovrebbe essere basso (Helander e Zhang 1996).

Le caratteristiche del lavoro nelle società occidentali stanno cambiando, in passato la maggior parte delle persone lavorava nel settore industriale o in quello agricolo, mentre oggi, la moderna economia sta cambiando in economie di servizi e di conoscenza (Drucker 1999). All'interno di questi sviluppi, la creatività e la conoscenza sono riconosciuti come i driver di

produttività e di crescita economica e il numero di persone che lavorano nel settore dei servizi ad alta conoscenza, infatti, è in crescita (OECD 1996): nell'EU nel 2011, circa il 70% degli impiegati lavora nel settore dei servizi (Eurostat 2012).

Tale tendenza è stata supportata dalla rivoluzione dei dispositivi di tecnologia dell'informazione e della comunicazione, di applicazioni e networks ed, inoltre, grazie ad essi è possibile lavorare ovunque e in qualsiasi momento. Il confine tra lavoro e tempo libero non è più chiaramente definito come prima e sempre più spesso le persone utilizzano il loro tempo di viaggio per svolgere attività lavorative. I risultati di un sondaggio effettuato negli Stati Uniti nel 2008, ad esempio, mostrano che il 21% degli intervistati ha svolto attività di lavoro mentre viaggiava su un aereo, in treno o in metropolitana (WorldatWork 2009). Questi sviluppi si sono verificati non solo nelle società occidentali, le nuove economie di Cina, India e Brasile hanno mostrato, infatti, un aumento del numero di voli e questo risultato comporta una maggiore diversità, non solo antropometrica, ma anche di culture e abitudini, di persone che viaggiano e lavorano sedute.

Nel corso degli ultimi decenni, molti studi si sono concentrati su come ottimizzare le postazioni di lavoro da ufficio, in modo da migliorarne il benessere umano, il sistema e le prestazioni nel complesso (ad esempio Hedge e Sakr 2005; Lee e Brand 2005). Più di recente, l'attenzione si è spostata dal prevenire problemi di salute al fornire e garantire comfort (Makhsous et al 2012; Zhang et al. 1996), ottenendolo in molti studi teorie sul comfort e sul discomfort della seduta (tra i quali De Looze et al 2003; Vink e Hallbeck 2012; Helander 2003). Gli studi non sono stati effettuati solo su sedili per uffici (Helander e Zhang 1997; Groenesteijn et al 2009), ma anche su sedute di macchine pesanti (Kuijt-Evers et al 2003) e delle auto (Bronkhorst e Krause 2005).

Poiché il comfort è visto come uno dei principali fattori che determina la soddisfazione dei lavoratori, quando d'altra parte, il discomfort è considerato come una delle principali fonti di insoddisfazione che ha un effetto negativo sul benessere e sulle prestazioni umani, negli ultimi anni si è focalizzata molto l'attenzione sul design delle sedute dei lavoratori, cercando di prevenire il disagio e di fornire, invece, il comfort (Vink et al. 2005). Sulla base del modello di Helander e Zhang (1996), il modello teorico di comfort e discomfort di De Looze et al. (2003) distingue tre livelli: il livello umano, il livello di seduta e livello contestuale. A livello contestuale, ad esempio, è l'ambiente fisico ad influenzare il discomfort di una seduta, a livello di seduta è il design estetico e a livello umano le aspettative e le emozioni.

### **II.1.1 Gli effetti dello spazio personale sul comfort e sul discomfort**

Con il termine “spazio personale” si intende un concetto ampio che include lo spazio per le gambe, la distanza tra i sedili, la larghezza della seduta e l'ambiente della cabina esterna, laddove dovesse esserci. Queste sono proprio le variabili che influenzano la percezione di comfort e discomfort. Kremser et al. (2012), ad esempio, ha rilevato che la distanza tra i sedili per ottenere il massimo benessere varia da 865 a 1065 millimetri (corrispondenti a 815 fino a 1015 mm per lo spazio per le gambe) a seconda dell'antropometria del passeggero. Ha riscontrato, inoltre, che la distanza ottimale tra i sedili è influenzata dalla lunghezza della distanza tra gluteo e ginocchio del passeggero e che il senso soggettivo di benessere è influenzato dall'altezza degli occhi del passeggero. Molte sensazioni, inoltre, come la facilità di cambiare postura, la sensazione di sentirsi stretti e di stare seduti di fronte ad un muro, risultano essere influenzate significativamente dalla distanza tra i sedili.

### **II.2 I fattori umani che influenzano il comfort e il discomfort**

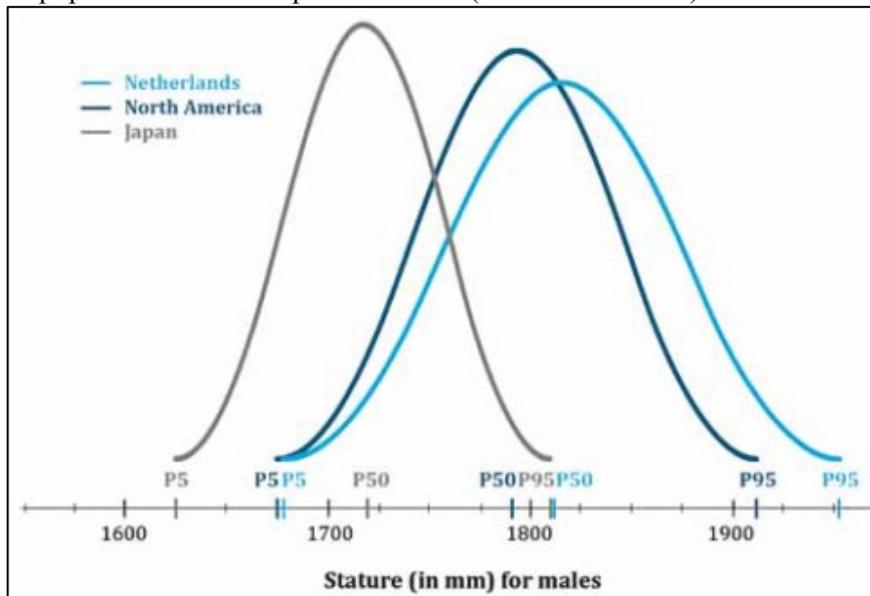
Le caratteristiche umane che possono influenzare il comfort e il discomfort comprendono una serie di fattori, quali l'età, la nazionalità, il genere sessuale e le dimensioni del corpo. L'antropometria è la scienza che studia le misure del corpo umano e durante la fase di progettazione i dati antropometrici costituiscono una fonte preziosa di informazioni per determinare le dimensioni che i prodotti devono avere al fine di garantirne una migliore fruibilità da parte dell'utente, ma soprattutto per garantire le condizioni di ergonomia e comfort. È importante notare, tuttavia, che il passeggero o il lavoratore medio non esiste, ed è molto raro che una persona abbia molteplici dimensioni del corpo che siano quelle appartenenti al 50°.

La variabilità antropometrica è in gran parte correlata all'etnia, al genere e all'età (Jürgens et al. 1990). Tuttavia, le caratteristiche antropometriche possono anche cambiare nel tempo, ma non sempre alla stessa velocità. Molenbroek (1994), ad esempio, ha riscontrato che statura nei Paesi Bassi è aumentata tra il 1965 e il 1980 molto rapidamente, ma che il tasso di crescita sia diminuito tra il 1980 e il 1992.

#### **Etnia**

La maggior parte delle dimensioni del corpo segue una distribuzione normale, tuttavia, la curva normale è diversa per le diverse popolazioni: ad

esempio, un 95° maschile olandese è più alto rispetto al 95° maschile giapponese o nord americano, come si può vedere nella Figura II.2. In realtà, il 95° maschile giapponese corrisponde ad un 50° maschile olandese, inoltre, le popolazioni non solo differiscono per le dimensioni complessive del corpo, ma anche per i rapporti tra le varie misure (proporzionalità del corpo). Ad esempio, i busti giapponesi sono proporzionalmente più lunghi rispetto alle gambe se rapportati alla maggior parte delle altre popolazioni (Kennedy 1976), mentre la popolazione turca ha le braccia relativamente piccole rispetto alle popolazioni dell'Europa occidentale (Ali e Arslan 2009).



**Figura II. 2** Distribuzione della statura di differenti popolazioni maschili

### Età

Secondo Perissinotto et al. (2002), per le popolazioni anziane sono necessari specifici dati di riferimento antropometrici, poiché gli standard antropometrici per popolazioni adulte possono non essere appropriati a causa dei cambiamenti che avvengono alla composizione corporea durante l'invecchiamento. Ad esempio, con l'avanzare dell'età la statura diminuisce molto probabilmente a causa di un ritiro che si verifica nei dischi intervertebrali della colonna vertebrale. Questo processo inizia intorno ai 40 anni di età, ed è molto rapido tra 50 anni e 60 (Ali e Arslan 2009).

### Genere sessuale

La statura media di un maschio olandese tra i 20 ei 30 anni è 1848 millimetri, 161 mm più alto rispetto alla media femminile olandese (1687 millimetri). Un sedile che è stato progettato per coprire dal 5° al 95° maschile sarebbe, quindi, adatto al 90% degli uomini, ma a meno del 40% delle donne, dal momento che la statura di 5° maschile corrisponde ad un 66.7° femminile.

## Chapter II

Tra la popolazione maschile e quella femminile, inoltre, anche le proporzioni del corpo cambiano oltre alla statura.

### **Stile di vita**

Anche le variazioni di stili di vita, l'alimentazione e la composizione etnica delle popolazioni portano a cambiamenti nella distribuzione delle dimensioni del corpo (Pheasant e Haslegrave 2006), e questo è il motivo principale per cui è necessario un regolare aggiornamento delle raccolte dei dati antropometrici. In molte popolazioni c'è stato un rallentamento o un blocco dell'aumentare della statura negli anni (Godina 2008), ma anche una forte tendenza in molti paesi europei o degli Stati Uniti verso l'aumento del peso e obesità (Komlos e Baur 2004). Per i prodotti con una vita relativamente breve, questo aspetto potrebbe non essere rilevante, ma per veicoli come aerei e treni, il cui tempo di sviluppo è lungo, così come la durata prevista, è molto importante, perché i progettisti dovrebbero saper anticipare i cambiamenti delle dimensioni del corpo negli anni.

### **II.3 Modello di percezione del comfort**

Da una vasta indagine bibliografica sono stati individuati due modelli di percezione del comfort: il modello di Moes (2005) e il modello di Vink e Hallbeck (2012). Il modello di Moes prevede cinque fasi di attraversamento per arrivare ad un'esperienza di disagio, come è possibile vedere dalla Figura III.2: la prima fase è di interazione (I), la seconda fase è quella degli effetti sul corpo (E), la terza fase è quella degli effetti percepiti (P), la quarta fase è di apprezzamento degli effetti (A), e l'ultima è la fase di disagio (D). Tale modello è stato sviluppato in ambito automotive, eseguendo dei test sui sedili ed evidenzia il fatto che il processo di percezione sia dipendente dalle persone, dall'oggetto nel work-space col quale le persone si interfacciano (sedile) e dallo scopo e dal motivo per cui viene utilizzato tale oggetto. Ad esempio, l'interazione uomo-sedile può comportare la distribuzione della pressione della superficie di contatto tra il soggetto e sedile. Un'interazione si traduce in effetti interni del corpo (E), come la deformazione del tessuto o il trasferimento del peso della colonna vertebrale sul bacino. Questi effetti possono essere percepiti (P) ed interpretati come dolore e fastidio. La fase successiva è l'apprezzamento (A) della percezione. Se questi fattori non sono apprezzati, può portare a sentimenti di disagio (D).

Vink e Hallbeck hanno apportato delle modifiche a tale modello, come è possibile vedere dalla Figura II.4: nel loro modello l'interazione con l'ambiente (I) è causata dal contatto (che può anche non essere fisico come un segnale). Ciò può provocare effetti interni al corpo umano (H), come la sensazione tattile e ciò influenza gli effetti percepiti (P), che possono essere

interpretati come confortevoli (C), scomfortevoli (D) o possono portare a nessun tipo di apprezzamento (N).

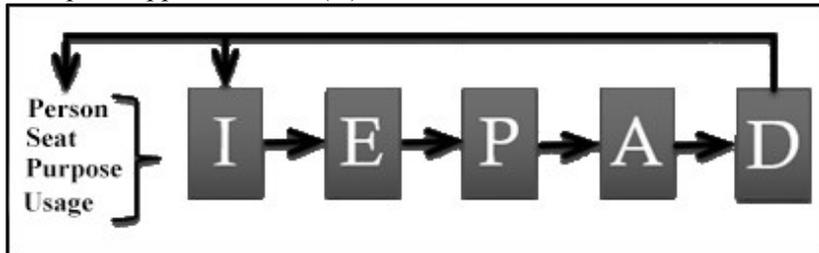


Figura II. 3 Modello di percezione del comfort di Moes

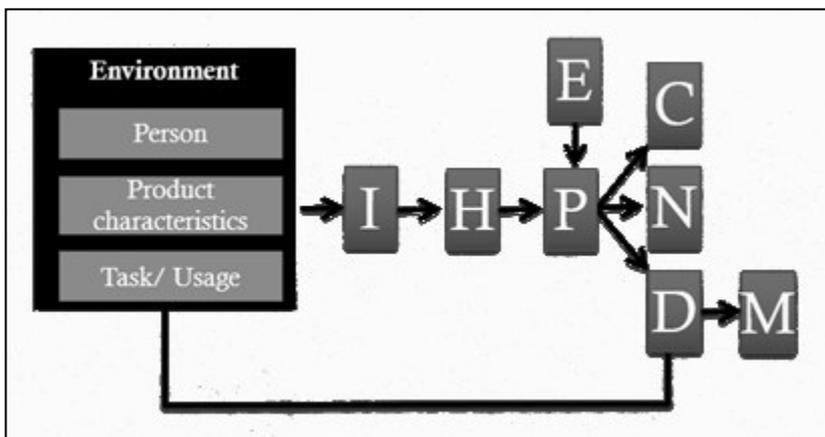
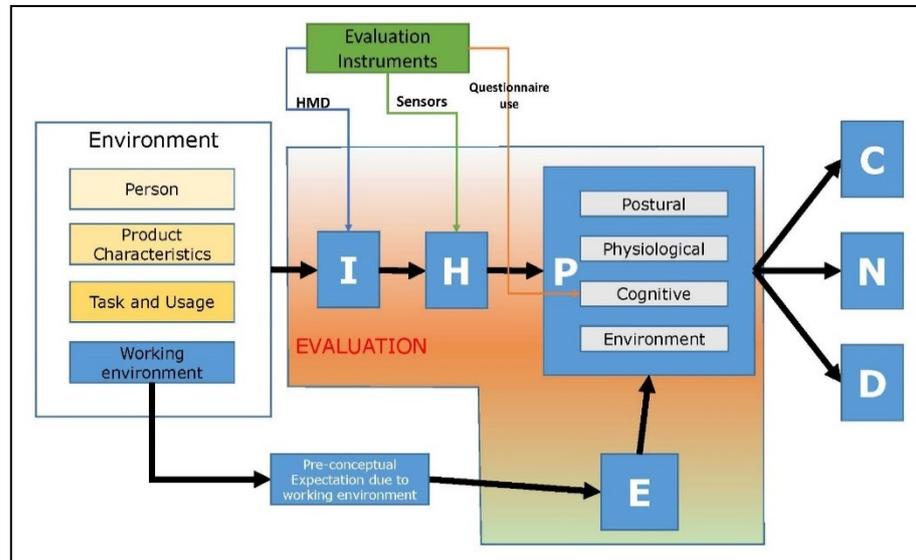


Figura II. 4 Modello di percezione del Comfort di Vink-Hallbeck

### II.3.1 Proposta di un modello di più ampia percezione del comfort

Il primo momento del lavoro di ricerca è stato quello di implementare ed apportare delle modifiche al modello di percezione del comfort di Vink-Hallbeck. Come è possibile notare dalla Figura II.5 di seguito, a differenza di tale modello vi sono delle sezioni non esistenti prima: il working enviromental all'interno dell'environment, gli strumenti di valutazione e i quattro tipi di comfort.



**Figura II. 5** *Proposta di un modello di una più ampia percezione del comfort*

L'environment è costituito dalla somma logica di cinque aspetti fondamentali:

1. **Persona (Pe)**: rappresenta le caratteristiche geometriche del corpo e personali coinvolte nelle attività;
2. **Prodotto (Pr)**: rappresenta tutte le caratteristiche geometriche e non geometriche che descrivono l'elemento che viene a contatto con il corpo umano durante l'esecuzione dell'attività;
3. **Attività/Utilizzo (T)**: rappresenta tutta l'attività o l'utilizzo di cui la persona può farne durante l'esperienza di interazione uomo-macchina (tipo di contatti, tempi, tipo interazione);
4. **Ambiente di lavoro (We)**: rappresenta l'insieme dei parametri che caratterizzano l'ambiente di lavoro, sia dal punto di vista di layout che di parametri di temperatura, illuminazione, tipo di lavoro, etc.;
5. **Soddisfazione/livello di gratificazione (GI)**: rappresenta l'insieme delle caratteristiche di lavoro che contribuisce alla soddisfazione o insoddisfazione del lavoratore.

L'environment e l'expectation sono collegati dalla "codifica di diversi aspetti pre-concettuali", causati non solo dall'ambiente stesso, ma anche dall'esperienza e dal bagaglio culturale della persona analizzata.

Gli strumenti di valutazione sono un altro aspetto fondamentale ed innovativo per la percezione della sensazione di comfort, infatti, essa potrebbe essere modificata dai dispositivi sperimentali stessi che vengono utilizzati per quantificarla e valutarla.

Ad esempio, un HMD (human mounted display) utilizzato per un'applicazione VR (Virtual Reality) potrebbe modificare la percezione posturale del comfort; l'uso di marcatori o sensori sul corpo nudo potrebbero modificare la percezione del comfort fisiologico; l'uso di un questionario potrebbe infastidire i lavoratori e modificare direttamente la sua percezione di comfort cognitivo.

Nel modello vengono identificati quattro tipi di comfort:

1. **Comfort posturale:** legato alle posture assunte durante le attività e alle misure antropometriche dell'uomo;
2. **Comfort fisiologico:** legato alla fisiologia umana e al processo di produzione e consumo delle energie da parte del corpo umano per l'esecuzione delle attività;
3. **Comfort cognitivo:** legato ai processi di acquisizione delle informazioni attraverso gli organi e i sensi;
4. **Comfort ambientale:** legato ai sistemi organizzativi di aziende pubbliche e private al fine di migliorarne l'efficienza e la funzionalità sia interna che in termini di servizi offerti agli utenti/cittadini.

Lo schema proposto è in grado di sintetizzare il concetto attraverso il quale si spiega che comfort e discomfort sono la misura del grado di apprezzamento legato alle aspettative e alla percezione del livello di interazione (I) tra persona (H) ed ambiente (Env). Gli elementi che sono collegati ad aspetti dell'Ambiente sono classificati attraverso due assiomi:

- Il primo assioma afferma che “Ogni elemento coinvolto in un'esperienza HMI può contribuire a una o più specie tra quattro tipi di comfort: posturale, cognitivo, fisiologico e ambientale”. Questa macro-schematizzazione di esperienza di comfort/disagio permette di individuare la maggior parte degli elementi che contribuiscono all'esperienza di comfort/disagio e di classificarli in termini di effetti del corpo umano legate ai quattro tipi di percezione di comfort/disagio.
- Il secondo assioma afferma che “ogni elemento coinvolto nell'esperienza HMI può essere classificato come elemento primario o come elemento modificatore”, dove un elemento primario è definito come un elemento che contribuisce direttamente alla formazione della percezione del comfort/disagio; un elemento modificatore viene definito come un elemento che può modificare una percezione precedentemente formata.

Gli elementi primari sono quelli che pesano sulla reale capacità di interazione di una persona mentre gli elementi secondari (modificatori) pesano sulla capacità di percezione e sono legati alla persona e alle caratteristiche dell'ambiente. L'aspettativa agisce su una persona e può influenzare sensibilmente il livello di soglia tra comfort e disagio.

Grazie agli assiomi il modello può essere rappresentato da tali formule:

$$C_i = f_i(I, H) * P_i - E_i \quad (1)$$

## Chapter II

$$D_i = f_i(I, H) * P_i + E_i \quad (2)$$

Per i: {posturale, fisiologico, cognitivo, ambientale}.

Subito può essere evidenziato che la regola di comfort è diversa dal discomfort (il primo non è la negazione del secondo).

La forma estesa può essere scritta tenendo conto che i modificatori (mod funzione) possono essere usati come un fattore di scala per percezioni:

$$\begin{aligned} C_i(P) &= mod(P) * m_C(H) - E = \\ &= mod(P) * m_C(h(I)) - E = \\ &= mod(P) * m_C(h(I)) - E \end{aligned} \quad (3)$$

Allo stesso modo il discomfort può essere scritto come:

$$D_i(P) = mod(P) * m_D(h(f(Pe, Pr, T, We, Gl))) + E \quad (4)$$

### II.3.2 Modello di percezione del comfort NC: caso expectations

Così come è stato visto precedentemente, le aspettative ricoprono un ruolo fondamentale nella valutazione del comfort (eq. 3, eq. 4).

Solo pochi studi, negli ultimi decenni, si sono occupati delle aspettative, analizzando la loro correlazione con gli altri parametri coinvolti nella valutazione del comfort. La maggior parte di essi riguardano la correlazione tra la percezione di comfort termico e le aspettative all'interno degli edifici. Strenger (2008) ha studiato la percezione del comfort termico all'interno degli edifici differenziando il caso in cui il soggetto poteva gestire i parametri ambientali come temperatura, umidità ed areazione e il caso in cui tutto era automatizzato. Uno dei principali risultati sulle aspettative è stata la dipendenza della percezione del comfort termico dagli effetti psicologici piuttosto che fisiologici; nella percezione del comfort le aspettative hanno giocato un ruolo rilevante nel caso in cui il livello termico nell'ambiente poteva essere gestito direttamente dal soggetto mentre sono state di minore importanza nel caso in cui il soggetto non poteva controllare i parametri ambientali. Uno studio simile che ha portato agli stessi risultati è stato condotto in Australia (Deuble, 2012).

Tali risultati sono stati dimostrati attraverso i termostati "placebo", in cui anche se nulla cambia, i soggetti credevano di avere un controllo sui parametri ambientali all'interno di una stanza.

Brown e Cole (2009) hanno valutato come la conoscenza e il controllo possano influenzare la percezione di comfort. Tra i vari parametri che possono influenzare il livello di comfort percepito i più importanti sembrano essere: le esperienze pregresse, il livello di conoscenza circa l'esperienza di comfort e

le aspettative. Anche in questo caso, lo studio ha riguardato la condizione termica in due edifici differenti in Canada. Lo studio ha dimostrato che la qualità percepita è la differenza tra la reale qualità del servizio e quella attesa e che le aspettative giocano un ruolo fondamentale nell'indirizzare la percezione del comfort verso livelli più alti o più bassi.

Nello studio di Winzen e Marggraf-Micheel (2013) l'effetto delle aspettative è stato valutato all'interno di una cabina aerea. In questo studio, l'aspettativa è stata definita come "l'anticipazione dei futuri eventi" e gli autori hanno ipotizzato che generalmente le persone scelgono l'opzione che aspettano possa portare a maggior benessere. Al fine di capire l'effetto delle aspettative sul comfort percepito, tre aspetti sono stati presi in considerazione: quanto sia importante la condizione termica da ciascun passeggero, quanto sia difficile per ciascuno di essi accontentarsi e se le aspettative sulla condizione termica in quella determinata situazione sono positive o negative. Durante l'esperimento sono stati realizzati diversi scenari per comprendere meglio la correlazione tra comfort e aspettativa. Il risultato è stato che, nel caso di discomfort oggettivo, un livello di aspettativa maggiore comporta una riduzione del livello di comfort percepito, mentre, in una situazione di comfort oggettivo, un livello di aspettativa maggiore comporta un aumento del livello di comfort percepito.

Generalmente tutti gli studi citati hanno riconosciuto che le aspettative ricoprono un ruolo fondamentale nella valutazione del livello di comfort, esse sono dei veri e propri modificatori. L'obiettivo principale di questa parte dello studio è stato quello di comprendere il meccanismo di influenza delle aspettative sul comfort; per fare ciò è stata condotta una prova sperimentale che utilizza l'effetto "placebo. Lo studio ha interessato la valutazione del comfort percepito durante l'utilizzo di due materassi: è stato chiesto ai soggetti di provare due materassi (15 minuti) descritti come due materassi completamente diversi e in seguito di valutarli in termini di comfort percepito. Poiché i materassi erano identici la differenza tra le valutazioni di comfort tra un materasso e un altro potevano giustificarsi solo tramite le aspettative dei soggetti. L'obiettivo secondario è quello di capire se l'influenza dell'aspettativa può essere correlata ai dati antropometrici dei soggetti e se le diverse parti del corpo concorrono in modi diversi alla valutazione del comfort percepito. Parametri ambientali sono stati trascurati perché tutti i test sono stati effettuati in una situazione costante di temperatura / umidità / ventilazione.

### **Materiale e metodi**

Lo studio è stato condotto presso l'Università di Salerno, all'interno del laboratorio di "Disegno e Metodi". Per la fase di sperimentazione sono stati utilizzati due materassi identici, prodotti da Rinaldi Group Srl (azienda situata a Giffoni Valle Piana (SA) - Italia). I materassi sono stati posizionati in un ambiente chiuso, a temperatura controllata, con pochissime variazioni di temperatura e umidità (circa  $\pm 2\%$ ) e con una circolazione leggera e indiretta

## Chapter II

dell'aria. Durante le prove sperimentali, le luci sono state spente in modo da simulare un breve riposo (15 minuti) in completo silenzio e tranquillità.

Il campione utilizzato per i test è composto da studenti che frequentano l'ultimo anno della magistrale dei corsi di Ingegneria Meccanica e Gestionale presso l'Università di Salerno. Gli studenti hanno un'età compresa tra i 23 e 25 anni. Il campione può essere considerato omogeneo: tutti i soggetti frequentano la stessa facoltà, hanno superato gli stessi esami e hanno lo stesso profilo culturale. Buona parte del campione proviene dalla stessa zona geografica, con le stesse condizioni climatiche annuali, in modo tale che la percezione di caldo/freddo dovrebbe essere la stessa. Il campione è stato clusterizzato in termini di età, sesso, caratteristiche antropometriche (altezza, peso e percentile). Ai soggetti è stato chiesto di utilizzare un abbigliamento simile per la prova (senza scarpe, maniche lunghe e pantaloni di cotone) e non usare alcun tipo di cuscino o coperte. La temperatura all'interno del laboratorio è stata controllata a 20 °C con il 50% di umidità.

Il materasso utilizzato per la prova è il modello "SHIRLEY" appartenente alla gamma di prodotti della linea Valflex. Si tratta di un materasso multi-foam anatomico caratterizzato da tre diversi strati: lo strato superiore è di Multi Foam Fresh Gel, lo strato intermedio è realizzato in Mind Foam Memory Effect con effetto massaggiante e lo strato inferiore è realizzato in Technocell AquPur ad alta densità e a celle aperte. Lo spessore totale del materasso è di 22 cm, la larghezza di 80 cm e la lunghezza di 188 cm. Il materasso è stato coperto da una cover elastica in cotone e poliammide che ha fatto sì che i soggetti non capissero che si trattava dello stesso materasso e allo stesso tempo ha contribuito a distribuire il peso del soggetto in modo adeguato lungo le fibre materasso. Durante i test, per questioni del tutto igieniche, il materasso è stato coperto ulteriormente con una cover sottilissima di cotone.

Il metodo scelto per l'acquisizione dei dati è stato un questionario (Figura II.6). Il questionario è stato preparato al fine di acquisire le informazioni personali dei soggetti e la valutazione del comfort atteso e percepito sul materasso durante la prova. Lo stesso questionario è stato utilizzato sia per il materasso definito di "bassa qualità" che per il materasso di "alta qualità". Il questionario è stato elaborato a partire da alcuni questionari scientifici (Cyril, 2009; Eminoglu; Zhangliang, 2009) e successivamente personalizzato per la specifica applicazione.

## Il Comfort

**QUESTIONARIO**

**PESO**                      **ALTEZZA**

**SESSO**     Maschio     Femmina

1. Quanto ritiene sia importante (da 0 a 10) la notorietà della marca nella scelta di un materasso?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2. Quanto ritiene sia valida (da 0 a 10) la relazione maggiore costo – maggiore qualità in relazione ad un materasso?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

**MATERASSO A: alta gamma**

Si chiede a ciascun soggetto di posizionarsi nella posizione ritenuta più comoda.

1. Qual è il livello di comfort globale percepito (da 0 a 10) ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2. Qual è il livello di comfort globale atteso (da 0 a 10) ?

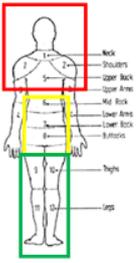
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Accusa disturbi di vario genere durante l'utilizzo del materasso?

si  No

4. Se alla domanda precedente ha risposto sì indichi quali:

5. Indichi per ciascuna area del corpo il livello di comfort percepito



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

**Figura II. 6** Questionario per la valutazione del Comfort

Per il test sono stati utilizzati gli stessi materassi, ma, al fine di sfruttare l'effetto placebo per comprendere il ruolo delle aspettative nella percezione comfort, ai soggetti è stato detto che i due materassi erano differenti tra loro: il materasso A era un materasso di alta qualità e con un prezzo elevato; il materasso B era un materasso di bassa qualità ed era più economico. Nella prima parte del questionario non è stato fatto nessun riferimento alle caratteristiche del materasso, piuttosto, alle preferenze del soggetto. Le prime due domande del questionario sono state utilizzate per capire quanto, per ciascun soggetto, la reputazione del marchio possa influenzare le aspettative che si hanno di un prodotto e quanto sia importante il rapporto qualità-prezzo nella scelta di un prodotto. Questa informazione è stata molto utile per capire se e quanto le aspettative possono influenzare il comfort percepito. Nella seconda parte del questionario è stato chiesto ai soggetti di indicare il livello di comfort globale sia atteso che percepito, il livello di comfort percepito per ciascuna parte del corpo e nel caso di fastidi di indicarli nello specifico.

### Analisi statistica

Dall'analisi dei dati si sono raccolti i seguenti dati:

- Il livello di comfort percepito, di ciascun soggetto, espresso su una scala da 1 a 10.
- Il livello di comfort atteso, di ciascun soggetto, espresso su una scala da 1 a 10.
- Le considerazioni e i giudizi personali di ciascun soggetto sull'importanza del marchio, il prezzo e la qualità del prodotto e quanto questi elementi influiscono sulla scelta di un prodotto.

## Chapter II

I dati raccolti dai 41 soggetti (12 donne e 29 uomini) sono stati considerati per l'analisi dei questionari. Le medie aritmetiche dei punteggi relativi al comfort percepito e al comfort atteso sono state calcolate per poter confrontare i giudizi dei due materassi.

La media del comfort percepito per il materasso A è risultato di 7,85 (deviazione standard pari a 1,01) e per il materasso B di 6,41 (deviazione standard pari a 1,41.); ciò suggerisce che i soggetti hanno percepito i due materassi come significativamente differenti tra loro ( $\Delta\text{Comfort} = 1.44$ ). Le differenze tra il comfort percepito sul materasso A e il comfort percepito sul materasso B sono stati confermati, come mostrato nella Tabella II.1, dalle valutazioni di comfort che i soggetti hanno dato alle diverse parti del corpo, come richiesto nel questionario.

**Tabella II. 1** *Descrizione statistica del Comfort percepito per le diverse parti del corpo*

	Testa e spalle A	Testa e spalle B	$\Delta\text{Comfort}$ testa e spalle	Tronco A	Tronco B	$\Delta\text{Comfort}$ tronco	Arti inferiori A	Arti inferiori B	$\Delta\text{Comfort}$ arti inferiori
Media	7,15	5,9	-2	7,93	5,95	-2	7,9	7,15	-4
Dev. St	1,711	2,022	5	1560	2,040	8	1620	1,620	5

Una differenza sostanziale ha riguardato i giudizi relativi al tronco: i soggetti che hanno percepito i due materassi come materassi diversi hanno notato le maggiori differenze nella zona del tronco.

La media del comfort atteso per il materasso A è stato di 8.51 (deviazione standard pari a 1.10) e per il materasso B è stato di 5.90 (deviazione standard pari a 1.26): ciò dimostra come le aspettative influenzano il giudizio dei soggetti. I soggetti si aspettavano di provare un comfort maggiore sul materasso di alta gamma piuttosto che sul materasso di bassa gamma ( $\Delta\text{Comfort Atteso} = 2.61$ ).

L'analisi ANOVA a una via è stata eseguita al fine di verificare se il sesso dei soggetti fosse un fattore discriminante per le variabili studiate: non è stata trovata nessuna differenza statistica tra i due gruppi.

Le prime due domande del questionario, in cui i soggetti hanno espresso il loro giudizio sull'importanza della notorietà e il prezzo di un prodotto nella valutazione della qualità del prodotto stesso sono state analizzate statisticamente. Le analisi di correlazione hanno dimostrato che la notorietà è correlata alla sola percezione del comfort relativa al materasso B (la correlazione è significativa al livello 0.05); ciò dimostra che i soggetti che hanno dato un giudizio più alto alle variabili prezzo e notorietà non necessariamente hanno dato un giudizio più alto al materasso A.

In ultimo, è stata eseguita un'analisi multivariata per individuare le possibili correlazioni tra le variabili. Per le analisi statistiche è stato utilizzato il software statistico SPSS versione 3. Il coefficiente di Pearson ha rivelato

alcune significative correlazioni tra le variabili: una correlazione positiva tra il Comfort Percepito, relativo al materasso A, e il comfort Percepito, relativo al materasso B (la correlazione è significativa al livello 0.01); una correlazione negativa tra il  $\Delta$ Comfort Atteso e il  $\Delta$ Comfort relativo al materasso A (la correlazione è significativa al livello 0.01); una correlazione positiva tra il  $\Delta$ Comfort Atteso e il  $\Delta$ Comfort relativo al materasso B (la correlazione è significativa al livello 0.01).

Un'analisi più approfondita è stata effettuata clusterizzando il campione, utilizzando come variabile di clusterizzazione il  $\Delta$ Comfort percepito.

Utilizzando tale variabile, il campione è stato suddiviso in 4 gruppi (N= numero dei soggetti per ogni gruppo). Il primo gruppo è composto dai soggetti che hanno percepito un comfort maggiore sul materasso B (materasso di bassa qualità); il secondo gruppo è composto dai soggetti che hanno percepito lo stesso comfort su entrambi i materassi; i gruppi 3 e 4 sono composti dai soggetti che hanno giudicato il materasso A (materasso di alta gamma) come maggiormente confortevole. La clusterizzazione è riportata nella Tabella II.2, in cui è possibile vedere anche come variano le altre variabili all'interno di ciascun gruppo.

**Tabella II. 2** *Descrizioni statistiche all'interno dei 4 clusters*

Cluster		$\Delta$ Cp (A-B)	$\Delta$ Ca (A-B)	$\Delta$ Cp testa/spalle (A-B)	$\Delta$ Cp tronco (A-B)	$\Delta$ Cp arti inf. (A-B)	Notorietà	Prezzo
1	Media	-1	2,75	0,50	-0,50	-1,50	5,25	5,50
	N	4	4	4	4	4	4	4
	Dev.st	0	0,957	1,915	1,291	1,915	2,217	1,00
2	Media	0	2,75	-1,25	-0,50	-1,75	5,25	6,50
	N	4	4	4	4	4	4	4
	Dev.st	0	1,893	0,500	0,577	0,50	1,708	0,577
3	Media	1,56	2,07	1,44	2,00	0,96	5,74	6,48
	N	27	27	27	27	27	27	27
	Dev.st	0,5	1,38	1,219	1,468	0,70	1,810	1,525
4	Media	3,8	2,67	2,50	5,17	2,33	2,67	6,50
	N	6	6	6	6	6	6	6
	Dev.st	0,4	2,33	1,643	2,563	1,50	1,862	0,00

In tutti i cluster i soggetti si aspettavano di provare un comfort maggiore sul materasso “di alta gamma”.

Il cluster 1 (N = 4) ha percepito un comfort maggiore sul materasso di bassa gamma, nonostante i soggetti si aspettassero di provare più comfort sul materasso A. I soggetti appartenenti a questo cluster hanno notato una maggiore differenza tra i materassi soprattutto nelle aree a contatto con le gambe e con il tronco.

Il cluster 2 (N = 4) si aspettava che il materasso di alta gamma fosse maggiormente confortevole ma in seguito al test ha valutato i due materassi in maniera identica. Nonostante ciò, i soggetti, nel giudicare la percezione del

## Chapter II

comfort per le varie parti del corpo, hanno dato dei punteggi più bassi al materasso di qualità inferiore.

I soggetti appartenenti al cluster 3 (N = 27) e 4 (N = 6) hanno giudicato i due materassi in maniera differente. I soggetti di entrambi i gruppi si aspettavano che il materasso A fosse maggiormente confortevole e, dopo il test, essi hanno confermato la loro idea iniziale. In particolare, i risultati ottenuti per i clusters 3 e 4 hanno mostrato che all'aumentare del comfort atteso aumenta sia il comfort percepito globale che il comfort percepito per le varie parti del corpo.

### **Conclusioni**

L'obiettivo dello studio è stato quello di verificare l'esistenza o meno di una correlazione tra il comfort atteso e il comfort percepito durante l'utilizzo di un prodotto. L'aspettativa è un fattore legato all'ambiente ed è fortemente influenzato dal background culturale dei soggetti analizzati. Attraverso questo studio, si è voluto valutare se il livello di comfort atteso è anche correlato alla notorietà-prezzo di un materasso. Le analisi dei risultati hanno dimostrato che per tutti i soggetti il livello di comfort atteso relativo al materasso risultava più alto di quello relativo al materasso B.

Il comfort percepito per il materasso A è risultato più alto, in molti casi [N=33]. Quattro soggetti hanno percepito un comfort maggiore sul materasso B. Quattro soggetti hanno percepito lo stesso livello di comfort su entrambi i materassi ma, nonostante ciò, hanno valutato in maniera differente i due materassi quando hanno giudicato il comfort per ogni parte del corpo, dando valori più bassi al materasso di bassa qualità. Tale risultato ha dimostrato che i soggetti hanno risposto alle domande del questionario non considerando realmente il comfort percepito, piuttosto, il comfort atteso.

L'analisi ANOVA a una via ha confermato che i risultati non sono influenzati dal sesso dei soggetti. Le analisi di correlazione hanno mostrato una forte correlazione tra il comfort percepito relativo al materasso A e il comfort percepito relativo al materasso B.

Il coefficiente di Pearson ha anche rivelato che all'aumentare del  $\Delta$ Comfort Atteso diminuisce il  $\Delta$ Comfort (differenza tra Atteso e percepito) del materasso A e un aumento del  $\Delta$ Comfort (differenza tra Atteso e percepito) del materasso B. L'analisi delle frequenze hanno mostrato che le aspettative influenzano il  $\Delta$ Comfort Percepito con una percentuale del 18,3%.

I risultati ottenuti hanno confermato ciò che è asserito nel modello di Naddeo, 2014 ossia una correlazione negativa tra il Comfort atteso e il Comfort Percepito: all'aumentare del Comfort Atteso diminuisce il Comfort Percepito e al diminuire del Comfort Atteso aumenta il Comfort Percepito.

### II.3.3 La matrice di comfort

Per ogni tipo di interazione (I), uno o più effetti del corpo umano (H) sono stati identificati attraverso una vasta ricerca bibliografica sull'ergonomia e sul comfort. Per elencare e classificare tali fattori si è proceduto gradualmente.

Il primo passo è stato quello di individuare il Dominio in cui bisogna definire la percezione di comfort/discomfort. Il Dominio può essere definito come "la completa esperienza umana in un ambiente di lavoro con determinate caratteristiche intrinseche dell'ambiente, la cui esperienza di comfort/discomfort può essere influenzata dal livello di gratificazione e di aspettative".

Sono state individuate cinque classi del Dominio, le cui caratteristiche influenzano le interazioni:

- la classe "persona" contiene le caratteristiche dell'individuo; queste caratteristiche identificano tutte quelle caratteristiche e le informazioni che sono proprie del singolo e che possono influenzare la percezione di comfort.
- La classe "prodotto" e classe "attività" sono utili per descrivere l'attività lavorativa; Le caratteristiche delle attività lavorative consentono di identificare i parametri di attività e dei prodotti con i quali gli esseri umani devono interfacciarsi.
- La classe "ambiente" riguarda lo spazio in cui vengono eseguite tali attività; le caratteristiche di ambiente di lavoro rappresentano tutti quegli aspetti che sono collegati con l'ambiente, il benessere termico, visivo, acustico e il layout degli spazi.
- La classe "grado di gratificazione" descrive le caratteristiche intrinseche che influenzano l'intera esperienza di comfort e che sono legati al contenuto del lavoro, come i rapporti tra colleghi e la posizione nell'organigramma aziendale.

Queste classi corrispondono esattamente ai cinque aspetti che contribuiscono a un'esperienza HMI (Human machine interface): Pe, Pr, T, We e Gl. Il framework ha lo scopo di illustrare le connessioni tra le interazioni (I) con gli effetti del corpo umano (H), per valutare come e se questi effetti sono percepiti (P) e come e se incidono sui quattro tipi di comfort: posturale, cognitive, ambientale e fisiologico.

Tutti i dati sono stati esplosi in una grande matrice divisa in 5 sezioni che costituiscono le classi individuate, con l'aggiunta della valutazione dell'incidenza sul comfort degli strumenti di analisi utilizzati.

La maggior parte delle righe della matrice sono state definite attraverso lo studio della letteratura scientifica.

La prima classe di fattori (Tabella II.3) è legata alle caratteristiche degli umani cioè le caratteristiche fisiche, lo stato mentale, i dati personali, lo stile di vita e le aspettative. È stato verificato che le caratteristiche personali influenzano il comfort fisiologico, cognitivo e posturale pur non esistendo una

Chapter II

correlazione tra le caratteristiche degli umani e la qualità dell'ambiente di lavoro. Ogni sottoclasse di caratteristiche personali è stata implementata in modo da prendere in considerazione tutti gli aspetti. In particolare, le caratteristiche fisiche sono riportate tramite le misure antropometriche (Thariq, 2010), la struttura fisica e i problemi e le malattie fisiche. Lo stato mentale tiene conto della personalità umana (Nimbarte, 2012) e delle malattie psicologiche. I dati personali sono legati all'età e al sesso. Nella matrice è stato considerato anche lo stile di vita, come l'abitudine allo sport, le abitudini alimentari e le aspettative personali.

**Tabella II. 3** *La matrice: personal characteristics*

<b>Personal characteristics</b>			
<b>Physiological Comfort</b>	<b>Cognitive Comfort</b>	<b>Enviromental Comfort</b>	<b>Postural Comfort</b>
<b>PHYSICAL CHARACTERISTICS</b>			
anthropometric measures			
M	M		P Posture overload, muscle complaint
physique (BMI)			
P localized blood pressure, body temperature, heart rate, metabolism	M level of perceived tiredness		P muscle effort, posture overload, muscle complaint
physical problems (chronic illness, trauma, and previous fractures)			
P tactile sensation, localized blood pressure, body temperature, heart rate	M work overload, level of perceived tiredness		P muscle effort, posture overload, muscle complaint
<b>MENTAL STATUS</b>			
personality			
M	P work overload, level of perceived safety, aggressiveness and irritability, level of perceived tiredness, stress, lack of attention		M
psychological diseases (anxiety, stress)			
M body temperature, heart rate	P level of perceived safety, aggressiveness and irritability, level of perceived tiredness, stress, lack of attention		M
<b>PERSONAL DATA</b>			
gender			
P localized blood pressure, body	P		P

	temperature, heart rate, metabolism		
		age	
P	tactile sensation, localized blood pressure, body temperature, heart rate, metabolism	P	lack of attention
			P
			muscle effort
<b>LIFESTYLE/EXPECTATIONS</b>			
	lifestyle (diet, smoking, sports, sedentary lifestyle, ..)		
P	body temperature, heart rate, metabolism	M	aggressiveness and irritability, lack of attention
			M
			muscle effort
		expectations	
M		P	level of perceived safety, aggressiveness and irritability, stress
			M

La seconda classe di fattori (Tabella II.4) è legata alle caratteristiche del lavoro e delle attività. Questi aspetti riguardano fattori legati alle caratteristiche della work-station lavorativa, il tipo di attività e le caratteristiche degli oggetti con cui l'utente deve interfacciarsi per l'esecuzione del compito. Per la work-station sono stati considerati sia la postura che l'uomo deve adottare al fine di eseguire il compito sia il tipo di dispositivi di sicurezza individuali. Entrambi gli aspetti influenzano la percezione di comfort: per esempio la configurazione posturale può influenzare significativamente il livello di comfort percepito (Apostolico, 2013). Un altro aspetto delle caratteristiche del lavoro che influenzano il comfort è il tipo di attività svolta dall'uomo. Sono state elencate tutte le principali caratteristiche che definiscono una generica attività lavorativa, al fine di poter adattare la matrice a tutti i tipi di lavoro. Alcuni aspetti considerati sono: il livello di precisione richiesto (Escorpizo, 2007), il mantenimento di una postura (Kee, 2001) ed i turni di lavoro (Nag, 2004). L'ultimo aspetto è legato agli oggetti/strumenti che vengono utilizzati per l'esecuzione del compito. È stato dimostrato che le forme degli oggetti (Kuijt-Evers, 2004) o il loro attento posizionamento nello spazio di lavoro (Ellegast et al., 2012) possono facilitare l'utente ad eseguire il compito. Il risultato può essere un aumento del livello di comfort.

**Tabella II. 4** *La matrice: work/task characteristics*

<b>Work/ task Characteristics</b>			
<b>Physiological Comfort</b>	<b>Cognitive Comfort</b>	<b>Enviromental Comfort</b>	<b>Postural Comfort</b>
<b>WORKSTATION</b>			
Postures: angles and joints			

Chapter II

M		M		M		P	muscle effort, posture overload, muscle complaint
	individual safety equipment: overall dimensions and heaviness						
M	localized blood pressure, body temperature, tactile sensation	M	level of perceived safety, lack of attention	M		M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
<b>WORK ACTIVITY &amp; TASK</b>							
type of loads and actuation ( lifting, pulling, pushing)							
M	localized blood pressure, body temperature, heart rate	M	level of perceived tiredness	M		P	muscle effort, posture overload, muscle complaint
operating speed							
M	body temperature	M	level of perceived tiredness	M		P	muscle effort, posture overload, muscle complaint
actions' frequency							
M	body temperature	M	work overload, level of perceived tiredness, stress		P	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
rest- pause duration and frequency							
M		M	work overload, level of perceived tiredness, stress, level of perceived safety, aggressiveness and irritability, lack of attention		P	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
level of precision							
M		M	level of perceived tiredness, stress, aggressiveness and irritability, lack of attention		P	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
time maintaining of the posture with and/or without loads							
M	body temperature, heart rate, localized blood pressure	M	aggressiveness and irritability, level of perceived tiredness		M	P	muscle effort, posture overload, muscle complaint
time and duration of work activity/task							
M		M	level of perceived tiredness, work overload, aggressiveness and irritability, stress, lack of attention		P	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
work- shifts							
M	muscular exertion, aggressiveness,	M	work overload, level of perceived tiredness, level of perceived safety,		P	level of perceived safety	M

	nervousness, tiredness		aggressiveness and irritability, lack of attention		
<b>CHARACTERISTICS OF TOOLS/OBJECTS WITH WHICH A PERSON INTERACTS</b>					
shape					
M		M		M	P muscle effort, posture overload, muscle complaint
weight					
M		M		M level of perceived safety	P muscle effort, posture overload, muscle complaint
relative position between person and object/tool					
M		M		M level of perceived safety	P muscle effort, posture overload, muscle complaint
frequency of lifting/pulling/pushing					
M	heart rate, localized blood pressure, body temperature	P	level of perceived tiredness	M	M muscle effort, posture overload, muscle complaint
handling characteristics (grip, grasp, pinch,...)					
M		M		M	P muscle effort, posture overload, muscle complaint
customization of the workstation (sitting)					
M	tactile sensation	M	level of perceived tiredness	M level of perceived safety	P muscle effort, posture overload, muscle complaint
commands' layout					
M		M		M	P muscle effort, posture overload, muscle complaint

La terza classe di fattori (Tabella II.5) che deve essere considerata è correlata alle caratteristiche dell'ambiente di lavoro. Naturalmente l'ambiente di lavoro è molto importante perché può influenzare direttamente lo stato di comfort, soprattutto quelli fisiologico e cognitivo, dovendo considerare che il lavoratore è tenuto a doverci passare buona parte del suo tempo. L'ambiente di lavoro è costituito da diversi fattori, come il benessere visivo, olfattivo, acustico e termico. Essi dipendono non solo dall'area "fisica ed organizzativa" dell'area di lavoro, ma anche dallo stato di mantenimento dell'ambiente. Il comfort visivo è legato sia alle condizioni di illuminazione interne, naturali e artificiali dell'ambiente che alla scelta dei colori utilizzati all'interno dell'ambiente e alla riflessione della luce sulle pareti (Szczepanska-Rosiak, 2013). Il comfort percepito è, ovviamente, legato anche alla soddisfazione del lavoratore per la qualità dell'aria. Per questo motivo la qualità dell'aria interna e gli odori devono essere considerati come elementi che possono influenzare l'intera percezione di comfort. I rumori e le vibrazioni sono considerate tramite il benessere acustico: rumori e vibrazioni indesiderate, infatti, sono enormi

Chapter II

distrazioni e possono causare condizioni di stress sul posto di lavoro. Un altro aspetto che influenza il comfort del lavoratore è la condizione termica: l'aspetto termico viene trattato come conseguenza di fattori influenza di umidità, temperatura e resistenza termica dei vestiti (D'Ambrosio, 2004). Gli ultimi due aspetti trovati in letteratura sono lo spazio, interpretato sia come spazio di lavoro (Cascioli, 2011) che come layout di ufficio e lo stato di manutenzione dell'ambiente.

**Tabella II. 5** *La matrice: working environment's characteristics*

<b>Working environments' characteristics</b>					
<b>Physiological Comfort</b>	<b>Cognitive Comfort</b>	<b>Enviromental Comfort</b>	<b>Postural Comfort</b>		
<b>VISUAL WELL BEING</b>					
colors					
M	M	level of perceived tiredness, aggressiveness and irritability, lack of attention	P		M
artificial lighting conditions					
M	M	level of perceived tiredness, level of perceived safety, aggressiveness and irritability	P	level of perceived safety	M muscle complaint
Lights' reflection and refraction on walls and objects					
M	M	level of perceived tiredness, aggressiveness and irritability	P		M muscle complaint
<b>OLFACTORY WELL BEING</b>					
air quality					
M	aggressiveness, nervousness	M aggressiveness and irritability	P		M muscle complaint
odors					
M	M	aggressiveness and irritability, lack of attention	P		M
<b>AUDITIVE WELL BEING</b>					
noises					
M	M	level of perceived tiredness, level of perceived safety, aggressiveness and irritability, lack of attention	P	level of perceived safety	M
vibrations					
M	M	work overload, level of perceived tiredness, level of perceived safety, aggressiveness	P		P muscle effort, posture overload, muscle complaint

---

			and irritability, lack of attention		
<b>SPACES</b>					
workspace					
M	muscular exertion, aggressiveness, nervousness	M	level of perceived safety, aggressiveness and irritability	P	level of perceived safety
				M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
plant-layout					
M		M		P	level of perceived safety
				M	
only in case of the standing posture					
M		M		P	level of perceived safety
				M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
<b>ENVIRONMENT CHARACTERISTICS</b>					
cleanliness					
M		M	aggressiveness and irritability	P	
				M	
tidiness					
M		M	work overload, aggressiveness and irritability	P	
				M	
<b>THERMAL WELL BEING</b>					
air- temperature					
M	aggressiveness, nervousness, body temperature	M	aggressiveness and irritability, lack of attention	P	level of perceived safety
				M	
interface temperature					
P	tactile sensation, localized blood pressure, body temperature	M	lack of attention	M	
				M	
humidity					
M	localized blood pressure	M		P	
				M	
thermal resistance of clothing					
P	tactile sensation, localized blood pressure, body temperature	M		M	
				M	
persistence in a thermal condition					
P	tactile sensation, localized blood pressure, body temperature, aggressiveness, nervousness	M	aggressiveness and irritability, lack of attention	M	level of perceived safety
				M	
contact pressure					

---

Chapter II

P	tactile sensation, localized blood pressure	M	air speed	M	M
M	body temperature	M	P		M

L'ultima classe di fattori (Tabella II.6) che deve essere considerata è correlata al grado di gratificazione. Un lavoro, o in generale una attività, può essere più o meno soddisfacente in relazione sia al contenuto che al contesto del lavoro. Il contenuto del lavoro comprende diversi fattori come per esempio il livello di riconoscimento, la responsabilità diretta del lavoro e la possibilità di crescere (Wallgren, 2007). Un lavoro può avere un grado di contenuti troppo alto o troppo basso e può essere la causa dell'assenza di incentivazione e la diminuzione del livello di comfort. Nel contesto del lavoro, per esempio, sono stati considerati i rapporti con i colleghi e dirigenti o la rigidità delle norme e delle procedure.

**Tabella II. 6** *La matrice: level of gratification*

		Level of gratification			
Physiological Comfort	Cognitive Comfort	Enviromental Comfort	Postural Comfort		
<b>GRATIFICATION LINKED TO THE CONTENT OF WORK</b>					
					rewards and money grants
M	P	stress, aggressiveness and irritability	M		M
					direct work responsibilities
M	P	level of perceived tiredness, work overload, aggressiveness and irritability, stress	M		M
					growth opportunities
M	P	aggressiveness and irritability	M		M
<b>ORGANIZATION/ ENVIRONMENT</b>					
					collaboration with colleagues
M	P	stress, aggressiveness and irritability	M		M
					rigidity of the regulations and procedures
M	P	level of perceived safety, aggressiveness and irritability, stress	M		M
					relationship with managements
M	P	aggressiveness and irritability, stress	M		M
attractiveness of the environments and furniture					

M		P	aggressiveness and irritability	M	M
			level of tiredness		
M	Muscular exertion, aggressiveness, nervousness, tiredness	P	level of perceived tiredness, work overload, aggressiveness and irritability, stress, lack attention	M	M

L'interazione che l'individuo ha con queste classi di fattori causa effetti sui lavoratori e contribuisce allo sviluppo di una percezione comfort. Gli effetti sono diversi per ogni tipo di comfort tra posturale, cognitiva, fisiologica e ambientale. La matrice di comfort spiega e distribuisce ogni tipo di classe e descrive le relazioni tra cause (Interazioni) e gli effetti (effetti di corpo) per ogni tipo di comfort percepito.

Nella matrice è possibile notare come il comfort posturale sia influenzato da tutte le classi, tranne che dalla classe "livello di gratificazione". Gli effetti più importanti riscontrati sono il *sovraccarico posturale*, *disagi muscolari* e *sforzo muscolare*. Tutti questi effetti possono dipendere, naturalmente, dalle caratteristiche fisiche del lavoratore, da patologie prima esistenti e dalla costituzione fisica. Sono, inoltre, strettamente correlate al tipo di lavoro che deve svolgere, essenzialmente alle forme e alle posizioni degli oggetti con cui si deve interfacciare (Vallone, 2012), ai turni effettuati, essenzialmente al tempo di permanenza in determinate posture e ai tempi di riposo. Per pochi aspetti il comfort posturale è influenzato anche dalle caratteristiche ambientali dell'ambiente di lavoro, nello specifico le condizioni della luce che possono forzare il lavoratore ad assumere una particolare postura, che potrebbe essere scorretta dal punto di vista posturale, ma ottimale per poter usufruire meglio della luce. Altri aspetti sono le vibrazioni e lo spazio lavorativo che potrebbe essere limitato e l'inclinazione del pavimento che avrebbe un effetto immediato sulle condizioni della colonna vertebrale.

La quinta ed ultima classe (Figura III.10) interessa gli strumenti utilizzati per la valutazione del comfort, essi stessi possono comportare alcune condizioni non favorevoli al comfort ma fondamentali per il rilevamento ergonomico. Il comfort posturale, ad esempio, è fortemente influenzato dall'ingombro degli strumenti con la quale viene effettuata la misurazione, dalla limitazione dei movimenti o dalla forzatura della postura.

**Tabella II. 7** *La matrice: tools and instruments for comfort measuring*

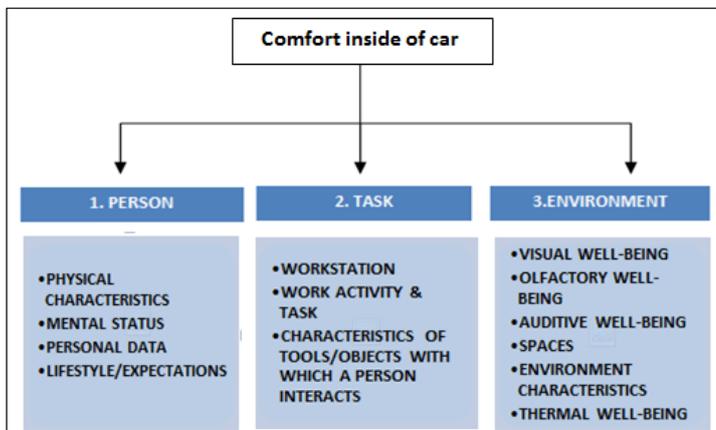
<b>Tools and instruments for comfort measuring</b>				
<b>Physiological Comfort</b>	<b>Cognitive Comfort</b>	<b>Enviromental Comfort</b>	<b>Postural Comfort</b>	
		invasivity		
M	M	aggressiveness and irritability, lack of attention	M	M



considerata solo la seduta estrapolata dall'ambiente in cui essa normalmente si trova ossia all'interno dell'automobile (Kamp, 2012).

Migliaia di persone ogni giorno sperimentano il comfort o discomfort della propria seduta automobilistica, in particolare chi è costretto a fare viaggi lunghi. Il comfort associato alle sedute automobilistiche è un fenomeno multifaccettato e sono differenti gli elementi che entrano in gioco.

Nello schema seguente sono riportati i fattori che influenzano la percezione di comfort delle sedute automobilistiche.



**Figura II. 7** Schematizzazione degli elementi che influenzano il comfort

**Matrice di comfort seat**

Il primo step è stato quello di sviluppare un modello teorico che potesse descrivere il comfort delle sedute automobilistiche. Si è partiti, dunque, dalla matrice di comfort ed è stata realizzata una sottomatrice in cui sono stati considerati tutti gli aspetti che influenzano la percezione del comfort legati alla seduta automobilistica (Figura II.7).

**Tabella II. 8** Sottomatrice di Comfort: caso car-seat

SEAT-COMFORT			
PHYSIOLOGICAL	EMOTIONAL-COGNITIVE	ORGANIZATIONAL-ENVIRONMENTAL	POSTURAL
PERSONAL CHARACTERISTICS			
PHYSICAL CHARACTERISTICS			
	Anthropometric measures		
(M)	(M)		(P)posture overload, muscle complaint
	Physique (BMI)		
(P)localized blood-pressure, body temperature,	(M)tiredness		(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint

Chapter II

heartrate, metabolism		Physical problems	
(P)tactile sensation, localized blood- pressure, body temperature, heartrate	(M)work overload, tiredness		(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
PERSONAL DATA			
(P)localized blood- pressure, body temperature, heartrate, metabolism	(P)	Gender	(P)
(P)tactile sensation, localized blood- pressure, body temperature, heartrate, metabolism	(P)lack of attention	Age	(P)muscle effort
EXPECTATIONS			
(M)	(P)perceived safety , aggressiveness and irritability, stress	Expectations	(M)
WORK/TASK CHARACTERISTICS			
WORKSTATION			
(M)	(M)	Posture: angles and joints (M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
CHARACTERISTICS OF TOOLS/OBJECTS WITH WHICH A PERSON INTERACTS			
(M)	(M)	Shape (M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
(M)tactile sensation	(M)tiredness	Customization of the workstation (sitting) (M)perceived safety	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
WORKING ENVIRONMENTS' CHARACTERISTICS			
VISUAL WELL-BEING			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness , lack of attention	Colors (P)	(M)
(M)	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	Odors (P)	(M)
AUDITIVE WELL-BEING			
(M)	(M)work overload, safety, aggressiveness and irritability,	Vibrations (P)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint

## II Comfort

	tiredness , lack of attention		
<b>THERMAL WELL-BEING</b>			
		Interface temperature	
<b>(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature</b>	(M)lack of attention	(M)	(M)
		Thermal resistance of clothing	
<b>(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature</b>	(M)	(M)	(M)
		Persistence in a thermal condition	
<b>(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature, aggressiveness, nervousness</b>	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	(M)level of perceived safety	(M)
		Contact pressure	
<b>(P)tactile sensation, localized blood-pressure</b>	(M)	(M)	(M)
<b>TOOLS AND INSTRUMENTS FOR COMFORT MEASURING</b>			
		Invasivity	
<b>(M)</b>	(M)aggressiveness and irritability , lack of attention	(M)	(M)
		Tactile interference	
<b>(M)tactile sensation, localized blood-pressure</b>	(M)lack of attention	(M)	(M)
		Restriction of movements	
<b>(M)</b>	(M)work overload, aggressiveness and irritability, tiredness , lack of attention	(M)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
		Override of action/ position	
<b>(M)</b>	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness , lack of attention	(M)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
<b>WORK/TASK CHARACTERISTICS</b>			
<b><i>PHYSIOLOGICAL</i></b>	<b><i>EMOTIONAL-COGNITIVE</i></b>	<b><i>ORGANIZATIONAL-ENVIROMENTAL</i></b>	<b><i>POSTURAL</i></b>
<b>WORKSTATION</b>			
		Posture: angles and joints	
<b>(M)</b>	(M)	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
		Individual safety equipment: overall dimensions and heaviness	
<b>(M)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature</b>	(M)perceived safety, lack of attention	(M)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
<b>WORK ACTIVITY &amp; TASK</b>			
	Type of loads and actuation (lifting, pulling, pushing)		

Chapter II

(M)localized blood-pressure, body temperature, heartrate	(M)level of perceived tiredness	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Operating speed		
(M)body temperature	(M)work overload, tiredness, stress	(P)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Actions' frequency		
(M)body temperature	(M)work overload, tiredness, stress	(P)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Rest-pause duration and frequency		
(M)	(M)work overload, perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, stress, lack of attention	(P)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Revel of precision		
(M)	(M) aggressiveness and irritability, tiredness, stress, lack of attention	(P)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Time maintaining of the posture with and/or without loads		
(M)localized blood-pressure, body temperature, heartrate	(M)aggressiveness and irritability, tiredness	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Time and duration of work activity/tasks		
(M)	(M) aggressiveness, work overload, irritability, tiredness, stress, lack of attention	(P)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Work-shifts		
(M)muskular exertion, aggressiveness, nervousness, tiredness	(M)work overload, perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	(P)perceived safety	(M)
CHARACTERISTICS OF TOOLS/OBJECTS WITH WHICH A PERSON INTERACTS			
	Shape		
(M)	(M)	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Weight		
(M)	(M)	(M)perceived safety	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Relative position between person and object/tool		
(M)	(M)	(M)perceived safety	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Frequency of lifting / pulling / pushing		
(M)heartrate, localized blood-pressure, body temperature	(P)tiredness	(M)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Handling characteristics (grip, grasp, pinch, ....)		
(M)	(M)	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
	Customization of the workstation (sitting)		

## II Comfort

(M)tactile sensation	(M)tiredness	(M)perceived safety	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
(M)	(M)	Commands' layout (M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
WORKING ENVIRONMENTS' CHARACTERISTICS			
<i>PHYSIOLOGICAL</i>	<i>EMOTIONAL-COGNITIVE</i>	<i>ORGANIZATIONAL-ENVIRONMENTAL</i>	<i>POSTURAL</i>
VISUAL WELL-BEING			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	Colors (P)	(M)
(M)	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness	Artificial lighting conditions (P)perceived safety	(M)muscle complaint
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness	Natural lighting conditions (P)	(M)muscle complaint
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	Lights' reflection and refraction on walls and objects (P)	(M)muscle complaint
OLFACTORY WELL-BEING			
(M)aggressiveness, nervousness	(M)aggressiveness and irritability	Air quality (P)	(M)
(M)	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	Odors (P)	(M)
AUDITIVE WELL-BEING			
(M)	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	Noises (P)perceived safety	(M)
(M)	(M)work overload, perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	Vibrations (P)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
SPACES			
(M)muskular exertion, aggressiveness, nervousness	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability	Workspace (P)perceived safety	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
(M)	(M)	Layout (P)perceived safety	(M)
ENVIRONMENT CHARACTERISTICS			
(M)	(M)aggressiveness and irritability	Cleanliness (P)	(M)
Tidiness			

## Chapter II

(M)	(M)work overload, aggressiveness and irritability	(P)	(M)
THERMAL WELL-BEING			
		Air-temperature	
(M)body temperature, aggressiveness and nervousness	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	(P)perceived safety	(M)
		Interface temperature	
(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature	(M)lack of attention	(M)	(M)
		Humidity	
(M)localized blood-pressure	(M)	(P)	(M)
		Thermal resistance of clothing	
(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature	(M)	(M)	(M)
		Persistence in a thermal condition	
(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature, aggressiveness, nervousness	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	(M)perceived safety	(M)
		Contact pressure	
(P)tactile sensation, localized blood-pressure	(M)	(M)	(M)
		Air speed	
(M)body temperature	(M)	(P)	(M)

La prima parte della matrice si riferisce alle caratteristiche dell'individuo; le caratteristiche fisiche che influenzano il comfort riguardano le misure antropometriche (Reed et al, 1994; Kolich, 2003; Fazlollahtabar, 2010) e di conseguenza le posture che si assumono durante la guida (Naddeo et al, 2015). Lo stato mentale, la personalità e le condizioni psicologiche influenzano il livello di stanchezza, il livello di attenzione e il carico biomeccanico (Nimbarte et al., 2012) e quindi il discomfort di chi guida (Gerald, 2002).

La correlazione tra età e sesso e il livello di comfort percepito non è dimostrato in quanto persone della stessa età e sesso possono avere percezioni diverse. In letteratura, tuttavia, esistono diversi articoli che dimostrano come l'aumentare dell'età diminuisce il livello di sicurezza percepito e il livello di attenzione così come il sesso influenza la sensibilità al rumore e alle vibrazioni (Dauris et al., 2008).

Durante l'attività di guida, l'individuo svolge (con una certa frequenza) una serie di azioni come premere tasti, ruotare il volante e usare i pedali. Tali azioni influenzano il comfort a seconda anche della frequenza con cui essi

vengono effettuati (Apostolico et al., 2013; Naddeo et al. 2014) e le pause tra di essi.

In letteratura la geometria della seduta (Reed et al, 1994;. Kolich, 2003;. Apostolico et al, 2013), la traspirabilità e la rigidità sono considerati i più importanti indici per la valutazione del comfort di guida. Durante la guida, però, il conducente si interfaccia non solo con il sedile, ma anche con un elevato numero di altri elementi (volante, pedali, manopole, ecc). La forma di ciascun elemento (Kuijt-Evers et al., 2004), la posizione (Ellegast et al, 2012; Naddeo et al, 2014b; Naddeo et al, 2015; Patrick et al, 2004; Lars et al, 2003) e l'orientamento può rendere l'abitacolo del veicolo più o meno confortevole.

Oggi, le persone trascorrono molto più tempo in macchina rispetto al passato soprattutto chi è obbligato ad usare l'automobile per lavoro (tassista, corrieri, camionisti, ecc). Per questo motivo il comfort associato alla guida può essere studiato in modo simile a qualsiasi ambiente di lavoro. I colori degli interni, le condizioni di illuminazione artificiale, la qualità dell'aria e lo spazio sono i fattori che influenzano il comfort percepito del conducente.

Le vibrazioni, per esempio, sono uno dei più importanti aspetti ambientali (Smith et al, 2006;. Falou et al, 2003) e la continua esposizione alle vibrazioni può provocare una diminuzione del comfort cognitivo e posturale. Le vibrazioni, infatti, determinano un aumento del livello di irritabilità e mancanza di attenzione.

Un altro aspetto associato al comfort è la presenza di cattivi odori dovuti ai materiali utilizzati negli interni. Partendo da questa osservazione Yamada et al. (2000) hanno realizzato tessuti per le sedute con funzione deodorante per controllare efficacemente l'odore nell'abitacolo.

L'aspetto termico è correlato a fattori quali l'umidità, la temperatura e la resistenza termica dei vestiti (D'ambrosio Alfano, e Liotti, 2004). Inoltre la luce all'interno dell'ambiente e, quindi, in questo caso all'interno dell'automobile, è importante per migliorare il livello di sicurezza percepito e quindi il livello di comfort (Caberletti et al., 2009). Per questo motivo aspetti quali i colori e il livello di luminosità sono stati inclusi nella matrice.

Una delle valutazioni più comuni che si effettua sulle sedute automobilistiche è la pressione di interfaccia tra seduta e individuo. Alcuni studi hanno dimostrato che per aumentare il livello di comfort la seduta deve garantire livelli di pressione differenti per le differenti parti del corpo nonché per diversi gruppi di misure antropometriche (Kolich, 2004; Dunk & Callaghan, 2005; Oudenhuijzen et al, 2003;. Kyung et al., 2008).

Nella seconda parte del lavoro si è cercato di dimostrare l'ipotesi iniziale: la valutazione del comfort associato all'utilizzo di un oggetto-prodotto, in questo caso la seduta automobilistica, la si può fare solo se l'oggetto viene testato nel suo ambiente e solo se vengono considerati tutti gli elementi presenti nella matrice. Se lo stesso oggetto viene valutato in maniera isolata o considerando solo alcuni dei tanti aspetti il livello di comfort percepito varia notevolmente e tale risultato è difficilmente utilizzabile in quanto, nella realtà,

Chapter II

le persone si troveranno a valutare sempre la seduta all'interno dell'automobile e non all'interno di un laboratorio.

**Campione e setup**

Allo studio hanno partecipato venti volontari. I partecipanti sono tutti studenti di Ingegneria dell'Università di Salerno. Il campione, dunque, è piuttosto omogeneo. Questo aspetto è di importanza cruciale quando si effettuano tali tipi di test in quanto rende l'indagine valida e coerente. Gli studenti hanno un'età compresa tra i 20 e i 29 anni e sono tutti in possesso di patente di guida.

Per il test è stato utilizzato il sedile della Ford Fiesta (2005).

**Materiale e metodi**

Il metodo del Kansei Engineering mira a tradurre le emozioni e le sensazioni che il cliente prova quando entra in contatto con un prodotto in concreti parametri di progettazione (Nakada, 1997; Nagamachi, 2002). Per raggiungere questo obiettivo, il Kansei Engineering usa una scala semantica a 5 livelli, è possibile vedere il questionario utilizzato durante il test in Figura II.8. All'interno del questionario ci sono alcune domande esplicite sul livello di comfort percepito e altre che invece si riferiscono ad altri indicatori e aspetti del comfort di seduta che sono considerati in letteratura (Zhang et al., 1996; Da Silva et al., 2012).

Comfortable	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Uncomfortable
Compact	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Not Compact
Elegant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Not Elegant
Sober	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Excessive
Sport	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Tourist
It'll continue to like	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	It will go to tire me
Pleasant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Unpleasant
Gaudy	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Dull
Luxurious	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Cheap
Exciting	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Boring
Curved	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Linear
Design	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Rough
Usual	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Unusual
Refined	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Unrefined
Soft	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Hard
Relaxing	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Not Relaxing
Innovative	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Ordinary
Functional	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Decorative
Robust	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Easily broken
Pleasant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Unpleasant
Good	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Not Good

**Figura II. 8** Questionario con termini Kansei

Durante il test i partecipanti sono stati chiamati a valutare lo stesso sedile ma presentato in 5 modi diversi:

- interagendo con il sedile reale posizionato in un laboratorio\_ durante tale fase i partecipanti sono stati invitati ad accomodarsi sul sedile

## Il Comfort

automobilistico per 5 minuti, in questo modo hanno potuto valutare la finitura delle superfici, la compattezza e la morbidezza dei rivestimenti, così come il livello di comfort percepito.

- osservando il sedile senza possibilità di interagire fisicamente con esso\_ in questo caso i partecipanti al test hanno osservato il sedile senza poterlo toccare, In questo modo è stato possibile valutare solo i colori e la geometria della seduta.
- Valutando il sedile solo tramite foto scattate alla seduta da diverse angolazioni.
- Valutando il modello 3D della seduta (realizzato con il metodo del reverse engineering).
- valutando la seduta all'interno dell'automobile\_ i partecipanti hanno fatto un percorso in auto e hanno posizionato il sedile secondo le proprie preferenze e misure antropometriche, hanno ascoltato musica e hanno interagito anche con tutti gli altri elementi presenti nell'abitacolo interno dell'automobile (pedali, pulsanti, cinture di sicurezza).

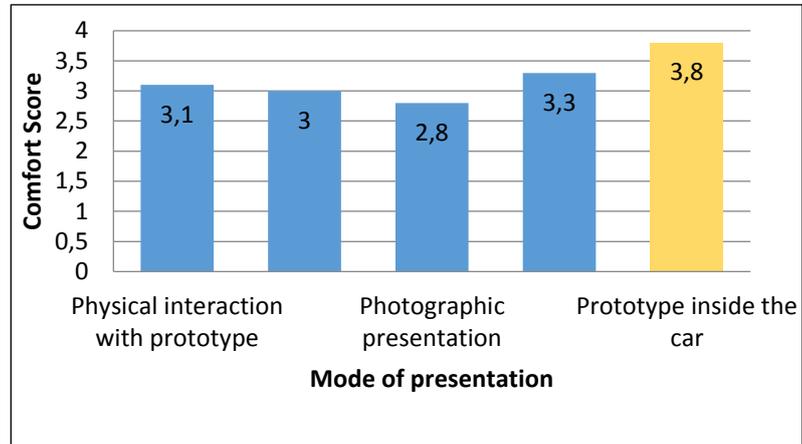


**Figura II. 9** *Prototipo virtuale della seduta*

In seguito a ciascun test i partecipanti hanno compilato lo stesso questionario per la valutazione del comfort percepito. L'obiettivo dello studio è stato quello di dimostrare come lo stesso oggetto, se pur presentato in modi diversi, produce una sensazione di comfort diversa. Ovviamente, come si potrà vedere nelle analisi successive, quella relativa alla seduta all'interno dell'automobile risulta essere quella più veritiera perché condizionata dall'attività e da tutti gli altri elementi che entrano in gioco durante la guida.

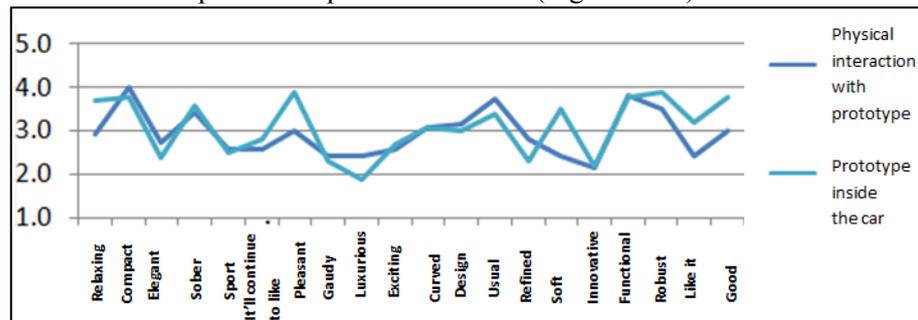
### **Analisi dei risultati**

In seguito all'acquisizione dei dati, tutte le voci del questionario sono state analizzate. I risultati hanno dimostrato che il punteggio di comfort più alto è stato ottenuto quando i soggetti hanno valutato la seduta all'interno dell'automobile e in seguito a 5 minuti di guida (Figura II.10).



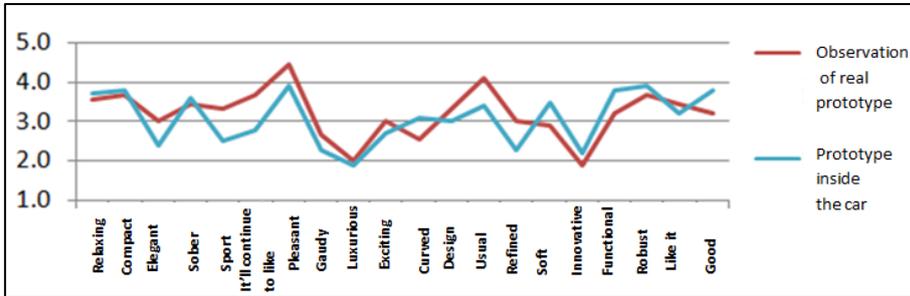
**Figura II. 10** Media dei punteggi di comfort in funzione delle differenti presentazioni delle sedute

I risultati ottenuti per ciascun tipo di interazione sono stati confrontati con quelli ottenuti quando i soggetti hanno provato la seduta nel suo ambiente naturale ossia all'interno dell'automobile. I punteggi per la maggior parte dei fattori risultano più alti in quest'ultimo caso (Figura II.11).

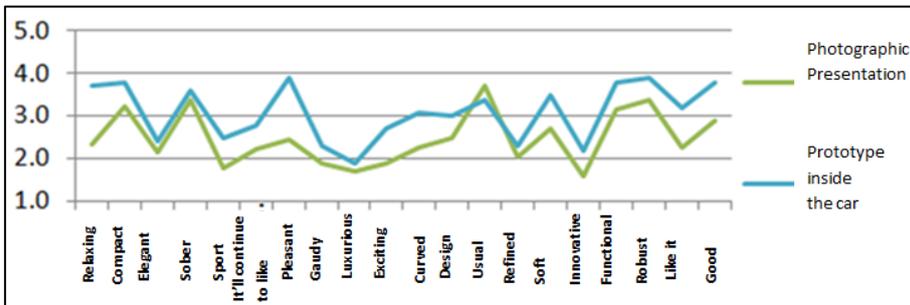


**Figura II. 11** Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di interazione fisica con il prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile

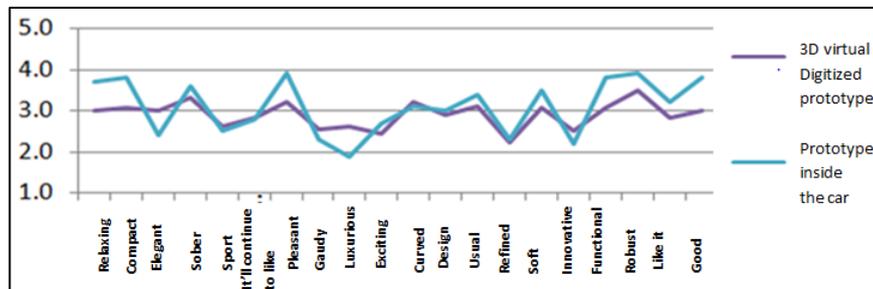
## Il Comfort



**Figura II. 12** Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di sola osservazione del prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile



**Figura II. 13** Confronto punteggi medi dei questionari nel caso della presentazione fotografica della seduta e nel caso della seduta all'interno dell'automobile



**Figura II. 14** Confronto punteggi medi dei questionari nel caso del prototipo 3D digitalizzato e nel caso della seduta all'interno dell'automobile

### Conclusioni

L'obiettivo di questo studio è stato quello di dimostrare che le sensazioni di comfort/discomfort relative all'utilizzo di un qualsiasi oggetto-prodotto deve essere fatto considerando tutti gli elementi che fanno parte dell'interazione. Infatti se si considera solo l'oggetto in maniera isolata la sensazione cambia e questa non risulta veritiera in quanto si perdono informazioni. Lo studio ha testato l'ipotesi che sta alla base del modello di percezione del comfort. Per fare ciò si è considerato il caso delle sedute automobilistiche. Lo stesso sedile

## Chapter II

è stato valutato in modi diversi da un campione di soggetti aggiungendo man mano informazioni: da una semplice foto all'esperienza di guida. Dai risultati del questionario si è visto che la sensazione di comfort che si ha della seduta in seguito alla guida è maggiore rispetto agli altri. I risultati sostengono la teoria che sta alla base della tecnica Kansei: per avere informazioni sulla sensazione che un soggetto ha di un prodotto è necessario coinvolgere tutti i sensi del consumatore, solo in questo modo è possibile nel momento in cui tali sensazioni vengono tradotte in elementi di progettazione considerare tutti gli aspetti.

# **Capitolo III**

## **Il Comfort posturale degli arti superiori**

### **III.1 CaMAN: metodo di oggettivazione del comfort posturale degli arti superiori**

CaMAN (Naddeo, 2015) è un modello di valutazione del comfort posturale per gli arti superiori. È stato sviluppato dal gruppo di Disegno e Metodi di Ingegneria Meccanica all'Università di Salerno, esso rappresenta un'ottima risorsa cui fare riferimento sia in fase di progettazione che di ottimizzazione di interfacce uomo-macchina o di ambienti lavorativi. La semplicità pratica di tale strumento, in unione con la generalità dei contesti operativi in cui può essere impiegato, lo rendono certamente un valido supporto decisionale.

Il modello fornisce punteggi di comfort per le articolazioni: collo, spalla, gomito e mano. Per ciascun ROM inserito il modello calcola un punteggio di comfort ed è possibile combinare i punteggi delle varie articolazioni scegliendo il criterio desiderato.

### Chapter III

The screenshot displays the CaMAN software interface, which is organized into several sections for calculating comfort indices for different body parts. Each section includes input fields for movement angles, 'Push Button' controls, and a resulting 'indice di comfort' (comfort index) displayed in a blue box.

- COMFORT INDEX COLLO (Neck):** Includes inputs for 'flessione frontale' (-45°<CR>45°), 'flessione laterale' (-45°<CR>45°), and 'rotazione' (-45°<CR>45°). Each has a 'Push Button' and a resulting 'indice di comfort' of 0.
- COMFORT INDEX GOMITO (Elbow):** Includes inputs for 'flessione/estensione' (0°<CR>135°) and 'prono-supinazione' (-90°<CR>90°). Each has a 'Push Button' and a resulting 'indice di comfort' of 0.
- COMFORT INDEX SPALLA (Shoulder):** Includes inputs for 'flessione frontale' (-45°<CR>135°) and 'abduzione / adduzione' (0°<CR>170°). Each has a 'Push Button' and a resulting 'indice di comfort' of 0.
- COMFORT INDEX POLSO (Wrist):** Includes inputs for 'flessione/estensione' (-60°<CR>60°) and 'deviazione radio-ulnare' (-20°<CR>20°). Each has a 'Push Button' and a resulting 'indice di comfort' of 0.
- GLOBAL INDEX:** Features a 'Push Button' and a resulting 'indice di comfort globale' of 0, and a 'indice di comfort globale %' of 0.

powered by: Carmine D'Orta

**Figura III. 1** *Interfaccia grafica di CaMAN*

È possibile vedere dalla in Figura III.1 come l'interfaccia grafica sia di facile utilizzo, inserendo l'angolo dell'articolazione il modello dà come input un indice di comfort locale. È possibile ottenere anche l'indice globale di comfort che è rappresentato dalla somma di tutti i punteggi di comfort, cioè per ogni movimento angolare di ciascuna articolazione e/o la media.

Il metodo di valutazione posturale oggettivo per gli arti inferiori si propone di essere il continuo e l'implementazione di tale metodo, richiedendo, così, in una prima fase di analizzare il modello esistente e di convalidarlo, al fine di realizzare quello per gli arti inferiori.

### III.2 CaMAN: convalida del metodo

Per la convalida di CaMAN sono stati analizzati due casi: il caso di Valflex S.r.l. e Oerlikon Friction System Italia. Per entrambi i casi sono stati analizzati due processi produttivi e sono state apportate delle modifiche per aumentare le prestazioni del ciclo produttivo stesso e per migliorare la salute ed il benessere percepito dai lavoratori.

La prima analisi effettuata è stata di carattere ergonomica fisica, al fine di individuare quali posture potessero essere rischiose per la salute del lavoratore e non essere a norma dal punto di vista di legge. A valle dell'analisi ergonomica sono state individuate delle modifiche di progettazione per le macchine con il quale il lavoratore si interfacciava ed è stata ipotizzata una modifica di layout laddove fosse possibile. Per entrambi i casi, però, l'ultima ipotesi di miglioramento non è stata possibile, perché non consentita dalla caratterizzazione del processo e/o della macchina stessa e per problemi di spazio. A seguito delle modifiche di progettazione sono stati calcolati gli indici di comfort con CaMAN nella fase pre-redesign e post-redesign per poter effettuare un confronto.

### III.2.1 CaMAN Upper Limbs: caso Valflex S.r.l.

Il primo caso studio analizzato riguarda un'azienda produttrice di materassi a Giffoni Valle Piana. L'azienda in questione, la Rinaldi Group S.r.l., lega da sempre il suo sviluppo al benessere delle persone e delle comunità in cui opera puntando alla creazione sostenibile del valore, in un'ottica di responsabilità sociale ed ambientale. La ricerca e l'innovazione continua in mezzo secolo di esperienza, hanno consentito di proporre ai propri clienti un'idea semplice ma rivoluzionaria. Per la Rinaldi Group un riposo salutare e rigenerante è un diritto di ogni persona.

Così come è altrettanto un diritto per i propri operai lavorare e prendere delle decisioni in un ambiente produttivo confortevole, puntando l'attenzione, quindi, anche sul benessere dei lavoratori.

Per l'azienda è molto importante che quegli stessi materassi che porteranno un riposo "soffice" e sicuro ai clienti, sia realizzato in un ambiente altrettanto sicuro e rassicurante.

In questa ottica, quindi, è stato possibile effettuare uno studio di comfort ed ergonomia a quelle postazioni di lavoro dove il controllo e la gestione dei macchinari da parte dell'operaio risultava "scomodo".

L'attività lavorativa presa in esame è quella della cucitura dei materassi e la macchina modellata e analizzata è la "bordatrice".

Il turno lavorativo è di 8 ore giornaliere, dalle ore 8:00 alle ore 17:00, con un'ora di riposo dalle ore 13:00 alle ore 14:00.

Il ciclo è stato suddiviso in varie attività e sono poi state esaminate quelle ripetitive.

La durata media di un ciclo è quella di 148 secondi, per semplicità è stata fatta una media dei tempi di lavorazione di un materasso singolo e di un materasso matrimoniale, essendo la differenza di 4 secondi di tempo molto limitata.

Viene riportata in seguito la sequenza delle attività analizzate:

1. l'operatore preme il pulsante per l'alimentazione e per la fermata dei rulli;
2. l'operatore sposta il materasso vicino alla macchina per cucire;
3. l'operatore preme il tasto per la taratura dell'altezza della macchina cucitrice;
4. l'operatore preleva le etichette che devono essere cucite sul materasso;
5. cucitura automatica del primo lato: durante questa operazione il lavoratore controlla semplicemente il processo ed utilizza braccia e mani per guidare il materasso;
6. l'operatore scosta il materasso dalla macchina da cucire;
7. taglio del nastro;
8. breve ricucitura;
9. taglio del filo;
10. l'operatore allontana il materasso per il ribaltamento;
11. l'operatore rovescia il materasso;

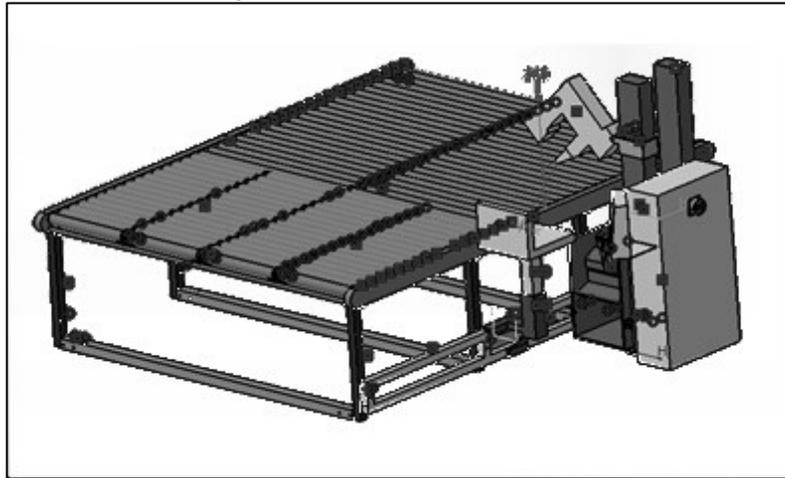
### Chapter III

12. l'operatore accosta il materasso vicino alla macchina per cucire;
13. cucitura automatica del secondo lato;
14. l'operatore scosta il materasso dalla macchina da cucire;
15. taglio del nastro;
16. breve ricucitura;
17. taglio del filo;
18. l'operatore allontana il materasso dalla macchina da cucire;
19. l'operatore preme il pulsante per l'alimentazione e per la fermata dei rulli.

#### **Modellazione della macchina e dell'operatore**

Per riprodurre la bordatrice è stata utilizzata la versione CATIA V5R16.

Sono stati modellati gli elementi in maniera disgiunta e poi assemblati. È possibile vedere nella Figura III.2 l'assemblato finale.



**Figura III. 2** Modellazione virtuale bordatrice

L'operatore è stato modellato attraverso la realizzazione di un "manichino" sulla base delle misure antropometriche reali del lavoratore. Le sue misure sono state: altezza (1630 mm), spalla-gomito (303 millimetri), gomito-polso (241 millimetri), e la larghezza delle spalle (390).

Per ogni attività analizzata sono state utilizzate diverse istantanee, elaborate poi in seguito per ottenere gli intervalli angolari per ogni articolazione in ogni attività.

#### **Analisi ergonomica e Indici di Comfort**

Come strumento di valutazione ergonomica è stato utilizzato il metodo più diffuso, ossia la Checklist OCRA. Dai risultati dell'analisi in Tabella III.1 è possibile notare che si ha situazione di rischio lieve per l'arto destro e una situazione di rischio accettabile per l'arto sinistro.

**Tabella III. 1** Risultati analisi Checklist OCRA

<b>Punteggi di rischio analisi Checklist OCRA</b>	
Arti superiori: destra	8,98
Arti superiori: sinistra	5,99

Successivamente sono stati calcolati di indici di Comfort. Dall'analisi degli indici di comfort (Tabella IV.2) è possibile valutare che:

- Il valore evidenziato indica che questo indice non può essere aumentato poiché la postura dell'attività cucitura è limitata: l'avambraccio sinistro deve poggiare sul materasso;
- Il valore sottolineato indica che, nonostante il basso indice di comfort, non è possibile apportare modifiche a causa della configurazione della bordatrice: il sedile è montato a ribalta di un lato del piano di lavoro. Questa configurazione non consente, infatti, di ruotare le gambe, ma solo il tronco, provocando l'abbassamento degli indici.

Alcune delle attività, come la presa del materasso, sono frutto di una scelta posturale da parte del lavoratore, in effetti tale attività potrebbe essere resa più confortevole se l'operaio decidesse di non flettere il braccio all'indietro, ma di allungarlo solo lateralmente e tirare.

Le fasi, quindi, che risultano più critiche sono quella del ribaltamento e della presa etichette. La prima, come accennato precedentemente, è vincolata alla struttura della bordatrice, mentre la seconda, così come per la presa del materasso, dipende strettamente dalle scelte soggettive del lavoratore.

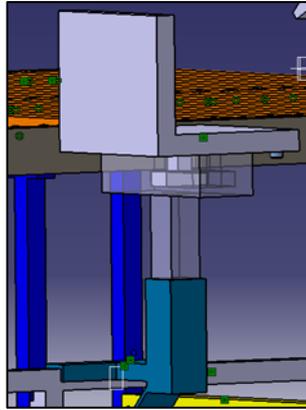
**Tabella III. 2** *Analisi Indici di Comfort*

	comfort index collo		comfort index gomito		comfort index spalla		comfort index polso		A V G
	Flessione /rotazione	flessione laterale	flessione e/estensione	prono - supinazione	flessione frontale	abduzione/adduzione	flessione e/estensione	deviamento ulnare	
PULSANTE AVVIAMENTO	5,8530	9,9	10	9,5473	9,6874	5,8	10	6,386	8,072
PULSANTE MODIFICA ALTEZZA CUCITRICE	2,3295	9,9	9,7826	9,5473	9,6874	5,8	10	6,386	7,4431
CUCITURA(DESTRA)	9,9863	9,9	6,7648	1,5243	6,9336	10	10	9,9505	6,252
CUCITURA(SINISTRA)	9,9863	9,9	10	1	6,1579	6,5195	5,9856	9,5977	6,6811
ETICHETTE	6,4593	9,9	7,3	1	6,8189	5,2179	9,9	8,1681	5,6688
RIBALTAMENTO (DESTRA)	5,8023	9,9	5,4421	6,4253	6,9768	10	10	9,8875	7,3761
RIBALTAMENTO (SINISTRA)	5,8023	9,9	5,6584	9,7	1,1	5,3	5,8552	4,3	<u>5,952</u>
PRESA MATERASSI	1	9,9	10	5,975	1,1	5,1	5,8552	10	5,4038
FORBICI	3,8861	9,9	10	9,7	8,4939	6,8482	9,4748	4,8241	7,5015
ALLONTANAMENTO	7,0132	9,9	10	8,8175	6,9291	10	10	10	6,123

### Ipotesi di riprogettazione

Per poter far fronte ai problemi riscontrati nelle attività prima citate è stato necessario apportare delle modifiche alla struttura della bordatrice. Nello specifico, sono stati ipotizzati una seduta che possa spostarsi lateralmente e un supporto costituito da una lastra, che è già presente sulla bordatrice, ma che risulta troppo corta in lunghezza per poter poggiare le etichette.

La seduta mostrata in Figura III.3 rappresenta l'ipotesi di riprogettazione proposta, essa è molto simile a quella originaria e già presente nella postazione di lavoro, ma differisce per questa sua capacità di potersi spostare lateralmente e all'estremità destra di ruotare. Questa soluzione ha come obiettivo quello di consentire al lavoratore di poter ampliare il proprio spazio di lavoro e di ruotare meno il busto, avendo la possibilità, nella fase del ribaltamento ad esempio, di poter ruotare la sedia. Il movimento orizzontale della seduta avviene tramite un pulsante che verrebbe posizionato sotto la seduta, in modo tale che il lavoratore non sia soggetto a sollecitazioni e vibrazioni durante le attività in cui la seduta è fissa.

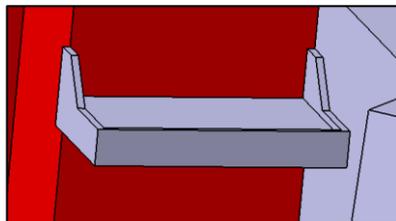


**Figura III. 3** *Ipotesi di riprogettazione seduta*

Nella situazione attuale l'operaio preleva le etichette da un'unità di controllo a forma di prisma rettangolare che è posizionato dietro la piastra comandi e accanto alla struttura che regge la cucitrice.

L'operaio deve, quindi, sporgersi per poterle afferrare. Si è pensato di posizionare le etichette più vicine, facendo sempre attenzione alla buona raggiungibilità e a non interferire con la raggiungibilità degli altri elementi.

Nella Figura III.4 è possibile osservare tale tipo di supporto, supporto che è già esistente sulla macchina attuale, ma ha una lunghezza troppo piccola per poter reggere le etichette, basterebbe, quindi, solo allungarla da 6 cm a 9,5 cm, essendo la dimensione delle etichette 9x9 cm.



**Figura III. 4** *Ipotesi di riprogettazione supporto etichette*

#### **Confronto Indici di Comfort prima e dopo la riprogettazione**

Si sono confrontati, quindi, i casi:

- presa delle etichette dal nuovo supporto con la seduta fissa;
- presa delle etichette dal nuovo supporto con la seduta mobile rotante;
- ribaltamento con la seduta mobile rotante.

È possibile vedere dalla Tabella III.3 come gli indici siano aumentati, anche e soprattutto nel caso del ribaltamento, quello maggiormente vincolato.

**Tabella III. 3** *Indici di Comfort a valle delle ipotesi di riprogettazione*

	comfort index collo		comfort index gomito		comfort index spalla		comfort index polso		A	A
	flessione/rotazione	flessione laterale	flessione/estensione	pronazione/supinazione	flessione/abduzione/adduzione	abduzione/adduzione	flessione/estensione	deviazione ulnare	V	V
etichette senza seduta ruotante	9,9	9,9	10	1	6,4	9,9	10	10	6,8	8,4
etichette con seduta ruotante	9,8	9,9	10	1	7,0	10	10	10	6,8	8,4
ribaltamento con seduta ruotante (destra)	9,7	9,9	10	9,7	6,4	10	10	9,8	8,0	9,4
Ribaltamento con seduta ruotante (sinistra)	9,72	9,9	6,2	9,7	1,5	9,7	9,9	4,5	5,9	7,6

### III.2.2 CaMAN Upper Limbs: caso Oerlikon

Il secondo caso studio analizzato riguarda la Oerlikon Friction Systems. Il settore è quello metalmeccanico: si realizzano i sincronizzatori di velocità utilizzati nella trasmissione del moto negli autoveicoli. Nella cella di lavoro si trovano tutte le fasi necessarie per trasformare il pezzo da grezzo a prodotto finito.

Lo studio del comfort e dell'ergonomia è stato rivolto in particolare alla Workcell 4, all'interno della quale viene realizzato il cosiddetto "cono doppio". In questa cella lavorano contemporaneamente ma in maniera indipendente, sfasati di un certo tempo, due operatori, ognuno dei quali, al termine di ogni ciclo, realizza due sincronizzatori.

La giornata lavorativa è di 8 ore e sono previsti 3 turni:

- dalle ore 7:00 alle ore 15:00;
- dalle ore 15:00 alle ore 23:00;
- dalle ore 23:00 alle ore 7:00.

All'interno di ogni turno ci sono in media 315-320 cicli. Ogni ciclo dura dai 70 agli 80 secondi, per un valore medio di 76 secondi. L'ampiezza del range di durata del ciclo dipende:

- dall'operatore, in particolare dalla sua condizione di eventuale stanchezza o prontezza di azione: ad esempio, ad inizio turno avrà una prontezza di riflessi e una velocità sicuramente maggiore rispetto a quando il turno volge al termine;

## Il Comfort posturale degli arti superiori

- dalla presenza di diverse operazioni definite “mura-muri”, operazioni che non si ripetono ad ogni ciclo, ma più raramente all’interno di ogni turno;
- dalla presenza in più punti all’interno della cella di buffer, che permettono all’operatore di prelevare pezzi semilavorati e quindi di ridurre la durata del ciclo in caso di bisogno.

Ogni ciclo prevede determinate fasi, prima dell’inizio del turno, un operatore è incaricato di controllare che tutti i macchinari rispettino le condizioni di normale utilizzo ed eventualmente si occupa della loro regolazione. Una volta verificato il rispetto delle condizioni, inizia il turno.

Il ciclo può essere così schematizzato:

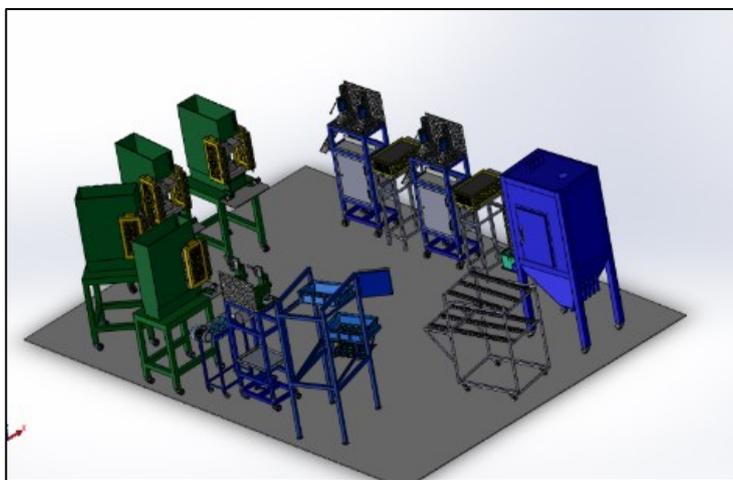
1. l’operatore preleva due anelli grezzi da una scatola posta su una rulliera;
2. l’operatore carica e scarica la macchina sabbiatrice;
3. l’operatore pone l’anello su una piastra di riscaldamento;
4. l’operatore applica una forza di chiusura per abbassare la levetta della pressa;
5. l’operatore pone l’anello sullo scivolo-buffer;
6. l’operatore carica-scarica ed avvia il ciclo di due presse magnum;
7. l’operatore leviga l’anello;
8. l’operatore posiziona l’anello in una macchina che effettua il controllo dimensionale;
9. l’operatore deposita il prodotto finito in un vassoio;

Vi sono una serie di operazioni dette “mura-muri”, ovvero una serie di operazioni che non si ripetono ad ogni ciclo ma hanno frequenza molto più sporadica. Appartengono a queste serie di operazioni:

- il prelievo, l’apertura, la marcatura della scatola dei facing interni ed esterni e degli anelli grezzi;
- la sostituzione della carta abrasiva utilizzata per la levigatura;
- la stampa e il posizionamento delle etichette per i KLT completi;
- il prelievo del KLT vuoto;
- il deposito e il posizionamento del KLT completo.

### **Modellazione della macchina e dell’operatore**

Per riprodurre il layout della cella è stata utilizzato il software SolidWorks esportato successivamente nella versione CATIA V5R16. Sono stati modellati gli elementi in maniera disgiunta e poi assemblati. È possibile vedere nella Figura III.5 l’assemblato finale.



**Figura III. 5** Modellazione virtuale del layout

L'operatore appartenente al 50° è stato modellato attraverso la realizzazione di un "manichino" sulla base delle misure antropometriche reali del lavoratore, le misure del 5° e 95° sono invece state rilevate dal software di simulazione Delmia.

**Tabella III. 4** Misure antropometriche dei manichini per la simulazione

		MISURE DEL MANICHINO		
<i>N. Parametro</i>	<b>Parametro</b>	<b>5° Misura (mm)</b>	<b>50° Misura (mm)</b>	<b>95° Misura (mm)</b>
1	Stature	1634	1750	1850
2	Axilla height	1221	1280	1411
3	Acromion- radiale length	300	300	357
4	Radiale- styliion length	249	270	294
5	Sleeve outseam	545	570	646
6	Chest breadth	272	310	360
7	Waist breadth	240	320	338
8	Hip breadth, standing	290	350	360
9	Bimalleolar breadth	68	110	82
10	Crotch height, standing	743	750	895
11	Waist height, omphalion	972	980	1140
12	Chest height, standing	1180	1270	1366

Per ogni attività analizzata sono state utilizzate diverse istantanee, elaborate poi in seguito per ottenere gli intervalli angolari per ogni articolazione in ogni attività.

### Analisi ergonomica e Indici di Comfort

Come strumento di valutazione ergonomica è stato utilizzato il metodo della Checklist OCRA, che ha dato i seguenti risultati:

- 5 ° percentile: alto rischio (punteggio = 29.06) per gli arti a destra e rischio molto lieve (punteggio = 8.84) per gli arti a sinistra;
- 50 ° percentile: alto rischio (punteggio = 23.37) per gli arti a destra e rischio accettabile (punteggio = 2.53) per gli arti a sinistra;
- 95 ° percentile: alto rischio (punteggio = 23.37) per gli arti a destra e rischio accettabile (punteggio = 3.79) per gli arti a sinistra.

Dall'analisi fin qui condotta, per tutte e tre le condizioni, è emerso che sussiste un rischio medio-alto, al limite della tollerabilità, per quanto riguarda l'articolazione superiore destra a differenza invece del lato sinistro che risulta essere maggiormente in "sicurezza". Più nello specifico, tale rischiosità è dovuta alla presenza delle tre presette (pre-incollaggio, assemblaggio e misurazione) che richiedono un movimento errato dell'articolazione della spalla (l'altezza a cui è portato il braccio è superiore a quella della spalla). Tuttavia, nello specifico, il valore così alto del rischio è dovuto principalmente alla lavorazione eseguita sulla pressa di pre-incollaggio, in quanto si richiede uno sforzo elevato, così come confermato dagli stessi operatori.

Nel caso specifico del 5°, come ci si poteva aspettare, il rischio è maggiore e questo punteggio è legato alle altezze dei macchinari troppo elevate, che costringono l'operatore ad assumere posture incongrue. Nella maggior parte del ciclo, infatti, l'operatore ha il braccio ad un'altezza pari o superiore a quella della spalla.

Conseguentemente a tali considerazioni, gli Indici di Comfort sono stati calcolati per due attività: il sollevamento e l'abbassamento della leva per la pressa di pre-incollaggio:

**Tabella III. 5** *Indici dell'analisi di Comfort*

		<i>Sollevamento leva</i>	<i>Abbassamento leva</i>
Collo	Flessione	9,98	9,98
	Flessione laterale	9,90	9,90
Spalla	Flessione	5,74	6,80
	Add/abduzione	10,00	10,00
Gomito	Flessione/estensione	7,10	3,70
	Prono/Supinazione	5,70	5,70
Mano	Flessione/estensione	9,54	9,51
	Deviazione radio-ulnare	2,90	2,90
Global index		7,61	7,31

### Chapter III

Ciò che evince dai risultati è che gli indici di comfort sono elevati per alcune articolazioni, ma bassi per altre. Il gomito e la mano sono quelle a risultare più scomode in ogni movimento articolare in entrambe le attività.

#### **Ipotesi di riprogettazione**

Dalle analisi fin qui condotte, risulta evidente che l'utilizzo della pressa sottopone l'operatore ad uno sforzo che egli stesso giudica come "forte", associando un punteggio di 5 della scala di Borg. Tuttavia, prima di procedere con la riprogettazione, è stato necessario misurare il valore della forza in questione. Dal risultato di questa misura, infatti, si è deciso se apportare piccole modifiche alla struttura già esistente della pressa, e quindi continuare a impiegare la muscolatura degli arti superiori, o, nel caso in cui tale valore dovesse risultare elevato, procedere con l'idea di un azionamento a pedale (la muscolatura degli inferiori è più sviluppata rispetto a quella degli arti superiori per cui lo sforzo avvertito risulterebbe minore).

La pressa di pre-incollaggio viene utilizzata per far aderire il facing esterno alla superficie laterale esterna dell'anello, realizzando un primo incollaggio tra i due elementi attraverso una forza di compressione tra l'anello e il cilindro di pressatura della pressa.

L'operatore afferra la leva per abbassarla, applicando una determinata forza, ma, affinché si abbia il contatto tra i due elementi, egli deve applicare un'ulteriore forza, una sorta di scatto, che permette di realizzare la vera compressione del cilindro sull'anello.

Si comprende, quindi, l'importanza di misurare sia l'entità della forza necessaria al semplice abbassamento della leva, ma soprattutto l'entità della "forza dello scatto", ovvero quella che sottopone l'operatore ad uno sforzo maggiore. Per facilitare la distinzione, si indicherà la prima come forza di chiusura e la seconda come forza di azionamento.

La forza di chiusura, quindi, serve per abbassare la leva, permettendo il contatto superficiale tra il cilindro di pressatura e l'anello sincronizzatore. Si tratta, quindi, di un semplice movimento della leva, a cui non dovrebbe essere associato uno sforzo elevato. A conferma di ciò, è stata effettuata una misurazione di tale forza utilizzando un dinamometro.

Agganciando il dinamometro all'estremità della leva, è stato misurato il valore di 15 Newton, che corrispondono a circa 1,53 kg. Quindi, come ipotizzato, questo tipo di forza non richiede al lavoratore uno sforzo elevato.

La forza di azionamento è quella, invece, che realizza la compressione del cilindro di pressatura della pressa sul sincronizzatore.

Per la misurazione di tale forza, non è stato possibile utilizzare il dinamometro innanzitutto perché, più che di una forza, si tratta di un momento angolare e, inoltre, perché lo sforzo percepito dipende dalle condizioni fisiche e lavorative (inizio o fine turno) e dalle caratteristiche antropometriche dell'operatore. Tuttavia osservando il lavoratore all'opera sia nella celletta che

dai filmati registrati, si nota come egli sfrutti il suo peso per abbassare la leva e realizzare “lo scatto”. È lo stesso operatore che conferma questa pratica.

Di conseguenza, per la misura di tale forza, si è pensato di utilizzare una normale bilancia: infatti, quando l'operatore applica la forza per realizzare la compressione, si “appende”, alleggerendo il suo peso. Maggiore sarà la differenza di peso tra la condizione di riposo e durante l'operazione, maggiore sarà il valore della forza applicata e minore sarà lo sforzo percepito.

Innanzitutto sono stati raccolti i dati relativi al peso degli operatori nella condizione di riposo. Successivamente, è stato pesato il lavoratore durante l'azione di abbassamento della leva ed è stato registrato il valore più basso del peso raggiunto. La differenza tra i due pesi rappresenta la forza applicata. Ovviamente, la variazione di peso dipende dalle caratteristiche dell'operatore ma anche dalle sue condizioni fisiche e lavorative. Ad esempio, l'operatore che sta per terminare il turno avverte la stanchezza della giornata lavorativa, di conseguenza tenderà a sfruttare maggiormente il suo peso cercando di realizzare l'operazione con maggiore comfort.

Si comprende, quindi, che nonostante questo metodo di misurazione non permetta di conoscere il valore esatto della forza, ne fornisce tuttavia una corretta indicazione sull'ordine di grandezza.

Al fine di evitare approssimazioni e errori che avrebbero deviato maggiormente il valore misurato da quello esatto, è utile precisare che, poiché lo sforzo percepito può variare in base alle caratteristiche antropometriche del soggetto coinvolto, le misurazioni di peso sono state condotte considerando i tre diversi percentili.

Inoltre l'operatore regola l'altezza del banchetto in base alla sua statura. Poiché la presenza della bilancia sotto i suoi piedi modifica tale misura, affinché la misurazione non risulti ulteriormente deviata, l'altezza del banchetto è stata aumentata di una quantità pari a i centimetri interposti tra il pavimento e i piedi dell'operatore a causa della presenza della bilancia.

Osservando la Tabella III.6 si può affermare che la forza oscilla tra i 52 e 79 Newton. In realtà, compiendo l'azione con un solo movimento dell'arto superiore, lo sforzo percepito dall'operatore non è dato dalla singola forza, ma dalla loro somma. La tabella III.7 mostra i valori limiti entro i quali oscilla il valore totale della forza percepita dall'operatore.

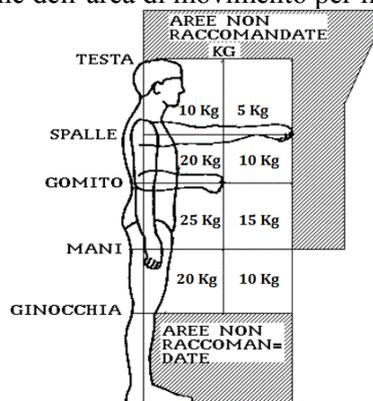
**Tabella III. 6** *Calcolo dei valori della forza di azionamento*

Peso dell'operatore a riposo	Peso durante l'operazione	Forza espressa in Kg (pari alla differenza)	Forza espressa in Newton
70,6	65,3	5,3	51,993
80,8	73	7,8	76,518
86,7	78,7	8	78,48

**Tabella III. 7** *Valori limiti percepiti*

Entità	Forza di chiusura (N)	Forza di azionamento (N)	Forza percepita dall'operatore (N)	Forza percepita dall'operatore (Kg)
Valore minimo	15	52	67	6.83
Valore massimo	15	79	94	9.58

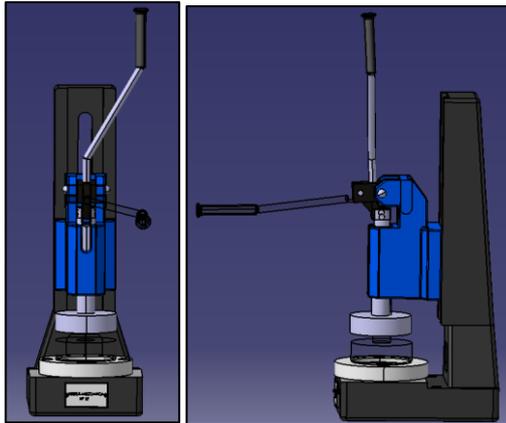
Il decreto legislativo 626 offre un'indicazione di quelle che sono le forze ammissibile in funzione dell'area di movimento per il sesso maschile.

**Figura III. 6** *Limiti di peso raccomandabili per la popolazione maschile*

Dalla Figura III.6 è possibile individuare i limiti di peso associati alle diverse altezze: l'utilizzo della pressetta impiega una forza totale (facendo riferimento all'intero range: 6.83-9.58 Kg) che non supera la soglia prevista di 10 Kg. Di conseguenza, non è necessario stravolgere l'uso della pressetta riprogettandola completamente, ma è sufficiente effettuare qualche modifica alla struttura già esistente.

Nell'azione di abbassare la leva della pressa, come già detto in precedenza, l'operatore sfrutta il suo peso, come se volesse "appendersi". Di conseguenza, considerando questo aspetto saliente nella riprogettazione, si è pensato di dotare la leva di una maniglietta, in modo da agevolare e facilitare la presa dello stesso operatore rendendola più confortevole.

La leva così rimodellata verrà assemblata sulla struttura già esistente e non modificata della pressa. Le parti in trasparenza in Figura III.7 rappresentano la posizione della leva, quando è abbassata.



**Figura III. 7** *Pressa con leva riprogettata*

#### **Confronto Indici di Comfort prima e dopo la riprogettazione**

La tabella III.8 mostra chiaramente che gli indici di comfort diminuiscono. Ciò è dovuto al tipo di movimento richiesto dalla leva essendo alquanto limitata. Dopo aver cambiato la maniglia della leva, alcune articolazioni assumono diverse posture, portando alla variazione degli indici di comfort.

Tuttavia, la macchina è ancora conforme tutti standard e leggi in materia di salute e sicurezza degli operatori.

In virtù della differenza sostanziale che sussiste tra l'ergonomia e il comfort in termini di sicurezza, la soluzione proposta è accettabile in quanto non influenza la sicurezza del lavoratore, ma in termini di comfort tale proposta deve essere rivisitata. C'è da sottolineare che nell'analisi di comfort realizzata non si tiene conto del tempo di mantenimento della postura, importante invece nell'analisi ergonomica. I punteggi ergonomici, infatti a seguito delle modifiche apportate comportano un miglioramento, come è possibile vedere dalla tabella III.9.

Chapter III

**Tabella III. 8** *Indici dell'analisi di Comfort post riprogettazione*

		<i>Sollevamento leva</i>	<i>Abbassamento leva</i>
Collo	Flessione	9,98	9,98
	Flessione laterale	9,90	9,90
Spalla	Flessione	5,95	6,97
	Add/abduzione	5,28	10,00
Gomito	Flessione/estensione	5,92	1,00
	Prono/Supinazione	9,55	6,36
Mano	Flessione/estensione	4,41	9,79
	Deviazione radio-ulnare	1,20	4,40
Global index		6,52	7,30

**Tabella III. 9** *Confronto analisi OCRA prima e dopo la riprogettazione*

5°	Destra	29,06	10,30
	Sinistra	8,84	7,45
50°	Destra	23,37	8,51
	Sinistra	2,53	2,13
95°	Destra	23,37	8,51
	Sinistra	3,79	2,13
		Prima	Dopo

# Capitolo IV

## La postura a riposo degli arti inferiori

### IV.1 Range of Motion(ROM) e Comfort Range of Motion (CROM)

Come detto precedentemente il Comfort posturale è stato già valutato per gli arti superiori. Tale modello è stato analizzato e validato al fine di procedere con l'oggettivazione del Comfort posturale degli arti inferiori.

È importante evidenziare che tale studio è stato svolto per acquisire informazioni sul comfort di una persona seduta poiché è volto soprattutto ai lavoratori che svolgono le proprie attività stando seduti dietro scrivanie e/o macchine e per coloro, di cui abbiamo parlato nei capitoli precedenti, svolgono le loro attività anche in viaggio.

In fase di sviluppo del modello, si è resa necessaria un'indagine bibliografica atta a stabilire quali fossero gli effettivi intervalli angolari caratterizzanti ciascuna articolazione.

Le tabelle che seguono, organizzate per articolazione, mostrano i ROM e le relative fonti bibliografiche dalle quali sono stati estrapolati. Accanto a queste, si riportano altrettante tabelle inerenti al range angolare sintetizzato da un'analisi dei testi visionati. Il criterio che ha portato alla definizione di tale range è stato quello di identificare un ROM, per ciascuna articolazione, rispetto al quale sviluppare il modello. Tali ROM sono stati selezionati avendo cura di includere al loro interno la posizione dello zero geometrico, ovvero la posizione rispetto alla quale è misurato un movimento articolare. Essa è stata

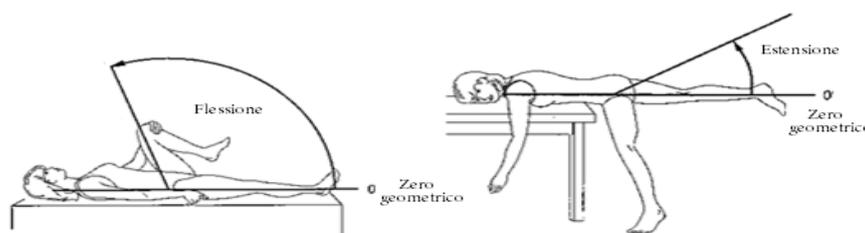
Chapter IV

indicata in figura per ciascuna articolazione. Questa accortezza è stata tenuta assumendo che in un'intorno prossimo allo zero geometrico fosse compresa la rest position, la posizione di massimo comfort, questo naturalmente non vale per la flessione/ estensione dell'anca e del ginocchio, in quanto lo zero geometrico non è compreso nelle articolazioni una volta effettuati i test su soggetti seduti, ma si non valutate le posture più confortevoli. I ROM così evidenziati sono quelli su cui andrà a svilupparsi il modello di valutazione del comfort, e pertanto sono stati chiamati Comfort Range of Motion (CROM).

I CROM relativi a ciascuna articolazione sono stati definiti selezionandone i due estremi dell'intervallo:

- estremo inferiore, come il valore massimo tra i minimi;
- estremo superiore, come il valore minimo tra i massimi.

**Tabella IV. 1** *Range of Motion dell'anca raccolti dalle fonti bibliografiche*  
Hip- Anca



Fonti	Flesso/Estensione	Abd/Adduzione	Rotazione est./int.
Appunti Medicina	da -20 a 130	da -35 a 50	da -45 a 45
Netter's Orthopaedics	da -15 a 120	da -30 a 40	da -40 a 40
www.fpnotebook.com	da -15 a 120	da -30 a 50	da -40 a 60
AAOS	da -20 a 120	/	da -45 a 45
AMA	da -30 a 100	da -20 a 40	da -40 a 50
Bone & Azen	da -9.8 a 122.3	da -26.9 a 45.9	da -47.3 a 47.2
Green & Wolf	/	/	/
www.vba.va.gov/VBA/	da -30 a 125	da -25 a 45	da -40 a 60

Note

Flessione positiva, estensione negativa.

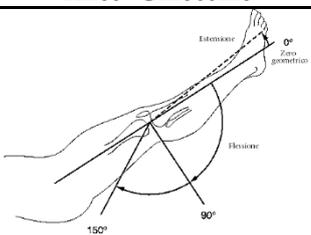
Abduzione negativa, adduzione positiva.

Rotazione: esterna positiva, interna negativa.

**Tabella IV. 2** *Comfort of Range Motion dell'anca*

<b>CROM</b>		
<b>Hip – Anca</b>	<b>Estremo Inferiore</b>	<b>Estremo Superiore</b>
Flessione/estensione	-10	100
Abduzione/adduzione	-20	40
Rotazione est./int.	-40	40

**Tabella IV. 3** *Range of Motion del ginocchio raccolti dalle fonti bibliografiche*

<b>Knee- Ginocchio</b>			
			
<b>Fonti</b>	<b>Flessione/Estensione</b>	<b>Fonti</b>	<b>Rotazione int./est.</b>
<b>Appunti Medicina</b>	da -135 a 0	Goniometry standards	da -30 a 40
<b>Netter's Orthopaedics</b>	da -145 a 5	www.unite.it	da -30 a 40
<b>www.fpnotebook.com</b>	da -135 a 10	www.antonioammendola.it	da -20 a 40
<b>AAOS</b>	/		
<b>AMA</b>	da - 150 a 0		
<b>Bone &amp; Azen</b>	da -142.5 a 0		
<b>Green &amp; Wolf</b>	/		
<b>www.vba.va.gov/VBA/</b>	da -140 a 0		
<b>Note</b>	<b>Flessione negativa, estensione positiva.</b>		
	<b>Rotazione: esterna positiva, interna negativa.</b>		

**Tabella IV. 4** *Comfort Range of Motion del ginocchio*

<b>CROM</b>		
<b>Knee-Ginocchio</b>	<b>Estremo Inferiore</b>	<b>Estremo Superiore</b>
Flessione/estensione	-135	0
Rotazione est./int.	-20	40

**Tabella IV. 5** *Range of Motion della caviglia raccolti dalle fonti bibliografiche*

<b>Ankle- Caviglia</b>	
<b>Fonti</b>	<b>Flessione dorso/plantare</b>
Appunti Medicina	da -50 a 15
Netter's Orthopaedics	da -50 a 30
www.fpnotebook.com	da -45 a 20
AAOS	da -50 a 20
AMA	da -40 a 20
Bone & Azen	da -56.2 a 12.6
Green & Wolf	/
www.vba.va.gov/VBA/	da -45 a 20
<b>Note</b>	
<b>Flessione plantare negativa, flessione dorsale positiva.</b>	

**Tabella IV. 6** *Comfort Range of Motion della caviglia*

<b>CROM</b>		
<b>Ankle-Caviglia</b>	<b>Estremo Inferiore</b>	<b>Estremo Superiore</b>
Flessione dorso/plantare	-40	13

## IV.2 Range of Rest Position

In questo paragrafo si riportano i primi risultati sperimentali del lavoro, mirati alla definizione delle posizioni di riposo delle articolazioni. Per ciascuna articolazione, infatti, esiste una posizione (Rest Position, RP) per la quale la muscolatura del soggetto è completamente rilassata e gli angoli articolari risultano quelli naturalmente assunti dagli arti distesi.

La fase sperimentale ha avuto lo scopo di raccogliere ed elaborare le misure di tali angoli. Tale elaborazione riguarda un'indagine statistica eseguita sul campione misurato, che ha permesso di definire un range angolare all'interno del quale l'articolazione possa statisticamente definirsi "a riposo", l'RRP (Range of Rest Position).

Gli RRP così definiti sono stati introdotti nello sviluppo del modello di valutazione proposto. Essi rappresentano l'intervallo angolare caratterizzato dal massimo punteggio di comfort, e come tali, sono un ottimo riferimento per la calibrazione del nostro strumento di misura del comfort.

#### **IV.2.1 RRP e scelta del campione**

Le articolazioni per le quali è stata misurata la rest position durante la fase sperimentale sono:

- anca: flessione, abd/adduzione e rotazione;
- ginocchio: flessione/estensione e rotazione;
- caviglia: flessione dorso/plantare.

Il metodo scelto per l'acquisizione dei RRP è stato quello dell'acquisizione fotografica. La fotografia può essere considerata uno strumento ottico e come tale risulta sicuramente più economico e meno invasivo di uno strumento elettronico o meccanico. Risulta inoltre sicuramente più efficiente per quelle articolazioni che coinvolgono arti di lunghezza pronunciata, facilmente schematizzabili in segmenti di retta di cui andarne a misurare l'angolazione reciproca. Solo per la caviglia è stato utilizzato il goniometro come strumento di acquisizione, grazie alla struttura di supporto realizzata l'acquisizione non è stata invasiva poiché i soggetti ai quali veniva sottoposto il test non avevano la percezione fisica dello strumento.

È stato studiato in maniera preventiva il sistema macchina – ambiente – soggetto facendo in modo che il soggetto assumesse alcune posizioni, da seduto, sdraiato o in piedi, in base al tipo di postura da assumere. Inoltre è stato riportato all'interno dell'ambiente fotografico un sistema di riferimento, in modo da riconoscere eventuali distorsioni dell'immagine presa. Il riferimento scelto è costituito dalla parete collocata alle spalle del soggetto.

Il campione è stato prelevato da una popolazione di studenti di Ingegneria Industriale, composta da 59 uomini e 55 donne con:

- altezza compresa tra 150 cm e 186 cm;
- età comprese compresa tra 18 a 34 anni;
- assenza di patologie dell'apparato muscolo-scheletrico.

I soggetti sono stati selezionati secondo i criteri sopracitati ed istruiti sulla procedura sperimentale e sulle finalità del lavoro.

Il software utilizzato per elaborare le immagini è Kinovea<sup>®</sup> versione 0.8.7.

#### **IV.2.3 Individuazione punti di riferimento: anca**

L'articolazione dell'anca è una tipica enartrosi (articolazione mobile, le cui superfici articolari sono costituite da una forma sferica o semisferica e da una concavità a sua volta sferica) che unisce il femore all'osso dell'anca.

#### Chapter IV

L'osso dell'anca vi concorre con una cavità articolare quasi emisferica, l'acetabolo, e il femore con la testa femorale che rappresenta circa i 2/3 di una sfera piena di 4 o 5 cm di diametro.

Analogamente a quanto accade nell'omologa articolazione scapolo-omerale (o articolazione della spalla), le superfici articolari non sono perfettamente corrispondenti. Un cerchio glenoideo, il *labbro dell'acetabolo*, provvede ad ampliare la superficie della cavità e a renderla atta a contenere la testa del femore. A differenza del labbro glenoideo dell'articolazione scapolo-omerale, che non ha altra funzione se non quella di ampliare la corrispondente cavità, il labbro acetabolare ha un'importante ruolo nell'unione tra femore e anca; è quindi un mezzo di contenimento dell'articolazione. Il labbro acetabolare inoltre passa a ponte sull'incisura dell'acetabolo, convertendola in foro.

Non tutta la cavità glenoidea prende parte diretta all'articolazione; nel suo centro, infatti, si trova una depressione quadrilatera, la *fossa dell'acetabolo*, non rivestita di cartilagine articolare, ma di periostio. Da questa fossa si diparte un legamento, a sezione rettangolare, il *legamento rotondo del femore*, che va a terminare sulla *fovea capitis* della testa femorale e che, di regola, non supera i 35 mm di lunghezza. I mezzi di unione sono rappresentati dalla capsula articolare cui si appongono tre legamenti di rinforzo, e da un legamento a distanza intra-articolare, il legamento rotondo. La *capsula articolare* è un manicotto fibroso, inserito prossimalmente sul contorno dell'acetabolo e sul labbro acetabolare e distalmente sulla linea intertrocanterica, in avanti, e su una linea posta al limite fra terzo medio e terzo laterale del collo femorale, in dietro. In tal modo, la faccia anteriore del collo anatomico del femore è intracapsulare, mentre la faccia posteriore lo è solo nei 2/3 mediali.

Non dissociabili dalla capsula sono i *legamenti di rinforzo longitudinali, ileofemorale, ischiofemorale e pubofemorale*. Essi non sono altro che porzioni ispessite della capsula e vengono anche denominati *legamenti ileocapsulare, ischiocapsulare e pubocapsulare*. Accanto a questi si descrive la *zona orbicolare* che è un fascio di rinforzo profondo, con fibre ad andamento trasversale.

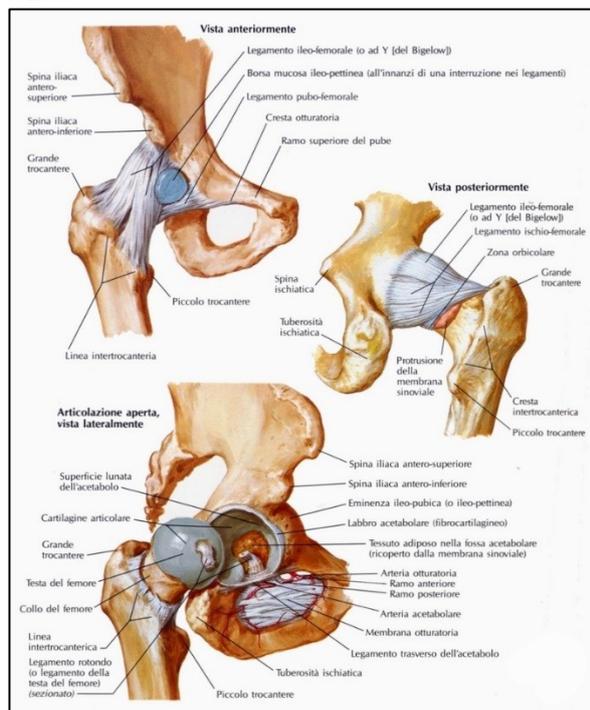
- Il *legamento ileofemorale* ha forma di ventaglio; origina al di sotto della spina iliaca anteriore inferiore, con due fasci che divergono a ventaglio, il *fascio obliquo*, diretto al margine anteriore del grande trocantere e il *fascio verticale*, verso la parte più bassa della linea intertrocanterica.
- Il *legamento pubofemorale* nasce dal tratto pubico del ciglio dell'acetabolo, dall'eminanza ileo-pettinea e dalla parte laterale del ramo superiore del pube per perdersi nella capsula davanti al piccolo trocantere.
- Il *legamento ischiofemorale* è triangolare e dal lato ischiatico del ciglio cotiloideo si porta in fuori, alla fossa trocanterica.

## La postura a riposo degli arti superiori

- La **zona orbicolare**, ricoperta dai precedenti legamenti, si stacca dal margine dell'acetabolo e dal labbro acetabolare, profondamente all'inserzione del legamento ileofemorale e, passando dietro al collo del femore che abbraccia ad ansa, ritorna a fissarsi al punto d'origine.

Il **legamento rotondo del femore** si estende dalla *fovea capitis*, dalla quale discende, allargandosi e restando applicato sulla testa del femore, per raggiungere poi, con due radici, i bordi dell'incisura dell'acetabolo. Piatto e laminare, il legamento rotondo non è teso come lo sono abitualmente i legamenti interossei.

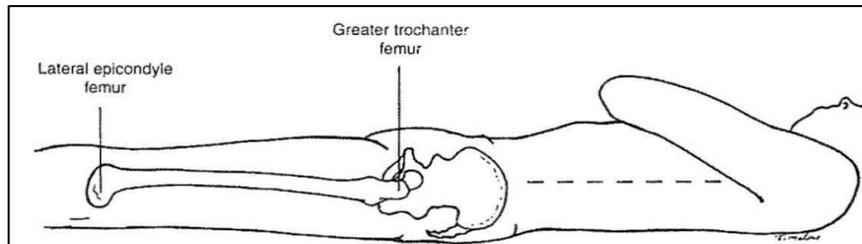
La **sinoviale** presenta la caratteristica disposizione delle diartrosi. Riveste la superficie interna della capsula e, pervenuta alle sue inserzioni, si riflette con tragitto ricorrente a rivestire le porzioni intra-capsulari dei capi ossei fino ai limiti delle cartilagini articolari. Essa forma una guaina completa al legamento rotondo.



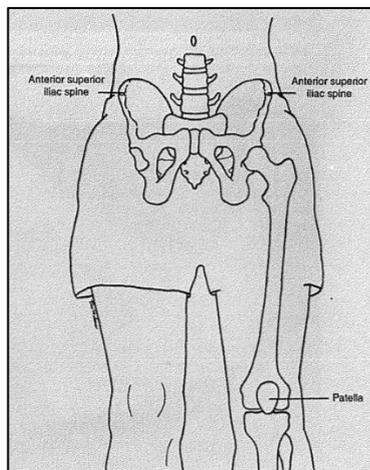
**Figura IV. 1** Ossa, articolazioni e legamenti dell'anca

I punti di riferimento per l'individuazione dei movimenti articolari dell'anca (Cynthia, 2009; AAOS, 1965) sono il grande trocantere per la vista laterale e l'anteriore superiore spina iliaca per la vista frontale e superiore.

## Chapter IV



**Figura IV. 2** Punti di riferimento anatomici nella vista laterale dell'anca



**Figura IV. 3** Punti di riferimento anatomici nella vista frontale e superiore dell'anca

### IV.2.4 Individuazione punti di riferimento: ginocchio

Il ginocchio è un'articolazione in cui entrano in gioco il femore, la tibia e la rotula.

Risulta di difficile classificazione poiché il rapporto articolare che si stabilisce tra femore e patella può essere infatti definito come un'artrodia, mentre quello femoro-tibiale è riconducibile, per alcuni caratteri, alle articolazioni condiloidee, per altri ai ginglimi angolari. Inoltre, mentre le superfici articolari sembrano consentire un'estesa libertà di movimenti, l'apparato legamentoso dell'articolazione finisce per limitarli alla sola flessione-estensione. A livello del ginocchio si verifica poi una trasmissione del peso corporeo alla gamba: all'articolazione spetta, quindi, anche un importante compito statico.

Il femore partecipa all'articolazione con la *superficie patellare* anteriore, foggiate a troclea, e con le *superfici articolari dei condili*. I due versanti della troclea posteriormente divergono e alla gola fa seguito una profonda *incisura intercondiloidea*. Ai lati dell'incisura, i prolungamenti posteriori della troclea

formano due rilievi convessi in senso antero-posteriore, i *condili*. La tibia prende parte all'articolazione con l'estremità superiore, opponendo ai condili femorali le due *cavità glenoidee* che si trovano sui condili tibiali interno e esterno. Le cavità glenoidee presentano superfici ovalari poco profonde e sono separate da un'area non articolare, rugosa, che s'innalza nel mezzo a formare l'*eminenza intercondiloidea* e si allarga in dietro e in avanti nelle rispettive *fosse intercondiloidee*. La patella partecipa all'articolazione con la sua superficie posteriore che corrisponde alla troclea femorale.

Alla marcata convessità sagittale dei due condili femorali non corrisponde una pari concavità delle superfici tibiali. L'armonia fra le superfici articolari viene perciò stabilita dall'interposizione di due *menischi*, uno mediale e uno laterale. Questi hanno forma di semianelli e il loro spessore si riduce procedendo dalla periferia al centro; visti in sezione hanno quindi profilo triangolare. Il *menisco laterale* forma un cerchio pressoché completo; quello *mediale* è interrotto sul lato interno e ha quindi forma di C. Con le loro estremità (o corna), i menischi si fissano sulla porzione intercondiloidea della tibia. Anteriormente, i due menischi sono uniti tra loro da un legamento trasversale, il *legamento trasverso del ginocchio*.

I mezzi di unione sono rappresentati da una capsula articolare e da legamenti di rinforzo. Lo strato fibroso della capsula articolare costituisce un manicotto caratterizzato dalla brevità e dalla solidità delle parti laterali e posteriore e dalla lassità della porzione anteriore. La sua linea di inserzione femorale si trova a una distanza di diversi millimetri dai bordi della cartilagine di incrostazione delle superfici articolari; quella tibiale si fissa al margine infraglenoideo e continua posteriormente con i legamenti crociati. A livello della rotula, la capsula si fissa ai margini dell'osso mentre al di sopra e al di sotto si fa molto sottile. La sinoviale tappezza la superficie interna della capsula fibrosa con una disposizione caratteristica. Anteriormente si prolunga al di sotto del muscolo quadricipite per formare la *borsa sinoviale sovrapatellare*; posteriormente forma una doccia a concavità posteriore nella quale vengono accolti i legamenti crociati, che sono pertanto extra-articolari; ai lati riveste la superficie interna della capsula fibrosa per poi riflettersi sulle superfici ossee intra-articolari. In corrispondenza dei menischi essa si interrompe per l'aderenza dei menischi stessi con la capsula fibrosa; la sinoviale risulta perciò divisa in un piano superiore e uno inferiore. La capsula fibrosa presenta numerosi ispessimenti che la rinforzano formando i legamenti anteriori, posteriori, laterali e crociati.

- Il **legamento anteriore** (o *legamento patellare*) è il tratto sottopatellare del tendine del muscolo quadricipite femorale, nel cui spessore risulta inclusa, come osso sesamoide, la stessa patella. È una robusta lamina triangolare che si inserisce sulla tuberosità tibiale. Poco al di sopra dell'inserzione, il legamento è separato dalla superficie della tibia per interposizione di una borsa sinoviale infrapatellare; più in alto ancora, in corrispondenza dell'interlinea

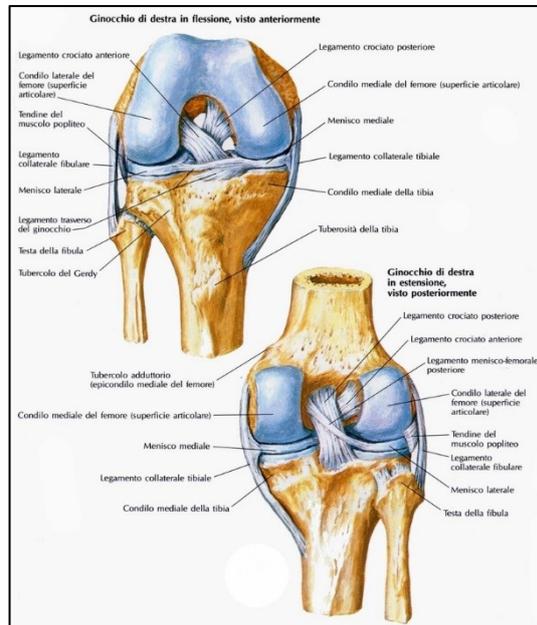
#### Chapter IV

articolare, uno zaffo adiposo lo separa dalla capsula articolare. Al di sopra di questa massa adiposa si trova la patella che risulta fissata lateralmente ai condili femorali da due benderelle fibrose, i *retinacoli* (o *ali*) della patella.

- Il **legamento posteriore** è formato dai gusci dei condili e dal legamento mediano. I *gusci dei condili* sono ispessimenti che la capsula presenta a livello di ciascun condilo. Il *legamento mediano* occupa lo spazio intercondiloideo; è costituito da fibre proprie, dirette dal femore alle due ossa della gamba che formano una sorta di arcata fibrosa, il *legamento popliteo arcuato* e da fibre appartenenti al tendine del muscolo semimembranoso che formano il *legamento popliteo obliquo*.
- I **legamenti collaterali** sono due robuste bande fibrose, poste ai lati del ginocchio e in parte separate della capsula. Il *legamento collaterale tibiale* (o *mediale*) è una larga e robusta lamina che rinforza la capsula sul lato mediale. Si estende da un tubercolo posto sul condilo mediale del femore al condilo mediale della tibia. Le sue fibre anteriori si fondono con il retinacolo mediale della patella, mentre quelle più profonde si attaccano al menisco mediale. Il *legamento collaterale fibulare* (o *laterale*) è un cordone fibroso teso da un tubercolo del condilo laterale del femore alla superficie laterale della testa della fibula. Il tendine del muscolo popliteo gli passa profondamente mentre quello del bicipite si suddivide ai due lati della sua inserzione.
- I **legamenti crociati** sono intra-capsulari e si trovano in un piano verticale, tra i condili femorali. Sono corti e robusti cordoni che si incrociano a X e ricevono la loro denominazione di anteriore e posteriore per il rapporto che contraggono con l'eminanza intercondiloidea della tibia. Il *legamento crociato anteriore* si stacca da una superficie rugosa posta davanti all'eminanza intercondiloidea e si porta in alto e in dietro per fissarsi alla faccia mediale del condilo laterale del femore. Il *legamento crociato posteriore* si estende da una superficie posta dietro l'eminanza intercondiloidea alla faccia laterale del condilo mediale del femore.

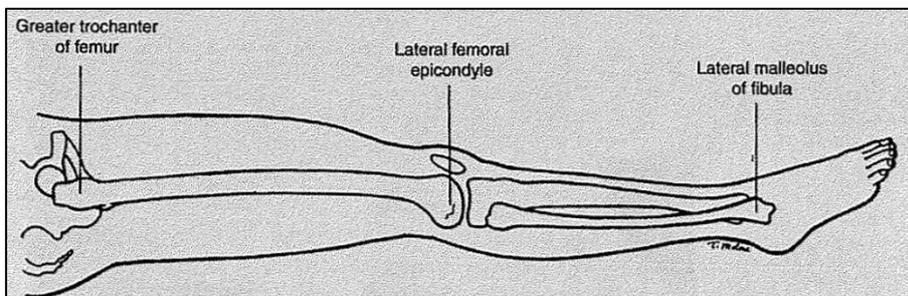
La cavità articolare del ginocchio è la più ampia di tutte le articolazioni. Si estende oltre lo spazio interarticolare, portandosi in alto verso la patella e includendo l'articolazione femore-patellare nonché la borsa sovrapatellare. La membrana sinoviale, che segue la capsula articolare e si riflette sui capi ossei intracapsulari fino ai limiti delle cartilagini articolari, si estende alla borsa sovrapatellare e ai lati della patella, delimitando anche altri recessi della cavità articolare situati dietro a ciascun condilo femorale. È ricca di frange villose soprattutto in vicinanza dell'interlinea articolare.

## La postura a riposo degli arti superiori



**Figura IV. 4** Ossa, articolazioni e legamenti del ginocchio

I punti di riferimento per l'individuazione dei movimenti articolari del ginocchio (Cynthia, 2009; AAOS, 1965) sono l'epicondilo laterale femorale per la vista laterale e la testa del perone per quella superiore.



**Figura IV. 5** Punti di riferimento anatomici nella vista laterale del ginocchio

### IV.2.5 Individuazione punti di riferimento: la caviglia

La caviglia è l'articolazione sinoviale del corpo umano, situata tra gamba e piede, esattamente nel punto d'incontro di tre ossa: tibia, perone e talo.

La tibia e il perone sono le due ossa che costituiscono la gamba; il talo, invece, è una delle sette ossa che formano il gruppo tarsale del piede.

Gli anatomisti suddividono le ossa del piede in 3 gruppi: le ossa tarsali (o del gruppo tarsale), le ossa metatarsali (o del gruppo metatarsale) e le falangi. Nel loro insieme, le ossa tarsali sono 7 e compongono una struttura chiamata

#### Chapter IV

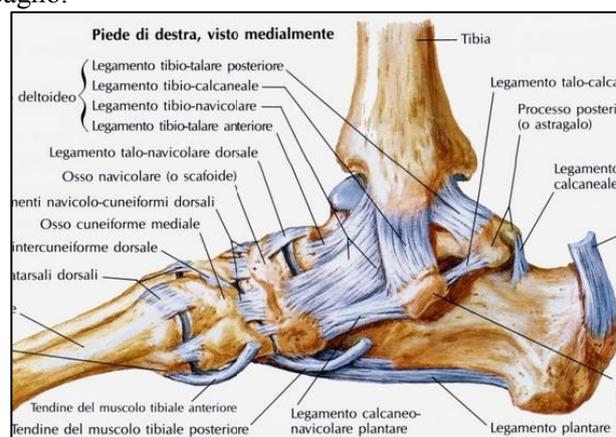
tarso. Sono classificate come ossa larghe. Da una parte, sono collegate con la tibia e il perone; dall'altra, con le ossa metatarsali. Le ossa metatarsali sono 5, disposte parallelamente l'una all'altra. Sono ossa lunghe, alla cui estremità si articolano le falangi. Infine, le falangi sono 14 e formano le dita dei piedi. Tranne l'alluce che è costituito da 2 falangi, tutte le altre dita dei piedi ne possiedono 3 per ciascuno. L'articolazione della caviglia connette le estremità distali della tibia e del perone con l'estremità prossimale del talo:

- tenute insieme dai **legamenti tibio-fibulari inferiori** (anteriore e posteriore), le estremità di tibia e perone formano, sul margine inferiore, uno zoccolo concavo, chiamato mortaio e ricoperto di cartilagine.
- Il talo s'inserisce all'interno del mortaio con una sua regione, che prende il nome di corpo. Il corpo del talo ha forma conica; infatti, è largo sul davanti (anteriormente) e stretto di dietro (posteriormente).

A stabilizzare questo accomodamento osseo, sono una serie di legamenti e i due malleoli, il tibiale e il peroneale. Il malleolo tibiale e il malleolo peroneale sono due processi ossei, situati, rispettivamente, sul margine mediale della tibia e sul margine laterale del perone. Non è un caso che il malleolo tibiale prenda anche il nome di malleolo mediale, mentre il malleolo peroneale assume anche la seconda dicitura di malleolo laterale.

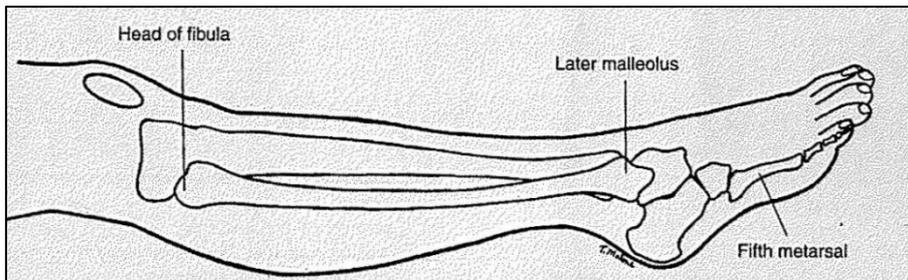
A tenere insieme le estremità ossee costituenti la caviglia, sono due gruppi di legamenti:

- I **legamenti mediali o deltoidei**. I legamenti mediali sono quattro elementi separati che uniscono il malleolo tibiale/mediale al talo in due punti al calcagno e all'osso navicolare
- I **legamenti laterali**. I legamenti laterali sono tre elementi separati, che uniscono il malleolo peroneale/laterale al talo in due punti e al calcagno.



**Figura IV. 6** Ossa, articolazioni e legamenti della caviglia

Il punto di riferimento per l'individuazione dei movimenti articolari della caviglia (Cynthia, 2009; AAOS, 1965) è il malleolo laterale per la vista laterale.



**Figura IV. 7** Punti di riferimento anatomici nella vista laterale dell'anca

#### **IV.2.6 Procedura di elaborazione delle immagini**

Di seguito si descrivono le linee guida da seguire per misurare i ROM articolari mediante metodo ottico. I riferimenti presi per ricavare le misure possono essere impiegati sia per l'elaborazione fotografica, sia per una stima visiva direttamente sui soggetti mentre svolgono le azioni oggetto dell'analisi.

L'articolazione dell'anca, che evidenzia i ROM della coscia, nei suoi tre ROM articolari può essere agevolmente misurata chiedendo al soggetto di effettuare dei semplici movimenti per i vari gradi di libertà nelle situazioni:

- soggetto seduto nella posizione da esso ritenuta più confortevole con l'altezza della sedia scelta dallo stesso;
- soggetto seduto nella posizione da esso ritenuta più confortevole con l'altezza della sedia massima;
- soggetto seduto nella posizione da esso ritenuta più confortevole con l'altezza della sedia minima;
- soggetto in piedi con la rotazione interna più confortevole;
- soggetto in piedi con la rotazione esterna più confortevole;

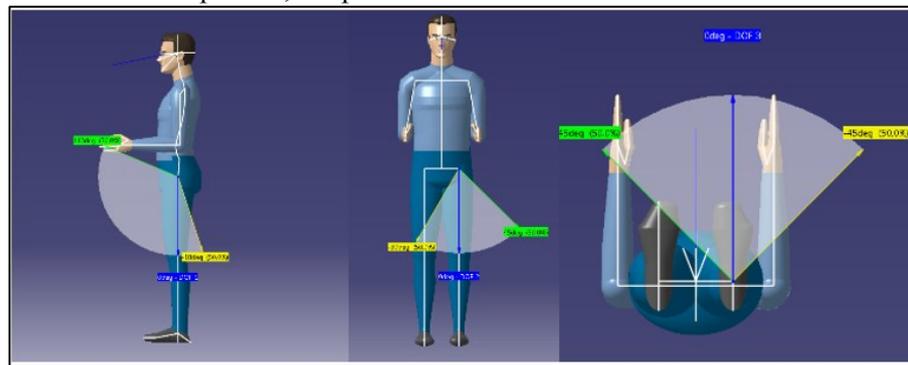
Il motivo di tali posture è legato al fatto di voler ottenere più dati per ciascuna articolazione ed essendo la coscia vincolata alla seduta, si sono ottenuti così range articolari più ampi.

Le misure si possono estrapolare a posteriori come segue:

- Flessione: misurata come l'angolo compreso tra due segmenti; il primo lungo l'asse del femore e il secondo in direzione verticale prendendo come punto di riferimento il grande trocantere, nel piano sagittale.
- Add/Abduzione: misurata come angolo compreso tra due segmenti; il primo lungo l'asse del femore, il secondo in direzione verticale prendendo come punto di riferimento la parte anteriore dell'osso iliaco superiore, nel piano frontale.

## Chapter IV

- Rotazione: misurata come l'angolo compreso tra due segmenti; il primo lungo l'asse del femore e il secondo in direzione orizzontale prendendo come punto di riferimento la parte anteriore dell'osso iliaco superiore, nel piano trasversale.



**Figura IV. 8** Anca: gradi di libertà

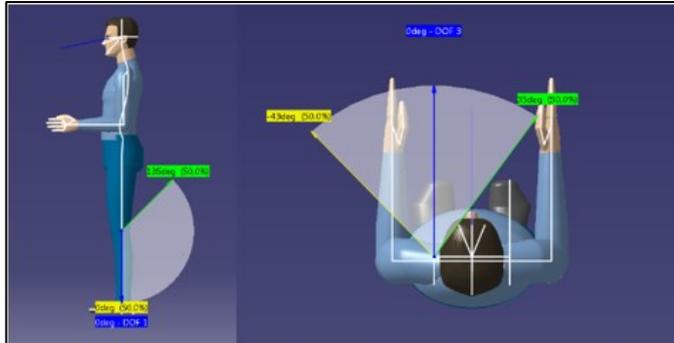
L'articolazione del **ginocchio**, che evidenzia i ROM della gamba, nei suoi ROM articolari può essere agevolmente misurata chiedendo al soggetto di effettuare dei semplici movimenti per i vari gradi di libertà. Le misure possono essere estrapolate a posteriori come segue nelle situazioni:

- soggetto seduto nella posizione da esso ritenuta più confortevole con l'altezza della sedia scelta dallo stesso;
- soggetto seduto nella posizione da esso ritenuta più confortevole con l'altezza della sedia massima;
- soggetto seduto nella posizione da esso ritenuta più confortevole con l'altezza della sedia minima;
- soggetto seduto con la rotazione interna più confortevole;
- soggetto seduto con la rotazione esterna più confortevole;

Le misure si possono estrapolare a posteriori come segue:

- Flessione/estensione: misurata come l'angolo compreso tra due segmenti; il primo lungo l'asse del perone e il secondo in direzione verticale prendendo come punto di riferimento l'epicondilo del femore, nel piano sagittale.
- Rotazione: misurata come l'angolo compreso tra due segmenti; il primo lungo l'asse della tibia e il secondo in direzione orizzontale prendendo come punto di riferimento la testa del femore, nel piano trasversale.

## La postura a riposo degli arti superiori



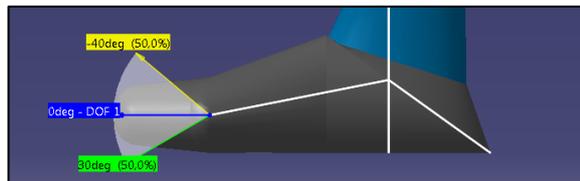
**Figura IV. 9** Ginocchio: gradi di libertà

L'articolazione della **caviglia**, che evidenzia i ROM del piede, nei suoi ROM articolari può essere agevolmente misurata chiedendo al soggetto di effettuare dei semplici movimenti per i vari gradi di libertà nelle situazioni:

- soggetto sdraiato supino con caviglia alla flessione dorsale più confortevole;
- soggetto sdraiato supino con caviglia alla flessione plantare più confortevole;

Le misure possono essere estrapolate a posteriori come segue:

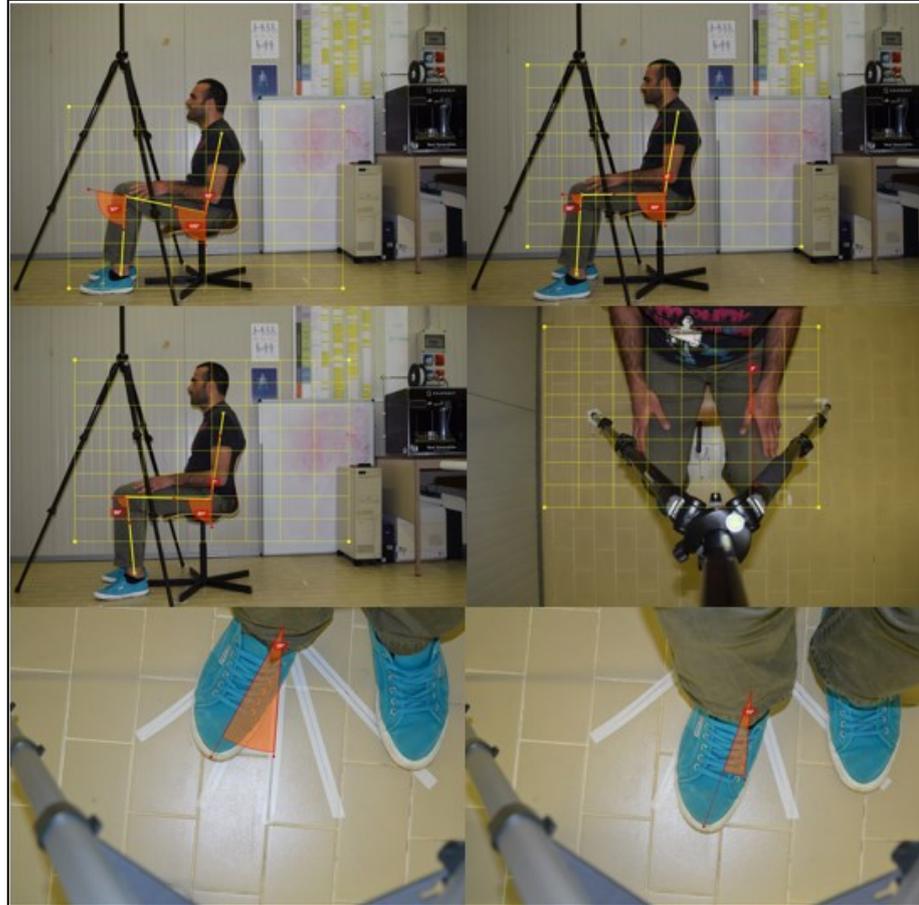
- Flessione Dorsale/Plantare: misurata come l'angolo compreso tra due segmenti; il primo lungo l'asse della pianta del piede e il secondo in direzione verticale prendendo come punto di riferimento il malleolo laterale, nel piano sagittale.



**Figura IV. 10** Caviglia: gradi di libertà

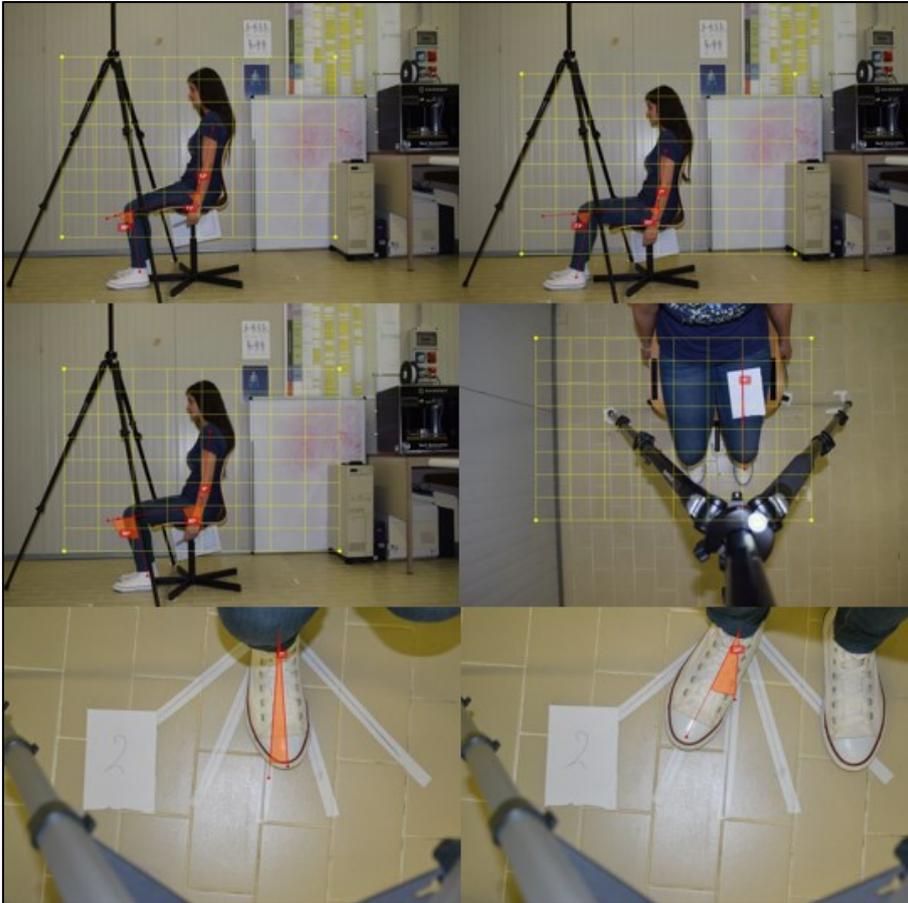
Chapter IV

Di seguito si riportano due esempi di fotografia elaborata: uomo e donna.



**Figura IV. 11** Immagine elaborata: soggetto maschile

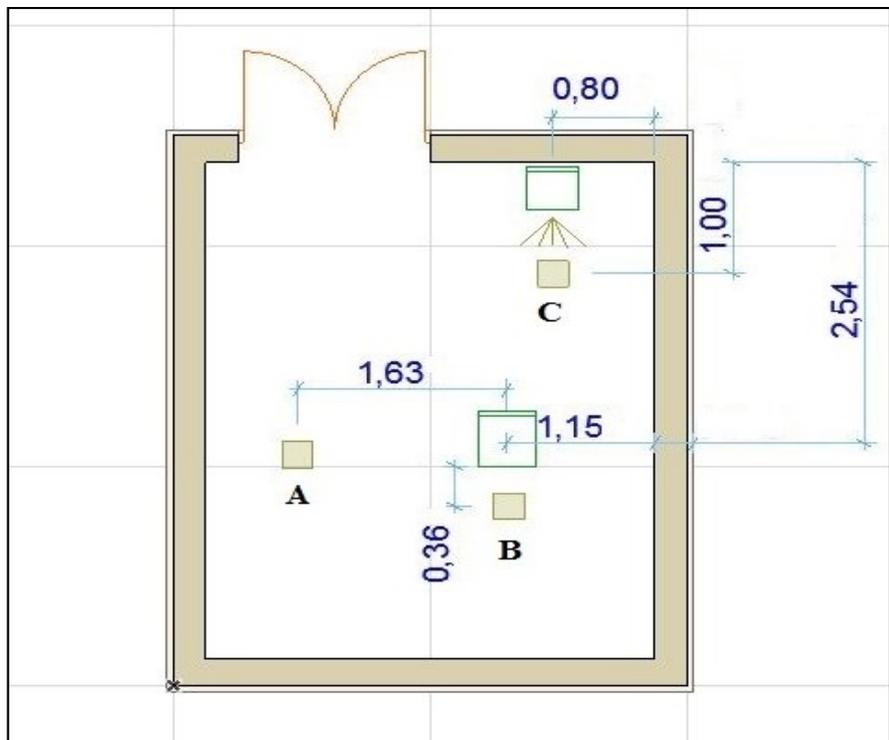
### La postura a riposo degli arti superiori



**Figura IV. 12** *Immagine elaborata: soggetto femminile*

#### **IV.2.7 Layout setup sperimentale**

In questo paragrafo vengono riportate le informazioni salienti circa l'ambiente di acquisizione ed elaborazione delle immagini.



**Figura IV. 13** *Layout ambiente di lavoro*

Come è possibile vedere dalla Figura IV.13 sono state utilizzate 3 fotocamere digitali:

- la fotocamera A è distante 163 cm dalla sedia, è stata utilizzata per poter acquisire i range angolari nel piano sagittale, nello specifico sono stati acquisiti la flessione dell'anca e la flessione/ estensione del ginocchio;
- la fotocamera B è distante 36 cm dalla sedia, è stata utilizzata per poter acquisire i range angolari nel piano trasversale, nel caso specifico l'abd/adduzione dell'anca;
- la fotocamera C è distante 100 cm dalla parete, non viene riportata la distanza con la sedia perché quest'ultima non è fissa, veniva inserita e rimossa in funzione del tipo di acquisizione da rilevare, in ogni caso era sempre a ridosso della parete. La fotocamera è stata utilizzata per poter acquisire i range angolari nel piano trasversale, nel caso specifico la rotazione dell'anca e del ginocchio.

Il metodo utilizzato per l'acquisizione delle rotazioni, non è quello presente nei testi di riferimento per l'analisi dei ROM, essendo quelle procedure

#### La postura a riposo degli arti superiori

invasive, necessitando del contatto umano, e non essendo rilevabili fotograficamente. Il metodo utilizzato consiste in un sistema di riferimento radiale sul pavimento, dove a ciascun raggio corrisponde un angolo noto. Per la rotazione dell'anca il soggetto punta il tallone nell'origine del sistema di rotazione ed effettua il movimento, in modo tale da poter individuare il range articolare tramite l'elaborazione della foto. Lo stesso strumento è stato utilizzato per la rotazione del ginocchio, con l'unica differenza che l'acquisizione non è fatta in piedi, ma da seduti in modo tale da vincolare la coscia, per poter analizzare il ginocchio in maniera isolata.



**Figura IV. 14** *Ambiente acquisizione dati*

Nella Figura IV.15 è possibile vedere il sistema che è stato utilizzato per poter acquisire i range articolari della caviglia.

Il soggetto poggia la pianta del piede sull'asta e in funzione della postura assunta è possibile leggere l'angolo direttamente sul goniometro. Lo strumento utilizzato è stato realizzato all'interno dell'Università degli Studi di Salerno stessa, risultando, così, uno strumento a costi molto bassi.



*Figura IV. 15* Ambiente acquisizione dati:caviglia



*Figura IV. 16* Esempio fotografico di acquisizione caviglia

#### **IV.2.8 Post-elaborazione: analisi statistica dei dati**

I dati acquisiti durante le varie prove sperimentali, divisi per sesso e grado di libertà esaminato, sono stati raccolti in classi, secondo le regole della statistica, da cui sono state desunte informazioni statistiche caratterizzanti il campione in esame.

Di seguito si riportano le tabelle con indicazione dei parametri campionari.

La postura a riposo degli arti superiori

**Tabella IV. 7** *Statistiche del campione maschile*

<b>Statistiche campione maschile</b>						
	Flessione anca	Abd/adduzione anca	Rotazione anca	Flessione/estensione ginocchio	Rotazione ginocchio	Flessione caviglia
Media	84,05	7,76	3,15	81,31	2,66	-10,01
Dev. St.	7,67	6,83	16,36	24,61	12,63	15,51
Valore max	100	26	48	119	28	10
Valore min	70	-8	-22	8	-19	-46
Numero classi	7	7	7	7	7	7
Range classi	4,28	4,86	10	15,86	6,71	8

**Tabella IV. 8** *Statistiche del campione femminile*

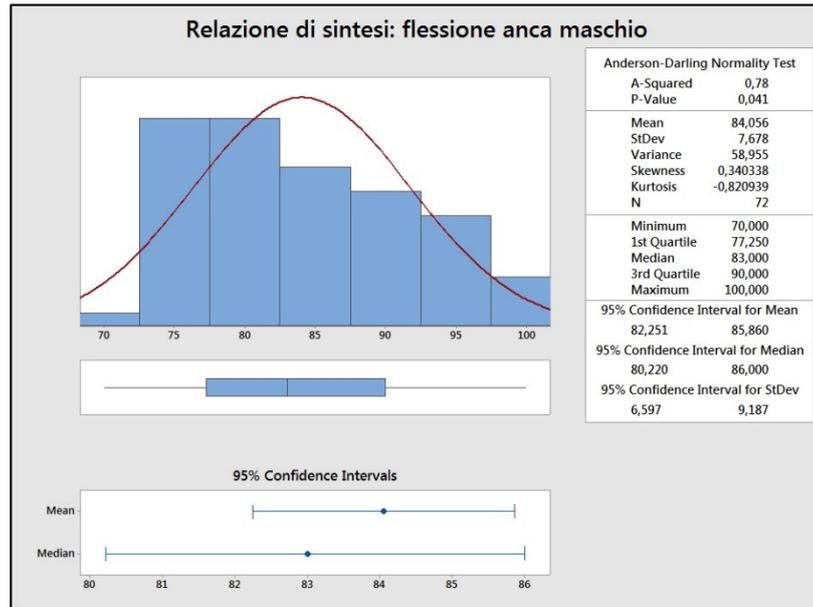
<b>Statistiche campione femminile</b>						
	Flessione anca	Abd/adduzione anca	Rotazione anca	Flessione/estensione ginocchio	Rotazione ginocchio	Flessione caviglia
Media						
Dev. St.	83,65	-0,07	2,97	81,22	2,22	-12,87
Valore max	7,78	2,60	15,10	14,05	12,34	17,17
Valore min	100	5	33	116	36	8
Numero classi	69	-7	-39	22	-27	-55
Range classi	7	7	7	7	7	7
Range classi	4,42	2	10,28	13,43	9	9

Di seguito si riportano le distribuzioni continue degli angoli di riposo (RP) delle popolazioni sulla base dei vari campioni esaminati, uno per ogni singola

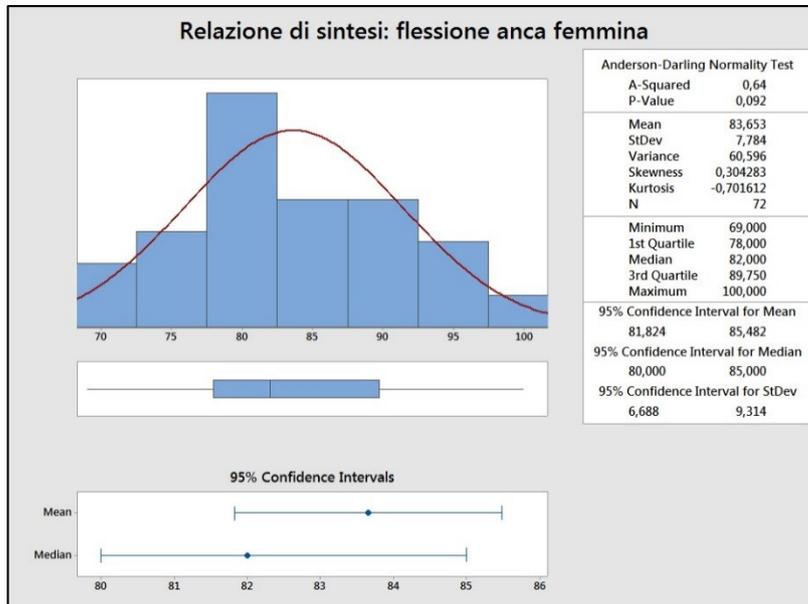
Chapter IV

articolazione e per sesso. Essi sono stati elaborati con minitab®, attraverso procedure di inferenza statistica, e per mezzo di carte di probabilità. Scelta la distribuzione opportuna, il RRP è definito come l'intervallo all'interno del quale è contenuto il II e III quartile dell'area.

**Flessione dell'anca**

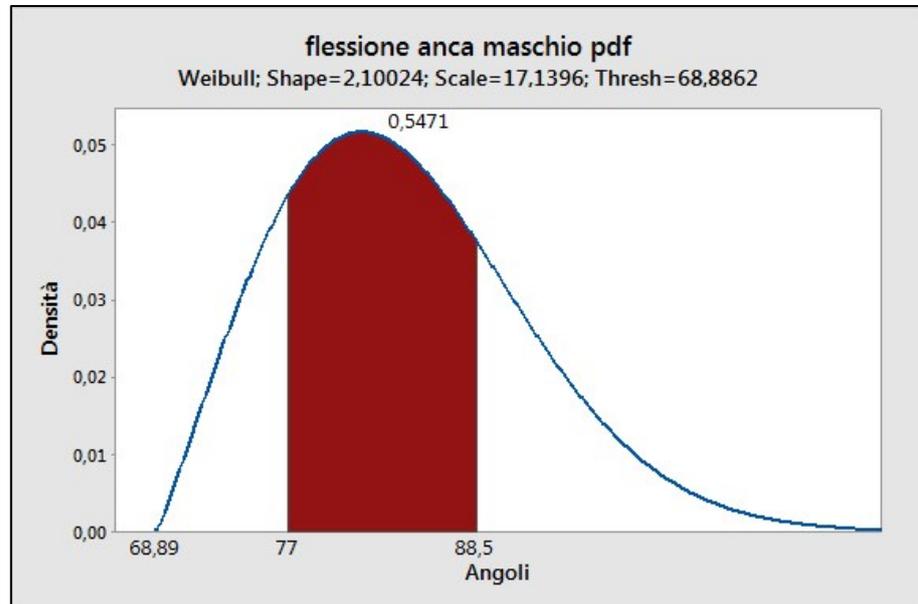


**Figura IV. 17** Distribuzione di densità: flessione anca soggetto maschile

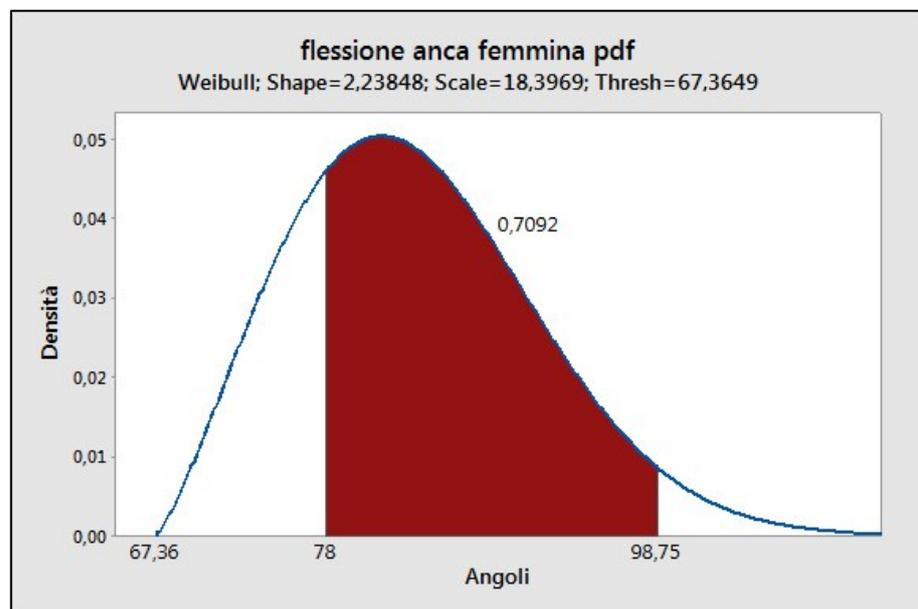


**Figura IV. 18** *Distribuzione di densità: flessione anca soggetto femminile*

Poiché i tester sono seduti non è possibile considerare l'estensione ma solo la flessione dell'anca. La distribuzione per la flessione dell'anca maschile (Figura IV.19) è una distribuzione di Weibull, il cui valore medio è di circa 83 °, un valore non vicino allo zero geometrico a causa della posizione seduta, ma è molto vicino a 90°, che è uno degli intervalli angolari sentiti come maggiormente confortevoli, soprattutto per la parte posteriore della coscia che è vincolata dal contatto con la seduta. La stessa distribuzione è stata usata per descrivere il caso femminile (Figura IV.20).

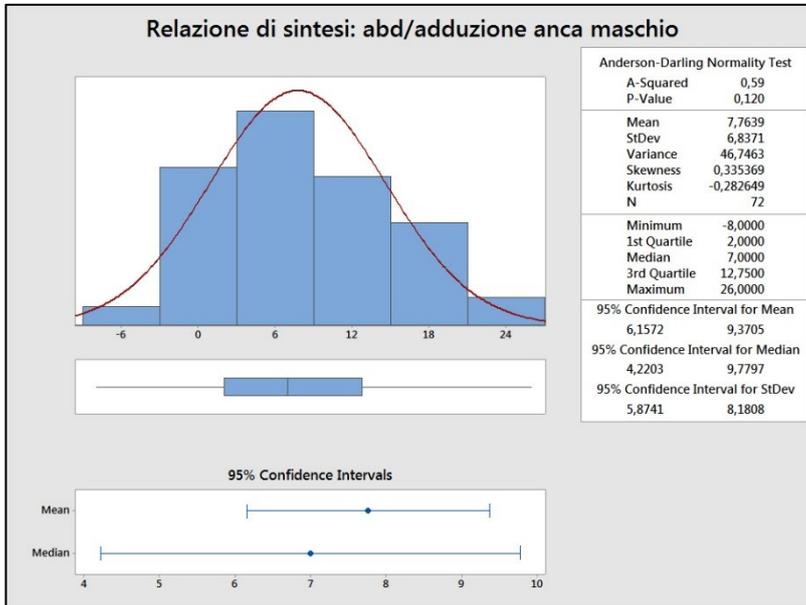


**Figura IV. 19** Funzione di distribuzione di probabilità: flessione anca soggetto maschile

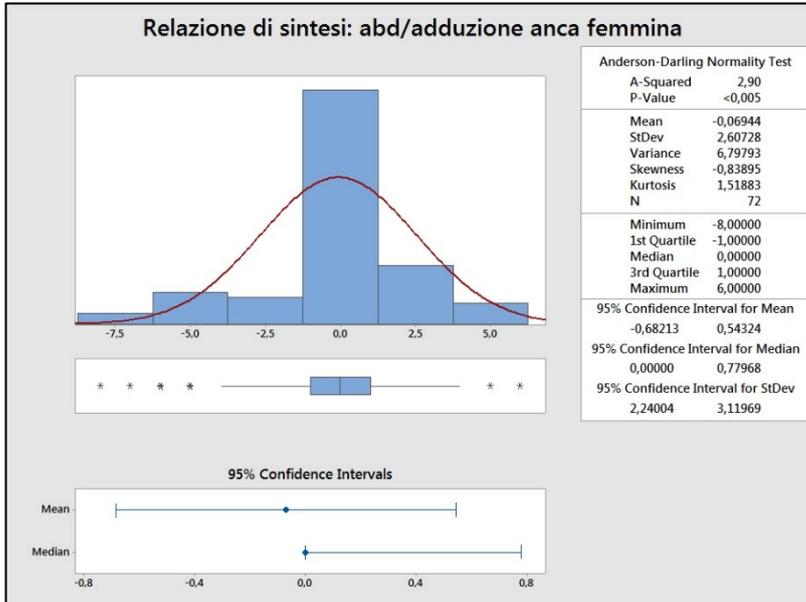


**Figura IV. 20** Funzione di distribuzione di probabilità: flessione anca soggetto femminile

**Abd/adduzione dell'anca**



**Figura IV. 21** Distribuzione di densità: abd/adduzione anca soggetto maschile

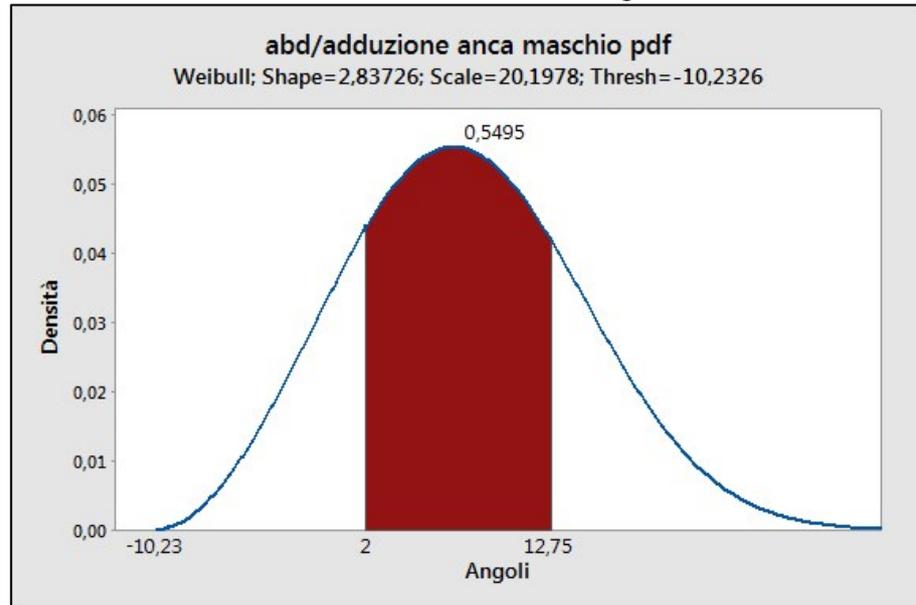


**Figura IV. 22** Distribuzione di densità: abd/adduzione anca soggetto femminile

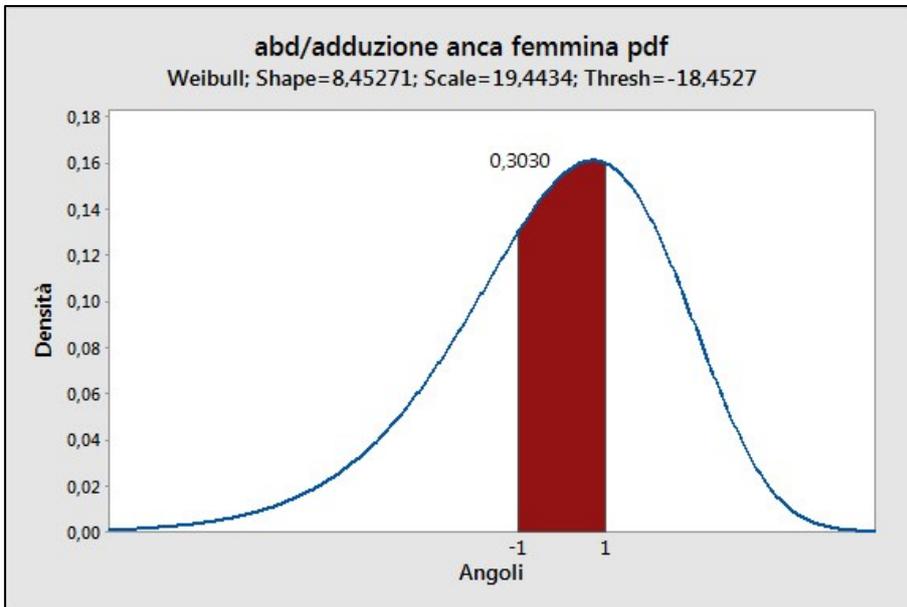
Chapter IV

Sia la funzione di distribuzione di probabilità maschile che quella femminile sono funzioni di tipo Weibull (Figura IV.23; Figura IV.24).

Nel caso maschile il valore medio è di circa  $7^\circ$  e la curva è quindi principalmente spostata verso destra, ossia tendente all'abduzione. Nel caso femminile, invece, la curva è centrato verso lo zero geometrico.

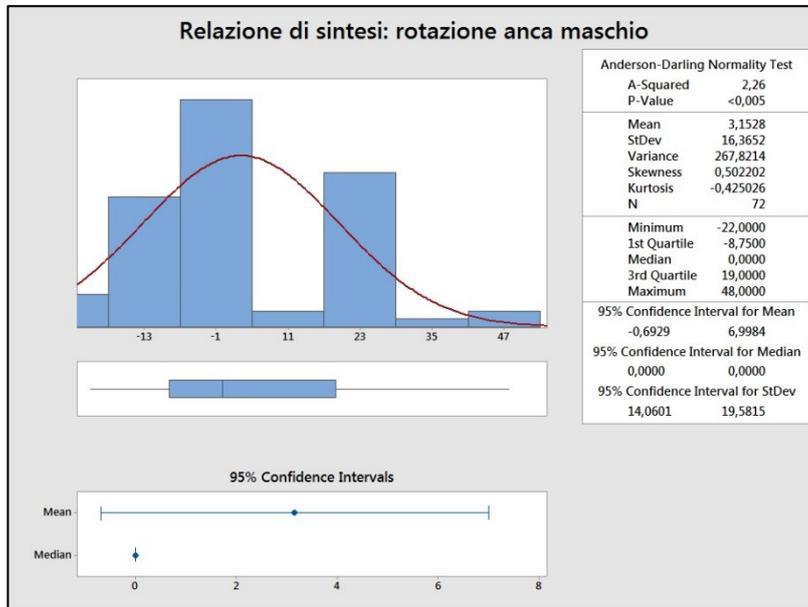


**Figura IV. 23** Funzione di distribuzione di probabilità: abd/adduzione anca soggetto maschile

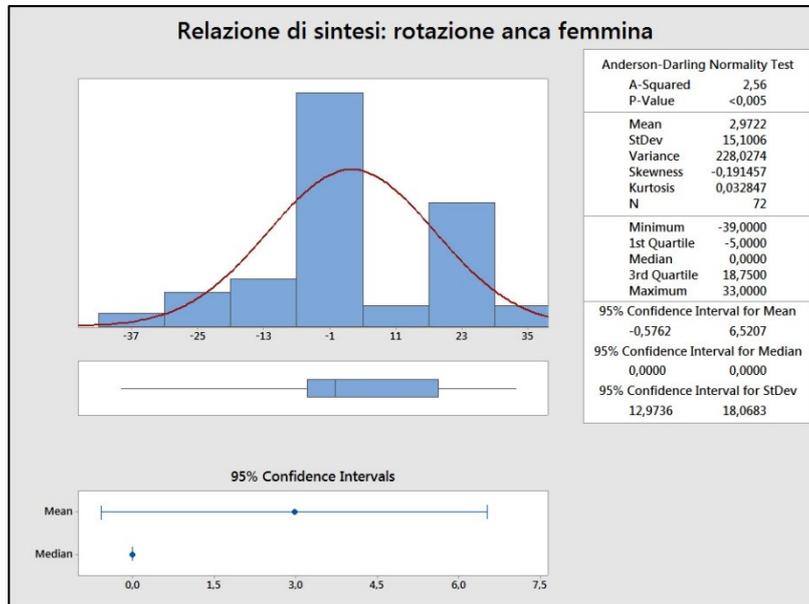


**Figura IV. 24** Funzione di distribuzione di probabilità: add/abduzione anca soggetto femminile

**Rotazione interna/esterna dell'anca**

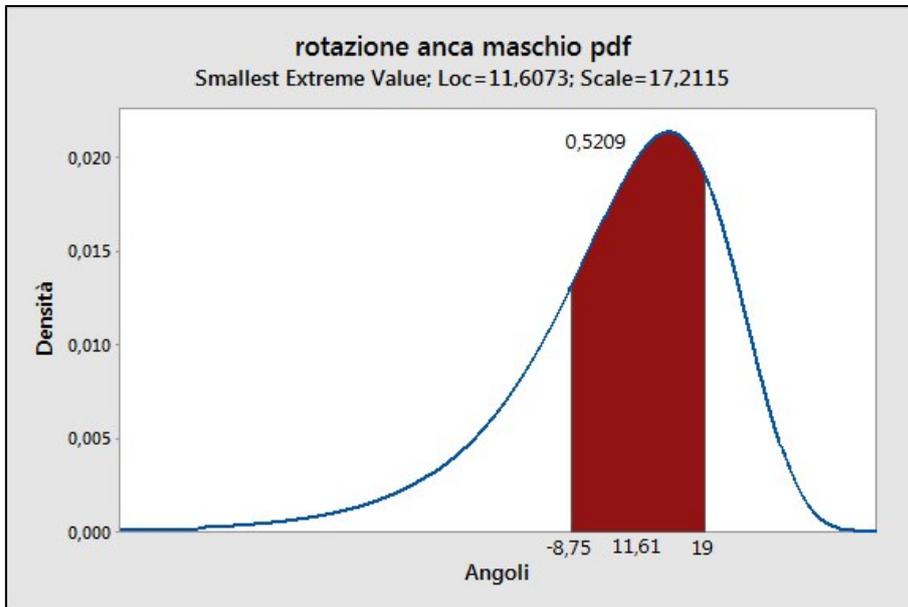


**Figura IV. 25** Distribuzione di densità: rotazione anca soggetto maschile

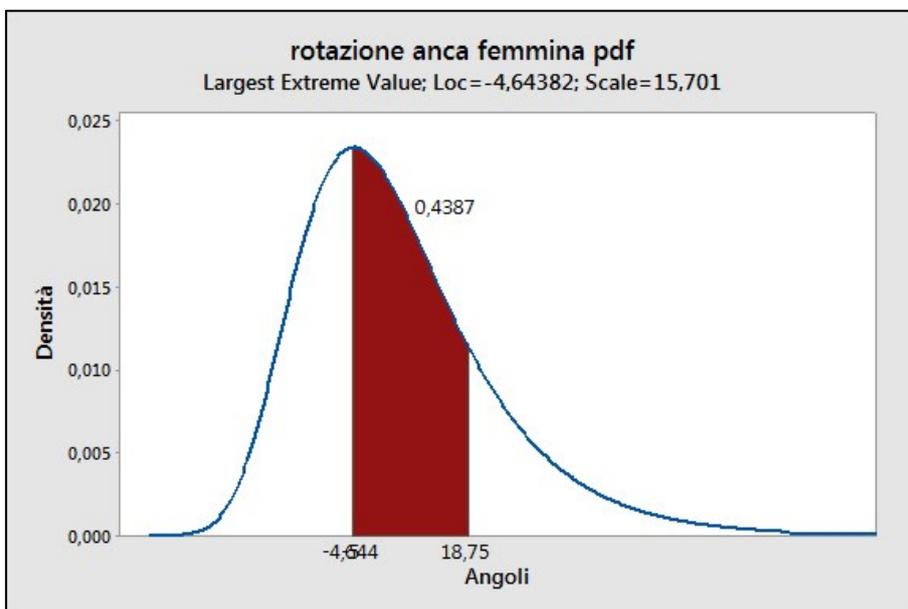


**Figura IV. 26** *Distribuzione di densità: rotazione anca soggetto femminile*

Le distribuzioni maschili e femminili, in questo caso, sono differenti: la distribuzione di rotazione dell'anca maschile è di tipo Smallest Extreme Value (Figura IV.27) e il valore medio è di circa 5°, con una curva tendente a destra, mostrando una preferenza per la rotazione esterna. La distribuzione di rotazione dell'anca femminile è di tipo Largest Extreme Value (Figura IV.28) e il valore medio è di circa 7°, però in questo caso, la curva è abbastanza simmetrica rispetto la media.

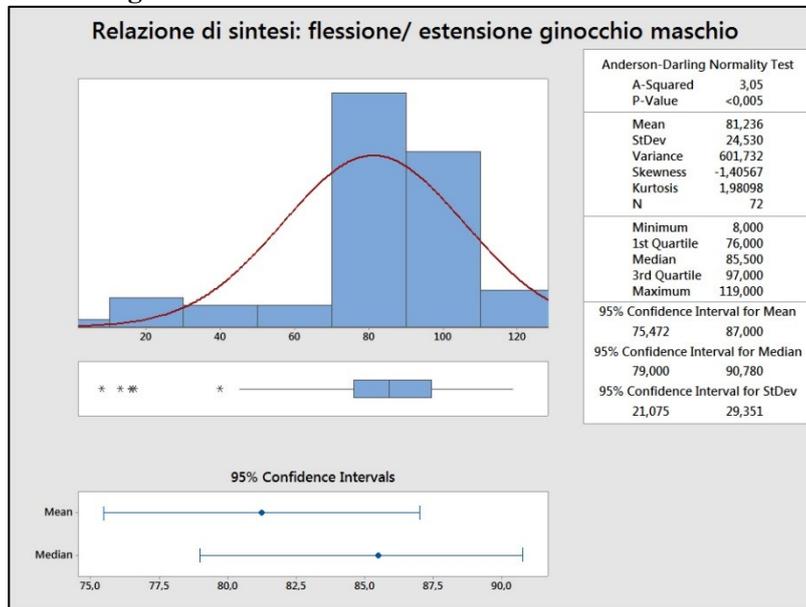


**Figura IV. 27** Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione anca soggetto maschile

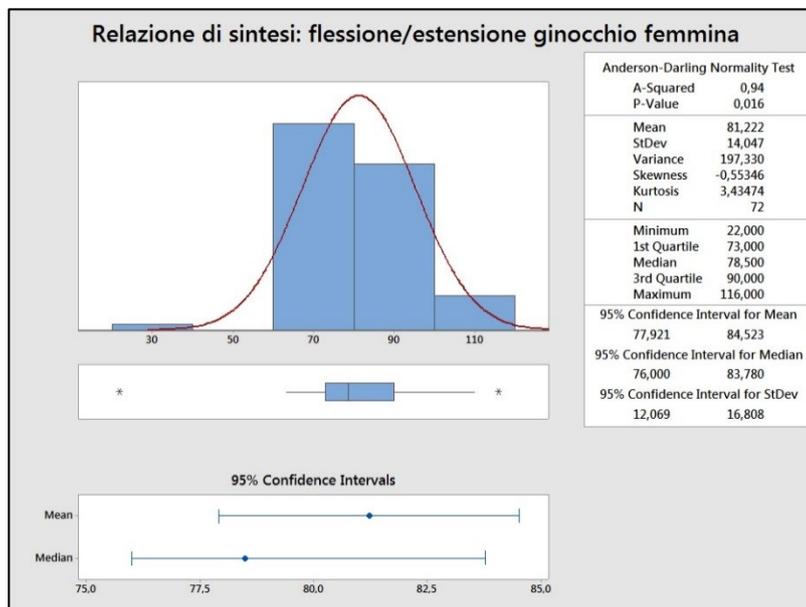


**Figura IV. 28** Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione anca soggetto femminile

**Flessione del ginocchio**



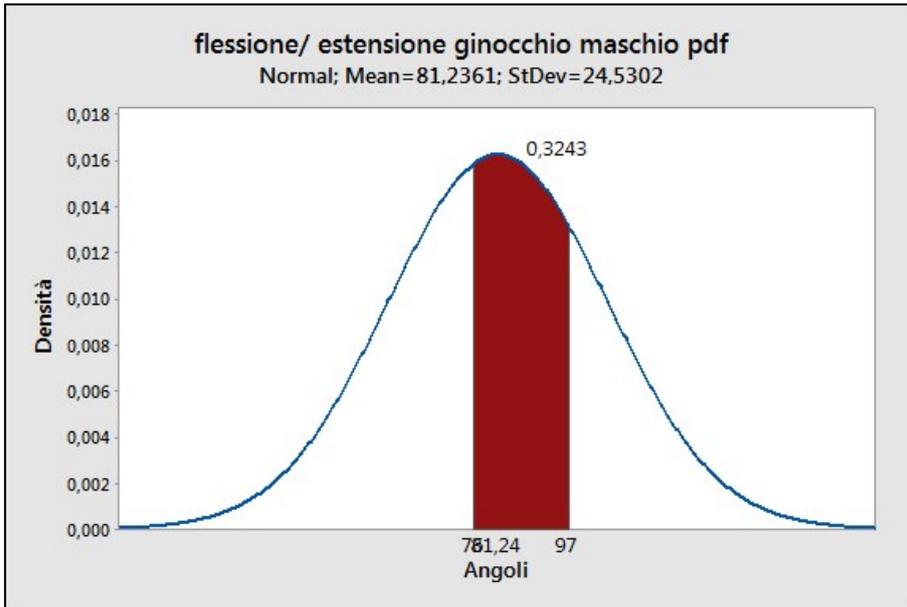
**Figura IV. 29** Distribuzione di densità: flessione/ estensione ginocchio soggetto maschile



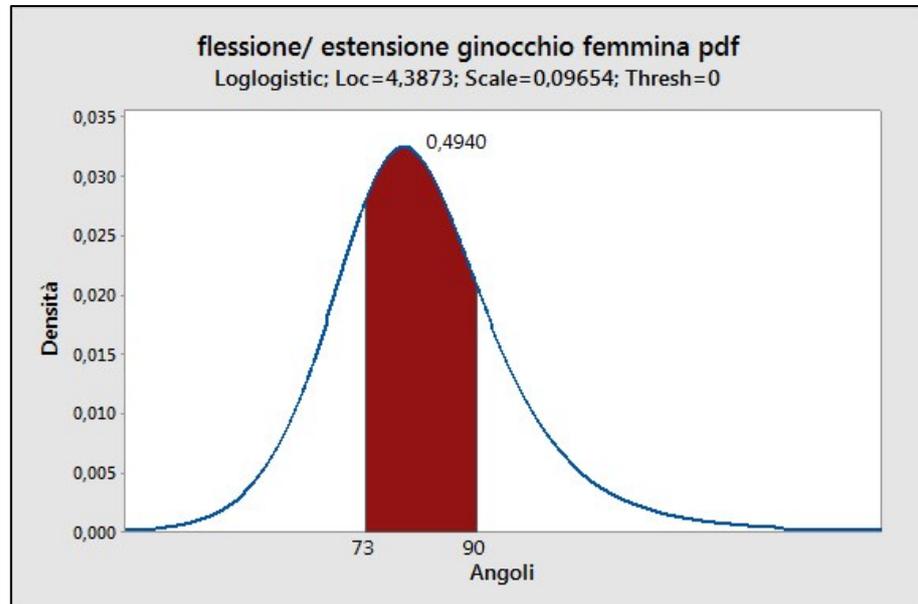
**Figura IV. 30** Distribuzione di densità: flessione/ estensione ginocchio soggetto femminile

### La postura a riposo degli arti superiori

La distribuzione maschile e femminile non è la stessa, infatti abbiamo una distribuzione normale (Figura IV.31) per il campione maschile e la Loglogistic (Figura IV.32) per quello femminile. In entrambi i casi, il valore medio è  $81^\circ$ , ma nella distribuzione Loglogistic la curva è allungata verso destra.

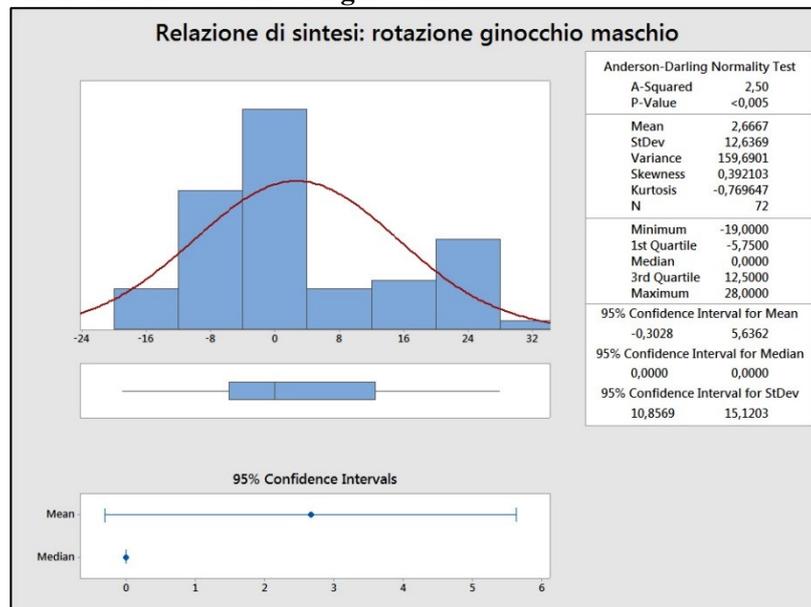


**Figura IV. 31** Funzione di distribuzione di probabilità: flessione/ estensione ginocchio soggetto maschile

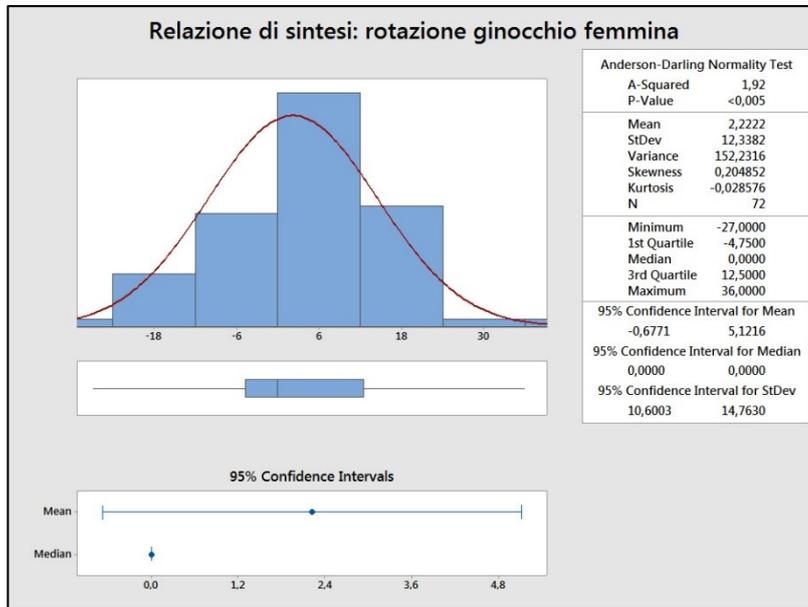


**Figura IV. 32** Funzione di distribuzione di probabilità: flessione/ estensione ginocchio soggetto femminile

**Rotazione interna/esterna del ginocchio**

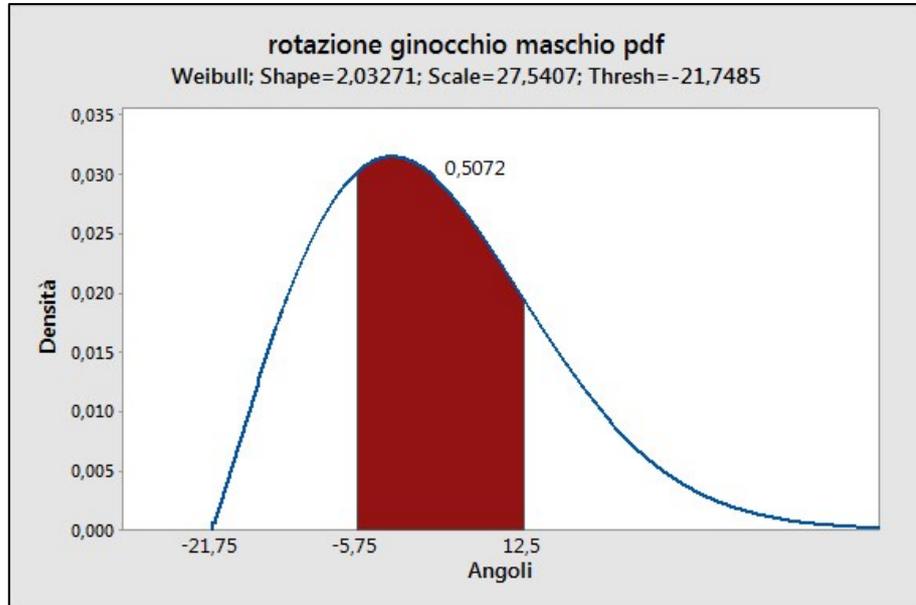


**Figura IV. 33** Distribuzione di densità: rotazione ginocchio soggetto maschile

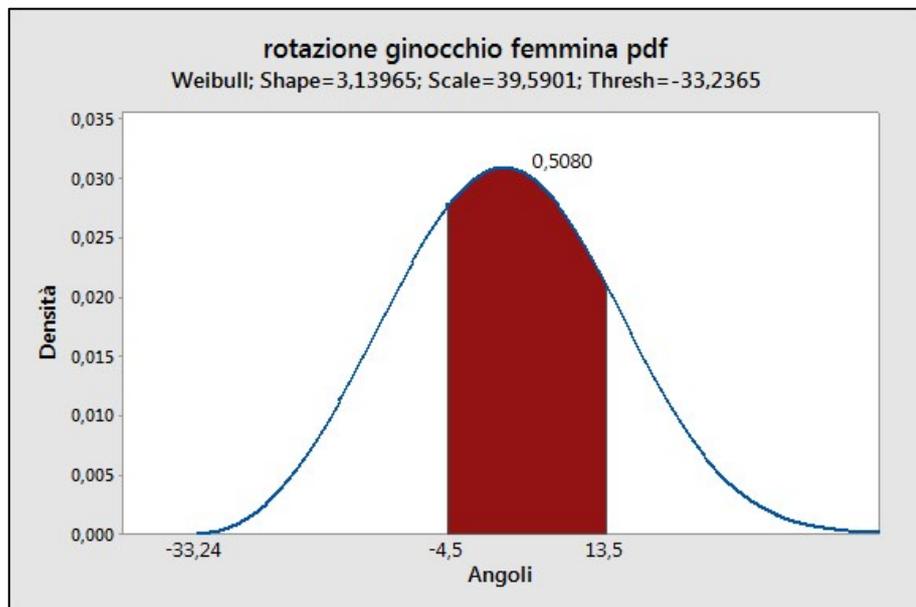


**Figura IV. 34** *Distribuzione di densità: rotazione ginocchio soggetto femminile*

La distribuzione per la rotazione maschile e femminile del ginocchio è una distribuzione di Weibull (Figura IV.35; Figura IV.36). Nel caso di sesso maschile, la curva non è simmetrica, ma si estende verso destra, mostrando una preferenza per la rotazione esterna. La distribuzione femmina, invece, è abbastanza simmetrica rispetto al valore medio, vicino allo zero geometrico.

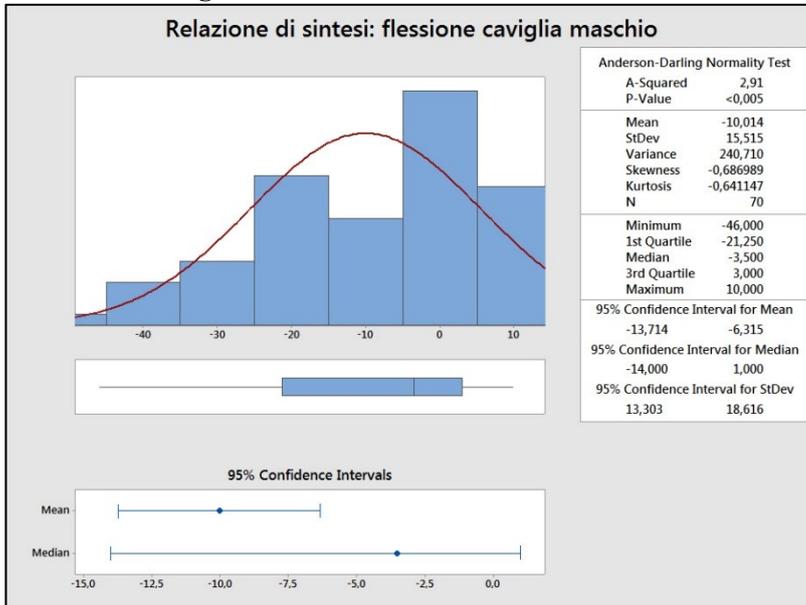


**Figura IV. 35** Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione ginocchio soggetto maschile

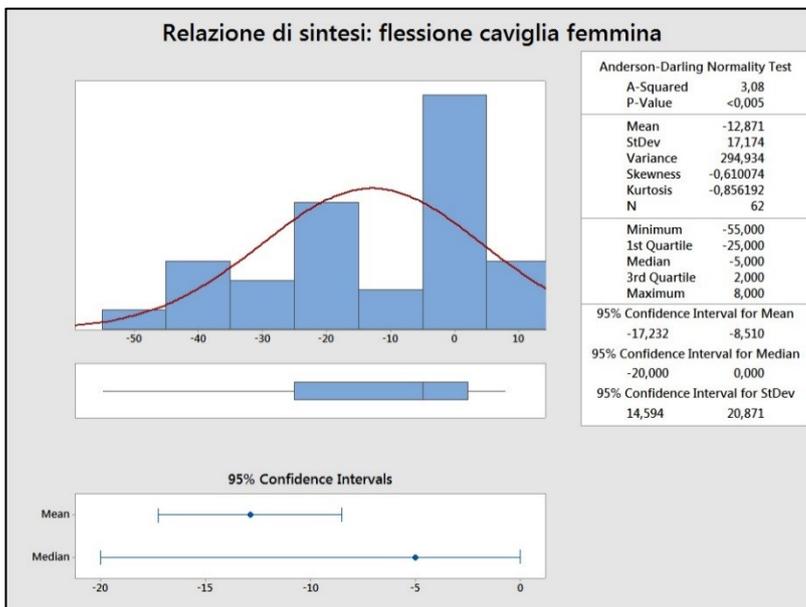


**Figura IV. 36** Funzione di distribuzione di probabilità: rotazione ginocchio soggetto femminile

**Flessione della caviglia**



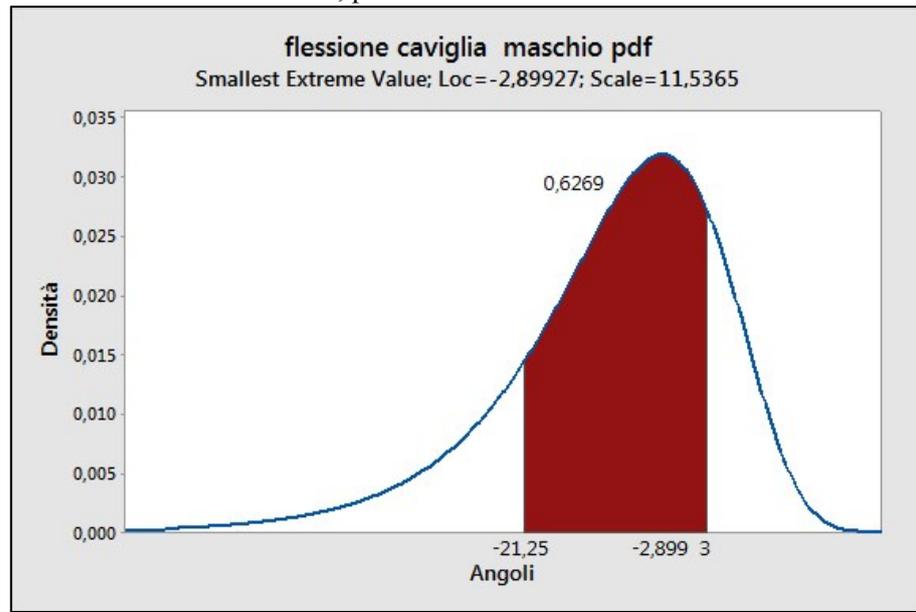
**Figura IV. 37** Distribuzione di densità: flessione dorsale-plantare della caviglia soggetto maschile



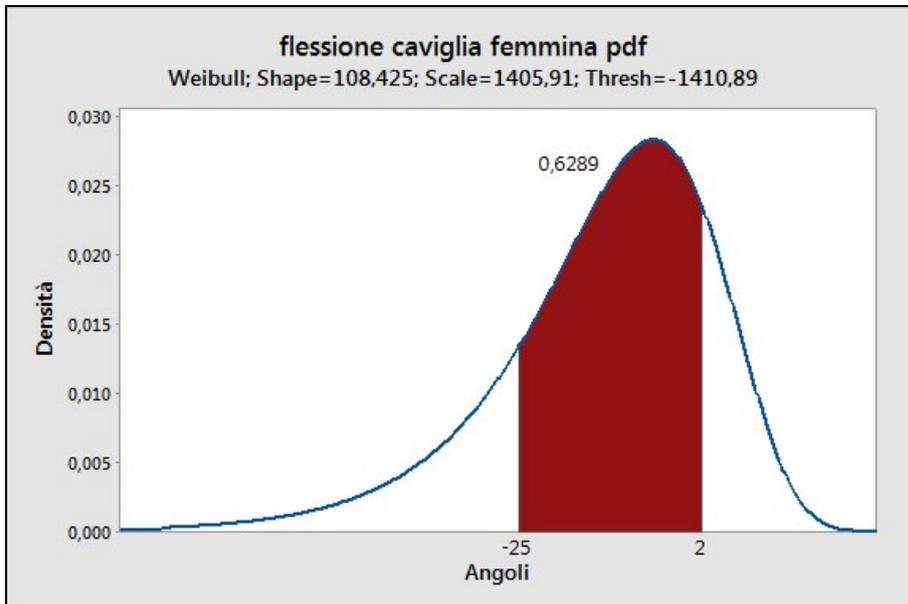
**Figura IV. 38** Distribuzione di densità: flessione dorsale-plantare della caviglia soggetto femminile

Chapter IV

La distribuzione maschile e femminile non è la stessa: abbiamo una distribuzione di tipo Smallest Extreme Value per il campione maschile e una distribuzione di tipo Weibull per quello femminile. In entrambi i casi, il valore medio è di flessione dorsale, perché la curva tende a sinistra.



**Figura IV. 39** Funzione di distribuzione di probabilità: flessione plantare-dorsale caviglia soggetto maschile



**Figura IV. 40** Funzione di distribuzione di probabilità: flessione plantare-dorsale caviglia soggetto femminile

#### IV.2.9 Tabelle riassuntive degli RRP

Dall'analisi statistica effettuata è possibile stabilire i valori di RRP. Si riportano in Tabella V.9 i valori sia per il campione maschile che per quello femminile. Sono riportati, inoltre, anche i valori globali, ossia prendendo il valore minimo tra gli estremi inferiori considerando il campione sia maschile che femminile e il valore massimo tra gli estremi superiori considerando sia il campione maschile che quello femminile.

**Tabella IV. 9** Range of Rest Positions

	Range Rest Position					
	Maschio		Femmina		Globale	
<b>Flex anca</b>	77,00	88,50	78,00	98,75	77,00	98,75
<b>Add/abd anca</b>	2,00	12,75	-1,00	1,00	-1,00	12,75
<b>Rot anca</b>	-8,75	19,00	-5,00	18,75	-8,75	19,00
<b>Flex/est ginocchio</b>	76,00	97,00	73,00	90,00	73,00	97,00
<b>Rot ginocchio</b>	-5,75	12,50	-4,50	13,50	-5,75	13,50
<b>Flex Dors /plant caviglia</b>	-21,25	3,00	-25,00	2,00	-25,00	3,00

Come è possibile notare dalla tabella per la maggior parte delle articolazioni i valori di RRP sono differenti nel caso maschile e femminile. La

#### Chapter IV

spiegazione di questa sostanziale differenza consiste nel fatto che la struttura ossea tra maschio e femmina è diversa (Svenningsen, 1989; AAOS, 1972). La parte che principalmente presenta tali differenze è quella del bacino, provocando, di conseguenza, variazioni anche nei movimenti articolari di tutti gli arti inferiori. Sono stati individuati, quindi, RRP per entrambi i campioni.

# **Capitolo V**

## **Il Comfort posturale degli arti inferiori**

### **V.1 Definizione dei punteggi di Comfort**

L'obiettivo di questa fase sperimentale è stato quello di assegnare un punteggio di comfort alle varie articolazioni, per gli intervalli angolari ottenuti per mezzo dell'assunzione di posture definite. Tale punteggio di comfort è stato attribuito su una scala da uno a dieci, dove uno è il comfort minimo e dieci quello massimo.

Si precisa che il modello di valutazione che si è sviluppato è orientato all'analisi degli arti inferiori del corpo. Le articolazioni coinvolte sono, pertanto:

- anca: flessione, abd/adduzione, rotazione interna-esterna;
- ginocchio: flessione/estensione, rotazione interna-esterna;
- caviglia: flessione dorso-plantare.

Segue una descrizione dei criteri e delle modalità di acquisizione dei punteggi di comfort.

### **V.2 Scelta del campione e delle posture**

Le attività sperimentali condotte hanno coinvolto un campione di 59 uomini e 55 donne con le seguenti caratteristiche:

- età compresa tra 18 e 34 anni;
- altezza compresa tra 150 e 186 cm;

## Chapter V

- assenza di patologie dell'apparato muscolo-scheletrico.

I soggetti selezionati sono stati preventivamente istruiti sulle finalità e sulle modalità delle prove che avrebbero condotto.

I soggetti sono stati chiamati ad assumere delle posture per poter individuare il punteggio di comfort per ciascuna articolazione, e per tutti i gradi di libertà analizzati. Ciascuna di queste ha impegnato il soggetto per una decina di secondi. Il tempo così stabilito garantisce che il giudizio di comfort espresso non sia condizionato dal tempo di mantenimento della posizione, escludendo dalla valutazione il fattore fatica. Segue una descrizione delle azioni sottoposte al campione analizzato.

Sulla base delle posture utilizzate per individuare i RRP sono state utilizzate le seguenti posture:

1. soggetto seduto con le gambe perpendicolari al pavimento alla massima altezza della sedia;
2. soggetto seduto con le gambe perpendicolari al pavimento alla minima altezza della sedia;
3. soggetto seduto con le gambe alla massima estensione alla massima altezza della sedia;
4. soggetto seduto con le gambe alla massima estensione alla minima altezza della sedia;
5. soggetto seduto con le gambe alla massima flessione alla massima altezza della sedia;
6. soggetto seduto con le gambe alla massima flessione alla minima altezza della sedia;
7. soggetto in piedi con la rotazione massima interna;
8. soggetto in piedi con la rotazione massima esterna;
9. soggetto in piedi con la rotazione intermedia interna;
10. soggetto in piedi con la rotazione intermedia esterna;
11. soggetto in piedi con la rotazione nello zero del sistema di riferimento;
12. soggetto seduto con la rotazione massima interna;
13. soggetto seduto con la rotazione massima esterna;
14. soggetto seduto con la rotazione intermedia interna;
15. soggetto seduto con la rotazione intermedia esterna;
16. soggetto seduto con la rotazione nello zero del sistema di riferimento;
17. soggetto sdraiato supino con la flessione dorsale massima;
18. soggetto sdraiato supino con la flessione plantare massima;
19. soggetto sdraiato supino con la flessione dorsale intermedia;
20. soggetto sdraiato supino con la flessione plantare intermedia;
21. soggetto sdraiato con la flessione nello zero geometrico.

Per le prime sei posture sono stati acquisiti dati sulla flessione e abd/adduzione dell'anca e sulla flessione/estensione del ginocchio.

Per le posture che vanno dal numero 7 al numero 16 sono stati acquisiti dati sulla rotazione interna-esterna dell'anca e del ginocchio.

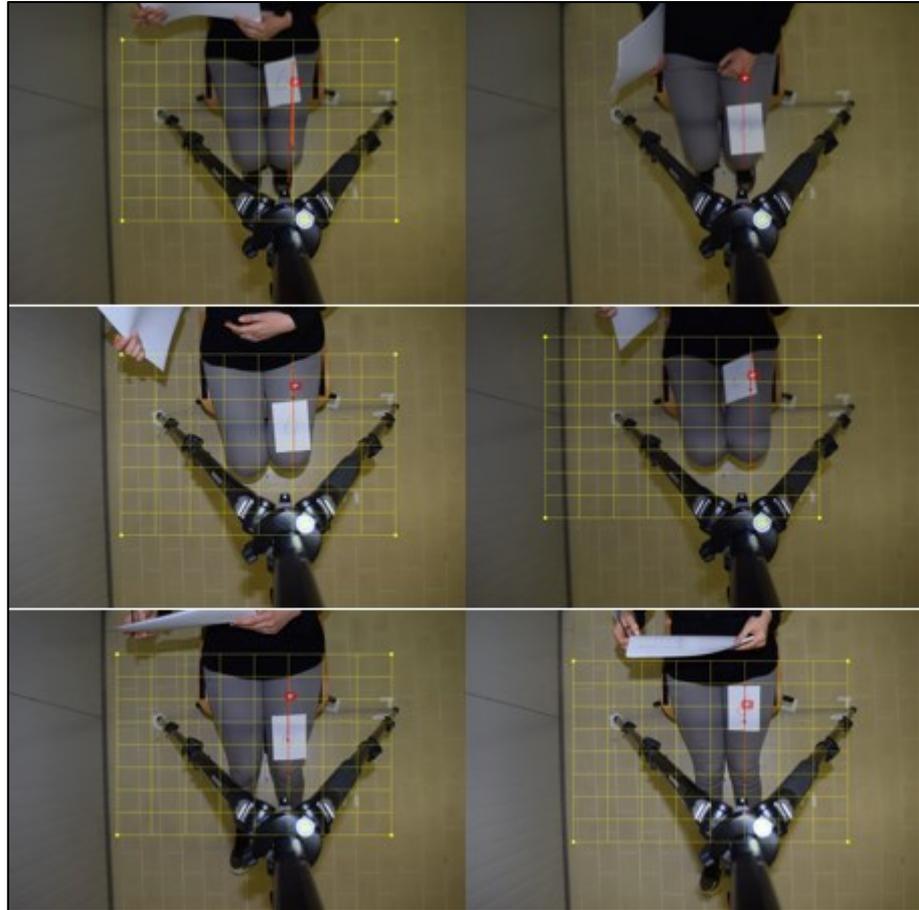
## Il Comfort posturale degli arti inferiori

Per le ultime cinque posture sono stati acquisiti dati sulla flessione dorsale-plantare della caviglia.

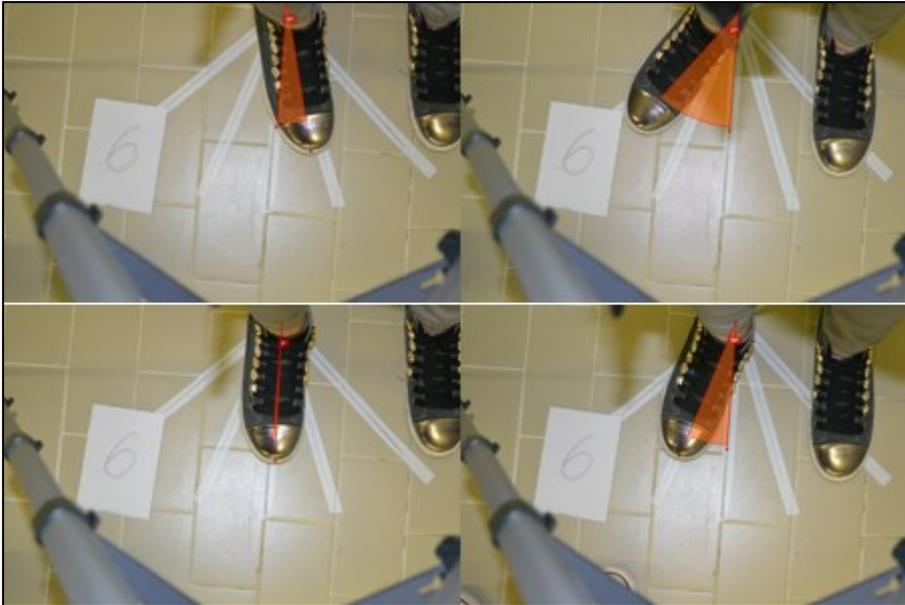
Di seguito sono riportati gli esempi fotografici di alcune delle posture. Non sono presenti quelle della caviglia, perché così come per gli RRP, l'acquisizione non è stata fotografica, ma è stata fatta grazie allo strumento realizzato da noi, basando la misura sul goniometro.



**Figura V. 1** Esempio acquisizioni angoli in posture alla massima e minima altezza (flessione anca; flessione/estensione ginocchio)



**Figura V. 2** Esempio acquisizioni angoli in posture alla massima e minima altezza (abd/adduzione anca)



**Figura V. 3** Esempio acquisizioni angoli soggetto in piedi (rotazione interna-esterna anca)

### V.3 Il questionario di comfort

In questo paragrafo verrà spiegato come è stato strutturato il questionario volto a raccogliere i giudizi di comfort che i singoli valutatori hanno espresso per ciascuna postura. Tali giudizi sono soggettivi poiché ciascun valutatore ha una diversa sensibilità in termini di percezione del comfort. In riferimento alla soggettività della valutazione sorgono due possibili inconvenienti che possono comportare una scarsa attendibilità della valutazione:

1. Un valutatore che trova abbastanza confortevole la configurazione di postura che testa potrebbe esprimere un voto di comfort più basso rispetto a chi la trova meno confortevole (e viceversa).
2. Uno stesso valutatore per una stessa configurazione può fornire in tempi diversi due valutazioni di comfort differenti.

Un giudizio della valutazione se espresso in parole è una “informazione” e non può essere trattato come “dato” per un’analisi quantitativa del comfort. Risulta importante attribuire in maniera coerente un valore numerico ad un giudizio espresso mediante parole. Questa associazione giudizio - voto (il primo espresso con parole, il secondo con un numero) tende a garantire che vi sia una maggiore omogeneità del livello di percezione di comfort all’interno della giuria, e quindi permetterebbe di ovviare efficacemente al primo inconveniente.

## Chapter V

Per verificare che non ci fossero problemi con il secondo problema, per ciascuna articolazione è stato chiesto di dare un giudizio di comfort globale, in modo tale da verificare che non ci fossero incongruenze.

Lo strumento di riferimento utilizzato convenzionalmente per la valutazione del comfort è la scala S.A.E. (Society of Automotive Engineers).

**Tabella V. 1** *Scala di valutazione S.A.E.*

SCALA NUMERICA		NON ACCETTABILE				ACCETTABILE					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SIGNIFICATO		Molto Scadente	Scadente	Povero	Mediocre	Limite di Accettabilità	Accettabilità	Discreto	Buono	Molto buono	Eccellente
ATTEGGIAMENTI SOGGETTIVI DEL CLIENTE A FRONTE DEL PARAMETRO DA VALUTARE	Percezione	ALTA			MODERATA			PICCOLA	MOLTO PICCOLA	NULLA	
	Rilevabilità	TUTTI I CLIENTI	CLIENTI MEDI			CLIENTI CRITICI			CLIENTI ESPERTI		
	Sensazione	Intollerabilità			Fastidio		Leggero fastidio	Piccolo disturbo		Nessun disturbo	Nessuna sensazione
	Relazione	RIFIUTA		PROTESTA			ACCETTA			NESSUNA	
AZIONI CORRETTIVE NECESSARIE		Intervento radicale e immediato		Intervento tempestivo e migliorativo			Da migliorare	Richiede attenzione		O.K.	

I giudizi e i voti proposti nel questionario sono stati calibrati in funzione di tale scala, in modo tale da poter trasformare un'informazione qualitativa in quantitativa, evitando di creare ambiguità e non chiarezza con i giudizi dei questionari.

Si riporta di seguito nella Tabella V.2 il questionario utilizzato per le prove realizzate sulla sedia alla massima e minima altezza e nella Tabella V.3 il questionario utilizzato per le rotazioni di anche e ginocchio e per la flessione della caviglia.

Il Comfort posturale degli arti inferiori

**Tabella V. 2** *Questionario per la valutazione del comfort per le posture alla massima e minima altezza*

		Si, tanto	Si, abbastanza	Si, poco	Si, ma decisamente poco	No, per nulla
<i>SEDIA ALLA MASSIMA /MINIMA ALTEZZA</i>						
<b>Gambe ortogona li paviment o</b>	flessione / estensione coscia  flessione gamba Abd/adduzion e coscia					
<b>Comfort generale Massima flessione</b>	flessione / estensione coscia flessione gamba abd/adduzione coscia					
<b>Comfort generale Massima estension e</b>	flessione / estensione coscia flessione gamba abd/adduzione coscia					
<b>Comfort generale</b>						

**Tabella V. 3** *Questionario per la valutazione del comfort per rotazione anca/ginocchio e flessione caviglia*

		Si, tanto	Si, abbastanza	Si, poco	Si, ma decisamente poco	No, per nulla
<b>Rotazione anca/ ginocchio</b>	zero geometrico					
	rotazione massima interna					
	rotazione intermedia interna					
	rotazione massima esterna					
	rotazione intermedia esterna					
<b>Comfort generale</b>						
<b>Flessione plantare/ dorsale caviglia</b>	zero geometrico					
	flessione dorsale massima					
	Flessione dorsale intermedia					
	flessione plantare massima					
	Flessione plantare intermedia					
<b>Comfort generale</b>						

Per trasformare le informazioni sul comfort ottenute da dati qualitativi a quantitativi sono stati utilizzati i seguenti criteri:

- “Sì, tanto” corrisponde alla sezione dei giudizi da 9 a 10;
- “sì, abbastanza” corrisponde alla sezione del giudizio 8;
- “sì, poco” corrisponde alla sezione del giudizio 7;
- “sì, ma decisamente poco” corrisponde alla sezione dei giudizi da 4 a 6;
- “no, per nulla” corrisponde alla sezione del giudizio da 1 a 3.

Per le sezioni con più valori numerici è stata effettuata una media, ottenendo come valori possibili di comfort: “2”, “5”, “7”, “8”, “9,5”.

#### V.4 Le curve di comfort

In questa fase del lavoro sono stati analizzati i range angoli associati ai punteggi di comfort che hanno fornito i questionari. Per poter ottenere le curve di comfort è stata utilizzata la regressione non parametrica (Bowman, 1997).

La statistica non parametrica è una parte della statistica in cui si assume che i modelli matematici non necessitano di ipotesi a priori sulle caratteristiche della popolazione, ovvero di un parametro, o comunque le ipotesi sono meno restrittive di quelle usate nella statistica parametrica. In particolare non si assume l'ipotesi che i dati provengano da una popolazione normale o gaussiana.

Questa tecnica utilizza in genere opportune funzioni smooth (lisce, regolari), dette smoother, e si basa sull'asserto che devono essere i dati a mostrare la forma funzionale più appropriata. In sostanza non si definisce a priori la funzione adatta a descrivere la relazione, utilizzando i dati solo per la determinazione dei parametri, bensì si adotta una metodologia che sfrutti le osservazioni per la definizione stessa della funzione da utilizzare.

Le curve di comfort sono state elaborate grazie all'utilizzo del software R-Project for Statistical Computing, ed è stato utilizzato il parametro di Smooth ottimale per la distribuzione dei dati di input.

Sono stati aggiunti alle informazioni descritte in precedenza, i seguenti dati:

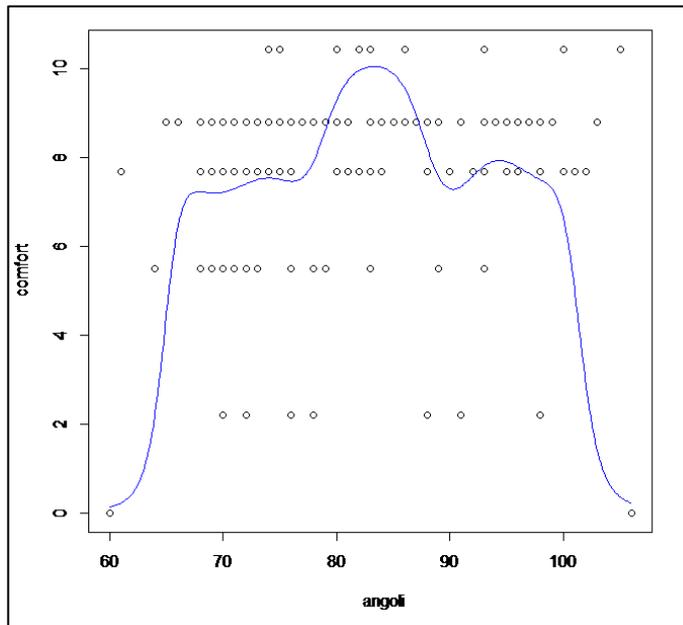
- un punteggio di comfort minimo per ciascun limite inferiore del ROM analizzato per ogni soggetto;
- un punteggio di comfort minimo per ciascun limite superiore del ROM analizzato per ogni soggetto;
- altrettanti punti di comfort massimo per l'RRP.

L'aggiunta di questi punti è servita a “forzare” l'andamento delle curve in modo tale da garantire fossero rispettate le condizioni precedentemente calcolate, ossia in modo che l'output rispettasse le condizioni di vincoli logici secondo le quali le curve di comfort presentano un massimo in corrispondenza degli RRP e siano decrescenti, con valore unitario in prossimità dei limiti del ROM.

Chapter V

Vengono fornite di seguito i grafici delle funzioni di densità e le curve di comfort per ciascuna articolazione ottenuta sia per il caso maschile che per quello femminile.

**Flessione dell'anca**



**Figura V. 4** Funzione di densità per la flessione anca maschio

Il Comfort posturale degli arti inferiori

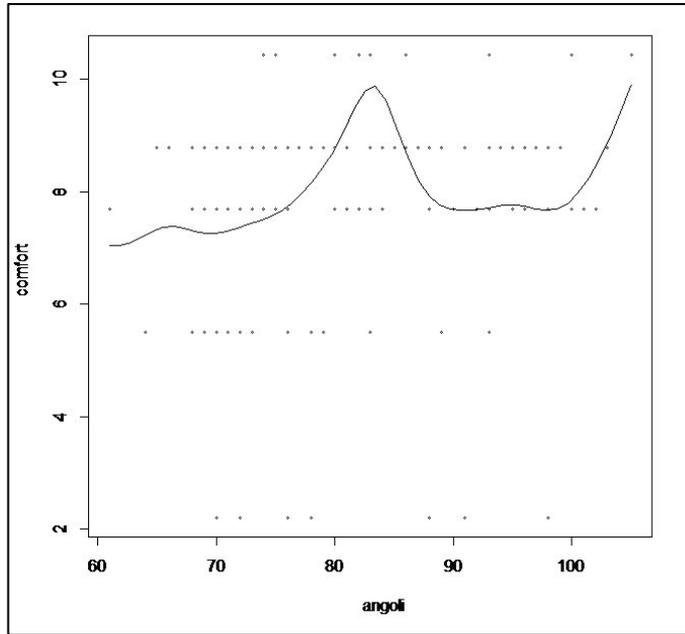


Figura V. 5 Curva di comfort per la flessione anca maschio

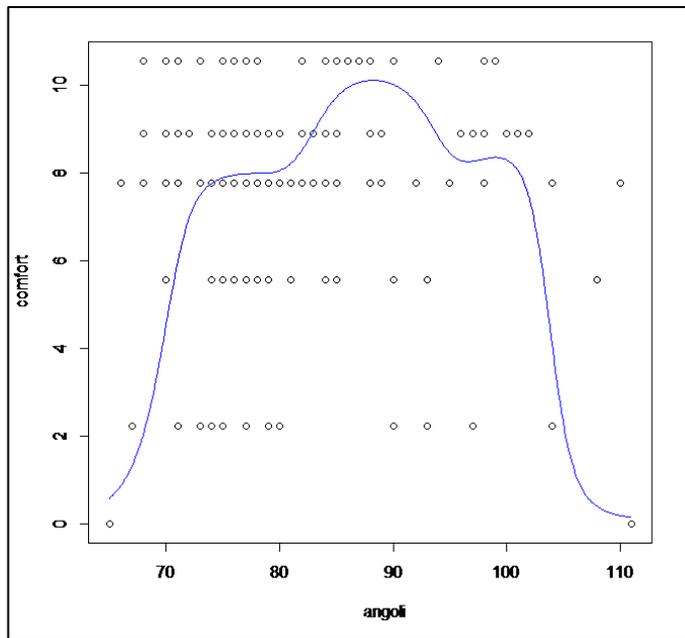
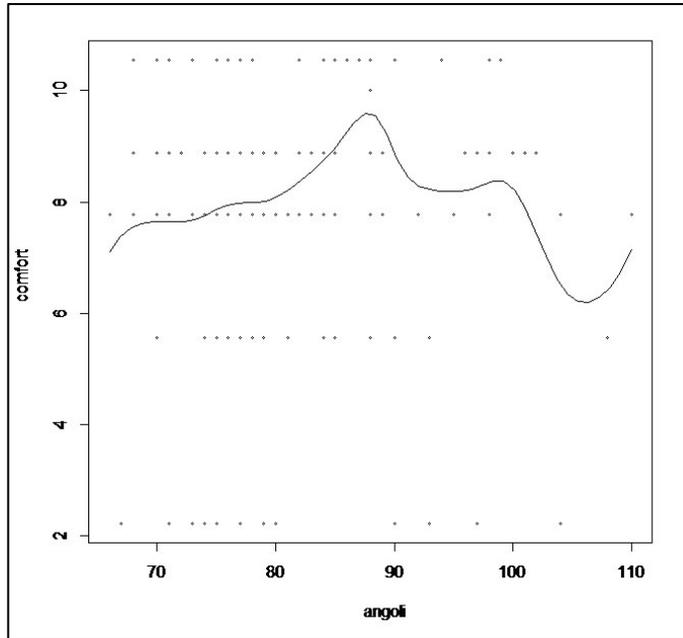
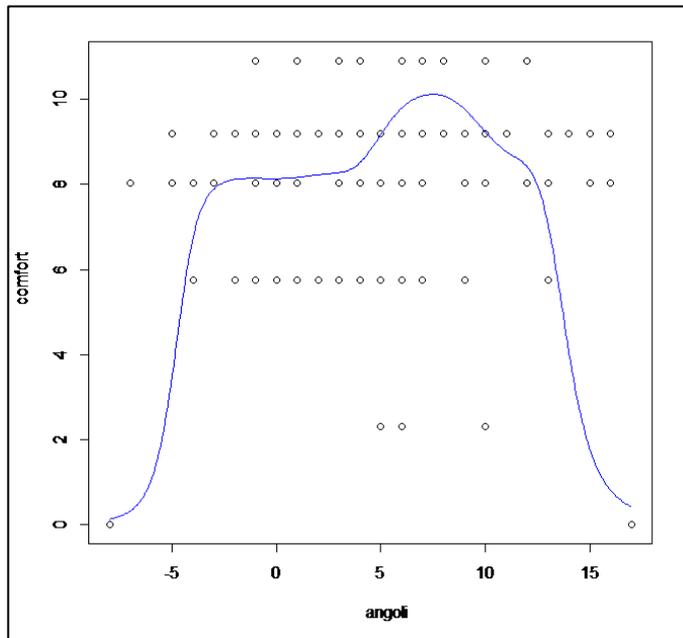


Figura V. 6 Funzione di densità per la flessione anca femmina



**Figura V. 7** *Curva di comfort per la flessione anca femmina*

**Abd/adduzione dell'anca**



**Figura V. 8** *Funzione di densità per l'abd/adduzione anca maschio*

Il Comfort posturale degli arti inferiori

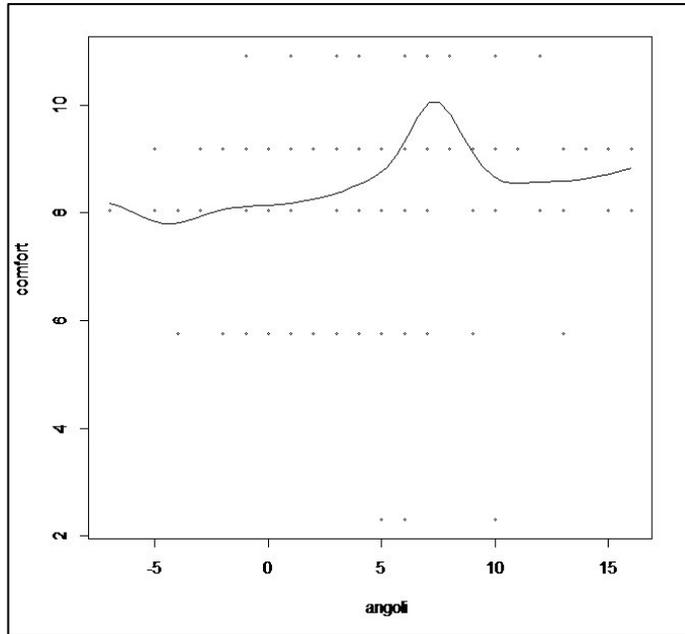


Figura V. 9 Curva di comfort per l'abd/adduzione anca maschio

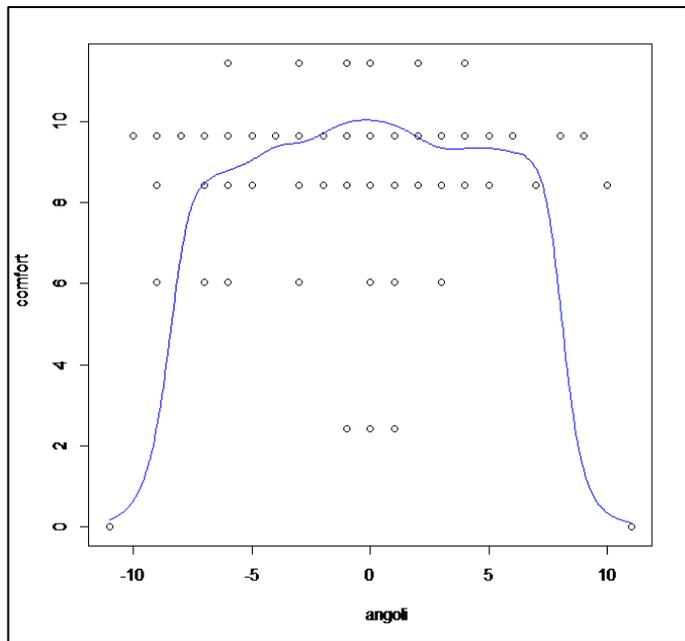


Figura V. 10 Funzione di densità per l'abd/adduzione anca femminile

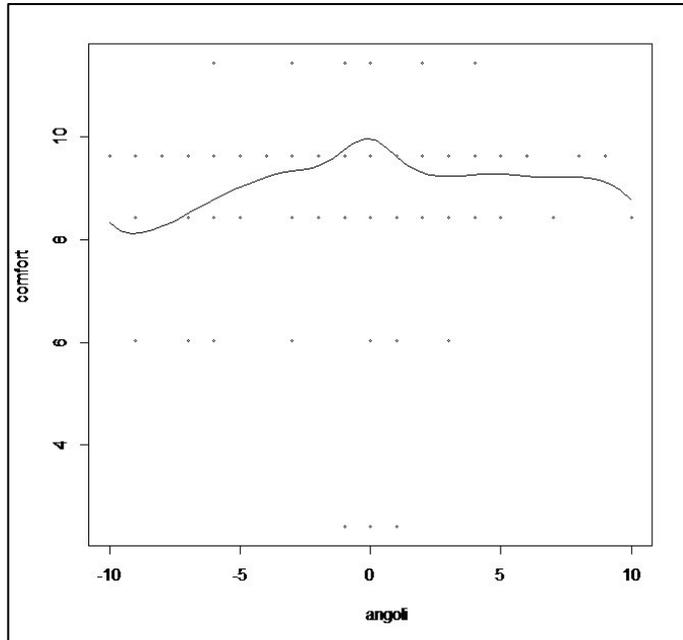


Figura V. 11 Curva di comfort per l'abd/adduzione anca femmina

Rotazione interna/esterna dell'anca

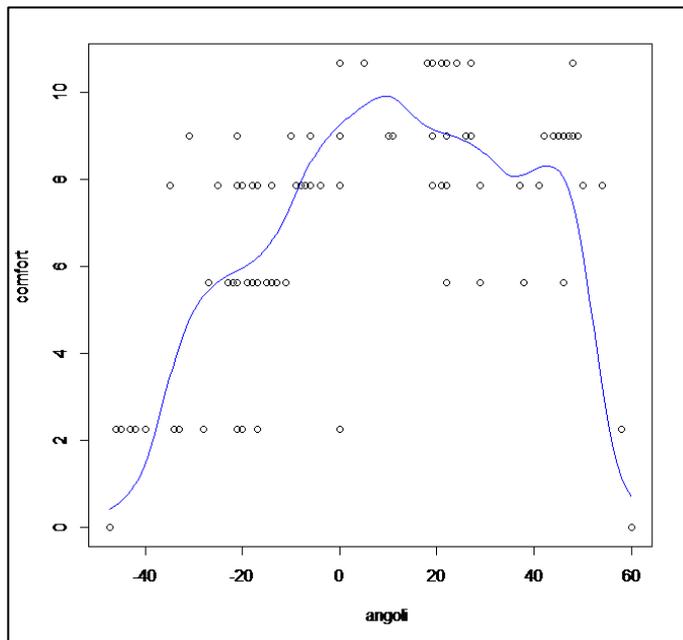
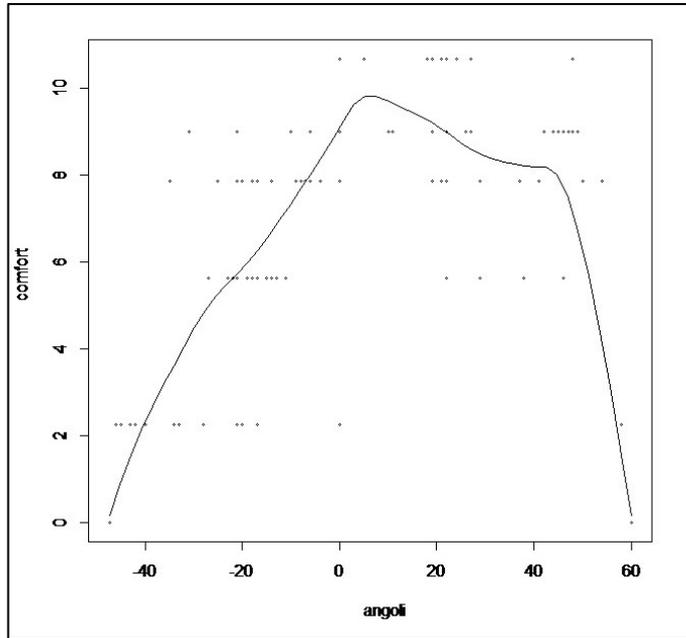
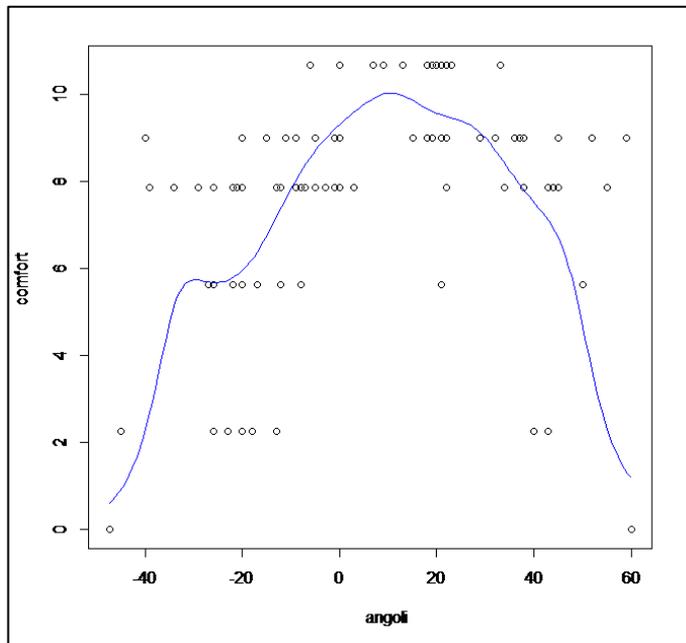


Figura V. 12 Funzione di densità per la rotazione interna/esterna anca maschio

Il Comfort posturale degli arti inferiori

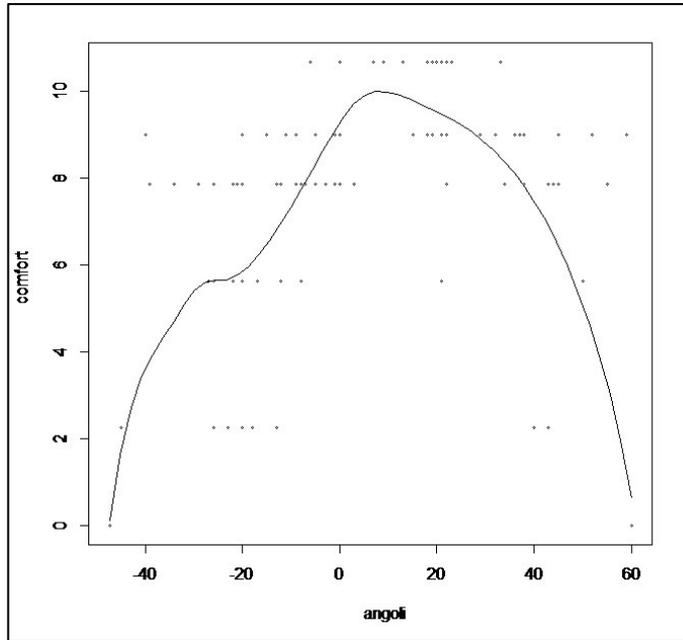


**Figura V. 13** Curva di comfort per la rotazione interna/esterna anca maschio



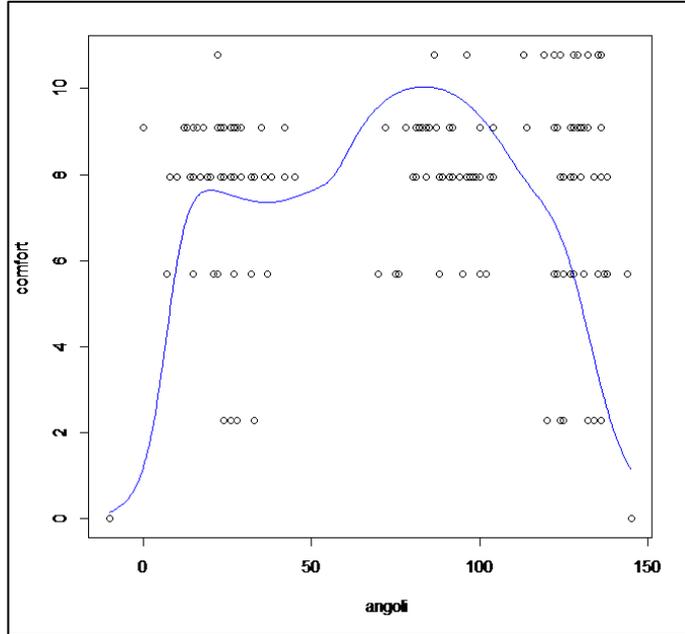
**Figura V. 14** Funzione di densità per la rotazione interna/esterna anca femmina

Chapter V

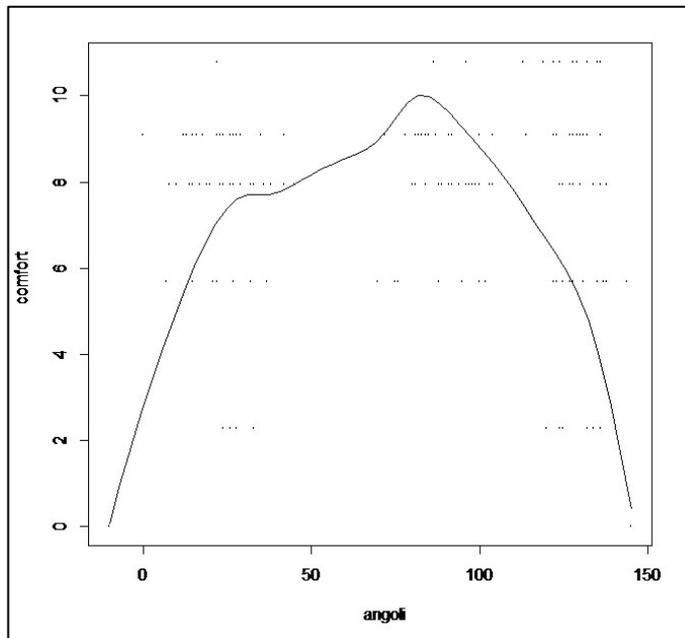


**Figura V. 15** *Funzione di densità per la rotazione interna/esterna anca femmina*

**Flessione del ginocchio**



**Figura V. 16** Funzione di densità per la flessione ginocchio maschio



**Figura V. 17** Curva di comfort per la flessione ginocchio maschio

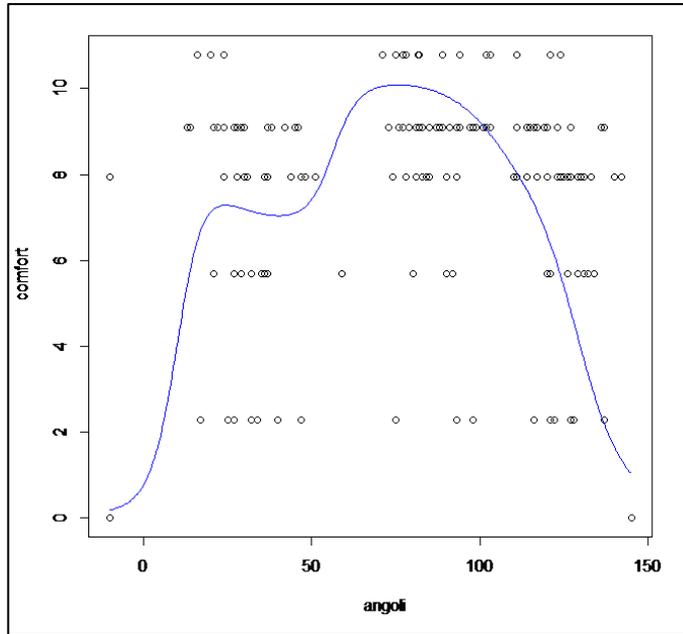


Figura V. 18 Funzione di densità per la flessione ginocchio femmina

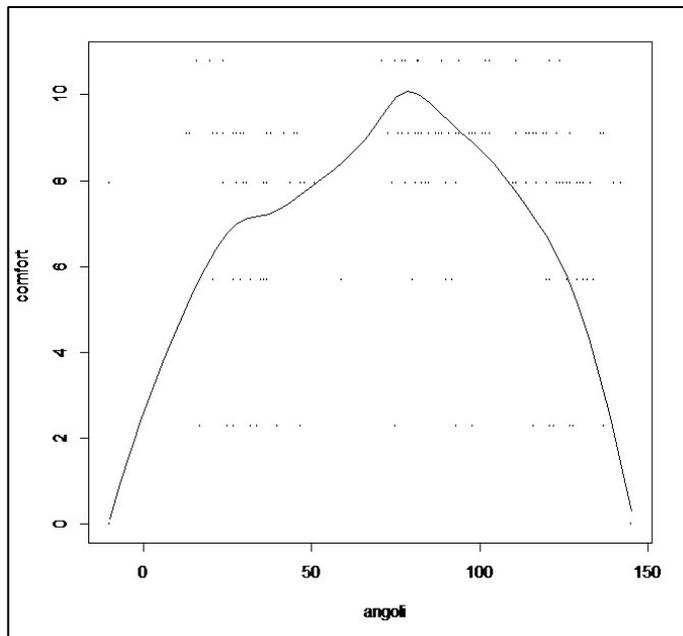
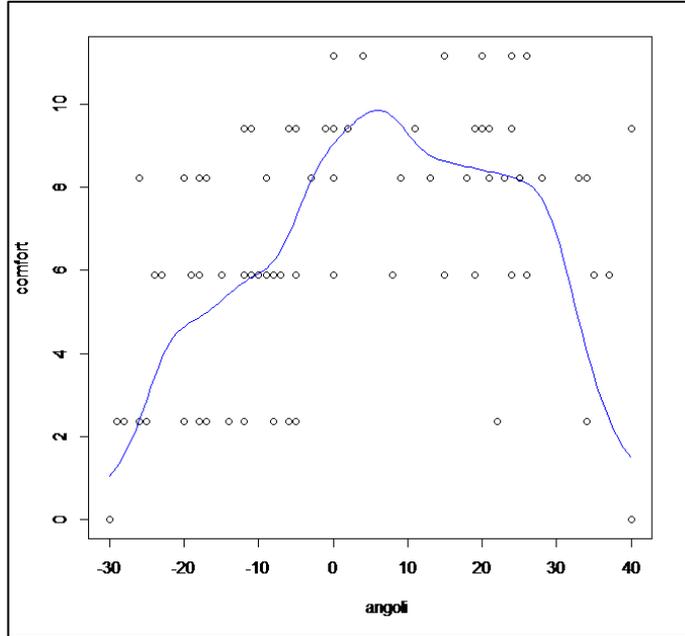
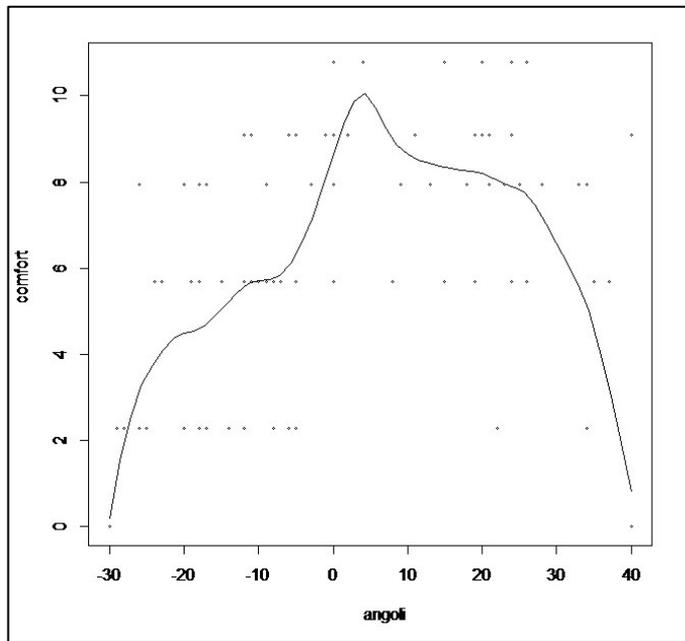


Figura V. 19 Curva di comfort per la flessione ginocchio femmina

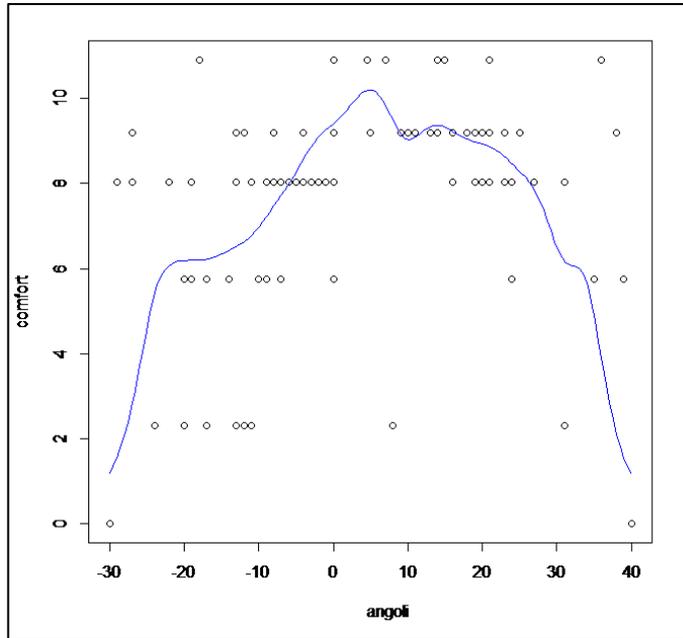
**Rotazione interna/esterna del ginocchio**



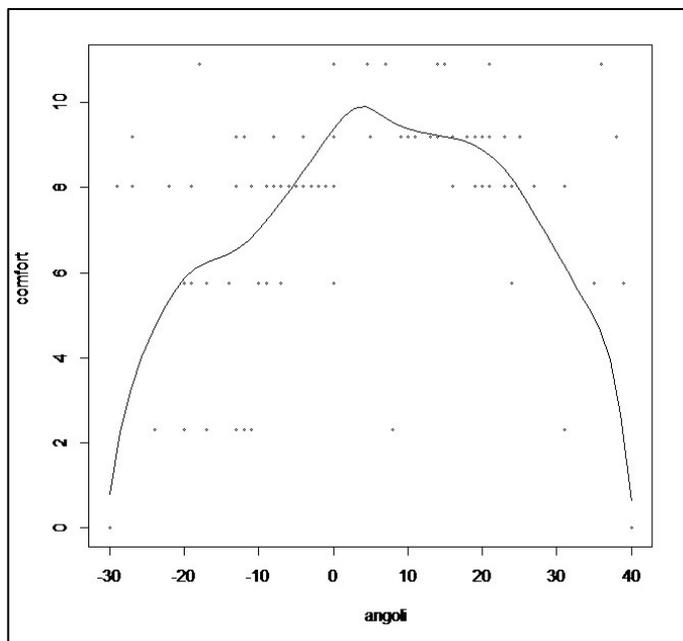
**Figura V. 20** *Funzione di densità per la rotazione ginocchio maschio*



**Figura V. 21** *Curva di comfort per la rotazione ginocchio maschio*

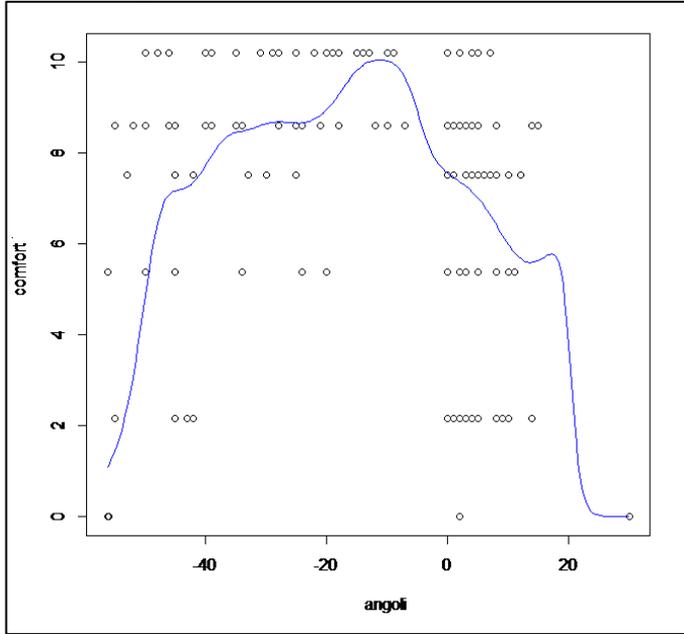


**Figura V. 22** Funzione di densità per la rotazione ginocchio femmina

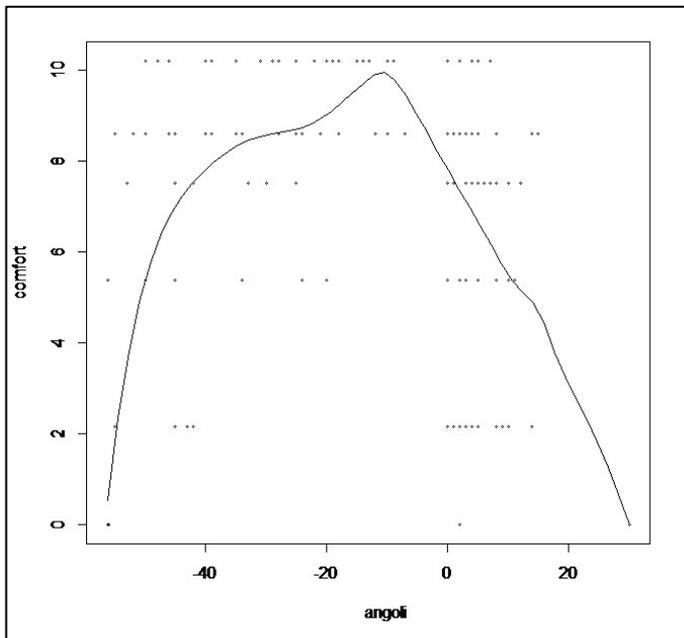


**Figura V. 23** Curva di comfort densità per la rotazione ginocchio femmina

**Flessione della caviglia**



**Figura V. 24** Funzione di densità per la flessione caviglia maschio



**Figura V. 25** Curva di comfort per la flessione caviglia maschio

Chapter V

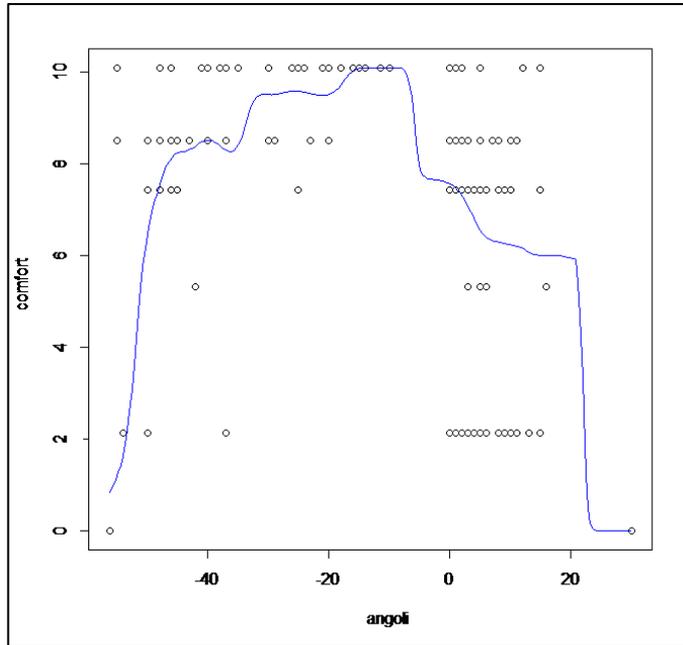


Figura V. 26 Funzione di densità per la flessione caviglia femmina

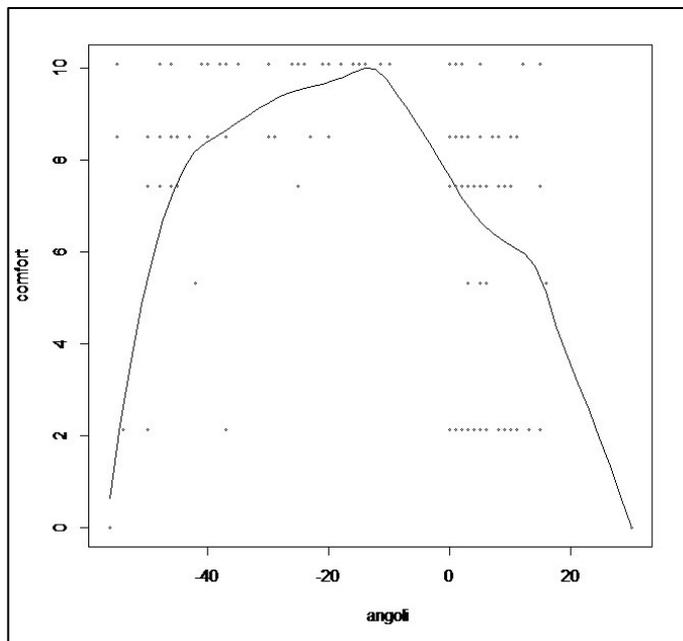


Figura V. 27 Curva di comfort densità per la flessione caviglia femmina

# Conclusioni

L'attività di ricerca che mi ha coinvolto durante il dottorato è stata mirata, fin dai primi passi, alla risoluzione di un problema ingegneristico molto risentito nella realtà industriale.

Il lavoro è stato sviluppato con l'obiettivo di analizzare il comfort e nel caso specifico quello posturale, individuando un metodo per la valutazione del comfort percepito dall'utente in una HMI e realizzando un metodo di misurazione oggettiva del comfort posturale nel caso degli arti inferiori. Per poter analizzare il comfort è stato necessario effettuare un'indagine sull'ergonomia e su quella fisica in particolare. A valle degli studi di ergonomia sono stati realizzati quelli sul comfort, partendo da una vasta indagine sulla letteratura scientifica ed individuando le carenze e gli aspetti non considerati.

L'attività di ricerca può essere riassunta come di seguito.

- È stata effettuata un'ampia indagine bibliografica sull'ergonomia e sul comfort.
- Sono stati definiti i parametri antropometrici atti a descrivere i gradi di libertà, gli intervalli di movimento articolare e le posture ammissibili dal corpo umano.
- È stato realizzato il modello di percezione del comfort sulla base di modelli esistenti in letteratura.
- Sulla base del modello di percezione del comfort è stata realizzata la matrice di comfort che tiene conto di tutti gli elementi coinvolti nell'esperienza di comfort nel caso di HMI.
- È stata valutata l'influenza delle aspettative sul comfort, utilizzando l'effetto placebo, facendo valutare il comfort percepito ed atteso su due materassi identici ma presentati come differenti.
- È stata definita una sottomatrice nel caso di comfort per la seduta di un'automobile.
- È stato convalidato il metodo di misurazione del comfort posturale degli arti superiori tramite due casi studio: il caso Valflex e il caso Oerlikon.

- È stato definito il modello di valutazione oggettiva del comfort posturale degli arti inferiori, in modo tale da poter avere per ciascun movimento angolare delle articolazioni un punteggio di comfort oggettivo sia per la popolazione maschile che per quella femminile.

Il modello di valutazione di percezione del comfort e di valutazione oggettiva del comfort posturale, così sviluppati, rappresentano un'ottima risorsa cui fare riferimento sia in fase di progettazione che di ottimizzazione di interfacce uomo macchina o di ambienti lavorativi.

L'obiettivo principale di tale studio di Dottorato è stato quello di offrire materiale e studi sul comfort, al fine di poter offrire basi per la definizione di eventuali Norme sulla tematica in futuro.

# Bibliografia

- Ali, I., Arslan, N. (2009) Estimated anthropometric measurements of Turkish adults and effects of age and geographical regions. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39(5): 860–865.
- American Academy of Orthopaedic Surgeons (1965) Joint motion: method of measuring and recording, Chicago.
- American Academy of Orthopaedic Surgeons. Joint motion: methods of measuring and recording. 6th ed. Edinburgh, 1972, Churchill Livingstone.
- American Medical Association (1988) Guide to the Evaluation of Permanent Impairment, 3a edizione, AMA, Chicago IL.
- Apostolico, A., Cappetti, N., D’Oria, C., Naddeo, A. and Sestri, M. (2008) Postural comfort evaluation: experimental identification of Range of Rest Posture for human articular joints. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 8, 109-120.
- Beighton, P., Solomon, L., and Soskolne, C. L. (1973) Articular mobility in an African population. *Ann Rheum Dis* 32:23.
- Bell, R.D. and Hoshizaki, T.B.(1981) Relationships of age and sex with range of motion of seventeen joint actions in human. *Can J Appl Sport Sci.* 6:202.
- Boone, D. C., Walker, J. M., and Perry, J. Age and sex differences in lower extremity joint motion. Presented at *Annual Conference, American Physical Therapy Association*, 1981.
- Boone, D.C. (1979) Techniques of measurement of joint motion. (Unpublished supplement to Boone. DC. and Azen, SP. Normal range of motion in male subjects. *J Bone Joint Surg Am* 61:756.
- Bowman, A.W., Azzalini, A. (1997) Applied Smoothing techniques for Data Analysis. *Oxford Science Publications*.
- Bronkhorst, R.E., Krause, F. (2005) Designing comfortable passenger seats. In: *Comfort and design, principles and good practice* (P. Vink Eds), 155–167. Boca Rotan: CRC Press.

- Brown, Z., Cole, R.J. (2009) Influence of occupants' knowledge on comfort expectations and behavior, *Building Research and Information*, Volume 37, Issue 3, Pages 227-247, DOI: 10.1080/09613210902794135
- Caberletti, L., Kümmel, D. M., Elfmann, K. and Schierz, C. (2009) Influence of Ambient Lighting in Vehicle Interior on the Drivers Perception. In *International Conference on the Effects of Light on Wellbeing*.
- Cascioli, V. Heusch, A.I. McCarthy, P.W. (2011) Does prolonged sitting with limited legroom affect the flexibility of a healthy subject and their perception of discomfort?, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 41, No.5.
- Cimaglia, G., Barletta, A., Orsini, D., Innocenzo, M., Todaro, G., Clemente, M. (2000) Linee guida per il riconoscimento dell'origine professionale delle malattie da microtraumi e posture, allegato 1/8 della circ. INAIL n. 81 del 27 Dicembre.
- Colombini, D., Occhipinti, E., Cirotti, S., Menoni, O., Ricci, M.G., Battevi, N., Violante, F.S., Matteoli, S., Draicchio, F. (2004) Linee Guida SIMLII per la prevenzione dei disturbi e delle patologie muscolo-scheletriche del rachide da movimentazione manuale dei carichi, Prime Editrice, Pavia.
- Colombini, D., Occhipinti, E., Fanti, M.(2009) Il metodo OCRA per l'analisi e la prevenzione del rischio da movimenti ripetuti, Franco Angeli, 4a edizione, (2009).
- Cynthia, C., Norkin, C., White, J. (2009) Measurement of joint motion: A guide to goniometry. *F.A. Davis*, Second Edition.
- Cyril, J., Donnelly, J.P. Callaghan, J.L. Durkin (2009) The Effect of an Active Lumbar System on the Seating Comfort of Officers in Police Fleet Vehicles. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, Vol. 15, No. 3, 295–307.
- Da Silva, L., Bortolotti, S. L. V., Campos, I. C. M. and Merino, E. A. D. (2012) Comfort model for automobile seat. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41, 295-302.
- D'ambrosio Alfano, F.R. Liotti, F. (2004) La qualità degli ambienti confinati non industriali: il discomfort termoisometrico”, *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 26, 401-415..
- Dauris, D.D.I., Deros, B.M.D. and Noor, M.J.M. (2008) Understanding the effect of noise, vibration and seat discomfort towards a passenger's vehicle driver through self-reported survey. *Journal Teknologic*, 49, 39-53.

- De Looze, M.P., Kuijt-Evers, L.F.M., Van Dieën, J.H. (2003) Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics* 46: 985–997.
- Deuble, M.P., De Dear, R.J. (2012) Mixed-mode buildings: A double standard in occupants' comfort expectations, *Building and Environment*, Volume 54, Pages 53-60, DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.01.021
- Drucker, P.F. (1999) Knowledge worker productivity: the biggest challenge. *California Management Review*. 41(2), 79–94.
- Dunk, N.M. and Callaghan, J.P. (2005) Gender-based differences in postural responses to seated exposures. *Clinical Biomechanics*, 20, 1101–1110.
- Ellegast, R.P. Kraft, K. Groenesteijn, L. Krause, F. Berger, H. Vink, P. (2012) Comparison of four specific dynamic office chairs with a conventional office chair: impact upon muscle activation, physical activity and posture. *Applied Ergonomics*, 43, 296-307.
- Eminoglu, M.B., Ozguven, M.M., Beyaz, A., Ozturk, R., Acar, A.I. Determining Postural Discomfort at Working with Power Tiller.
- Escorpizo, R.S. Moore, A.E. (2007) Quantifying precision and speed effects on muscle loading and rest in an occupational hand transfer task, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37, No.1.
- European Agency For Safety And Health At Work (1999) Work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders, Bilbao.
- Falou, W.E., Duchene, J., Grabisch, M., Hewson, D., Langeron, Y. and Lino, F. (2003) Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving. *Applied Ergonomics*, 34, 249–255.
- Fazlollahtabar, H. (2010) A subjective framework for seat comfort based on a heuristic multi criteria decision making technique and anthropometry. *Applied Ergonomics*, 42, 16-18.
- Gerald, M. (2002) Towards a transactional ergonomics for driver stress and fatigue. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3,195-211.
- Greene, B.L., Wolf, S.L. (1989) Upper extremity joint movement: comparison of two measurement devices. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 70(4), 288-90.
- Grieco A. (1998) Application of the concise exposure index (OCRA) to tasks involving repetitive movements of the upper limbs in a variety of manufacturing industries: preliminary validations, *Ergonomics Volume* 41, Issue 9, 1347-1356
- Grimson, S.K., et al. (1993) Differences in ankle joint complex range of motion as a function of age. *Foot Ankle* 14:215.

- Groenesteijn, L., Vink, P., De Looze, M.P., Krause, F. (2009) Effects of differences in office chair controls, seat and backrest angle design in relation to tasks. *Applied Ergonomics*, 40(3): 362–370.
- Hagber, M., Wells Silverstein, R., Smith, M.S., Hendrich, H.W., Carayon, P., Parusse, M. (1995) Work related musculoskeletal disorders. A reference book for prevention. In Taylor and Francis (I. Kurinka and L. Forcier Eds), London and Philadelphia.
- Hedge, A., Sakr, W. Workplace effects on office productivity: a macroergonomic framework. *Proceedings of ODAM 20th annual meeting 2005*. 75–80. IEA Press.
- Helander, M. (2003) Forget about ergonomics in chair design? Focus on aesthetics and comfort! *Ergonomics*, 15(46): 1306–1325.
- Helander, M.G., Zhang, L. (1997) Field studies of comfort and discomfort in sitting. *Ergonomics*, 40(9): 895–915.
- Hendrik, H.W. (1999) *Ergonomics: an international*. In *perspective the occupational ergonomics handbook* (G. Salvendi Eds), CRC, Boca Raton, Florida.
- Hiemstra-van Magistrigt, S., Groenesteijn, L., Vink, P., Kuijt-Evers, L.F.M. Predicting passenger comfort and discomfort on the basis of human, seat and context characteristics: a literature review. *Ergonomics*, Under review
- Hignett, S., McAtamney, L. (2000) Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, Issue 2, 201–205, doi: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3.
- James, B., Parker, A.W. (1989) Active and passive mobility of the lower limb joints in elderly man and women. *Am J Phys Med and Rehab*. 68:162.
- Jürgens, H.W., Aune, I.A., Pieper, U. (1990) International Data on Anthropometry (*Occupational and Health Series* no.65). International Labor Office: Geneva, Switzerland.
- Kamp, I. (2012) The influence of car- seat design on its character experience, *Applied Ergonomics*, Volume 43, p. 329-335.
- Kee, D. Karwowski, W. (2001) LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time, *Applied Ergonomics*, Volume 32, No.1.
- Kennedy, K.W. International Anthropometric Variability and Its Effects on Aircraft Cockpit Design. P. 47-66
- Kolich, M. (2008) A conceptual framework proposed to formalize the scientific investigation of automobile seat comfort. *Applied Ergonomics*, 39, 15–27.

- Kremser, F., Guenzkofer, F., Sedlmeier, C., Sabbah, O., Bengler, K. (2012) Aircraft seating comfort: the influence of seat pitch on passengers' well-being. *Work* 41: 4936–4942.
- Kuijt-Evers, L.F.M., Groenesteijn, L., De Looze, M.P and Vink, P. (2004) Identifying factors of comfort in using hand tools. *Applied Ergonomics*, 35, 453-458.
- Kuijt-Evers, L.F.M., Krause, F., Vink, P. (2003) Aspects to improve cabin comfort of wheel loaders and excavators according to operators. *Applied Ergonomics* 34(3): 265–271.
- Kyung, G., Nussbaum, M.A. and Babski-Reeves, K. (2008) Driver sitting comfort and discomfort (Part I): use of subjective ratings in discriminating car seats and correspondence among ratings. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 516-525.
- Lars, H., Willfried, W. and Lena, S. (2003) A control handling comfort model based on fuzzylogics, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 87– 100.
- Lee, S.Y., Brand, J.L. (2005) Effects of control over office work space on perceptions of the work environment and work outcomes. *Journal of Environmental Psychology* 25: 232–333.
- Loudon, J.K., Goist, H.I., Loudon, K.I. (1988) Genu recurvatum syndrome. *J. Orthop Sports Phys ther.* 27:361.
- Makhsous, M., Lin, F., Hanawalt, D., Kruger, S.L., LaMantia, A. (2012) The effect of chair designs on sitting pressure distribution and tissue perfusion. *Human Factors* 54(6): 1066–1074.
- McAtamney, L., Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), doi: 10.1016/0003-6870(93)90080-S.
- Molenbroek, J.F.M. (1994) Op Maat Gemaakt: Menselijke Maten voor het Ontwerpen en Beoordelen van Gebruiksgoederen. PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.
- Naddeo, A., Cappetti, N. & D’Oria, C. (2015) Proposal of a new quantitative method for postural comfort evaluation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 48, 25-35.
- Naddeo, A., Cappetti, N. and Ippolito, O. (2014) Dashboard reachability and usability tests: a cheap and effective method for drivers' comfort rating. *SAE Technical Paper* 2014-01-0455.
- Naddeo, A., Apicella, M. and Galluzzi, D. (2015) Comfort-Driven Design of Car Interiors: A Method to Trace Iso-Comfort Surfaces for Positioning the Dashboard Commands. *SAE Technical Paper*, 2015-01-1394.

- Naddeo, A., Cappetti, N., Vallone, M. and Califano, R. (2014) New trend line of research about comfort evaluation: proposal of a framework for weighing and evaluating contributes coming from cognitive, postural and physiologic comfort perceptions. In (T. Ahram, W. Karwowski and T. Marek Eds.).*Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*
- Naddeo, A., Cappetti, N., Vallone, M. and Califano, R. The role of expectation in comfort perception: The mattresses' evaluation experience. In *Proceedings of the 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 26-30 of July 2015, Las Vegas (USA).
- Naddeo, A., Cappetti, N., Vallone, M., Califano, R. (2014) New trend line of research about comfort evaluation: Proposal of a framework for weighing and evaluating contributes coming from cognitive, postural and physiologic comfort perceptions, in *Advances in Social and Organizational Factors* (P.Vink Eds), Published By "Advances in Human Factors and Ergonomics" Conference 2014, ISBN: 978-1-4951-2102-9.
- Nag, A. Nag, P.K. (2004) Do the workstress factors of women telephone operators change with the shift schedules?, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 37, No.2.
- Nagamachi, M. (2002) Kansei engineering as an ergonomic consumer-oriented technology for product development. *Applied ergonomics*, 33, 289-294
- Nakada, K. (1997) Kansei engineering research on the design of construction machinery. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19,129-146.
- National Institute for Occupational Safety and Health (19997) Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back (P. Bruce, M.D. Bernard, M.P.H. Eds).
- Nigg, B.M. et al. (1992) Range of motion of the foot as a function of age. *Foot Ankle* 613:336.
- Nimbarte, A.D. Al Hassan, M.J. Guffey, S.E. Myers, W.R. (2012) Influence of psychosocial stress and personality type on the biomechanical loading of neck and shoulder muscles. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 42, No. 5.
- Norkin, Cynthia C. F.A (2009) Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry. *Davis*, p 450.

- OECD, Organization for Economic Co-operation and Development (1996) The knowledge based economy. *General distribution OCDE//GD* (96)102.
- Oudenhuijzen, A., Tan, K. and Morsch, F. (2003) The relationship between seat pressure and comfort. *SAE Technical Paper* 2003-01-2213.
- Patrick, G.D., Raymond, W. and Niall, V.O. (2004) The effects of work height, workpiece orientation, gender and screwdriver type on productivity and wrist deviation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33, 339– 346.
- Perissinotto, E., Pisent, C., Sergi, G., Grigoletto, F., Enzi, G. (2002) Anthropometric measurements in the elderly: age and gender differences. *British Journal of Nutrition* 87: 177-18
- Pheasant, S., Haslegrave, C.M. (2006) *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, Third Edition. CRC Press: Boca Raton.
- Reed, M.P., Schneider, L.W. & Ricci, L.L. (1994) Survey of auto seat design recommendations for improved comfort (Report UMTRI-94-6). *University of Michigan, Transportation Research Institute*.
- Smith, D.R., Andrews, D.M. and Wawrow, P.T. (2006) Development and evaluation of the Automotive Seating Discomfort Questionnaire. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 141-149
- Steven Moore J. and Garg, A. (1995) The Strain Index: A Proposed Method to Analyze Jobs For Risk of Distal Upper Extremity Disorders, *American Industrial Hygiene Association Journal*, Volume 56, Issue 5, 443-458
- Strenger, Y. (2008) Comfort expectations: The impact of demand-management strategies in Australia, *Building Research and Information*, Volume 36, Issue 4, July 2008, Pages 381-39, DOI: 10.1080/09613210802087648
- Svenningsen S., Terjesen T., Auflem M., Berg V. (1989) Hip motion related to age and sex. *Acta Orthop Scand*; 60:97-100.
- Szczepanska-Rosiak, E. Heim, D. Gorko, M. Visual comfort under real and theoretical, overcast and clear sky conditions, *13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Chambéry, 2013, August 26-28 France.
- Thariq, M.G.M. Munasinghe, H.P. Abeysekara, J.D. (2010) Designing chairs with mounted desktop for university students: Ergonomics and comfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 40, No. 1.
- Thompson, J.C (2001) *Netter's Concise Atlas of Orthopaedic Anatomy*.

- Saunders*, 1a edizione.
- Vandervoorn, A.A., et al. (1992) Age and Sex effects on the mobility of the human ankle. *J Gerontol* 47:6:M 17.
- Vink, P., Hallbeck, S. (2012) Editorial: Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied Ergonomics* 43(2):271–276.
- Vink, P., Overbeeke, C.J., Desmet, P.M.A. (2005) Comfort Experience. In: *Comfort and Design, Principles and Good Practice*. P. Vink Eds), Boca Rotan: CRC Press, 1–12.
- Walker, J.M., et al. (1984) Active mobility of the extremities of older subjects. *Phys Ther* 64:919.
- Wallgren, L.G. Hanse, J.J. (2007) Job characteristics, motivators and stress among information technology consultants: A structural equation modeling approach, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 37, No.1.
- Winzen, J., Marggraf-Micheel, C. (2013) Climate preferences and expectations and their influence on comfort evaluations in an aircraft cabin, *Building and Environment*, Volume 64, Pages 146-151, DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.03.002.
- Yamada, Y., Owaki, M., Mori, T., Fukumoto, K., Miura, S., Furuta, M. and Matsuyama, M. (2000) Advanced seat fabrics with high performance deodorant function. *Society of Automotive Engineers of Japan*, 21, 543-547.
- Zhang, L., Helander, M. G., and Drury, C. G. (1996) Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. *Human Factors*, 38(3), 377-389.
- Zhongliang, Y., Shouqian, S., Guodong, C. (2009) Evaluating Sitting Comfort with Questionnaire and Body Pressure Distribution Overview and Design. *IEEE*. 978-1-4244-5268-2/09.