

**L'EFFETTO DELLA PRESSIONE
E DELLA TEMPERATURA SUL
(DIS)COMFORT PERCEPITO
NELLA HUMAN ARTEFACT
INTERACTION**

Rosaria Califano



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
L'EFFETTO DELLA PRESSIONE E DELLA
TEMPERATURA SUL (DIS)COMFORT
PERCEPITO NELLA HUMAN ARTEFACT
INTERACTION**

2014-2017

Supervisor

Prof. Alessandro Naddeo

Ph.D. student

Rosaria Califano

Ph.D. Course Coordinator

Prof. Ernesto Reverchon

Ringraziamenti

Al termine di questi tre anni di Dottorato desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno sostenuto ed accompagnato, durante questo iter, con i loro consigli, la loro saggezza e il loro affetto.

In primis, ringrazio i miei tutor, i Prof. Alessandro Naddeo e Nicola Cappetti per avermi dato la possibilità di entrare a contatto con il mondo della ricerca. Inoltre, esprimo la mia riconoscenza per avermi trasmesso parte della loro conoscenza e per avermi guidato nel mio percorso di ricerca con preziosi consigli.

Ringrazio i Prof. Arcangelo Pellegrino e Francesco Villecco per essermi stati sempre vicini in questi anni. Grazie ai loro consigli e al loro supporto ho superato alcuni momenti difficili di questo percorso.

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 Mariarosaria, 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 e Francesco 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 mio marito e la mia famiglia per non avermi mai fatto mancare il proprio sostegno morale e senza i quali 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., 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
- Califano R., Naddeo A., Vink P. (2017) The effect of human-mattress interface's temperature on perceived thermal comfort. *Applied Ergonomics* 58, pp. 334-341

Sommario

Indice delle figure	IV
Indice delle tabelle	VI
Abstract	IX
Introduzione	XI
Ergonomia e Comfort.....	1
I.1 Introduzione	1
I.2 Comfort e ergonomia	2
I.3 Il contenuto dell'ergonomia	3
I.4 L'approccio ergonomico.....	5
I.4.1 Ergonomia fisica.....	6
I.4.2 Ergonomia Cognitiva.....	6
I.4.3 Ergonomia Organizzativa	7
<i>I.5 Il progetto centrato sull'uomo</i>	7
<i>I.6 L'ergonomia nella legislazione italiana</i>	8
I.7 Le norme sui principi ergonomici.....	10
I.8 Importanza del comfort.....	11
I.9 Comfort e salute.....	11
I.10 Il Comfort e il Discomfort in letteratura	12
I.11 Tendenza della società verso il comfort di seduta	13
I.11.1 Gli effetti dello spazio personale sul comfort e discomfort.....	14
I.11.2 I fattori umani che influenzano il comfort e il discomfort.....	14
Il Modello di Comfort	17
II.1 Introduzione.....	17
II.2 Modelli di comfort presenti in letteratura.....	17
II.3 Il nuovo modello di comfort.....	21
II.4 La matrice	24

II.5 Caso studio 1: Matrice di comfort applicata al car-seat.....	34
II.5.1 Introduzione.....	34
II.5.2 Matrice di comfort seat.....	35
II.5.3 Campione e setup	46
II.5.4 Materiale e metodi.....	46
II.5.5 Analisi dei risultati	48
II.5.6 Conclusioni caso studio 1	50
II.6 Caso studio 2: gli effetti delle aspettative sulla valutazione del comfort	51
II.6.1 Introduzione.....	51
II.6.2 Materiali e metodi.....	52
II.6.3 Strumenti, materiali e acquisizione dei dati.....	53
II.6.4 Procedura.....	54
II.6.5 Risultati	55
II.6.6 Conclusioni caso studio 2.....	58
La pressione all'interfaccia	61
III.1 Introduzione.....	61
III.2 Modello concettuale	62
III.3 Interazioni tra i vari elementi del modello concettuale	63
III.3.1 Effetti dell'antropometria sulla pressione all'interfaccia	63
III.3.2 Effetti dell'antropometria sulla postura e movimenti.....	64
III.3.3 Effetti della seduta sulla postura e movimenti	65
III.3.4 Effetti della seduta sulla pressione all'interfaccia.....	66
III.3.5 Postura e pressione all'interfaccia.....	67
III.3.6 Movimenti e pressione all'interfaccia	68
III.3.7 Postura, movimenti e comfort	68
III.3.8 Pressione all'interfaccia e comfort.....	69
III.4 Caso studio 3: Valutazione delle correlazioni tra postura e pressione all'interfaccia.....	70
III.4.1 Introduzione	70
III.4.2 Obiettivo.....	71
III.4.3 Campione e setup	72

III.4.4 Procedura	75
III.4.5 Acquisizione dei dati.....	76
III.4.6 Analisi dei risultati.....	79
III.4.7 Conclusioni	84
III.5 Caso studio 4: Valutazione delle distribuzioni di pressione per la valutazione dei micromovimenti e correlazione tra micromovimenti e comfort	84
III.5.1 Introduzione	84
III.5.1 Obiettivo	85
III.5.3 Campione e setup.....	85
III.5.4 Procedura	87
III.5.5 Acquisizione dei dati.....	88
III.5.6 Analisi dei risultati.....	88
III.5.7 Conclusioni	91
La temperatura all'interfaccia	93
IV.1 Introduzione	93
IV.2 Materiali e Metodi.....	95
IV.2.1 Obiettivo	95
IV.2.2 Il campione	95
IV.2.3 Il setup	96
IV.2.4 La procedura	97
IV.2.5 La raccolta dei dati.....	98
IV.2.6 I risultati.....	104
IV.2.7 Conclusioni	108
Conclusioni	111
Bibliografia	115

Indice delle figure

Figura I. 1 Ergonomia e Comfort.....	3
Figura I. 2 I contenuti dell'ergonomia dei sistemi di lavoro.....	4
Figura I. 3 I contenuti dell'ergonomia del prodotto.....	5
Figura I. 4 I vari aspetti dell'ergonomia.....	6
Figura I. 5 Modello delle interazioni tra lavoratore e sistema di lavoro.....	7
Figura I. 6 Distribuzione della statura di differenti popolazioni maschili... 15	
Figura II. 1 Modello di percezione del comfort proposto da De Looze (2003).....	19
Figura II. 2 Modello di percezione del comfort proposto da Moes (2005). 20	
Figura II. 3 Modello di percezione del comfort proposto da Vink e Hallbeck (2012).....	21
Figura II. 4 Proposta di un modello di più ampio di percezione del comfort.....	22
Figura II. 5 <i>Schematizzazione degli elementi che influenzano il comfort...</i> 35	
Figura II. 6 Questionario con termini Kansei.....	47
Figura II. 7 Prototipo virtuale della seduta.....	48
Figura II. 8 Media dei punteggi di comfort in funzione delle differenti presentazioni delle sedute.....	49
Figura II. 9 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di interazione fisica con il prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile... 49	
Figura II. 10 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di sola osservazione del prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile.....	50
Figura II. 11 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso della presentazione fotografica della seduta e nel caso della seduta all'interno dell'automobile.....	50
Figura II. 12 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso del prototipo 3D digitalizzato e nel caso della seduta all'interno dell'automobile.....	50
Figura II. 13 Questionario utilizzato per la valutazione del comfort.....	54
Figura II. 14 (a) Setup allestito all'interno del laboratorio di "Disegno e Metodi" presso l'Università di Salerno; (b) esempio del test.....	55
Figura III. 1 Modello concettuale.....	62
Figura III. 2 (a) La sedia (b) tappetino barometrico Medilogic®.....	73
Figura III. 3 Layout ambiente di lavoro.....	74
Figura III. 4 Body Region Discomfort Questionnaire.....	74

Figura III. 5 Un esempio delle 9 posture assunte dai diversi soggetti e le relative distribuzioni di pressione.	76
Figura III. 6 Divisione della mappa barometrica per le 3 aree: glutei, parte superiore della coscia, parte inferiore della coscia.....	77
Figura III. 7 Angoli posturali calcolati su un modello biomeccanico nel piano sagittale (sinistra) e in quello frontale (destra).....	78
Figura III. 8 <i>Pressione media, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto</i>	81
Figura III. 9 <i>Pressione media in percentuale, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto</i>	81
Figura III. 10 <i>Peso scaricato, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto</i>	82
Figura III. 11 <i>Peso scaricato in percentuale, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto</i>	82
Figura III. 12 Distribuzione ideale del peso scaricato sul piano di seduta secondo Zenk (2012).....	83
Figura III. 13 Setup	86
Figura III. 14 Questionario	87
Figura III. 15 Un esempio della distribuzione di pressione.....	88
Figura III. 16 Esempio del trend di variazione della distribuzione della pressione all'interfaccia studente-seduta (soglia di 0,04) relativi ad uno studente in un'ora di analisi (sull'asse x è riportato il tempo e sull'asse y il numero di variazioni della pressione).	89
Figura IV. 1 Modello di comfort. L'oggetto (A) e il soggetto (H) sono in un ambiente. L'utilizzo (U) comporta un'interazione (I) tra il soggetto e il prodotto, ciò causa effetti sul corpo umano (B). Ciò sarà percepito (P) dal cervello umano, sarà influenzato dalle aspettative (E), e potrebbe portare a una situazione di comfort (C) o di disagio (D).....	94
Figura IV. 2 Posizionamento delle RTD sul materasso e sul soggetto.	96
Figura IV. 3 Questionario di comfort	97
Figura IV. 4 Grafico rappresentativo della correlazione tra IC e ΔT_2	107
Figura IV. 5 Grafico rappresentativo della correlazione tra IC e ΔT_3	108
Figura IV. 6 Grafico rappresentativo della correlazione tra IC e Tf.	108

Indice delle tabelle

Tabella II. 1	Fattori che influenzano il comfort (discomfort) di seduta.....	18
Tabella II. 2	La matrice _ personal characteristics.....	26
Tabella II. 3	La matrice _ work/task characteristics	27
Tabella II. 4	La matrice _ working environment's characteristics	29
Tabella II. 5	La matrice _ level of gratification	32
Tabella II. 6	La matrice _ tools and instruments for comfort measuring....	33
Tabella II. 7	Sottomatrice di comfort- caso seat	35
Tabella II. 8	Descrizione statistica del comfort percepito per le diverse aree del corpo e per i due materassi A e B.....	56
Tabella II. 9	Descrizioni statistiche all'interno dei 4 clusters.....	57
Tabella III. 1	Descrizione statistica delle caratteristiche personali del campione che ha partecipato ai test.....	72
Tabella III. 2	Valori quantitativi associati al questionario di comfort utilizzato durante i test	78
Tabella III. 3	Valori medi di pressione, fattori posturali e Indice di Comfort per le differenti posture assunte.....	79
Tabella III. 4	Correlazioni tra le variabili di pressione e le variabili posturali	80
Tabella III. 5	Descrizione statistica delle caratteristiche personali del campione che ha partecipato ai test.....	86
Tabella III. 6	Valori quantitativi associati al questionario di comfort utilizzato durante i test	88
Tabella III. 7	Valori medi degli Indici di Comfort e dei micromovimenti per ciascuno dei tre intervalli di analisi.....	89
Tabella III. 8	Correlazioni	90
Tabella III. 9	Cluster	90
Tabella III. 10	Correlazioni	90
Tabella IV. 1	Descrizione statistica dei dati antropometrici dei soggetti che hanno partecipato alla prova.....	98
Tabella IV. 2	Indice di comfort (I.C.) associato a ciascuna voce del questionario	99
Tabella IV. 3	Dati raccolti per la spalla durante il test.....	100
Tabella IV. 4	Descrizione statistica dei dati relativi alle spalle	100
Tabella IV. 5	Descrizione statistica dei dati relativi alle braccia	101
Tabella IV. 6	Descrizione statistica dei dati relativi agli avambracci.	101
Tabella IV. 7	Descrizione statistica dei dati relativi al tronco.	102
Tabella IV. 8	Descrizione statistica dei dati relativi al bacino.....	102
Tabella IV. 9	Descrizione statistica dei dati relativi alle cosce.....	102

Tabella IV. 10	Descrizione statistica dei dati relativi alle gambe.....	103
Tabella IV. 11	Correlazioni statistiche tra le variabili	104
Tabella IV. 12	Dati utilizzati per valutare la correlazione tra ΔT_2 e l'indice IC. Questi dati vengono presentati in maniera aggregata e non separando i dati per ciascuna parte del corpo.	105
Tabella IV. 13	Dati relative a ΔT_2	106
Tabella IV. 14	Dati relative a ΔT_3	106
Tabella IV. 15	Dati relative a T_f	107

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 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 si è focalizzata l'attenzione su due aspetti che influenzano il comfort nell'interazione uomo-oggetto, ossia, la temperatura e la distribuzione della pressione all'interfaccia.

Per entrambi i fattori (temperatura e pressione) si è partiti da un'ampia ricerca bibliografica in modo da poter individuare le grandezze più significative, estrapolabili dalle distribuzioni di pressione e dalla temperatura della pelle all'interfaccia corpo-oggetto, che bisogna considerare quando si vuole valutare come la pressione e la temperatura all'interfaccia influenzano il comfort percepito.

Successivamente, attraverso casi studio si sono potute verificare tutte le correlazioni significative che tali grandezze hanno con il livello di comfort percepito da parte dei soggetti che hanno partecipato ai test.

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 modello di percezione del comfort e di metodi di misurazione oggettiva del livello di comfort percepito dall'uomo in relazione alla temperatura e alla distribuzione delle pressioni all'interfaccia.

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.

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.

Nella prima parte dello studio ci si è posti l'obiettivo di definire un modello del comfort, che possa essere utilizzato in qualsiasi interazione uomo - prodotto o in qualsiasi ambiente di lavoro, partendo da quelli presenti in letteratura.

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.

Uno degli elementi che compare nel modello di comfort riguarda le aspettative. Le aspettative hanno un ruolo fondamentale nella valutazione del comfort. Esse modificano la percezione di comfort ed infatti, nella formulazione del comfort esse vengono aggiunte o sottratte al comfort. Attraverso una campagna di prove, alla base delle quali è stato utilizzato l'effetto "placebo", si è cercato di comprendere il meccanismo di influenza delle aspettative sul comfort.

Dalla matrice di comfort che si è sviluppata nella prima fase dello studio appare chiaro che il comfort è un fenomeno molto complesso in quanto sono tantissimi gli aspetti che entrano in gioco. Nella seconda parte dello studio si è focalizzati l'attenzione su due aspetti che influenzano il comfort nell'interazione uomo-oggetto, ossia, la temperatura e la distribuzione della pressione all'interfaccia.

Per la pressione all'interfaccia si è partiti da un'ampia ricerca bibliografica in modo da poter individuare le grandezze più significative, estrapolabili dalle distribuzioni di pressione ottenibili mediante i tappetini barometrici, che bisogna considerare quando si vuole valutare come la pressione all'interfaccia influenza il comfort percepito. Successivamente, attraverso casi studio, si è visto in che modo questi fattori influenzano il comfort percepito.

Per valutare come la temperatura della pelle all'interfaccia corpo-oggetto influenza il livello di comfort percepito è stato utilizzato un approccio psicofisico. Per valutare il livello di comfort percepito dal soggetto in funzione della temperatura all'interfaccia, si è deciso di eseguire il test su un materasso.

Capitolo I

Ergonomia e Comfort

I.1 Introduzione

Le attuali conoscenze sul comfort/discomfort sono ancora molto limitate sebbene questo argomento sia di una importanza cruciale, poiché, le persone utilizzano e scelgono determinati prodotti in base al livello di comfort che ne deriva dal loro utilizzo.

Attualmente, il comfort è spesso considerato nel caso della commercializzazione di prodotti come sedie, automobili, abbigliamento, utensili e perfino biglietti aerei (Vink & Hallbeck, 2012).

Nella letteratura scientifica il termine disagio compare spesso. Vink & Hallbeck (2012) hanno studiato 104,794 articoli in cui viene utilizzato il termine disagio. La maggior parte di questi studi si riferisce alla temperatura come fonte di disagio e comfort del paziente. Ci sono anche molti studi applicativi che misurano il disagio come un fenomeno soggettivo correlato a lesioni muscolo-scheletriche.

Il presupposto è che ci sia una relazione tra disagio e lesioni muscolo-scheletriche. Questo rapporto è stato reso più chiaro da Hamberg-van Reenen *et al.* (2008). In tale studio il disagio muscolo-scheletrico locale è stato misurato per regioni differenti del corpo attraverso una scala di valutazione a 10 punti, sei volte nel corso di una giornata di lavoro. Essi hanno monitorato oltre 1.700 partecipanti e hanno dimostrato che coloro che affermavano di percepire un disagio elevato hanno sofferto di dolori alla schiena, al collo e alle spalle tre anni dopo (il RR variava tra 1,8-2,6).

Tuttavia, le teorie sul comfort in relazione ai prodotti e alle caratteristiche di progettazione del prodotto stesso sono piuttosto sottosviluppate; solo alcuni studi riguardano modelli di comfort (Helander e Zhang, 1997, De Looze *et al.*, 2003, Moes, 2005 e Kuijt-Evers *et al.*, 2004).

I.2 Comfort e ergonomia

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 I.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.

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.

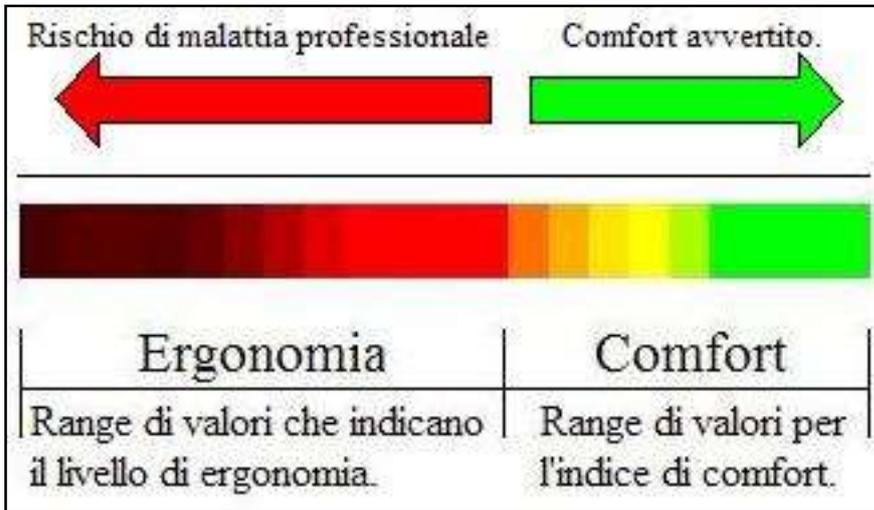


Figura I. 1 *Ergonomia e Comfort*

I.3 Il contenuto dell'ergonomia

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 dei dispositivi controllati dall'operatore. Parallelamente il campo di ricerca e di

Capitolo I

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.2), rispetto ad una "ergonomia del prodotto" (Figura I.3), 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.

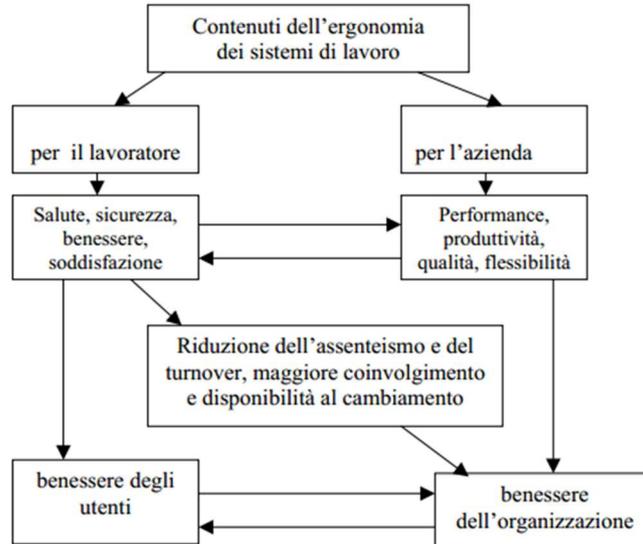


Figura I. 2 I contenuti dell'ergonomia dei sistemi di lavoro

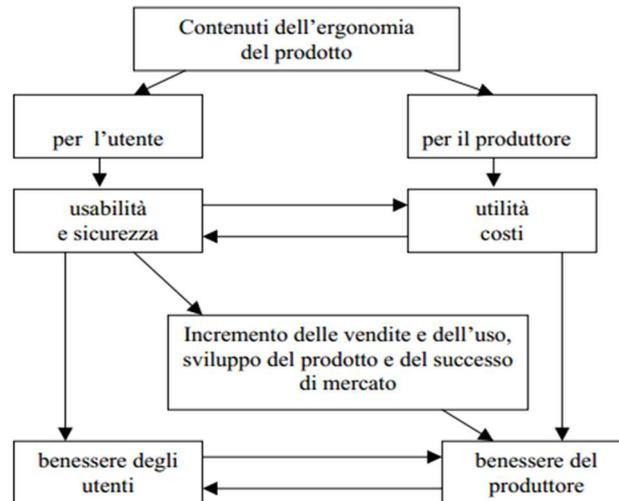


Figura I. 3 *I contenuti dell'ergonomia del prodotto*

I.4 L'approccio ergonomico

Lo scopo dell'analisi e della progettazione ergonomica è la realizzazione di prodotti e sistemi di qualsiasi natura che siano adatti ad essere usati dall'uomo, vale a dire prodotti e sistemi che consentono all'uomo di raggiungere pienamente i risultati attesi dal loro utilizzo con sforzi minimi, senza commettere errori e, non ultimo, con adeguati livelli di comfort e gradimento. Se l'ergonomia riguarda il rapporto che si stabilisce fra un utente ed i prodotti che questi usa o i sistemi in cui esso agisce, si comprende come l'applicazione dell'ergonomia sia espressamente finalizzata alla progettazione di tutte le possibili interazioni fra l'uomo ed i sistemi da questi utilizzati nel corso dell'agire umano.

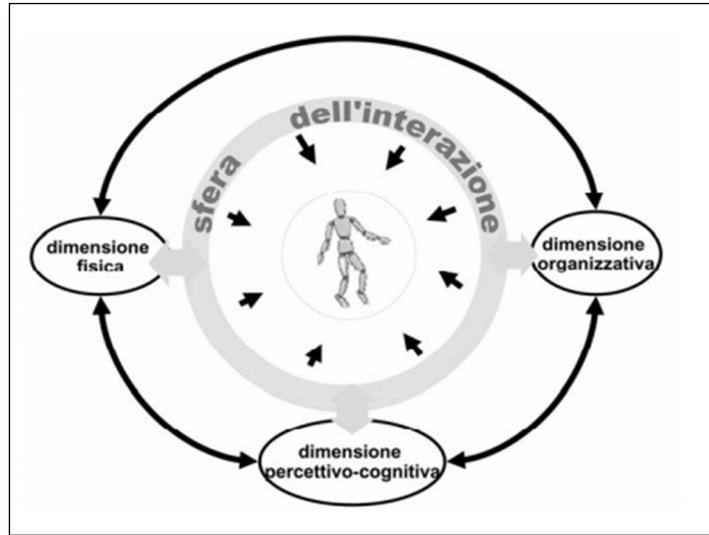


Figura I. 4 *I vari aspetti dell'ergonomia*

Tali interazioni sono connesse alla globalità degli aspetti e vanno da quello dimensionale e fisico, a quelli funzionali, cognitivi, sensoriali o emozionali; quando si interviene sugli aspetti ergonomici di un progetto, l'oggetto della programmazione e del controllo è il complesso delle reazioni dell'uomo al sistema e delle risposte che questo restituisce al suo utente. Per questa ragione si è soliti affrontare l'ergonomia secondo tre diversi aspetti: ergonomia fisica, ergonomia cognitiva ed ergonomia organizzativa (Figura I.4).

1.4.1 Ergonomia fisica

Gli aspetti fisici dell'ergonomia riguardano lo studio dei fattori anatomici, antropometrici, fisiologici e biomeccanici dell'interazione dell'uomo con i sistemi, in relazione alle componenti prevalentemente fisiche delle attività. Attengono a queste componenti lo studio delle posture che i soggetti assumono quando compiono le attività di vita e di lavoro, lo studio degli sforzi e la movimentazione dei carichi, la manipolazione di strumenti e attrezzature, l'incidenza dei fattori fisico ambientali sulle condizioni di benessere e salute, gli spazi operativi e il layout delle attività.

1.4.2 Ergonomia Cognitiva

Gli aspetti cognitivi dell'ergonomia attengono all'osservazione di processi mentali come la percezione e l'elaborazione delle informazioni, la memoria e l'attivazione delle risposte motorie nell'interazione fra l'uomo ed il sistema.

Lo studio di questi aspetti conduce ad analizzare le logiche connesse alla percezione degli stimoli, alla comprensione dei segnali e all'attivazione dei controlli e della regolazione dei sistemi da parte dell'uomo, in rapporto alla capacità di valutare il carico di lavoro mentale nello svolgimento di un compito e le dinamiche di attivazione dei processi di decision making.

1.4.3 Ergonomia Organizzativa

Infine gli aspetti organizzativi dell'ergonomia, detti anche di macroergonomia, riguardano l'ottimizzazione dei sistemi socio-tecnici, delle strutture organizzate, delle politiche e delle strategie che sottendono lo svolgimento delle attività dell'uomo. Attengono a questi aspetti fattori relativi a tempi, metodi e ritmi delle attività, il work design, il clima relazionale, la comunicazione.

1.5 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.5).

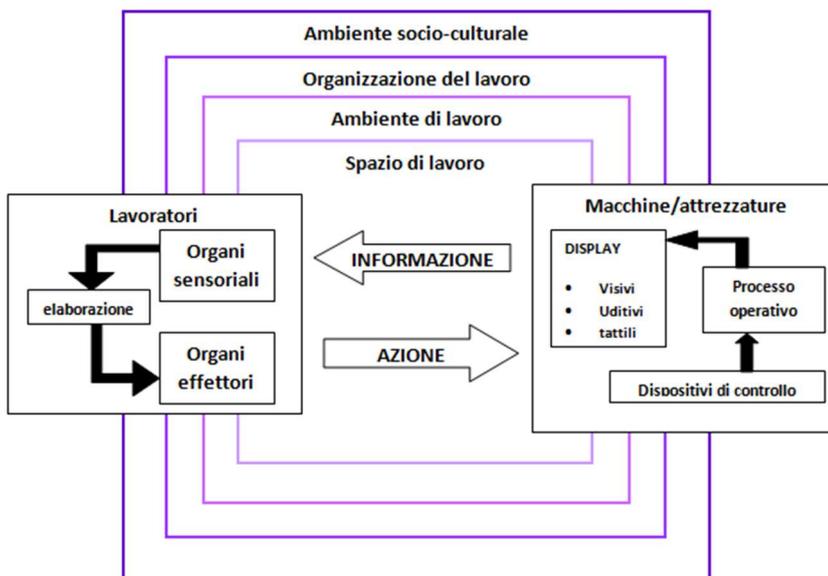


Figura I. 5 *Modello delle interazioni tra lavoratore e sistema di lavoro*

Capitolo I

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.6 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 operi 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.

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

Capitolo I

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.7 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.8 Importanza del comfort

Tutti, oggi, prestano molta attenzione al comfort quando acquistano un prodotto o un servizio. Nell'acquisto di un letto o di un'automobile o anche nell'acquisto di un biglietto aereo il comfort gioca un ruolo fondamentale. Pertanto, i produttori di prodotti come sedili, automobili, letti, utensili a mano, si sforzano di produrre prodotti quanto più confortevoli possibili al fine di stare al passo con la concorrenza.

Ridurre il discomfort non è un lusso. Per far sì che le prestazioni di un soggetto durante una qualsiasi attività siano quelle ottimali il discomfort dovrebbe essere evitato. Ad esempio, la cabina di comando di un aereo dovrebbe essere realizzata tenendo conto di tutte le necessità di chi ci opera all'interno in modo da rendere la sua performance ottimale. Lo stesso principio deve essere applicato all'ambiente di lavoro di un operaio del reparto assemblaggio o al sistema informatico utilizzato da un lavoratore all'interno di un ufficio.

I.9 Comfort e salute

La maggior parte dei problemi di salute che si presentano nelle attività lavorative o in qualsiasi interazione uomo-oggetto sono correlati al comfort o

Capitolo I

meglio al discomfort in quanto è stato individuato un chiaro legame tra discomfort e problemi muscolo-scheletrici (Hamberg, 2008).

Molti ricercatori hanno studiato i fattori che influenzano il comfort (Zenk, 2008, Vink, 2005, Looze *et al.*, 2003, Kuijt- Evers, 2007, Mergl, 2006, Helander & Zhang, 1997, Zhang *et al.*, 1996), soprattutto nell'ambito automobilistico e quindi legati alla seduta. Tali fattori includono la percezione della pelle, l'attività muscolare, la postura, gli angoli assunti dalle articolazioni, la pressione, la rigidità della seduta e dello schienale, la frequenza con cui il soggetto cambia la postura assunta. In tutti questi studi si è dimostrato che esiste una relazione tra tali fattori e il comfort percepito.

Per esempio Mergl (2006) afferma che il sedile dovrebbe ridurre lo stress posturale. De Looze *et al.* (2003), afferma che la distribuzione della pressione è strettamente legata al comfort.

I.10 Il Comfort e il Discomfort in letteratura

Gli aspetti legati al comfort compaiono spesso nella letteratura scientifica. Il database MEDLINE riporta 261 articoli, tra Aprile 1993 e Aprile 2003, che presentano la parola comfort nel titolo. La maggior parte di questi (140 su 261) si riferiscono al comfort termico, il che significa che questo aspetto è largamente studiato. Un aspetto del comfort non menzionato è il comfort relativo alle persone affette da qualche malattia. Il secondo aspetto più studiato è quello che fa riferimento alla relazione comfort/dolori muscolo scheletrici (28 su 261). Il terzo aspetto spesso menzionato è il comfort fisico (28 su 261). Si tratta di ricerche riguardanti le sedute, la postura, il carico fisico e le misurazioni della pressione dei piedi. Solo 6 studi menzionano più di un aspetto, e quindi sono multidisciplinari. Una ricerca su Scopus, tra il 1999 e il 2016, riporta 8897 articoli nel cui titolo compare il termine comfort.

In letteratura sono anche molti gli articoli che riguardano il discomfort. Tra l'Aprile 1993 e l'Aprile 2003, 109 articoli che riportano il termine discomfort nel titolo compaiono nel database MEDLINE. La maggior parte di questi articoli riguardano i dolori fisici (43 di 109) e muscolo scheletrici dovuti al discomfort fisico (35 di 109). Questi 35 articoli riguardano gli effetti delle posture sul discomfort muscolo scheletrico ma anche degli effetti della pressione all'interfaccia quando si è seduti.

Una ricerca effettuata su Scopus, tra il 1999 e il 2016, selezionando solo gli articoli che hanno il termine discomfort nel titolo ha dato come risultato 2220 articoli.

I.11 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-macchine.

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 e, 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). Ci sono molti studi in cui vengono presentate 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

Capitolo I

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 (1997), 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.

1.11.1 Gli effetti dello spazio personale sul comfort e 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.

1.11.2 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 I.6. 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).

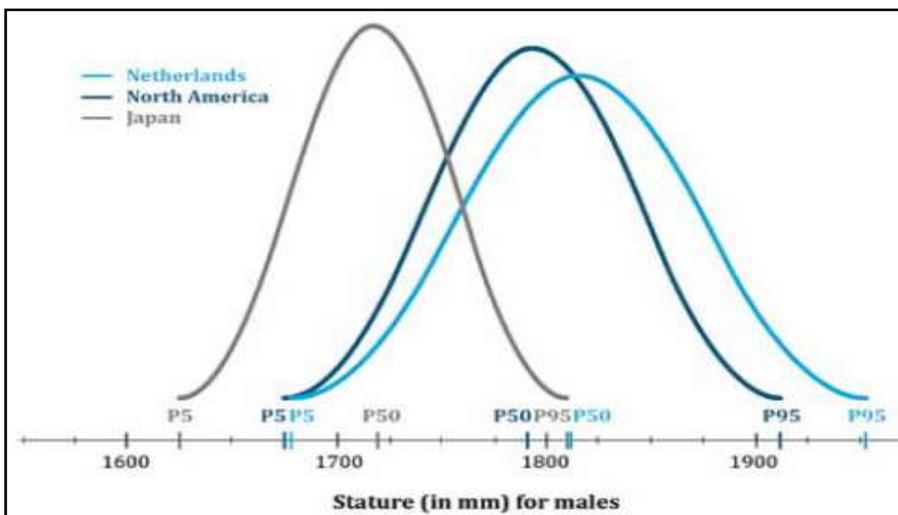


Figura I. 6 Distribuzione della statura di differenti popolazioni maschili

Età

Secondo Perissinotto *et al.* (2002), per le popolazioni anziane sono necessari specifici dati di riferimento antropometrici, poiché gli standard

Capitolo I

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. 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.

Capitolo II

Il Modello di Comfort

II.1 Introduzione

Nella progettazione HMI, sono diversi i parametri che devono essere correttamente valutati al fine di garantire un buon livello di sicurezza e di benessere degli utenti che ne usufruiscono per evitare problemi di salute come le malattie muscolo-scheletriche. Le ISO sono un buon riferimento per l'ergonomia e il comfort: l'ISO 11228 fa riferimento a diversi parametri per la valutazione ergonomica del carico posturale nelle attività di spinta e traino o di sollevamento e trasporto dei carichi nelle azioni ripetitive.

Tali parametri possono essere sintetizzati in un "Indice di Carico Posturale" che rappresenta il livello ergonomico della postura esaminata.

Nulla è stato fatto, dalle ISO, invece, per la valutazione del comfort. Non esistono, infatti, normative che definiscono un metodo per la valutazione del comfort nell'interazione uomo prodotto o in determinati ambienti di lavoro.

Più di 100.000 articoli scientifici che si occupano di comfort e disagio possono essere facilmente trovati nelle principali banche dati scientifiche e la maggior parte di questi trattano le relazioni tra fattori ambientali (come la temperatura, l'umidità, le forze applicate etc.) e il comfort / disagio percepito. Diversi studi partono dall'ipotesi che ci sia una relazione tra disagio e lesioni muscolo-scheletriche e che tali lesioni influenzano il comfort percepito; tuttavia, le teorie relative al sono piuttosto sottosviluppate.

L'obiettivo di questo capitolo è stato quello di definire un modello del comfort, che possa essere utilizzato in qualsiasi interazione uomo - prodotto o in qualsiasi ambiente di lavoro, partendo da quelli presenti in letteratura.

II.2 Modelli di comfort presenti in letteratura

Il comfort può essere definito come "il livello di benessere che deriva dall'interazione uomo – ambiente in cui questi interagisce" e il discomfort

Capitolo II

come la sensazione di disagio che un soggetto prova durante l'interazione con un determinato ambiente fisico.

Per la definizione di un modello di comfort si è partiti da una ricerca bibliografica riguardante tutti i modelli presenti in letteratura.

Gli articoli analizzati si riferiscono tutti al comfort/discomfort così come definito precedentemente ma ognuno aggiunge qualche informazione aggiuntiva. Attraverso il loro studio si sono identificati 5 fattori da considerare nell'interazione corpo-oggetto e la sensazione di comfort derivante:

- sensory input (De Korte, 2012; Vink *et al.*, 2012);
- le attività svolte durante le misurazioni e che influenzano il comfort (Groenesteijn *et al.*; Ellegast *et al.*, 2012);
- le diverse regioni del corpo (Franz *et al.*, 2012; Kong *et al.*, 2012);
- l'effetto delle caratteristiche dei prodotti sull'esperienza di comfort (D'Oria *et al.*, 2010; Kamp, 2012; Noro *et al.*, 2012);
- il carico fisico (Kee and Lee, 2012; Naddeo and Memoli, 2009; Zenk *et al.*, 2012; Di Pardo *et al.* 2008).

Il modello di comfort and discomfort proposto da Helander e Zhang

Il modello proposto da Helander a Zhang (1997) considera il comfort e il discomfort come due entità ben distinte. Nel 1950, Herzberg *et al.* (1959) intervistarono un certo numero di dipendenti per individuare i fattori che li rendevano soddisfatti o insoddisfatti del proprio lavoro. I fattori fisici, secondo Herzberg, non possono motivare o non motivare i dipendenti ma possono minimizzare il malcontento, se gestiti correttamente. L'insoddisfazione è legata alle politiche aziendali e al salario. Secondo Helander e Zhang (1997) comfort e discomfort sono ben distinti tra loro e, in particolare, l'assenza di discomfort non si traduce automaticamente in presenza di comfort. Il soggetto percepirà una sensazione di comfort quando ciò che si percepisce è meglio di quanto ci si aspettava.

Sulla base dei questionari di Zhang *et al.* (1996) e Helander e Zhang (1997) il discomfort risulta correlato alle caratteristiche fisiche dell'ambiente, come posture assunte, rigidità e fatica (vedi Tabella II.1)

Tabella II. 1 *Fattori che influenzano il comfort (discomfort) di seduta*

Fattori che influenzano il discomfort	Fattori che influenzano il comfort
Fatica	Sicurezza
Dolore	Rilassamento
Postura	Benessere
Rigidezza	
Pesantezza alle gambe	

Il modello di comfort proposto da De Looze

Un modello di comfort dell'interazione uomo-oggetto, spesso citato in letteratura, è quello proposto da De Looze et al. (2003). Tale modello mostra una relazione tra le caratteristiche fisiche del prodotto che un soggetto utilizza e la sensazione di comfort/discomfort che ne deriva in seguito al suo utilizzo (vedi Figura II.1).

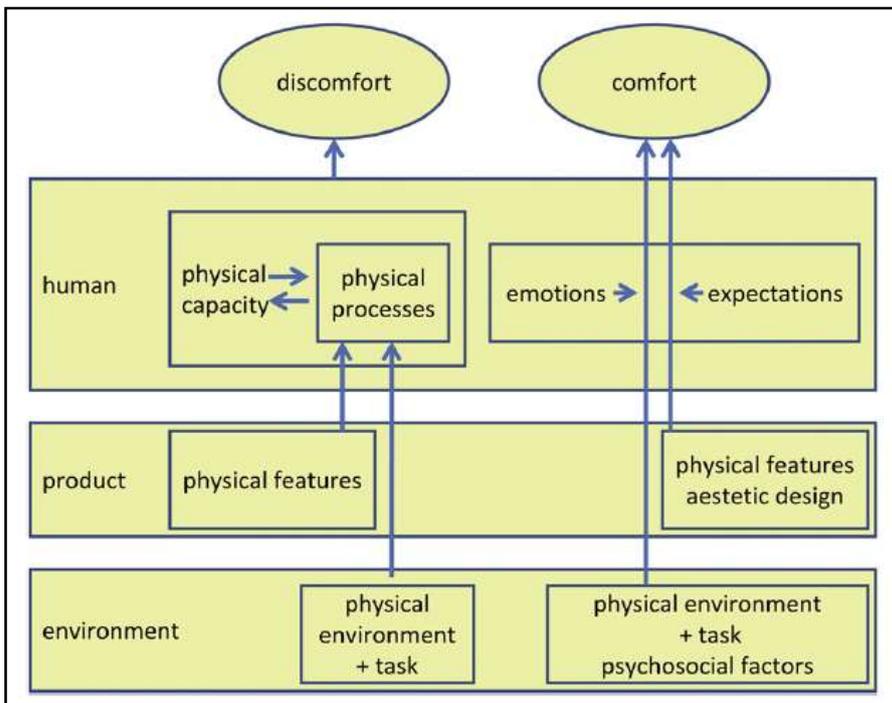


Figura II. 1 *Modello di percezione del comfort proposto da De Looze (2003)*

Nel modello mostrato in Figura II.1 tutti gli elementi che influenzano il comfort/discomfort sono descritti così come le relazioni tra i diversi fattori. Nel modello è ancora una volta evidenziata la discontinuità tra discomfort (parte sinistra del modello) e comfort (parte destra del modello). I processi fisici che sono alla base del discomfort incorporano i parametri eziologici correlati ai disturbi fisici legati al lavoro (Winkel and Westgaard, 1992; Armstrong et al., 1993): esposizione, risposta e capacità. Secondo Armstrong, l'esposizione si riferisce ai fattori esterni che producono un disturbo nello stato interno dell'individuo. La risposta interna dell'individuo a questi carichi espositivi esterni dipende fortemente dalla capacità dell'individuo.

Capitolo II

Per quanto riguarda le sedute si potrebbe affermare che le caratteristiche fisiche delle sedute da ufficio (forma, morbidezza...), l'ambiente (altezza tavolo...) e il tipo di attività (performance dell'attività a videoterminale) espongono la persona seduta a fattori di carico che coinvolgono forze, angoli articolari e pressione di interfaccia tra sedia e corpo. Questi carichi esterni possono produrre un disagio interno in termini di attivazione muscolare, forza interna, pressione intradiscale, temperatura della pelle e del corpo, provocando risposte fisiologiche e biomeccaniche. Il lato destro del modello riguarda esclusivamente il comfort, ossia, la sensazione di benessere percepita. Ancora una volta, utilizzando l'esempio della seduta, i fattori influenti sono soggetto, seduta e contesto.

Del contesto non fanno parte solo le caratteristiche fisiche ma anche i fattori psicosociali quali soddisfazione lavorativa e supporto sociale. Nelle caratteristiche riguardanti il soggetto bisogna considerare anche le aspettative e le emozioni. Per la seduta i fattori che influenzano il comfort sono le caratteristiche fisiche e il design estetico.

Il modello di comfort proposto da Moes

Un altro modello che potrebbe essere utilizzato per spiegare il processo discomfort è il modello di Moes (2005) (Figura II.2). Moes ha sviluppato un modello di percezione del disagio applicato all'interazione soggetto/seduta. Nel modello l'interazione (I) tra soggetto e oggetto che consiste ad esempio nella distribuzione di pressione del corpo sulla seduta causa una serie di effetti interni al corpo umano (E) quali ad esempio deformazione del tessuto o compressione dei nervi e dei vasi sanguigni. Questi effetti possono essere percepiti (P) e interpretati come dolore, per esempio. La fase successiva è l'apprezzamento (A) della percezione. Se questi fattori non sono apprezzati, l'interazione può portare a sensazioni di disagio (D).

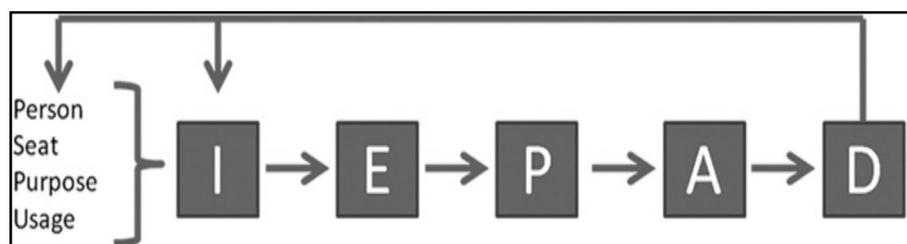


Figura II. 2 Modello di percezione del comfort proposto da Moes (2005)

Uno dei più recenti e interessanti lavori che si sono interessati alla schematizzazione del processo di percezione del comfort/ discomfort nell'interazione uomo-prodotti che questi utilizza o uomo- sistemi in cui questi agisce è quello proposto da Vink e Hallbeck (2012). Partendo dai modelli di De Looze e Moes il nuovo modello è quello riportato in Figura II.3.

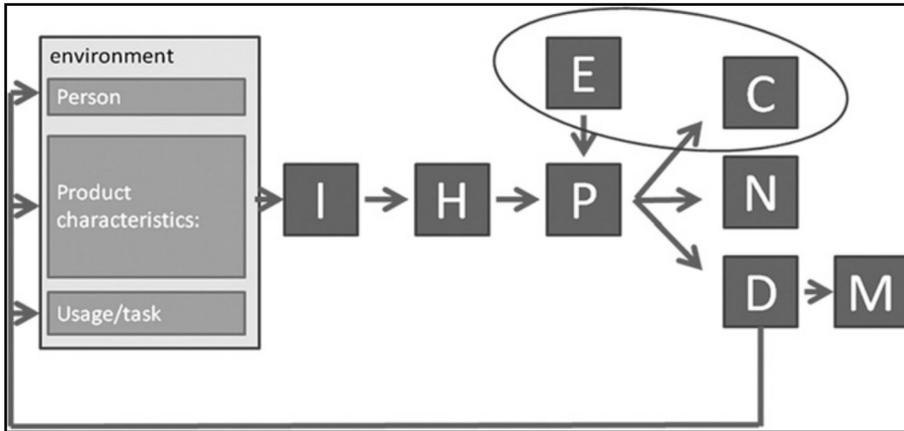


Figura II. 3 Modello di percezione del comfort proposto da Vink e Hallbeck (2012)

L'interazione (I) con un ambiente è causata dal contatto (non necessariamente fisico, come un segnale nello studio di De Korte et al., 2010) tra il soggetto e il prodotto e il suo utilizzo. Ciò può provocare effetti interni sul corpo umano (H), come la sensazione tattile, la postura assunta dal corpo e l'attivazione muscolare. Tali effetti influenzano la percezione che si ha (P). Un altro elemento che influenza la percezione sono le aspettative (E). Ciò che deriva da questo processo è una sensazione che può essere di tre tipi: sensazione di comfort (C), sensazione di discomfort (D) o nulla (N). La sensazione di comfort/discomfort non è unica ma si può andare dall'estremo discomfort all'estremo comfort e dal nessun discomfort all'estremo discomfort. Può anche succedere che il comfort e il discomfort coesistano. Ciò ad esempio potrebbe succedere su un aereo in cui l'esperienza di volo è considerata scomforabile se si considera il posto e contemporaneamente confortevole per la presenza di una particolare assistente di volo. Il discomfort potrebbe causare i dolori muscolo scheletrici (M). Secondo gli autori le aspettative e il comfort sono correlati tra di loro, ciò spiega il cerchio nel quale si trovano entrambi questi fattori nel modello. Dal modello, inoltre, si evince un legame anche tra discomfort e ambiente. Se il discomfort è troppo alto o il comfort non è considerato abbastanza allora la persona potrebbe variare qualche aspetto dell'ambiente in modo da migliorare la condizione di comfort percepita.

II.3 Il nuovo modello di comfort

In seguito all'analisi effettuata per identificare i modelli di comfort presenti in letteratura si è partiti dal modello di Vink e Hallbeck (2012), lo si è ampliato e dettagliato al fine di tener conto di altri nuovi aspetti. Il risultato è stato un nuovo modello di comfort: NC-model. La maggior parte dei lavori scientifici

Capitolo II

riguardanti il comfort fanno riferimento al modello di Vink-Hallbeck, ma ci sono anche studi che trattano gli effetti dell'ambiente e dei dispositivi utilizzati per la valutazione del comfort sul livello di comfort stesso. Tutti questi fattori devono essere studiati con una maggiore attenzione al fine di implementare le macro-voci del modello di Vink-Hallbeck e definire una regola che misuri il comfort tenendo conto di tutti gli aspetti.

Il nuovo modello proposto, che include il modello di Vink-Hallbeck, è mostrato nella Figura II.4:

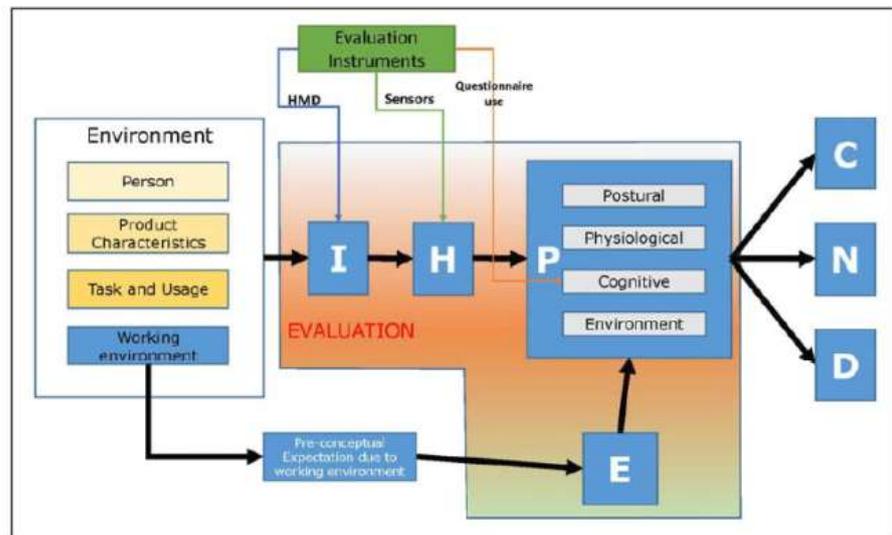


Figura II. 4 Proposta di un modello di più ampio di percezione del comfort

In questo modello, l'ambiente (Environment) è rappresentato dalla somma di 5 principali aspetti che contribuiscono a descrivere e classificare gli HMI:

- persona (Pe): rappresenta l'insieme delle caratteristiche geometriche e personali dell'uomo;
- prodotto (Pr): rappresenta l'insieme di tutte le caratteristiche geometriche e non geometriche degli elementi con cui l'uomo interagisce durante l'esecuzione del compito (forma, materiali, colori...);
- attività/utilizzo (T): rappresenta l'attività che il soggetto svolge o l'utilizzo che il soggetto fa degli oggetti durante le HMI (tipo di contatto, tempi, tipo di interazione);
- ambiente di lavoro (We): rappresenta l'insieme di parametri che caratterizzano l'ambiente di lavoro, sotto due differenti punti di vista: ambientale e di layout (temperatura, umidità, illuminazione, tipo di spazio di lavoro);

Il Modello di Comfort

- livello di soddisfazione/gratificazione (Gl): rappresenta l'insieme di tutte di tutte le caratteristiche del lavoro che contribuiscono alla soddisfazione/insoddisfazione dei lavoratori (livello del proprio lavoro nell'organigramma aziendale, turni di lavoro, gratificazione, stipendio...).

Il modello di Vink-Hallbeck (2012) è stato integrato inserendo una relazione diretta che collega l'ambiente di lavoro con le aspettative attraverso diversi aspetti pre-concettuali dovuti non solo all'ambiente di lavoro stesso ma anche al background culturale e all'esperienza del lavoratore.

Un aspetto che non può essere sottovalutato in quanto è sempre presente quando si effettua una valutazione del comfort/discomfort è quanto i dispositivi che vengono utilizzati per la misurazione possono influenzare la percezione del soggetto. Il nuovo modello, dunque, viene integrato con i dispositivi di valutazione quali: HMD (human mounted display) utilizzato in ambito della realtà virtuale e che possono modificare la percezione di comfort posturale; markers e sensori posizionati sul corpo per la misurazione di pressioni/temperatura/movimento possono modificare la percezione del comfort fisiologico; questionari che possono annoiare i soggetti influenzando il comfort cognitivo.

Il nuovo modello di comfort ((NC-modello di percezione) sottolinea il concetto secondo il quale il comfort e il discomfort sono la misura del grado di apprezzamento legato alle aspettative e dovuto alla percezione del livello di interazione (I) tra persona (H) e ambiente (We).

Il modello proposto considera un più ampio numero di elementi che sono legati all'ambiente e che possono essere classificati attraverso due assiomi principali:

il primo assioma afferma che "Ogni elemento coinvolto in un'esperienza HMI può contribuire a uno o più tipi di comfort: posturale, cognitivo, fisiologico e ambientale (Naddeo, 2013).

Il secondo assioma afferma che "Ogni elemento coinvolto nell'esperienza HMI può essere classificato come elemento primario o come elemento modificatore": un elemento primario è definito come un elemento che contribuisce direttamente alla percezione di comfort/discomfort (le misure antropometriche ad esempio influenzano in maniera diretta il comfort posturale come mostrato in Cappetti et al., 2013); un elemento modificatore viene definito come un elemento che può modificare una percezione in un secondo momento (ad esempio il tempo di seduta influenza il comfort fisiologico).

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.

Capitolo II

Grazie agli assiomi e al NC-Model, il Comfort (C) e il discomfort (D) possono essere rappresentati da queste formule:

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

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

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

Le formule rendono immediatamente chiaro che il comfort è differente dal discomfort (il primo non è la negazione del secondo).

La forma estesa delle formule può essere scritta tenendo conto che i modificatori (funzione mod) può essere utilizzato come un fattore di scala per le percezioni:

$$C_i(P) = mod(P) * m_C(H) - E = \quad (3)$$

$$= mod(P) * m_C(h(I)) - E =$$

$$= mod(P) * m_C(h(I)) - E$$

Allo stesso modo, la formula del discomfort può essere scritta come:

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

Sia m_C che m_D possono essere scritte come funzioni generali; molti studi si sono interessati al collegamento che esiste tra due o più parametri del comfort ma molti aspetti ancora non sono stati presi in considerazione. Ad esempio:

- definizione sistematica di tutti gli aspetti primari e secondari per gli elementi Pe, Pr, T, Noi e Gl ;
- L'analisi dell'interazione tra gli aspetti che riguardano la percezione;
- La standardizzazione di una scala di valutazione del comfort al fine di avere un'unica e razionale scala per misurare i quattro diversi tipi di percezione di comfort.

II.4 La matrice

Il nuovo modello di comfort (NC-model) è stato implementato e dettagliato. 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

Il Modello di Comfort

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 all'ambiente, al benessere termico, visivo, acustico e al 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.2) è legata alle caratteristiche del soggetto 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 correlazione tra le caratteristiche dei soggetti 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 genere sessuale. Nella matrice è stato considerato anche lo stile di vita, come l'abitudine allo sport, le abitudini alimentari e le aspettative personali.

Tabella II. 2 *La matrice_ personal characteristics*

Personal characteristics			
Physiological Comfort	Cognitive Comfort	Enviromental Comfort	Postural Comfort
PHYSICAL CHARACTERISTICS			
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
MENTAL STATUS			
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
PERSONAL DATA			
gender			
P localized blood pressure, body temperature, heart rate, metabolism	P		P
age			
P tactile sensation, localized blood pressure, body temperature, heart rate, metabolism	P lack of attention		P muscle effort
LIFESTYLE/EXPECTATIONS			
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.3) 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. 3 *La matrice work/task characteristics*

Work/ task Characteristics				
Physiological Comfort	Cognitive Comfort	Enviromental Comfort	Postural Comfort	
WORKSTATION				
Postures: angles and joints				
M	M	M	P	muscle effort, posture overload, muscle complaint
individual safety equipment: overall dimensions and heaviness				
M	M	M	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
WORK ACTIVITY & TASK				
type of loads and actuation (lifting, pulling, pushing)				
M	M	M	P	muscle effort, posture overload, muscle complaint

Capitolo II

		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, nervousness, tiredness	M	work overload, level of perceived tiredness, level of perceived safety, aggressiveness and irritability, lack of attention	P level of 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 level of perceived safety	P muscle effort, posture overload, muscle complaint
relative position between person and object/tool					

Il Modello di Comfort

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.4) 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 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.

Se il lavoratore è obbligato a lavorare in uno spazio ristretto, di fare movimenti forzati e di rimanere in un ambiente sporco o disordinato il suo livello di comfort diminuisce fortemente.

Tabella II. 4 *La matrice _working environment's characteristics*

Capitolo II

Working environments' characteristics					
Physiological Comfort		Cognitive Comfort	Enviromental Comfort		Postural Comfort
		VISUAL WELL BEING			
		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
		OLFACTORY WELL BEING			
		air quality			
M aggressiveness, nervousness		M aggressiveness and irritability	P		M muscle complaint
		odors			
M		M aggressiveness and irritability, lack of attention	P		M
		AUDITIVE WELL BEING			
		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 and irritability, lack of attention	P		P muscle effort, posture overload, muscle complaint
		SPACES			
		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

Il Modello di Comfort

only in case of the standing posture							
M		M		P	level of perceived safety	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
ENVIRONMENT CHARACTERISTICS							
cleanliness							
M		M	aggressiveness and irritability	P		M	
tidiness							
M		M	work overload, aggressiveness and irritability	P		M	
THERMAL WELL BEING							
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							
P	tactile sensation, localized blood pressure	M		M		M	
air speed							
M	body temperature	M		P		M	

L'ultima classe di fattori (Tabella II.5) 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

Capitolo II

il livello di riconoscimento, la responsabilità diretta del lavoro e la possibilità di crescere professionalmente (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. 5 *La matrice _level of gratification*

		Level of gratification		
Physiological Comfort	Cognitive Comfort	Enviromental Comfort	Postural Comfort	
GRATIFICATION LINKED TO THE CONTENT OF WORK				
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
ORGANIZATION/ ENVIRONMENT				
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

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

Il Modello di Comfort

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, 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 (Tabella II.6) 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. 6 *La matrice _ tools and instruments for comfort measuring*

Tools and instruments for comfort measuring				
Physiological Comfort	Cognitive Comfort	Environmental Comfort	Postural Comfort	
		invasivity		
M	M aggressiveness and irritability, lack of attention	M		M
		obstruction		
M	M work overload, level of perceived safety, aggressiveness and irritability, lack of attention	M		M muscle effort, posture overload
		tactile interference		
M tactile sensation, localized blood pressure	M lack of attention	M		M
		restriction of movements		

Capitolo II

M	M	work overload, level of perceived tiredness, aggressiveness and irritability, lack of attention	M	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint
		visual limitation			
M	M	level of perceived tiredness, level of perceived safety, aggressiveness and irritability, lack of attention	M	M	
		override of action/ position			
M	M	level of perceived tiredness, level of perceived safety, aggressiveness and irritability, lack of attention	M	M	muscle effort, posture overload, muscle complaint

II.5 Caso studio 1: Matrice di comfort applicata al car-seat

II.5.1 Introduzione

Dal nuovo modello di comfort (Figura II.5) appare chiaro che non è possibile determinare il livello di comfort associato all'utilizzo di un oggetto considerando solo le caratteristiche dell'oggetto stesso e quindi considerandolo in maniera isolata dall'ambiente in cui l'interazione uomo-oggetto avviene. Bisogna, invece, considerare tutti gli aspetti che prendono parte all'interazione e quindi bisogna considerare oltre alle caratteristiche del prodotto anche le caratteristiche dell'individuo che si interfaccia con esso, le caratteristiche dell'attività che viene svolta e tutte le caratteristiche dell'ambiente in cui l'uomo e l'oggetto si interfacciano.

Per dimostrare tale ipotesi si è fatto riferimento al caso della seduta automobilistica.

Oggi il comfort e il discomfort relativo alle sedute automobilistiche è ampiamente studiato ma in tutti gli studi per la valutazione delle sedute viene 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 multi-faccettato 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.

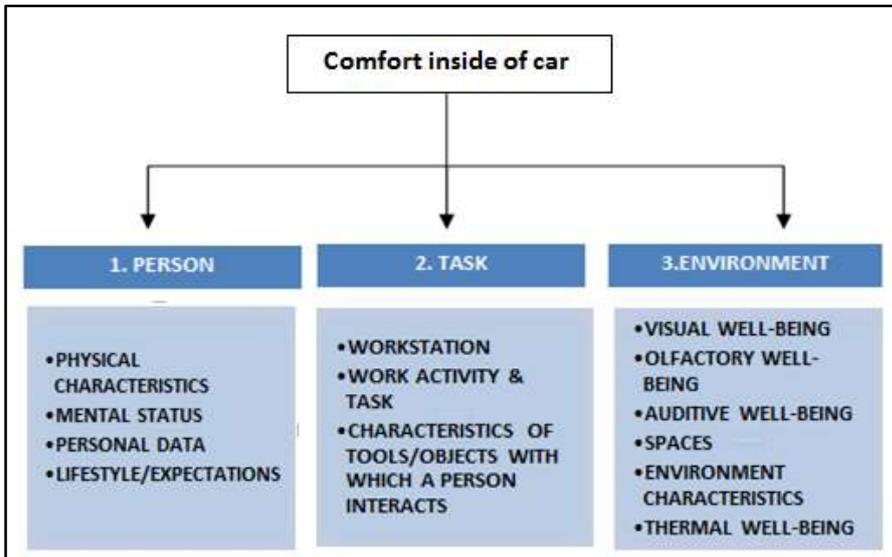


Figura II. 5 Schematizzazione degli elementi che influenzano il comfort

II.5.2 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 (Tabella II.7).

Tabella II. 7 Sottomatrice di comfort- caso seat

SEAT-COMFORT			
PHYSIOLOGICAL	EMOTIONAL -COGNITIVE	ORGANIZATION AL- ENVIROMENTAL	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

Capitolo 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

Gender

(P)localized blood-pressure, body temperature, heartrate, metabolism	(P)	(P)
---	------------	------------

Age

(P)tactile sensation, localized blood- pressure, body temperature, heartrate, metabolism	(P)lack of attention	(P)muscle effort
---	---------------------------------	-----------------------------

EXPECTATIONS

Expectations

(M)	(P)perceived safety , aggressiveness and irritability, stress	(M)
------------	--	------------

WORK/TASK CHARACTERISTICS

WORKSTATION

Posture: angles and joints

(M)	(M)	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
------------	------------	------------	---

**CHARACTERISTICS OF TOOLS/OBJECTS WITH WHICH A
PERSON INTERACTS**

Shape

Il Modello di Comfort

(M)	(M)	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
Customization of the workstation (sitting)			
(M)tactile sensation	(M)tiredness	(M)perceived safety	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
WORKING ENVIRONMENTS' CHARACTERISTICS			
VISUAL WELL-BEING			
Colors			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness , lack of attention	(P)	(M)
Odors			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	(P)	(M)
AUDITIVE WELL-BEING			
Vibrations			
(M)	(M)work overload, safety, aggressiveness and irritability, tiredness , lack of attention	(P)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
THERMAL WELL-BEING			
Interface temperature			
(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature	(M)lack of attention	(M)	(M)
Thermal resistance of clothing			
(P)tactile sensation,	(M)	(M)	(M)

Capitolo II

localized blood-pressure, body temperature

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

(P)tactile sensation, localized blood-pressure	(M)	(M)	(M)
--	-----	-----	-----

TOOLS AND INSTRUMENTS FOR COMFORT MEASURING

Invasivity

(M)	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	(M)	(M)
-----	---	-----	-----

Tactile interference

(M)tactile sensation, localized blood-pressure	(M)lack of attention	(M)	(M)
--	----------------------	-----	-----

Restriction of movements

(M)	(M)work overload, aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	(M)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
-----	---	-----	--

Override of action/ position

(M)	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	(M)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
-----	--	-----	--

WORK/TASK CHARACTERISTICS

Il Modello di Comfort

PHYSIOLOGICAL	EMOTIONAL-COGNITIVE	ORGANIZATIONAL-ENVIRONMENTAL	POSTURAL
WORKSTATION			
Posture: angles and joints (M)	(M)	(M)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
Individual safety equipment: overall dimensions and heaviness			
(M)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature	(M)perceived safety, lack of attention	(M)	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
WORK ACTIVITY & TASK			
Type of loads and actuation (lifting, pulling, pushing)			
(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,	(P)	(M)muscle effort,

Capitolo II

	perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, stress, lack of attention		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

Il Modello di Comfort

			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) (M)tactile sensation	(M)tiredness	(M)perceived safety	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
Commands' layout (M)	(M)	(M)	(P)muscle effort, posture overload,

WORKING ENVIRONMENTS' CHARACTERISTICS			muscle complaint
PHYSIOLOGICAL	EMOTIONAL-COGNITIVE	ORGANIZATIONAL-ENVIRONMENTAL	POSTURAL
VISUAL WELL-BEING			
Colors			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	(P)	(M)
Artificial lighting conditions			
(M)	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness	(P)perceived safety	(M)muscle complaint
Natural lighting conditions			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness	(P)	(M)muscle complaint
Lights' reflection and refraction on walls and objects			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	(P)	(M)muscle complaint
OLFACTORY WELL-BEING			
Air quality			
(M)aggressiveness, nervousness	(M)aggressiveness and irritability	(P)	(M)
Odors			
(M)	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	(P)	(M)
AUDITIVE WELL-BEING			
Noises			

Il Modello di Comfort

(M)	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	(P)perceived safety	(M)
Vibrations			
(M)	(M)work overload, perceived safety, aggressiveness and irritability, tiredness, lack of attention	(P)	(P)muscle effort, posture overload, muscle complaint
SPACES			
Workspace			
(M)muskular exertion, aggressiveness, nervousness	(M)perceived safety, aggressiveness and irritability	(P)perceived safety	(M)muscle effort, posture overload, muscle complaint
Layout			
(M)	(M)	(P)perceived safety	(M)
ENVIROMENT CHARACTERISTICS			
Cleanliness			
(M)	(M)aggressiveness and irritability	(P)	(M)
Tidiness			
(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			

Capitolo II

(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature Humidity	(M)lack of attention	(M)	(M)
(M)localized blood-pressure Thermal resistance of clothing	(M)	(P)	(M)
(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature Persistence in a thermal condition	(M)	(M)	(M)
(P)tactile sensation, localized blood-pressure, body temperature, aggressiveness, nervousness Contact pressure	(M)aggressiveness and irritability, lack of attention	(M)perceived safety	(M)
(P)tactile sensation, localized blood-pressure Air speed	(M)	(M)	(M)
(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; Fazlollahtabar, 2010) e di conseguenza le posture che si assumono durante la guida (Naddeo et al, 2015a). 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 genere sessuale e il livello di comfort percepito non è dimostrato in quanto persone della stessa età e genere sessuale 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 genere sessuale influenza la sensibilità al rumore e alle vibrazioni (Dauris et al., 2008).

Il Modello di Comfort

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. 2014a) e le pause tra di essi.

In letteratura la geometria della seduta (Reed et al, 1994; Kolich, 2008; 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, 2015a; 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 (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

Capitolo II

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

II.5.3 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).

II.5.4 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, il questionario utilizzato durante il test è mostrato in Figura II.6. 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).

Il Modello di Comfort

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. 6 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 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 de reverse engineering) (Figura II.7).

Capitolo II

- 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).

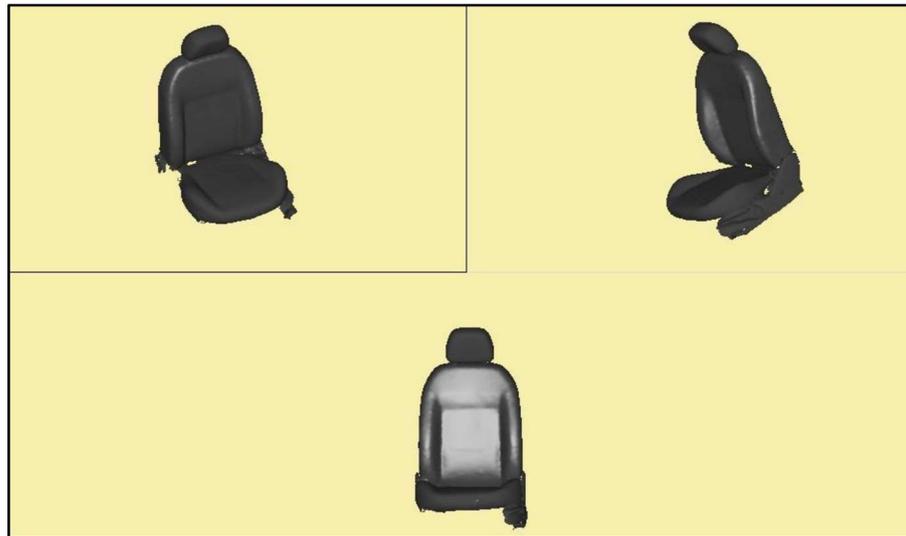


Figura II. 7 *Prototipo virtuale della seduta*

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, 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.

II.5.5 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.8).

Il Modello di Comfort

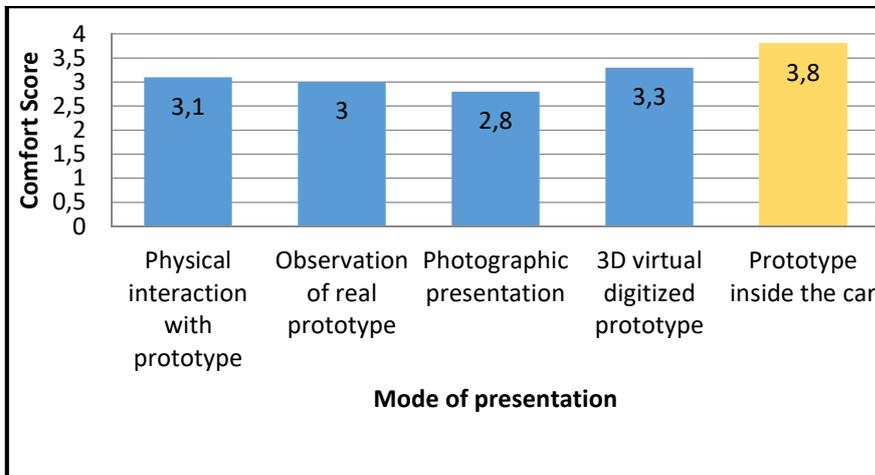


Figura II. 8 Media dei punteggi di comfort in funzione delle differenti presentazioni delle sedute

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.9, II.10, II.11, II.12).

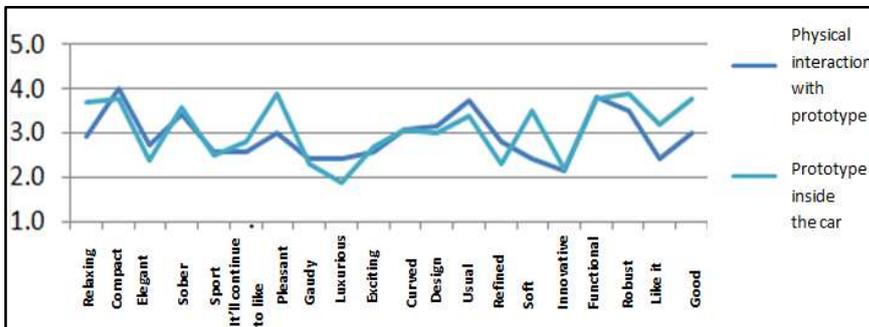
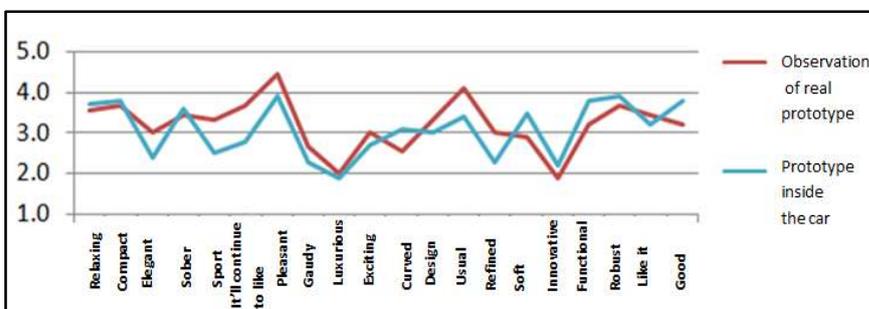


Figura II. 9 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di interazione fisica con il prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile



Capitolo II

Figura II. 10 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso di sola osservazione del prototipo e nel caso della seduta all'interno dell'automobile

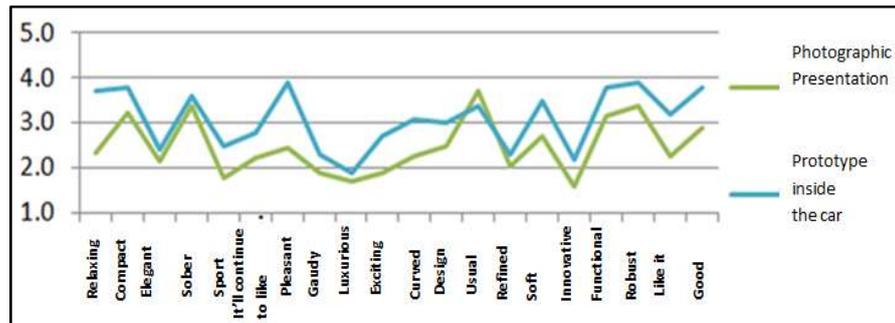


Figura II. 11 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso della presentazione fotografica della seduta e nel caso della seduta all'interno dell'automobile

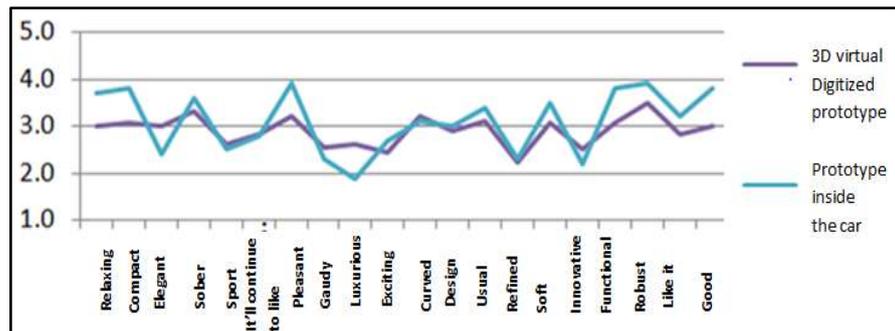


Figura II. 12 Confronto punteggi medi dei questionari nel caso del prototipo 3D digitalizzato e nel caso della seduta all'interno dell'automobile

II.5.6 Conclusioni caso studio 1

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 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.

II.6 Caso studio 2: gli effetti delle aspettative sulla valutazione del comfort

II.6.1 Introduzione

Uno degli elementi che compare nel modello di comfort riguarda le aspettative. Le aspettative hanno un ruolo fondamentale nella valutazione del comfort. Esse modificano la percezione di comfort ed infatti, nella formulazione del comfort esse vengono aggiunte o sottratte al comfort.

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,

Capitolo II

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.

II.6.2 Materiali 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 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

Il Modello di Comfort

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, genere sessuale, 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.

II.6.3 Strumenti, materiali e acquisizione dei dati

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.13). 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.

Capitolo II

QUESTIONARIO

PESO **ALTEZZA**

SESSO Maschio Femmina

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

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.

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

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

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3. 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?

Sì No

4. Se alla domanda precedente ha risposto si 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. 13 *Questionario utilizzato 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.

II.6.4 Procedura

Come precedentemente detto, il test è stato eseguito in un laboratorio chiuso (Figura II.14a), isolato dall'ambiente esterno. Prima di effettuare il test ai soggetti è stata spiegata la procedura. Ai soggetti è stato chiesto di rispondere alla prima parte del questionario prima dell'inizio del test. A ogni soggetto è stato detto che il materasso A era diverso dal materasso B. Ciascun soggetto ha dovuto, in prima istanza, stendersi sul materasso A per 15 minuti e al termine dei quali rispondere al questionario relativo al materasso A. Successivamente, ciascun soggetto ha dovuto stendersi sul materasso B per

Il Modello di Comfort

altri 15 minuti e al termine dei quali rispondere alla parte del questionario relativo al materasso B (Figura II.14 b).

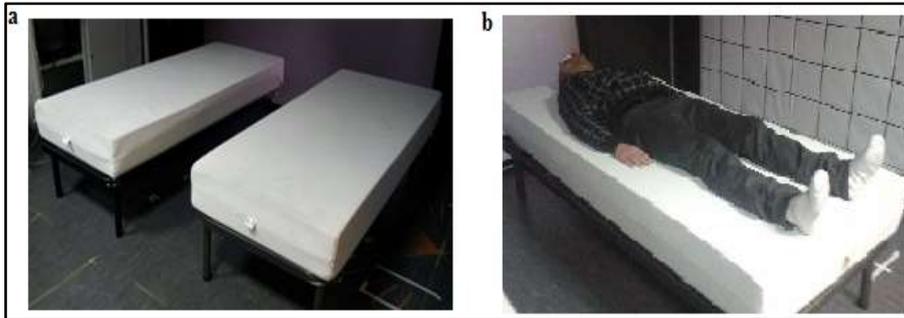


Figura II. 14 (a) Setup allestito all'interno del laboratorio di "Disegno e Metodi" presso l'Università di Salerno; (b) esempio del test.

II.6.5 Risultati

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.

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.8, dalle valutazioni di comfort che i soggetti hanno dato alle diverse parti del corpo, come richiesto nel questionario.

Tabella II. 8 *Descrizione statistica del comfort percepito per le diverse aree del corpo e per i due materassi A e B*

	Comfort testa e spalle A	Comfort testa e spalle B	Comfort tronco A	Comfort tronco B	Comfort arti inferiori A	Comfort arti inferiori B
Media	7.15	5.9	7.93	5.95	7.9	7.15
Dev.st.	1.71	2.02	1.56	2.04	1.62	1.62

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 genere sessuale 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 $\Delta\text{Comfort Atteso}$ e il $\Delta\text{Comfort}$ relativo al materasso A (la correlazione è significativa al livello 0.01); una correlazione positiva tra il $\Delta\text{Comfort Atteso}$ e il $\Delta\text{Comfort}$ 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 $\Delta\text{Comfort}$ 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

Il Modello di Comfort

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.9, in cui è possibile vedere anche come variano le altre variabili all'interno di ciascun gruppo.

Tabella II. 9 *Descrizioni statistiche all'interno dei 4 clusters*

Cluster		ΔC_p (A-B)	ΔC_a (A-B)	ΔC_p Testa/ spalle (A-B)	ΔC_p Tronc o (A-B)	ΔC_p Arti inferio ri (A-B)	Notori età	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

Capitolo II

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 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.

II.6.6 Conclusioni caso studio 2

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 A risultava più alto di quello relative 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.

Il Modello di Comfort

L'analisi ANOVA a una via ha confermato che i risultati non sono influenzati dal genere sessuale 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 Δ Comfort Atteso diminuisce il Δ Comfort (differenza tra Atteso e percepito) del materasso A e un aumento del Δ Comfort (differenza tra Atteso e percepito) del materasso B. L'analisi delle frequenze hanno mostrato che le aspettative influenzano il Δ 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.7 Conclusioni Capitolo II

Nella progettazione HMI, diversi parametri devono essere correttamente valutati al fine di garantire un buon livello di sicurezza e il benessere degli utenti (gli esseri umani) e per evitare problemi di salute come le malattie muscolo-scheletriche o psicologiche. Diversi studi partono dall'ipotesi che ci sia una relazione tra disagio e muscolo-scheletriche lesioni muscolo-scheletriche e che tali lesioni influenzano il comfort percepito. Più di 100.000 articoli scientifici che si occupano di comfort e disagio possono essere facilmente trovati nelle principali banche dati scientifiche e la maggior parte di questi trattano le relazioni tra fattori ambientali (come la temperatura, l'umidità, le forze applicate etc.) e il comfort / disagio percepito. Tuttavia le teorie relative al comfort sono piuttosto sottosviluppate.

Nella prima parte del capitolo, partendo da un'ampia ricerca bibliografica, è stata fatta una classificazione di tutti gli elementi che sembrano essere più importanti per la valutazione del comfort globale; le sensazioni e le percezioni che ne derivano sono state classificate e legate agli effetti sul corpo umano.

Per lo studio sono stati seguiti 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

Capitolo II

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.

Il nuovo modello di percezione di comfort proposto e la matrice di comfort proposti possono aiutare i ricercatori a capire su quali aspetti concentrare i propri sforzi e cercare di considerare tutti gli aspetti del problema. La nuova matrice di comfort, infatti, mostra che ci sono alcuni aspetti che non sono stati ancora studiati nella valutazione della percezione di comfort. Una delle novità di tale matrice, inoltre, è la distinzione degli elementi in primari e modificatori.

Nella seconda parte del capitolo si è voluto testare l'ipotesi che sta alla base del nuovo modello di percezione del comfort: 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.

Per fare ciò si è considerato il caso delle sedute automobilistiche. Lo stesso sedile 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.

Nella terza parte del capitolo si è voluto dimostrare l'importanza delle aspettative per la valutazione del comfort percepito. Per dimostrare tale aspetto è stato utilizzato l'effetto placebo.

I risultati ottenuti hanno confermato ciò che è asserito nel modello di Naddeo, 2014a 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.

Capitolo III

La pressione all'interfaccia

III.1 Introduzione

Dalla matrice di comfort che si è sviluppata nella prima fase dello studio appare chiaro che il comfort è un fenomeno molto complesso in quanto sono tantissimi gli aspetti che entrano in gioco.

Se il comfort riguarda il rapporto che si stabilisce fra un utente ed i prodotti che questi usa o i sistemi in cui esso agisce e con cui interagisce, si comprende come l'obiettivo fondamentale sia quello di studiare tutte le possibili interazioni fra l'uomo ed i sistemi da questi utilizzati nel corso dell'agire umano. Tali interazioni sono connesse alla globalità degli aspetti e vanno da quello strettamente biomeccanico/posturale agli aspetti fisiologici e cognitivi. Dallo studio di questi tre aspetti si arriva a definire il grado di comfort globale percepito.

Lo studio che si è sviluppato ha riguardato principalmente uno solo dei tre tipi di comfort ossia il comfort fisiologico.

Dalla matrice sul comfort che è stata sviluppata nella prima parte del lavoro si può notare come siano diversi gli aspetti che influenzano il comfort fisiologico (qualità dell'aria, vibrazioni, temperatura dell'ambiente circostante etc.) in una qualsiasi interazione uomo-oggetto. In questa sede l'aspetto su cui si è focalizzati l'attenzione è stato la pressione all'interfaccia che è stata monitorata attraverso tappetini barometrici in grado di dare in output la matrice pressoria.

Nella prima fase del lavoro ci si è posti l'obiettivo, attraverso un'ampia ricerca bibliografica, di individuare le grandezze più significative, estrapolabili dalle distribuzioni di pressione ottenibili mediante i tappetini barometrici, che bisogna considerare quando si vuole valutare come la pressione all'interfaccia influenza il comfort percepito.

Nella seconda fase del lavoro, attraverso casi studio, si è visto in che modo questi fattori influenzano il comfort percepito.

III.2 Modello concettuale

Innanzitutto, un modello concettuale è stato costruito per illustrare le ipotesi sulle relazioni tra le variabili che influenzano disagio e comfort. Il modello di comfort sviluppato da De Looze et al. (2003), che è basato sull'interazione fra il sedile auto e la persona in un certo contesto, è stato utilizzato come punto di partenza. Il loro modello si basa sulla teoria di Helander e Zhang (1997), che considerano il disagio e il comfort come due entità separate. Il modello concettuale usato come punto di partenza è mostrato nella Figura III.1. Tale modello si sviluppa in tre blocchi. Gli elementi che rientrano nell'interazione sono il soggetto e la seduta, dalla loro interazione ne deriva una sensazione di comfort o discomfort.

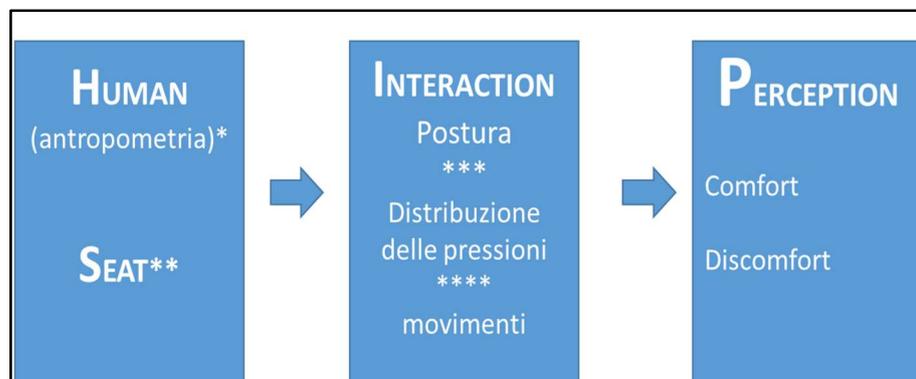


Figura III. 1 Modello concettuale

Nell'interazione uomo-seduta l'elemento principale che influenza la percezione di comfort/discomfort è la distribuzione della pressione sul piano di seduta.

Molti studi hanno investigato gli effetti delle variabili di pressione, come la pressione media e la pressione di picco (Hostens et al. 2001, Moes 2007), l'area di contatto (Paul et al. 2012; Kyung and Nussbaum 2008; Vos et al. 2006) e la distribuzione delle pressioni (Mergl 2006; Zenk 2008). Mergl (2006) e Zenk (2008; 2012), ad esempio hanno definito una distribuzione di pressione ideale per un sedile automobilistico. Sebbene la distribuzione delle pressioni sembra essere la migliore misura oggettiva per la valutazione del discomfort (De Looze et al. 2003), essa è anche influenzata da altre variabili quali postura (Tessendorf et al., 2009; Oyama et al. 2003; Zhiping and Jian, 2011) e movimenti (Wang et al, 2011; Ciaccia and Sznalwar, 2012), che non sono considerati in molti di questi studi.

L'obiettivo di questo capitolo è quello di valutare se esistono correlazioni queste tre variabili postura, distribuzione delle pressioni e movimenti e quanto queste influenzano il comfort.

III.3 Interazioni tra i vari elementi del modello concettuale

III.3.1 Effetti dell'antropometria sulla pressione all'interfaccia

In seguito ad un'ampia ricerca bibliografica si è focalizzata l'attenzione su sei studi in cui sono riportati i risultati più significativi relativi alla relazione tra fattori antropometrici e pressione all'interfaccia. In tali studi sono stati studiati diversi aspetti della pressione di contatto come ad esempio l'area di contatto, forza, la pressione media, il picco di pressione, il fattore di pressione (la combinazione tra il picco di pressione e la pressione media), e gradiente di pressione. Le variabili antropometriche, invece, sono statura, peso, genere sessuale, età, indice di massa corporea, RPI e percentuale di grasso sottocutaneo.

Altri studi hanno mostrato gli effetti delle variabili antropometriche sulla superficie di contatto. Per i sedili automobilistici, Paul *et al.* (2012) hanno trovato una correlazione tra peso e area di contatto sul pannello del sedile (r varia tra $r = 0,432$ e $r = 0,845$), e tra peso e area di contatto sullo schienale ($r = 0,432$ e $r = 0,741$). Tale analisi è stata fatta per diverse sedute. Le diverse sedute comportavano posture differenti. Secondo Paul *et al.* (2012), l'indice di massa corporea e la circonferenza dei fianchi sono i migliori indicatori antropometrici per poter studiare l'area di contatto tra il soggetto e la seduta. Kyung e Nussbaum (2008) hanno anche rilevato gli effetti della statura sulle variabili di pressione per quanto riguarda la seduta automobilistica. L'area di contatto relativa alla coscia destra (a causa della posizione di guida asimmetrica) e quella relativa alla parte superiore della schiena erano significativamente maggiori per le persone più alte. Vos *et al.* (2006) hanno invece studiato il caso delle sedie da ufficio. Nel loro studio hanno rilevato correlazioni tra le diverse variabili antropometriche e l'area di contatto: BMI e l'area di contatto ($r = 0.62$), peso e area di contatto ($r = 0.61$), RPI e area di contatto ($r = 0.50$) e statura e area di contatto ($r = 0,48$). Secondo Moes (2007), che ha studiato la pressione di contatto per le sedute senza supporto posteriore, vi è anche una correlazione tra la percentuale di grasso sottocutaneo e l'area di contatto sul piano di seduta. Vincent *et al.* (2012) hanno trovato che l'area di contatto in diverse parti della seduta potrebbe essere dedotta relativamente bene sulla base della durezza del cuscino e la larghezza dei fianchi, il genere sessuale, il peso e la statura del soggetto.

Nello studio di Kyung e Nussbaum (2013) si è rilevato che l'area media di contatto della natica destra era maggiore per i soggetti più anziani. Questo risultato è stato giustificato dal fatto che persone giovani e persone più anziane assumono posture differenti.

Riassumendo, i coefficienti di correlazione più alti sono stati trovati, in più di uno studio, tra la massa corporea e la superficie di contatto e, tra la statura

Capitolo III

e la superficie di contatto. Inoltre, altre correlazioni sono state trovate tra la larghezza dell'anca, la circonferenza dei fianchi, il BMI e la percentuale di grasso sottocutaneo e l'area di contatto. Tre studi hanno valutato gli effetti delle variabili antropometriche sulla pressione media (Hostens et al 2001; Gyi e Porter 1999; Vincent et al 2012). Per le macchine agricole in cui non è previsto un supporto dei piedi, Hostens et al. (2001) hanno trovato un aumento lineare della pressione media con il BMI ($r = 0,88$). Gyi e Porter (1999) hanno studiato la correlazione tra le variabili antropometriche e quelle di pressione durante la guida di un'automobile. Essi hanno scoperto che la pressione media era più alta per i maschi magri e alti (con più alto RPI), e hanno rilevato una correlazione positiva tra il peso e la pressione della coscia. Vincent et al. (2012) hanno trovato che il peso e la statura sono i fattori migliori che possono predire le pressioni medie. Inoltre, Moes (2007) ha trovato una correlazione tra genere sessuale e pressione media ($r = 0.75$), la pressione media è più bassa per le femmine piuttosto che per i maschi. Inoltre, Kyung e Nussbaum (2013) hanno trovato che la pressione media di contatto nella parte posteriore inferiore è più elevata per i conducenti più giovani rispetto a quelli più anziani. L'effetto delle variabili antropometriche sulla pressione massima è stata valutata in quattro studi (Hostens et al 2001; Jackson et al 2009; Moes 2007; Vincent et al 2012). Hostens et al. (2001) non hanno trovato nessun tipo di correlazione tra BMI e la pressione massima. Lo stesso risultato è stato ottenuto da Jackson et al. (2009), che hanno studiato gli effetti delle variabili antropometriche sulla pressione di picco sul sedile di guida. Non hanno rilevato, invece, nessuna correlazione tra peso, altezza e BMI e la pressione massima. Tale risultato è stato giustificato dal fatto che le variazioni antropometriche dei soggetti partecipanti al test erano minime (al. Jackston et 2009).

In conclusione, una serie di studi hanno rilevato correlazioni tra le variabili antropometriche e le differenti variabili di pressione. L'età influenza la postura e quindi la distribuzione delle pressioni. L'area di contatto, la pressione media e il picco di pressione risultano i fattori che più comunemente vengono valutati. Un'area di contatto più ampia può essere giustificata da un peso più elevato. Comunque, il genere sessuale influenza questa correlazione, infatti, è stato dimostrato che l'area di contatto per le donne è maggiore.

III.3.2 Effetti dell'antropometria sulla postura e movimenti

Solo pochi studi si concentrano sugli effetti delle variabili antropometriche sulle posture assunte dai soggetti nel caso delle posture assise. Branton e Grayson (1967) hanno osservato i passeggeri dei treni e sono stati i primi a notare che le persone alte stanno sedute con le ginocchia incrociate per periodi più lunghi rispetto alle persone più basse. Rispetto alle persone alte, le persone di bassa statura siedono il più delle volte con entrambi i piedi sul pavimento. Teraoka et al. (1994) hanno invece notato che le persone basse, nella postura

da seduti, poggiano meno i piedi a terra e si poggiano meno allo schienale. Ciaccia e Sznalwar (2012) hanno concluso che i partecipanti nel loro studio hanno adottato posizioni molto simili sia per la lettura sia per la fase di riposo, al fine di evitare disagi, pur avendo diverse caratteristiche antropometriche. Tale studio, però, ha interessato solo 5 persone. In un esperimento di simulazione di guida, Park et al. (2013) hanno trovato una relazione tra la postura assunta dalla parte superiore del corpo e il genere sessuale; la maggior parte dei conducenti di genere sessuale femminile ha preferito una posizione con la schiena più dritta, mentre la maggior parte dei conducenti di genere sessuale maschile ha preferito una posizione con la schiena più inclinata. In uno studio sui sedili automobilistici, Kyung e Nussbaum (2013) hanno rilevato che i conducenti più anziani preferiscono una postura di guida (configurazione del sedile SUV) più alto e più dritto, mentre i conducenti più giovani preferivano una postura (configurazione dei sedili berlina) più reclinata.

In sintesi, cinque studi hanno riportato che diverse posture del corpo sono associate alle caratteristiche antropometriche (statura, genere sessuale ed età). Non sono stati trovati studi in cui sono stati segnalati correlazioni tra antropometria e movimento.

III.3.3 Effetti della seduta sulla postura e movimenti

Le diverse caratteristiche di una seduta possono influenzare la postura del corpo e i movimenti che si effettuano mentre si sta seduti. Naturalmente, gli angoli dello schienale e il piano della seduta determinano la postura generale del corpo, come l'angolo tra la coscia e il tronco. Tuttavia, alcune caratteristiche dei sedili hanno un effetto meno evidente.

Telfer et al. (2009) hanno monitorato i movimenti di 12 soggetti a cui è stato chiesto di stare seduti su 4 sedute differenti. Anche se hanno rilevato una differenza significativa tra le posture assunte sulle quattro differenti sedute, non è apparso chiaro quale delle caratteristiche della seduta erano responsabili di queste differenze. Le sedute differivano nelle dimensioni, nel materiale e nella forma.

Park et al. (2013) hanno osservato che la postura adottata dalla parte inferiore del corpo è fortemente influenzata dall'altezza a cui è sistemato la seduta automobilistica. La postura con le ginocchia piegate prevalentemente si è ottenuta nella condizione di SUV, ma difficilmente si è verificata nella condizione coupé, mentre la postura con il ginocchio esteso difficilmente si è verificato nella condizione di SUV.

In uno studio condotto all'interno di un'automobile in cui ai soggetti era chiesto di utilizzare un tablet, Van Veen et al. (2014) hanno dimostrato che l'angolo di flessione del collo dei passeggeri potrebbe essere significativamente ridotto quando si utilizzano braccioli appositamente

Capitolo III

progettati, aumentando così la percezione del comfort generale e del comfort per le varie regioni del corpo, in particolare, del collo.

Van Deursen et al. (2000) hanno sviluppato una seduta speciale che attraverso un sistema massaggiante induce movimento passivo della colonna vertebrale mentre si sta seduti. Questa caratteristica causa movimenti passivi del corpo che allunga la colonna vertebrale per ridurre il disagio quando si sta seduti.

III.3.4 Effetti della seduta sulla pressione all'interfaccia

Otto studi hanno rivelato un'associazione tra le dimensioni e la forma del sedile e la pressione all'interfaccia uomo-seduta. Non è stato trovato, invece, nessuno studio che ha rilevato una correlazione tra il materiale utilizzato per la seduta e la pressione all'interfaccia.

Cinque studi hanno dimostrato una correlazione tra le dimensioni della seduta e la pressione all'interfaccia.

Kyung e Nussbaum (2008) hanno dimostrato che differenti sedute influenzano i fattori di pressione come la pressione media, il picco di pressione e l'area di contatto delle natiche e della coscia. Ciò può essere dovuto alle differenti dimensioni dei sedili testati, ma può anche essere causato dalle diverse forme e i diversi materiali del cuscino.

Secondo Reed et al. (2000) la lunghezza del cuscino è un aspetto importante per il sostegno coscia. Un cuscino che è troppo lungo può causare troppa pressione sulla parte posteriore delle gambe in prossimità del ginocchio. Tale picco di pressione potrebbe causare un disagio locale e limitare il flusso di sangue alle gambe. Questo è supportato da Mergl (2006), che nel suo studio ha definito la distribuzione della pressione ideale per i sedili automobilistici (lato del conducente).

Mergl ha dimostrato che il comfort è maggiore quando vi è una distribuzione di pressione ideale sotto le gambe e il sedere, ossia il 24.5-28.5% della pressione totale per il sedere, meno del 14% del totale per le cosce e meno del 3% del totale per la parte anteriore della coscia. La forma del sedile può contribuire a raggiungere questa distribuzione ideale.

Inoltre, Hostens et al. (2001) hanno dimostrato che un'inclinazione più piccola dello schienale contribuisce ad avere pressioni più alte sul sedile e pressioni più basse sullo schienale.

Tuttavia, Park et al. (2013) non hanno trovato effetti significativi dell'altezza della seduta sulla distribuzione delle pressioni relativa alla parte inferiore del corpo del conducente (sedere e cosce).

Altri quattro studi hanno rivelato correlazioni tra la forma del sedile e la pressione all'interfaccia. Secondo Chen et al. (2007), cuscini con diverse forme comportano differenti distribuzioni delle pressioni. Carcone e Keir (2007) hanno studiato gli effetti dei fattori antropometrici sulle preferenze dello schienale, ma non hanno trovato effetti significativi.

La pressione all'interfaccia

Anche se nessuno degli studi ha trovato le correlazioni tra caratteristiche della seduta e la pressione di interfaccia, i risultati hanno mostrato associazioni tra le dimensioni, la forma e il materiale della seduta con la pressione all'interfaccia. Tuttavia, le esatte correlazioni non sono ancora del tutto chiare.

III.3.5 Postura e pressione all'interfaccia

Nove studi hanno valutato le correlazioni tra la postura e la pressione di interfaccia. Vos et al. (2006) hanno studiato l'effetto dei fattori personali, la postura e il design dei sedili sulla pressione all'interfaccia per le sedie da ufficio ergonomiche. Essi hanno scoperto che un aumento dell'angolo tronco-coscia riduce i valori del fattore di pressione (cioè una combinazione della pressione di picco e la pressione media). Moes (2007) ha trovato che una rotazione del bacino influenza l'area di contatto e la pressione media. Lo studio si è concentrato sulle sedute senza schienale.

Il rapporto tra la rotazione del bacino e la zona di contatto è influenzata da caratteristiche antropometriche, come il grasso sottocutaneo (Moes 2007).

Tessendorf et al. (2009) ha impiegato i dati acquisiti da un tappetino di acquisizione delle pressioni per generare 16 prototipi di postura. In questo modo, la postura da seduto assunta da un soggetto potrebbe essere previsto in tempo reale tramite i dati di pressione. Analogamente, Xu et al. (2012) hanno sviluppato un metodo per riconoscere nove differenti posizioni di seduta sulla base dei dati di distribuzione della pressione. Hanno raggiunto una precisione del 82,3% utilizzando 64 sensori di pressione (6 * 8 sensori per il pannello del sedile e 2 * 8 sensori per lo schienale).

Zhiping e Jian (2011) hanno studiato tre posizioni di seduta indotte da tre angoli di inclinazione dello schienale di una sedia da ufficio. Lo studio ha rilevato effetti significativi delle diverse posizioni su sei variabili di pressione (pressione media sulla seduta, picco di pressione sulla seduta, pressione media sullo schienale, picco di pressione sullo schienale, area di contatto sullo schienale).

In uno studio di Oyama et al. (2003), sono state confrontate due tipi di posture: la postura assunta su una sedia con schienale dritto e la postura assunta su una seduta con schienale reclinato. Per ognuna delle posture il soggetto doveva battere a macchina per 20 minuti. L'analisi dei risultati ha mostrato differenze significative per la pressione media della seduta (più bassa nel caso delle sedie con schienale reclinato) e della pressione media sullo schienale (più alta nel caso delle sedie reclinabili).

In uno studio condotto da Kyung e Nussbaum (2013), si è visto che le differenze posturali sulle sedute automobilistiche comportano differenze per i fattori di pressione. Ad esempio, la pressione massima nella parte superiore della schiena era più alta su un sedile di un SUV, ciò dimostra che una postura più eretta ha fornito un maggiore sostegno per la parte superiore della schiena di una postura più reclinata (configurazione dei sedili berlina). Tale risultato

Capitolo III

sembra essere in contrasto con Chen et al. (2013). In tale studio, infatti, fu rilevato che un aumento dell'angolo dello schienale comporta un aumento dei valori di pressione sullo schienale stesso e una riduzione dei valori di pressione sulla seduta a causa dello spostamento del peso corporeo verso lo schienale e non verso la seduta. D'altra parte, il Park et al. (2013) hanno analizzato il rapporto di pressione relativa a 17 parti del corpo, e non ha trovato alcuna relazione tra postura di guida e la pressione all'interfaccia uomo-seduta. Questi studi dimostrano che la pressione di interfaccia è correlato con la postura assunta durante la guida.

III.3.6 Movimenti e pressione all'interfaccia

La variazione della pressione all'interfaccia è un buon indicatore di come cambia la postura del soggetto nel tempo, vale a dire i movimenti che vengono effettuati.

Wang et al. (2011) ha studiato l'effetto dei movimenti, su un sedile automobilistico, sulle variabili di pressione. Lo scopo di tale studio è stato quello di distinguere i movimenti necessari che devono essere fatti dal soggetto durante la guida e quelli che vengono fatti per ridurre il disagio nel tempo. Lo studio ha dimostrato che le variabili di pressione nell'interfaccia uomo-seduta sono sensibili ai movimenti che vengono effettuati durante la guida.

Ciaccia e Sznalwar (2012) hanno studiato le posture e l'interfaccia di pressione di due attività (di riposo e lettura) in un aereo in soli cinque soggetti. Lo studio combinato delle mappe di pressione e le corrispondenti posizioni (le posizioni sono state registrate visivamente) ha dato un'idea delle alterazioni della postura del corpo nel tempo per ciascuna attività. Lo studio di Ciaccia e Sznalwar (2012) presenta solo osservazioni qualitative, ma lo studio di Na et al. (2005) fornisce un supporto scientifico.

Lo studio di Na et al. (2005) ha utilizzato le variazioni delle variabili di pressione – considerando quanti cambiamenti sostanziali nella distribuzione di pressione ci sono stati nel tempo - come indicatori di movimento. Essi hanno scoperto che, all'aumentare del periodo di guida, aumentano il numero di cambiamenti nella distribuzione delle pressioni. Tale risultato viene giustificato da un aumento del discomfort.

Si può concludere da questi studi che la pressione all'interfaccia può essere un ottimo indicatore delle variazioni della postura e quindi dei movimenti.

III.3.7 Postura, movimenti e comfort

Sei studi hanno dimostrato che il corpo umano sembra compensare il disagio tramite un cambiamento della postura o facendo movimenti con le varie parti del corpo. È stato dimostrato che le variazioni della pressione all'interfaccia e il disagio soggettivo aumenta all'aumentare del periodo di

guida. Questo implica che il conducente tende a muoversi più frequentemente quando si sente a disagio (Na et al. 2005). Analogamente, quando si misura la distribuzione della pressione di due sedili per autoveicoli, Le et al. (2014) hanno notato che al disagio corrisponde il movimento del corpo o di una parte di esso. Per i piloti di aliante, Jackson (2009) ha rilevato che, dopo circa 40 minuti, i piloti hanno cominciato a fare grandi movimenti, ad agitarsi al fine di alleviare la pressione sul gluteo. Nello studio di Sember (1994), si è constatato che ci sono voluti almeno 30 minuti affinché il disagio si manifestasse a tal punto da comportare movimenti del corpo. I movimenti sono quindi utilizzati anche come indicatori del disagio percepito. Telfer et al. (2009) conclusero che i movimenti posturali si spiegano nel 29,7% della varianza del disagio, e Søndergaard et al. (2010) hanno riportato che la deviazione standard dello spostamento del centro di pressione è correlata al disagio.

D'altra parte, i movimenti possono essere usati anche per prevenire il disagio nel tempo e per creare comfort. È stato anche dimostrato che quando un soggetto è seduto, sia il movimento attivo che quello passivo, ha un effetto positivo sul comfort e serve per ridurre il disagio (Hiemstravan Mastrigt et al 2015; Van Dieën et al 2001; Van Deursen et al 2000; Franz et al 2012). Il disagio correlato alla postura seduta è dovuto al fatto che il soggetto è costretto ad assumere una postura pressochè simile per un tempo più o meno lungo. (Van Dieën et al. 2001). Diversi studi hanno dimostrato che il movimento passivo ha effetti positivi sulla prevenzione del disagio, nel caso delle sedie da ufficio (Van Deursen et al., 2000) e sedili, del conducente (Reinecke et al. 1994). Franz et al. (2012) hanno dimostrato che il comfort è più alto e l'attività muscolare era significativamente più bassa quando si guida accomodati su una seduta che prevede un sistema massaggiante. Altri studi si sono concentrati sul caso delle sedie da ufficio non rigide (Van Dieën et al., 2001) e sul sedile posteriore di una vettura (Hiemstra-van Mastrigt et al. 2015). Inoltre, diversi studi mostrano l'importanza di variare la postura anche se si è seduti (per esempio Lueder 2004; Nordin 2004).

Quindi, la relazione tra movimento, comfort e disagio è duplice. Da un lato, diversi studi indicano che micromovimenti e irrequietezza sono una misura appropriata del disagio, anche prima che la persona sia consapevole del disagio percepito. D'altra parte, la variazione della postura può ridurre il disagio e migliorare il comfort.

III.3.8 Pressione all'interfaccia e comfort

In seguito ad un'ampia ricerca bibliografica si sono individuati i parametri che vengono valutati nella valutazione della correlazione tra pressione di interfaccia e comfort/disagio. Le variabili che maggiormente vengono utilizzate per poter studiare tale relazione sono: area di contatto, pressione media, pressione di picco, gradiente di pressione e variazione di pressione. Sei

Capitolo III

studi dividono la zona di interfaccia in diverse parti, per esempio, coscia anteriore, coscia centrale e glutei (Porter et al 2003; Mergl 2006; Na et al 2005; Gyi e Porter 1999; Noro et al 2012; Kyung e Nussbaum 2008). Gli effetti sul comfort e il disagio sono stati misurati con diversi metodi, come la valutazione del disagio e / o del comfort per ciascuna regione del corpo e il numero di movimenti derivanti dal disagio indotto dalla seduta.

Nella loro revisione della letteratura, De Looze et al. (2003) conclusero che la distribuzione della pressione sembra essere la misura oggettiva con la più chiara associazione con le valutazioni soggettive di comfort e disagio, rispetto ad altre misure (come le misurazioni dei movimenti del corpo, le stime di attivazione muscolare e affaticamento muscolare con l'elettromiografia, e le misure di perdita di statura (restringimento della colonna vertebrale) e le variazioni di volume del piede / gamba). Dei sette studi trovati da De Looze et al. (2003), tre riportano correlazioni significative tra pressione e benessere/malessere. Vincent et al. (2012) ha misurato la distribuzione della pressione su quattro diversi cuscini per una poltrona da ufficio mentre i soggetti simulano posizioni di guida automobilistica. Hanno trovato coefficienti significativi ma deboli (correlazione tra 0,1 e 0,38): correlazioni negative tra la pressione e il comfort generale (cioè a pressioni più basse corrispondono valori di comfort più elevati). Livelli medi di pressione sono stati un po' meglio correlati con le valutazioni comfort complessivo di massimi valori di pressione nel cuscino del sedile o sedile posteriore.

Le misure di pressione sono ancora spesso usati come indicatori di comfort e disagio. Tuttavia, queste sono influenzate da molti altri fattori che influenzano le variabili di pressione (ad esempio antropometrici e posture del corpo), nonché da molti altri fattori che influenzano il comfort e disagio (ad esempio postura e movimento).

III.4 Caso studio 3: Valutazione delle correlazioni tra postura e pressione all'interfaccia

III.4.1 Introduzione

Molta dell'attività giornaliera compiuta dall'uomo si svolge mediamente in posizione seduta. Dal punto di vista fisiologico ciò comporta un notevole risparmio del dispendio energetico giornaliero, dato che in posizione seduta un essere umano consuma il 40% di energia in meno rispetto a quanta ne consumerebbe per il solo fatto di rimanere in piedi. Inoltre, mentre il lavoro manuale può richiedere dispendi energetici che possono raggiungere anche 10 volte o più il consumo energetico a riposo, il lavoro cosiddetto "intellettuale", svolto quindi con il cervello, ammonta a circa il 15% del consumo energetico a riposo indipendentemente, in buona sostanza, dalla difficoltà o dall'intensità del lavoro mentale. Pertanto, la fatica che il lavoratore accusa alla fine della giornata non può essere attribuita in modo esclusivo o preponderante al lavoro

La pressione all'interfaccia

mentale in sé, ma vi contribuiscono ulteriori elementi indagabili più con i metodi della c.d. Fisiologia d'organo, tra i quali gioca un ruolo indiscutibilmente centrale la postura assisa mantenuta per lunghi periodi. La postura assisa non corretta dà luogo a compressioni localizzate dei tessuti delle regioni glutee e delle cosce, con conseguente impedimento di una efficiente circolazione locale del sangue, a compressioni delle radici nervose il cui decorso avvenga in tali regioni dando luogo a parestesie.

L'evoluzione di queste ultime in franco dolore provoca, a sua volta, continui cambiamenti di posizione nel tentativo di porre fine ad una chiara situazione di "discomfort". La comparsa di norme quali quelle dettate agli art. 3 e 52 del D.Lgs. 626/94, riprese in tempi più recenti agli articoli 15 e 174 del D.Lgs. 81/08, e di direttive emanate sia a livello nazionale che europeo (UNI EN 1335) ha stimolato la ricerca di metodi obiettivi per dimostrare il posgenere sessuale da parte del prodotto "sedile da lavoro" di caratteristiche, anche in termini di "comfort", tali da renderlo rispondente al dettato di Legge.

Un approccio alla ricerca di un indice obiettivo, scevro quindi da derive soggettive, per quantificare il grado di comfort di un sedile è stato quello di valutare, in modo analitico, come il peso corporeo si distribuisca sul piano orizzontale della seduta e sul piano verticale del sostegno dorso lombare.

Curve isobare di distribuzione delle pressioni esercitate da un soggetto seduto su un piano orizzontale si possono ritrovare nel lavoro di Schoberth (9) e, in tempi più recenti, di Pheasant (8) e di Gross et al (5). Tuttavia, come pone giustamente in rilievo Silvestro (10), usare la mappatura delle pressioni per valutare il design di una sedia non è un processo corretto, in quanto persone diverse che siedono sulla stessa sedia possono esibire mappe di pressioni molto diverse tra loro.

III.4.2 Obiettivo

Uno dei fattori che contribuisce alla percezione di disagio è la distribuzione della pressione nell'interazione tra una persona e l'oggetto con cui interagisce. Questa ipotesi è facile da dimostrare, specialmente nei casi in cui buona parte del è a contatto con un oggetto come l'interazione tra una persona e una seduta. Studi precedenti hanno dimostrato una interdipendenza tra la pressione e la postura e la pressione all'interfaccia e il disagio.

L'obiettivo specifico di questo studio è stato quello di approfondire l'impatto dei fattori posturali e di comfort sulla pressione all'interfaccia uomo-seduta.

I fattori personali considerati sono genere sessuale, peso, statura e indice di massa corporea. I fattori posturali considerati sono angoli assunti dal tronco e dagli arti inferiori (coscia e gamba).

III.4.3 Campione e setup

Allo studio hanno partecipato 27 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. Le principali caratteristiche dei soggetti sono riportate nella Tabella III.1.

Tabella III. 1 *Descrizione statistica delle caratteristiche personali del campione che ha partecipato ai test*

	Età (anni)	Peso (Kg)	Altezza (cm)	Indice di Massa Grassa
Media	24.37	69.56	170.19	23.77
Dev. Standard	2.35	13.90	8.68	2.95
Minimo	21	45	154	18.3
Massimo	34	96	186	28,4

Lo studio è stato condotto su una sedia rigida per la quale era possibile regolare l'altezza del piano di seduta. La scelta di una sedia rigida è giustificata dal fatto che in questo modo è stato possibile valutare la distribuzione delle pressioni, e quindi la percezione di comfort, nel caso peggiore con i glutei completamente schiacciati sul piano di seduta senza avere nessuna deformazione da parte della seduta (Fig. III.2 (a)).

Per il rilievo della mappa delle pressioni esercitate dal soggetto seduto è stato utilizzato un tappetino barometrico (Medilogic®) (Fig. III.2 (b)), la cui flessibilità ne consentiva un ottimo adattamento agli spazi che si venivano a creare all'interfaccia tra soggetto e piano di seduta. Il tappetino, la cui superficie è di 50x50 cm, è composto da una matrice di 480 sensori resistivi ciascuno di area $\Delta s = 1 \text{ cm}^2$. In tal modo è stato possibile costruire delle matrici numeriche, ciascun elemento delle quali coincideva con il valore letto dal corrispondente sensore di pressione. La mappatura delle pressioni era anche visualizzata mediante falsi colori, rappresentanti aree isobariche mutanti dal rosso al blu per pressioni di valore decrescente.

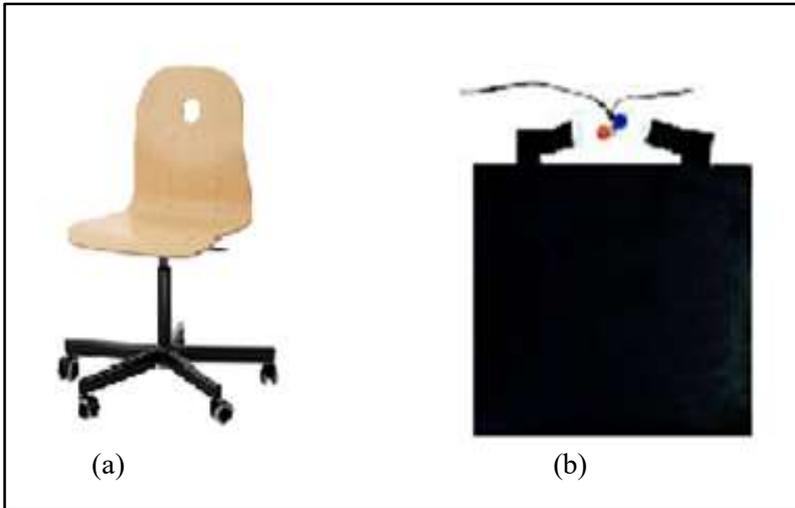


Figura III. 2 (a) La sedia (b) tappetino barometrico Medilogic®

Per l'acquisizione fotografica delle posture sono state utilizzate 2 fotocamere digitali (Figura III.3):

- 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 flesso/ estensione del ginocchio;
- la fotocamera B è distante 36 cm dalla sedia ed è stata utilizzata per poter acquisire i range angolari nel piano trasversale. Nello specifico sono stati acquisiti l'abd/adduzione dell'anca;

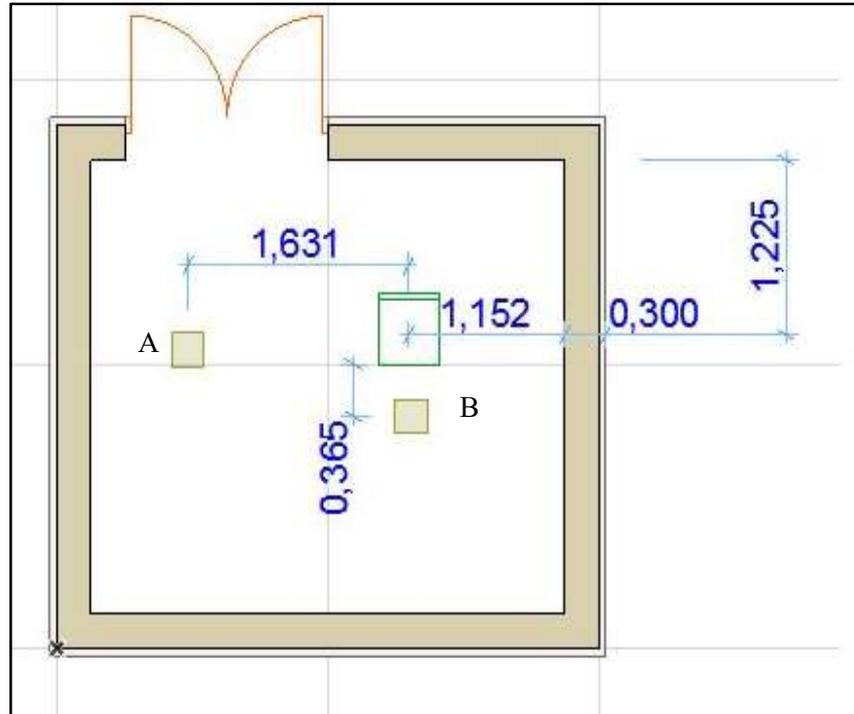


Figura III. 3 *Layout ambiente di lavoro*

Per l'acquisizione delle percezioni di comfort è stato utilizzato il Body Region Discomfort Questionnaire in cui il discomfort è valutato su una scala Likert a 5 punti e per 6 specifiche regioni dei glutei. (Fig.III.4).

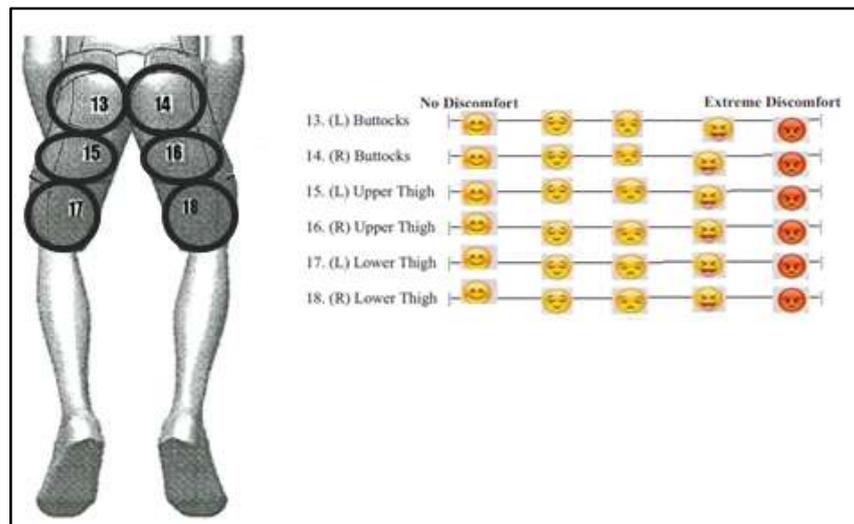


Figura III. 4 *Body Region Discomfort Questionnaire*

III.4.4 Procedura

Grazie all'utilizzo di una sedia regolabile in altezza è stato possibile registrare 9 differenti posture (Fig. III.5):

- (1A) il soggetto ha posizionato l'altezza della seduta secondo le proprie preferenze assumendo la postura considerata più confortevole e mantenendola per 5 minuti;
- (1B) il soggetto ha posizionato la sedia alla massima altezza assumendo la postura considerata più confortevole e mantenendola per 5 minuti;
- (2B) la sedia è stata posizionata all'altezza massima (46 cm). Al soggetto è stato chiesto di sedersi in modo tale da avere entrambe le piante dei piedi appoggiate a terra e l'angolo al ginocchio fosse di 90°;
- (3B) la sedia è stata posizionata all'altezza massima. Al soggetto è stato chiesto di sedersi in modo tale da raggiungere con le gambe la flessione massima;
- (4B) la sedia è stata posizionata all'altezza massima. Al soggetto è stato chiesto di sedersi in modo tale da raggiungere con le gambe l'estensione massima;
- Nei casi (1C), (2C), (3C) e (4C) al soggetto è stato chiesto di assumere le stesse posture di (1B), (2B), (3B) e (4B) ma collocando la sedia all'altezza minima (35.5 cm).

Il questionario di comfort è stato sottoposto ai soggetti nelle sole posizioni (1A, 1B e 1C) in cui il soggetto sceglieva la posizione ritenuta più confortevole. Questa scelta è stata fatta per cercare di eliminare il fattore posturale quando il soggetto era tenuto a dare un giudizio sul comfort relativo alla distribuzione delle pressioni.

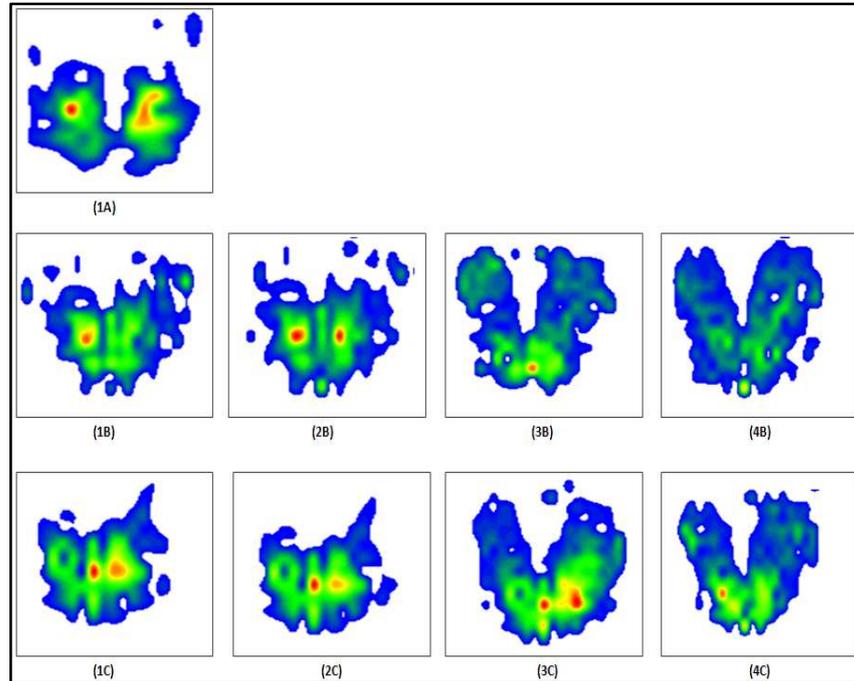


Figura III. 5 *Un esempio delle 9 posture assunte dai diversi soggetti e le relative distribuzioni di pressione.*

III.4.5 Acquisizione dei dati

Per le differenti posture sono stati registrati 3 tipi di dati: distribuzioni delle pressioni all'interfaccia, posture assunte e livello di comfort percepito.

La matrice 24x20 relativa alla distribuzione delle pressioni è stata suddivisa in tre aree come mostrato in Fig.III.6.

La pressione all'interfaccia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
20	<u>Buttock Region</u>																							
19																								
18																								
17																								
16																								
15																								
14	<u>Upper Thigh Region</u>																							
13																								
12																								
11																								
10																								
9																								
8	<u>Lower Thigh Region</u>																							
7																								
6																								
5																								
4																								
3																								
2																								
1																								

Figura III. 6 *Divisione della mappa barometrica per le 3 aree: glutei, parte superiore della coscia, parte inferiore della coscia*

Per ciascuna area sono stati calcolati i seguenti valori:

- la pressione di picco (Pmax) [N/cm²] relativa ai glutei, alla parte superiore della coscia e alla parte inferiore della coscia;
- la pressione media (Pmean) [N/cm²] relativa ai glutei, alla parte superiore della coscia e alla parte inferiore della coscia;
- l'area di contatto (Area) [cm²] relativa ai glutei, alla parte superiore della coscia e alla parte inferiore della coscia.

Per l'acquisizione della postura, le foto scattate sono state processate mediante il software Kinovea®. Gli angoli posturali calcolati sono (Fig.III.7):

- flessione del tronco (TF) misurata come l'angolo compreso tra l'asse del busto e la perpendicolare al suolo;
- flessione della coscia (tf) 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.;
- flessione/estensione della gamba (lf) 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;

Capitolo III

- abduzione delle cosce (ta): 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;

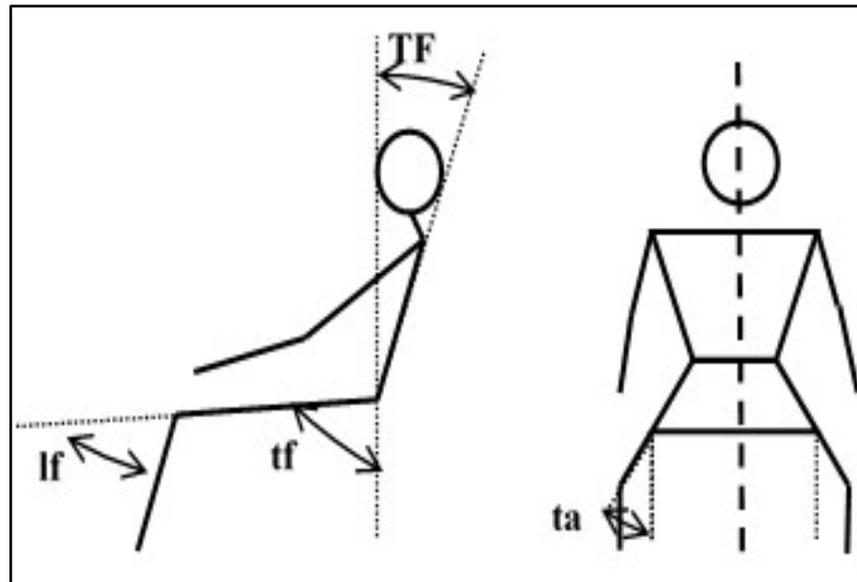


Figura III. 7 Angoli posturali calcolati su un modello biomeccanico nel piano sagittale (sinistra) e in quello frontale (destra)

Per trasformare le informazioni qualitative ottenute sul comfort per le posture (1A), (1B) e (1C), a valori quantitativi sono stati utilizzati i seguenti criteri:

Tabella III. 2 Valori quantitativi associati al questionario di comfort utilizzato durante i test

indici qualitativi del questionario	Descrizione qualitativa	Valore quantitativo
😊	Assenza di disagio	2
😐	Posizione abbastanza confortevole	1
😐	Né comfort né discomfort	0
😞	Un forte disagio legato a una zona di pressione eccessiva sul seat	-1
😡	Un forte disagio legato a un'estesa zona di pressione eccessiva sul seat	-2

III.4.6 Analisi dei risultati

Nella Tabella III.3 sono riportati i valori medi di tutte le variabili considerate nello studio (pressioni, angoli posturali, indici di comfort) per le diverse posture.

Tabella III. 3 Valori medi di pressione, fattori posturali e Indice di Comfort per le differenti posture assunte

Variabile valori medi	1A	1B	1C	2B	2C	3B	3C	4B	4C
TF	3.4	2.9	3.5	2.9	3.9	2.1	2.3	2.5	3
Tf	2.8	2.8	3.5	2.8	3.7	2.4	2.6	2.6	3.4
Lf	0.3	0.4	0.3	0.3	0.1	1.3	1.0	1	1.1
Ta	1.1	1	1.2	1.1	1.3	0.9	1	0.9	1.1
Pmax_glutei	0.7	0.6	0.9	0.7	1.1	0.9	1	0.9	1.1
Pmax_coscia suuperiore	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.7	0.8	0.7	0.9
Pmax_coscia inferiore	125	120	111	124	113	89	103	111	102
Pmean_glutei	168	204	136	199	110	241	223	228	163
Pmean_coscia suuperiore	29	33	28	34	17	86	73	79	77
Pmean_coscia inferiore	13	13	14	13	14	15	16	12	14
Area_glutei	84	84	89	81	94	77	76	78	84
Area_coscia suuperiore	79	86	85	66	93	57	23	111	126
Area_coscia inferiore	6	6	4	2	3	1	-0.1	1.5	3.3
IC_glutei	0.6	0.5	0.2						
IC_coscia suuperiore	0.9	0.8	0.7						
IC_coscia inferiore	1.6	1.4	0.9						

Un'analisi multivariata, mediante l'indice di Pearson, ha rivelato una serie di correlazioni significative tra le diverse variabili. Le analisi statistiche sono state effettuate mediante il software SPSS rel.16.

Le analisi hanno rilevato:

- correlazioni positive tra le variabili antropometriche e le variabili di pressione: all'aumentare dell'età e dell'altezza dei soggetti aumenta

Capitolo III

la pressione massima; all'aumentare del peso e dell'altezza dei soggetti aumenta la pressione media;

- correlazioni negative tra l'area di contatto e la pressione massima: all'aumentare dell'area di contatto la pressione massima diminuisce.

Nella seconda parte dello studio sono state valutate le correlazioni tra i dati posturali e i dati di pressione per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area del corpo a contatto con il piano di seduta. Un riassunto di tali tipi di correlazioni è riportato nella tabella III.4.

Tabella III. 4 *Correlazioni tra le variabili di pressione e le variabili posturali*

		tf	lf	ta	TF
glutei	Pmax	r = 0.192**		r = 0.147*	
glutei	Pmean	r = 0.221**		r = 0.184**	
glutei	Area				r = - 0.352**
Parte superiore coscia	Pmax	r = 0.191**	r = 0.175**	r = 0.369**	
Parte superiore coscia	Pmean	r = 0.168**	r = 0.257**	r = 0.148**	r = 0.296**
Parte superiore coscia	Area	r = - 0.296*	r = - 0.136**		
Parte inferiore coscia	Pmax	r = - 0.364**		r = - 0.190**	
Parte inferiore coscia	Pmean	r = - 0.434**	r = - 0.227**	r = - 0.198**	
Parte inferiore coscia	Area	r = - 0.428**		r = - 0.135**	

*. Correlation is significant at the 0.05 level

** . Correlation is significant at the 0.01 level

Nella seconda parte del lavoro si sono analizzati i risultati relativi delle posture (1A), (1B) e (1C) in cui i soggetti hanno valutato il comfort percepito. L'indice di Pearson ha rivelato un'elevata positiva correlazione tra l'area di contatto e l'indice di comfort, ma, solo nel caso dei glutei (la correlazione è significativa al livello 0.01) e nel caso della parte superiore della coscia (la correlazione è significativa al livello 0.05): all'aumentare dell'area di contatto l'indice di comfort aumenta.

La pressione all'interfaccia

Nelle posture (1A), (1B) e (1C) i soggetti hanno assunto la postura ritenuta più confortevole. In particolare, mentre nelle posture (1B) e (1C) essi hanno posizionato la sedia rispettivamente alla massima e alla minima altezza possibile, nella postura (1A) i soggetti hanno sia la postura che l'altezza a cui posizionare la sedia in modo da ottenere la migliore configurazione.

In questo modo, quindi, l'indice di Comfort è risultato necessariamente più alto. L'obiettivo, a questo punto, è stato di verificare quanto questo ha influenzato la distribuzione delle pressioni. Le figure III.8 e III.9 mostrano la distribuzione delle pressioni nel caso ideale. Si nota che la pressione media in questo caso risulta assumere un valore intermedio rispetto ai casi estremi.

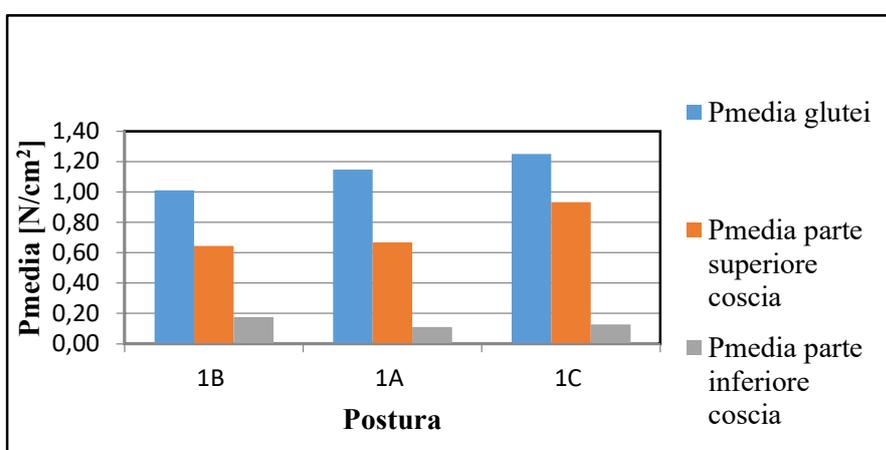


Figura III. 8 Pressione media, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto

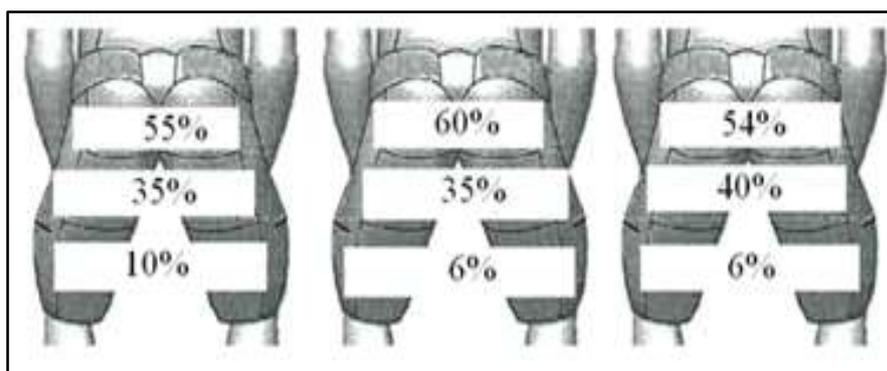


Figura III. 9 Pressione media in percentuale, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto

Capitolo III

Nell'ultima parte delle analisi è stato valutato come il peso si scarica sul piano di seduta per le diverse aree in cui l'area di contatto è stata divisa (glutei, parte superiore della coscia, parte inferiore della coscia) (figura III.10, III.11).

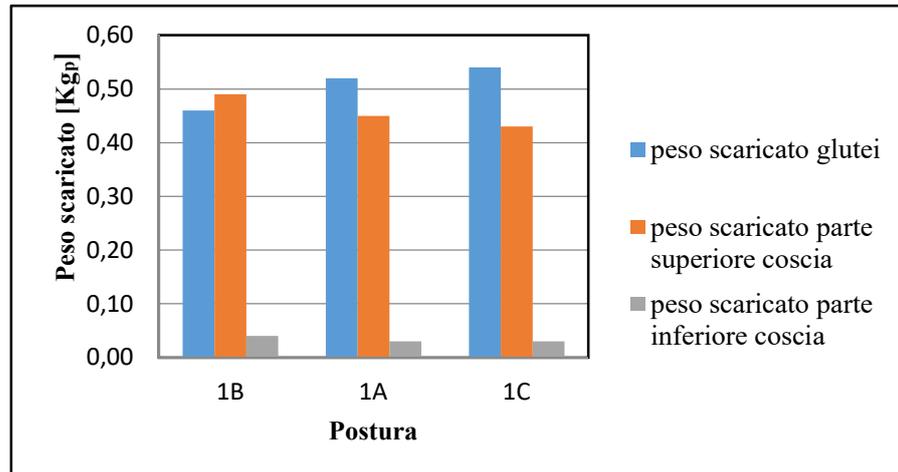


Figura III. 10 *Peso scaricato, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto*

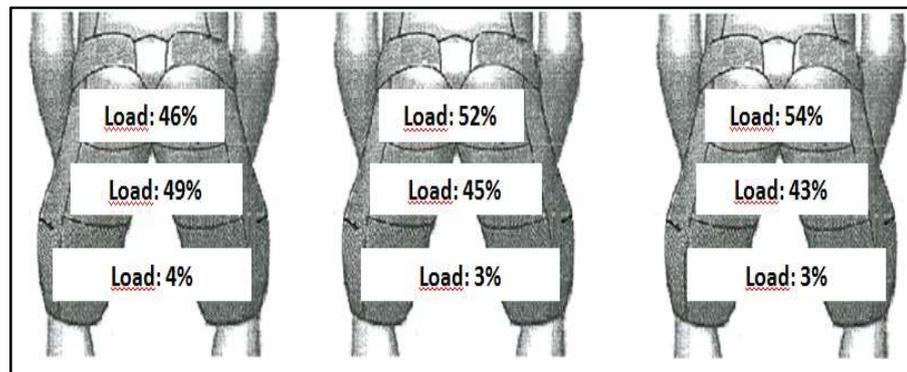


Figura III. 11 *Peso scaricato in percentuale, per le tre posture in cui al soggetto è stato chiesto di dare un giudizio di comfort percepito, per le tre aree in cui è stata suddivisa l'area di contatto*

Analisi simili, ma in ambito automotive, sono state già fatte in altri studi al fine di trovare la distribuzione ideale del peso scaricato sul piano di seduta (Hartung, 2006). Successivamente, tali dati sono stati ripresi da Zenk per verificare se la distribuzione ideale delle pressioni risulta avere un valore più basso sui dischi intervertebrali della zona lombare (Zenk, 2012).

La pressione all'interfaccia

I risultati ottenuti mostrano che nella condizione ideale, in cui al soggetto è stato chiesto di assumere la postazione più confortevole, la distribuzione delle pressioni è 60%-35%-5% (rispettivamente glutei, parte superiore della coscia, parte inferiore della coscia) mentre la distribuzione del peso è 52%-45%-3% (rispettivamente glutei, parte superiore della coscia, parte inferiore della coscia). Tali risultati sono differenti da quelli ottenuti da Zenk (2012), i cui risultati sono mostrati in figura III.12.

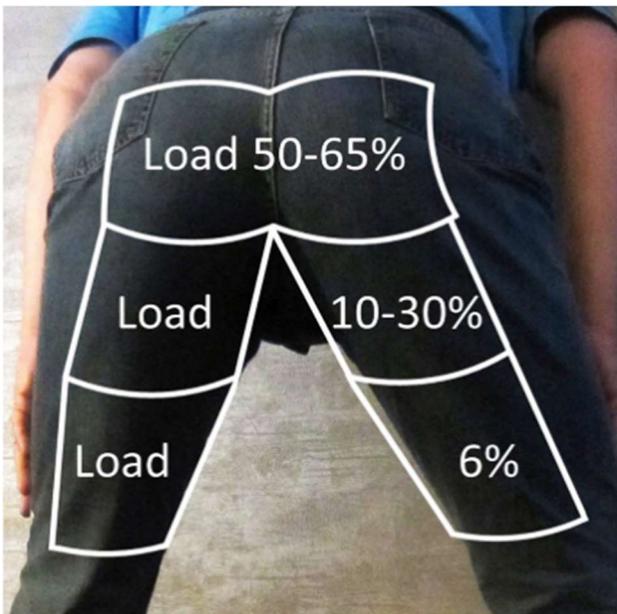


Figura III. 12 Distribuzione ideale del peso scaricato sul piano di seduta secondo Zenk (2012)

La differenza tra i risultati ottenuti nel mio studio e i risultati di Zenk è dovuto al fatto che Zenk ha studiato il comfort percepito relativo a una seduta automobilistica, che è una seduta imbottita e morbida su cui un soggetto deve assumere una posizione specifica per poter guidare. Il tipo di sedia e le posture assunte nel caso analizzato è completamente diversa dal caso studio di Zenk.

Il risultato più interessante di queste analisi è che il comfort dovuta alla pressione e al carico sembra essere percepito in due modi diversi.

La pressione agisce direttamente sulla pelle e sulle parti più deformabili del corpo. La percezione di comfort che ne deriva è quindi legata alla sensazione fisiologica e tattile.

La distribuzione del carico, probabilmente, dipende essenzialmente dalla postura assunta.

III.4.7 Conclusioni

Uno dei fattori che influenzano la percezione comfort nell'ambito dello HMI è la distribuzione della pressione del corpo o parte di esso in contatto con un oggetto. Nello studio presentato questo aspetto è stato valutato nel caso dell'interazione tra un sedile e un soggetto e quindi interessa la zona dei glutei.

L'obiettivo specifico di questo studio è stato quello di indagare non solo le variabili di pressione, ma le correlazioni tra fattori di pressione, personali, posturali e di comfort.

Durante le prove, sono stati registrati diversi tipi di dati: genere sessuale, peso, statura e indice di massa corporea; flessione del tronco, la flessione della coscia, flessione / estensione gamba, abduzione della coscia; indice di comfort; Pmax, Pmean e area di contatto.

L'indice Pearson ha rivelato elevate correlazioni tra le variabili considerate. In particolare, l'indice di Pearson ha rivelato correlazioni positive tra variabili antropometriche e quelli di pressione, la correlazione negativa tra le variabili di pressione, correlazioni positive tra le variabili di pressione e quelli posturali e correlazione positiva tra l'IC e l'area di contatto.

I risultati ottenuti possono essere confrontati con Zenk (2012) e mostrano alcune differenze dovute al diverso tipo di sedile utilizzato. Un risultato interessante è come la distribuzione delle pressioni e la distribuzione del peso scaricato sul piano di seduta vengono percepiti in maniera differente dal soggetto. Sembra che la distribuzione della pressione influenza il comfort fisiologico e la percezione tattile, mentre la distribuzione del carico influisce il comfort posturale e fisico.

III.5 Caso studio 4: Valutazione delle distribuzioni di pressione per la valutazione dei micromovimenti e correlazione tra micromovimenti e comfort

III.5.1 Introduzione

Nel corso degli ultimi due decenni, l'attenzione degli studiosi si è gradualmente spostato dall' identificare la migliore postura assisa verso una visione più dinamica della seduta e del movimento. Sappiamo da tempo che una seduta che vincola il soggetto ad assumere la stessa posizione per ore compromette la salute fisica del soggetto.

Un rapporto dell'Istituto nazionale di sicurezza e la salute (NIOSH) ha riassunto una serie di ricerche che dimostrano una relazione tra posture scomode e vincolate e disturbi muscolo-scheletrici. Le posture che vincolano il soggetto ad assumere una determinata postura aumenta il disagio e i rischi per la salute. Sia il lavoro sedentario che il lavoro fisico pesante sono stati associati ad anomalie della colonna vertebrale, ma il rapporto è stato

La pressione all'interfaccia

particolarmente forte per il lavoro sedentario, come ad esempio il lavoro d'ufficio.

Posture statiche assise causano disagio. Graf et al. (1995) hanno riportato più disagio e disturbi cronici tra i lavoratori che siedono in posizioni fisse. Il movimento riduce questi rischi. È difficile per noi tollerare posture sedute e statiche per un periodo di tempo lungo (Reinecke et al., 1985). Quando è possibile muoversi liberamente, le persone di solito sono in costante movimento (Jurgens, 1980). Purtroppo, il lavoro al computer ad alta intensità diminuisce la possibilità di cambiare posizioni.

Durante i viaggi a lungo raggio, il disagio da parte dei conducenti e dei passeggeri aumenta a prescindere dalla qualità della seduta. Se con un miglioramento della seduta e dell'ambiente circostante è possibile massimizzare il comfort per un determinato periodo, vi è una tendenza del disagio ad aumentare nel tempo. Tale disagio obbliga i conducenti o i passeggeri dopo poche ore a prendersi una pausa, al fine di ottenere un certo sollievo (Mansfield et al 2015;. Sammonds et al 2017). È stato dimostrato in una varietà di contesti che il disagio può essere osservato attraverso i movimenti che i soggetti fanno in un certo periodo. I movimenti sono essenziali per il benessere del soggetto.

III.5.1 Obiettivo

È stato dimostrato in una varietà di contesti che il disagio può essere osservato attraverso i movimenti dovuti all'irrequietezza fatti dal soggetto. In questo studio si sono valutati i movimenti mediante il sistema di misurazione di pressione, valutando le variazioni nel tempo della distribuzione delle pressioni sul piano di seduta, e i dati soggettivi di comfort/discomfort mediante questionari validati.

Lo scopo è stato quello di verificare se la variazione delle distribuzioni di pressione sono correlati al comfort. Lo studio condotto ha voluto valutare il disagio correlato ai movimenti nel contesto di un'aula universitaria in cui i soggetti erano obbligati a rimanere seduti per un'ora su delle sedie non ergonomiche e avendo poco spazio per muoversi.

III.5.3 Campione e setup

Allo studio hanno partecipato 25 volontari. I partecipanti sono tutti studenti di Ingegneria dell'Università di Salerno, di età compresa tra i 21 e i 22 anni. 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.

Le principali caratteristiche dei soggetti sono riportate nella Tabella III.5.

Capitolo III

Tabella III. 5 *Descrizione statistica delle caratteristiche personali del campione che ha partecipato ai test*

	Peso (Kg)	Altezza (cm)
Media	69.56	170.19
Dev. Standard	13.90	8.68
Minimo	45	154
Massimo	96	186

Lo studio è stato condotto in un'aula di ingegneria presso l'Università di Salerno.

Il setup è costituito da una sedia rigida di legno fissata al pavimento.

Per il rilievo della mappa delle pressioni esercitate dal soggetto seduto è stato utilizzato un tappetino barometrico (Medilogic®) (Figura III.13), la cui flessibilità ne consentiva un ottimo adattamento agli spazi che si venivano a creare all'interfaccia tra soggetto e piano di seduta. Il tappetino, la cui superficie è di 50x50 cm, è composto da una matrice di 480 sensori resistivi ciascuno di area $\Delta s = 1 \text{ cm}^2$. In tal modo è stato possibile costruire delle matrici numeriche, ciascun elemento delle quali coincideva con il valore letto dal corrispondente sensore di pressione. La mappatura delle pressioni era anche visualizzata mediante falsi colori, rappresentanti aree isobariche mutanti dal rosso al blu per pressioni di valore decrescente.



Figura III. 13 *Setup*

La pressione all'interfaccia

Per l'acquisizione delle percezioni di comfort è stato utilizzato il Body Region Discomfort Questionnaire in cui il discomfort è valutato su una scala Likert a 5 punti e per 8 specifiche regioni dei glutei (Figura III.14).



Figura III. 14 *Questionario*

III.5.4 *Procedura*

A ciascun soggetto è stato chiesto di seguire un'ora di lezione seduto sulla sedia su cui è stato posizionato il tappetino barometrico. Durante il periodo di analisi, gli studenti hanno svolto movimenti in totale libertà, l'esecuzione di due compiti principali: la scrittura e ascolto. Per l'intera ora di lezione è stata registrata la distribuzione di pressione all'interfaccia.

Per poter valutare il livello di comfort percepito è stato somministrato ai soggetti il questionario di comfort ogni 20 minuti di lezione. Tale scelta è stata fatta sia per avere maggiori informazioni sia per valutare come variava il comfort nel tempo.

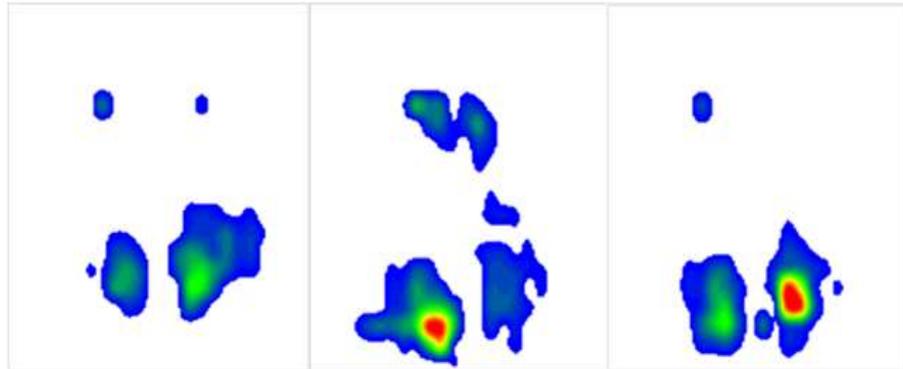


Figura III. 15 *Un esempio della distribuzione di pressione*

III.5.5 *Acquisizione dei dati*

Per tutto il periodo della prova sono stati registrati 2 tipi di dati: distribuzioni delle pressioni all'interfaccia e livello di comfort percepito.

L'output del sistema di acquisizione delle pressioni è stata una matrice di pressione in cui è presente la pressione, per ogni secondo, relativa ad ogni punto di contatto. Nella prima fase si è partiti da tali matrici per poter ottenere la pressione media di contatto (P_{mean}) [N/cm²] ad ogni secondo.

Per trasformare le informazioni qualitative ottenute sul comfort tramite il questionario in valori quantitativi sono stati utilizzati i seguenti criteri (Tabella III.6):

Tabella III. 6 *Valori quantitativi associati al questionario di comfort utilizzato durante i test*

Indici qualitativi del questionario	Valore quantitativo
Molto comodo	2
Comodo	1
indifferente	0
Poco fastidio	-1
Molto fastidio	-2

III.5.6 *Analisi dei risultati*

Per il calcolo del numero di variazioni di pressione effettuati dal soggetto si è calcolata per ciascun secondo la variazione della pressione media tra dato istante e l'istante precedente. Poiché il movimento, se pur non visibile, comporta un cambiamento della distribuzione delle pressioni all'interfaccia sono stati considerati movimenti quelli per cui la variazione della pressione

La pressione all'interfaccia

tra un istante e quello precedente supera la soglia di 0.04. Tale soglia è stata decisa in seguito a un test preliminare in cui è stato valutato la sensibilità del tappetino alla variazione di postura. Per ciascun intervallo (ogni 20 minuti) sono stati calcolati i movimenti.

Nella figura seguente è presentato un esempio delle variazioni della distribuzione delle pressioni all'interfaccia (soglia 0,04), relativi ad uno studente durante il periodo di registrazione.

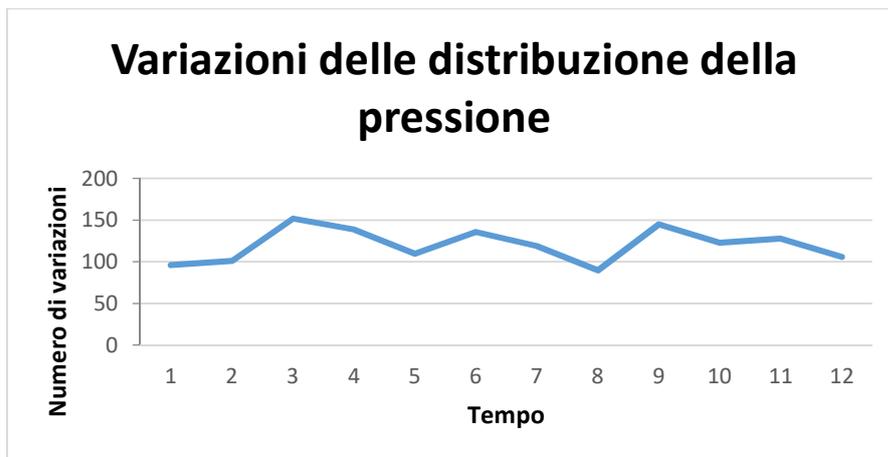


Figura III. 16 Esempio del trend di variazione della distribuzione della pressione all'interfaccia studente-seduta (soglia di 0,04) relativi ad uno studente in un'ora di analisi (sull'asse x è riportato il tempo e sull'asse y il numero di variazioni della pressione).

Per ciascun intervallo, inoltre, sono stati calcolati gli indici di comfort totali. Tali indici sono stati calcolati facendo la media delle valutazioni di comfort di ciascuna area a contatto con la sedia.

Di seguito sono riportati per ciascun intervallo le tabelle relative al valore medio del comfort e dei micromovimenti effettuati dagli studenti.

Tabella III. 7 Valori medi degli Indici di Comfort e dei micromovimenti per ciascuno dei tre intervalli di analisi

	IC	MOV
Intervallo 1	0.01	421
Intervallo 2	0.06	350
Intervallo 3	-0.02	390

Dalla tabella si evince che nell'intervallo 2 gli studenti hanno percepito un livello di comfort maggiore e infatti in tale intervallo i micromovimenti si sono ridotti. Nell'intervallo 3, invece, i micromovimenti sono aumentati nuovamente e gli indici di comfort sono diminuiti.

Capitolo III

Per poter valutare se esiste una correlazione tra movimenti e percezioni soggettive di comfort è stato calcolato l'indice di Pearson. Di seguito sono riportati i risultati.

Tabella III. 8 *Correlazioni*

Soglia=0.04	IC	Movimenti
IC	1	-,292*
Movimenti	-,292*	1

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

I risultati dell'analisi dimostra che imponendo una soglia pari a 0,04 esiste una correlazione tra movimenti e percezione di comfort. In particolare la correlazione è alta. La correlazione, inoltre, risulta essere negativa e questo conferma l'ipotesi iniziale. I movimenti sono sintomo di disagio: l'aumentare dei movimenti effettuati da un soggetto in una posizione statica per lunghi periodi comporta un aumento di disagio.

Successivamente i risultati totali sono stati suddivisi in tre cluster in base agli indici di comfort.

Tabella III. 9 *Cluster*

Cluster	IC	Movimenti
(1) $-2 < IC < -1$	-1,458	868,166
(2) $-1 < IC < 0$	-0,439	762,354
(3) $0 < IC < -1$	0,542	579,526

Con i cluster è riconfermata l'ipotesi che al diminuire del livello di comfort percepito aumenta il numero di movimenti effettuati dal soggetto.

Successivamente è stata fatta una valutazione delle correlazioni tra le diverse soglie

Tabella III. 10 *Correlazioni*

Soglia	Correlazione micromovimenti IC
0,01	-,336**
0,02	-,354**
0,03	-,323**
0,04	-,292*
0,05	-,254*
0,06	-,208
0,07	-,188
0,08	-,182
0,09	-,178

La pressione all'interfaccia

Come si evince dalla tabella, all'aumentare della soglia la correlazione diventa via via più debole. Le correlazioni, per le prime cinque soglie, risultano sempre negative. Micromovimenti e indici di comfort sono inversamente proporzionali. All'aumentare dell'uno l'altro diminuisce.

III.5.7 Conclusioni

Diversi studi hanno riportato una forte correlazione tra il numero di movimenti effettuati dai soggetti e il disagio percepito quando questi sono obbligati a stare in una stessa posizione per periodi più o meno lunghi. In questo studio si è voluto dimostrare questo concetto partendo dalle distribuzioni delle pressioni sul piano di seduta e convertendole in movimenti effettuati dai soggetti mediante la valutazione delle variazioni delle distribuzioni delle pressioni nel tempo. I risultati hanno rivelato una correlazione negativa tra i micromovimenti effettuati il comfort percepito dagli studenti.

Capitolo III

Capitolo IV

La temperatura all'interfaccia

IV.1 Introduzione

Attualmente, il comfort termico è spesso considerato nel caso della commercializzazione di prodotti come sedie, automobili, abbigliamento, utensili e perfino biglietti aerei (Vink & Hallbeck, 2012). Nella letteratura scientifica il termine disagio compare spesso. Vink & Hallbeck (2012) hanno studiato 104,794 articoli in cui viene utilizzato il termine disagio. La maggior parte di questi studi si riferisce alla temperatura come fonte di disagio e comfort del paziente.

Ci sono anche molti studi applicativi che misurano il disagio come un fenomeno soggettivo correlato a lesioni muscolo-scheletriche. Il presupposto è che ci sia una relazione tra disagio e lesioni muscolo-scheletriche. Questo rapporto è stato reso più chiaro da Hamberg-van Reenen et al. (2008), dove il disagio muscolo-scheletrico locale è stato misurato per regioni differenti del corpo attraverso una scala di valutazione a 10 punti, sei volte nel corso di una giornata di lavoro. Essi hanno monitorato oltre 1.700 partecipanti e hanno dimostrato che coloro che affermavano di percepire un disagio elevato hanno sofferto di dolori alla schiena, al collo e alle spalle tre anni dopo (il RR variava tra 1,8-2,6).

Tuttavia, le teorie sul comfort in relazione ai prodotti e alle caratteristiche di progettazione del prodotto stesso sono piuttosto sottosviluppate secondo Vink & Hallbeck, (2012), a Naddeo et al., (2014) ed è stato, dunque, proposto un nuovo modello (Figura IV.1) (Vink, 2014). L'oggetto (A) e il soggetto (H) fanno parte di un ambiente. L'utilizzo (U) presuppone un'interazione (I) tra il soggetto e l'oggetto, e ciò provoca effetti del corpo umano (B). Gli effetti saranno percepiti (P) dal cervello umano e tale percezione è influenzata dalle aspettative (E) e potrebbe portare a una situazione di comfort (C) o di disagio (D).

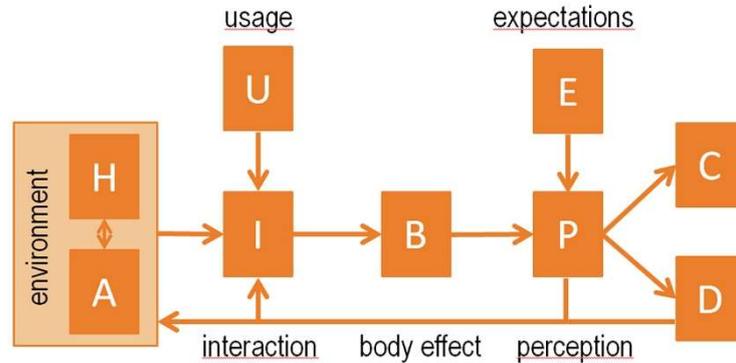


Figura IV. 1 Modello di comfort. L'oggetto (A) e il soggetto (H) sono in un ambiente. L'utilizzo (U) comporta un'interazione (I) tra il soggetto e il prodotto, ciò causa effetti sul corpo umano (B). Ciò sarà percepito (P) dal cervello umano, sarà influenzato dalle aspettative (E), e potrebbe portare a una situazione di comfort (C) o di disagio (D)

Come descritto da Vink (2005) l'interazione in questo modello può coinvolgere diversi sensi. C'è l'input visivo, gli odori e i suoni così come la temperatura, la pressione e il tatto. Tutti questi aspetti influenzano il comfort e il disagio. Chen et al. (2014) hanno trattato gli stessi input sensoriali legati alla qualità del sonno. Essi hanno affermato che l'input sensoriale svolge un ruolo importante nelle attività neurali durante il sonno. La temperatura, la luce, il suono e l'odore dell'ambiente circostante influenza il sonno e tutte le funzioni correlate. La distribuzione della pressione del corpo umano sul materasso durante il sonno è un altro aspetto che svolge un ruolo importante sugli input sensoriali.

Alcuni aspetti circa l'influenza della postura (Verhaert et al, 2012;. Parco et al, 2009;. Naddeo et al, 2015-1.9) e la biomeccanica della colonna vertebrale (De Vocht et al, 2006;. Jacobson et al., 2002 ;. Verhaert et al, 2011) sulla percezione di comfort / disagio sono stati già studiati, ma non sono stati mai approfonditi attraverso un approccio statistico. L'aspettativa gioca un ruolo fondamentale nella percezione del comfort come descritto in Naddeo et al. (2015-2).

Una distribuzione della pressione "troppo-concentrata" o "troppo-uniforme" può influenzare le sensazioni e disturbare il sistema neurale del cervello legato al sonno o può far modificare la postura fisiologica al fine di dormire meglio. Il sonno, infatti, è un fenomeno complesso: la qualità del sonno è influenzata dall'azione combinata di aspetti fisiologici, psicologici ed esterni (Chen et al, 2013). Lee e Park (2006) hanno studiato l'influenza dei tipi di materasso sulla qualità del sonno e la temperatura della pelle. Essi hanno scoperto che quando i soggetti dormivano su un materasso da essi stessi definito "confortevole", l'efficienza del sonno e la temperatura della pelle erano superiori rispetto a quando i soggetti hanno dormito su un materasso

"scomodo". Questa relazione tra temperatura e comfort durante il sonno è interessante per gli studi sul comfort. Lo scopo di questo studio è stato quello di valutare come la temperatura dell'interfaccia dell'oggetto-corpo può influenzare il livello di comfort percepito.

IV.2 Materiali e Metodi

IV.2.1 Obiettivo

Uno dei fattori che potrebbero contribuire alla percezione di comfort/discomfort è l'equilibrio termico causato dall'interazione tra una persona e l'oggetto con cui esso interagisce (Naddeo et al, 2014;. Vink, 2014). Questa ipotesi è facile da dimostrare, soprattutto nei casi in cui quasi tutto il corpo è a contatto con l'oggetto, anche per un lungo periodo di tempo, come ad esempio l'interazione tra una persona e un sedile o un materasso.

Yao et al. (2007) hanno studiato la relazione tra la temperatura cutanea e il comfort termico, cercando il metodo migliore per analizzare il fenomeno e la correlazione tra il comfort percepito e la temperatura della pelle.

Lo scopo dello studio è stato quello di valutare come la temperatura all'interfaccia corpo/oggetto influenza il livello di comfort percepito. Per fare questo, sono state eseguite diverse prove che hanno coinvolto tutta la parte posteriore del corpo umano. Durante le prove il soggetto era sdraiato in posizione supina su un materasso.

IV.2.2 Il campione

Il campione utilizzato per i test è composto da professori e studenti che frequentano l'ultimo anno della magistrale dei corsi di Ingegneria Meccanica e Gestionale presso l'Università di Salerno.

Il campione può essere considerato omogeneo: 29 soggetti di età compresa tra 23 e 51 anni. 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). Tutti i soggetti che hanno partecipato alla prova hanno dato il loro consenso scritto. Nessun soggetto soffriva di eventuali problemi muscolo-scheletrici o neurologici che precludeva la loro partecipazione allo studio.

IV.2.3 Il setup

In questo studio sono stati utilizzati: un materasso, un sistema di acquisizione dati di temperatura e un questionario. 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 contribuito a distribuire il peso del soggetto in modo adeguato lungo le fibre materasso.

Il sistema di misurazione della temperatura era composto da quattordici RTD (termoresistenze di platino a 100 ohm), quattro ingressi analogici RTD, ciascuno con quattro canali (Tipo 9217, National Instruments Italia Srl). La precisione di misura dei RTD utilizzati era $\pm 0,05$ ° C. Gli RTD sono stati collocati sul materasso e sono stati coperti da una cover elastica sottile di cotone che non compromette la validità delle prove ma ha semplicemente limitato l'interazione diretta tra il soggetto e i sensori, impedendo ai soggetti di essere infastidito dalle RTD quando erano sdraiati. Le RTD sono state collocate sul lato sinistro e destro del materasso in corrispondenza del tronco (2), delle spalle (2), dei glutei (2), delle gambe (2), delle cosce (2), delle braccia (2) e degli avambracci (2), come mostrato in Figura IV.2.

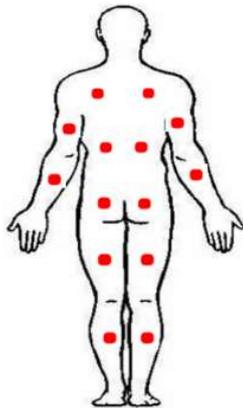


Figura IV. 2 *Posizionamento delle RTD sul materasso e sul soggetto.*

La Temperatura all'interfaccia

Poichè le misure antropometriche dei soggetti cambiavano, i soggetti sono stati clusterizzati in quattro gruppi a seconda dell'altezza e, per ciascun gruppo, le termoresistenze sono state ricollocate.

Il comfort termico è definito dall' ASHRAE Standard 55 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (ASHRAE, 2003) come una condizione mentale che esprime la soddisfazione termica del soggetto per l'ambiente in cui esso opera.

Ai soggetti è stato chiesto di valutare la sensazione termica e associare ad essa un giudizio numerico sulla scala ASHRAE. Il questionario utilizzato è mostrato in Figura IV.3.

	Evaluation Index						
	Very hot with excessive discomfort	Hot with strongly localized discomfort	Slightly hot with slight discomfort	Neither hot nor cold. Comfort	Slightly cool with slight discomfort	Fresh with strongly localized discomfort	Cold with excessive discomfort
Shoulder (Right Side)							
Shoulder (Left Side)							
Right Arm							
Left Arm							
Right Forearm							
Left Forearm							
Trunk (Right Side)							
Trunk (Left Side)							
Buttock (Right Side)							
Buttock (Left Side)							
Right Thigh							
Left Thigh							
Right Leg							
Left Leg							

Figura IV. 3 *Questionario di comfort*

IV.2.4 *La procedura*

Il test è stato condotto in una camera ad umidità controllata ($50\% \pm 2\%$). Sono state condotte tre sessioni di test in giorni diversi. La temperatura ambiente è stata registrata ma non controllata in quanto uno degli obiettivi di

Capitolo IV

questo studio è stato quello di confrontare l'indice di comfort con la temperatura ambiente.

Prima di ogni test è stato fornito a ciascun soggetto un periodo di riposo di 30 minuti (in questo periodo di tempo i partecipanti erano seduti) al fine di far ambientare ciascun soggetto alle condizioni di prova (Hedge et al., 2005; Bartels, 2003). Dopo questo periodo, i partecipanti sono stati invitati a sdraiarsi sul materasso, facendo in modo che ogni parte del corpo fosse sulla corretta RDT. La durata del test è stata di 15 minuti. Questa durata è stata scelta sulla base dell'esperienza di Karimi et al. (2003).

Nello studio si è valutato il tempo necessario a un soggetto per raggiungere la neutralità termica in tutti i punti di contatto su un piano del sedile, senza riscaldamento esterno o raffreddamento. Il risultato ottenuto è stato di 10 minuti. Inoltre, l'esperienza dei produttori e dei venditori di materassi ha suggerito un tempo limite di 15 minuti in quanto questo è il tempo che generalmente un soggetto spende per testare un materasso prima di acquistarlo e il tempo necessario ad un soggetto per addormentarsi. In realtà, un soggetto normale generalmente spende meno di 15 minuti, in una posizione stabile, per cominciare a dormire.

Durante il sonno, la percezione di comfort termico non può essere valutato. I dati di temperatura all'interfaccia è stata registrata ogni 6 secondi.

Dopo 13/14 minuti, mentre il soggetto era ancora disteso sul materasso, sono state poste domande relative al comfort percepito.

IV.2.5 La raccolta dei dati

Per ogni test, sono stati raccolti tre tipi di dati: antropometrici, di temperature e sensazione termica.

I dati antropometrici sono riportati nella Tabella IV.1.

Tabella IV. 1 *Descrizione statistica dei dati antropometrici dei soggetti che hanno partecipato alla prova.*

	Età	Altezza	Peso	BSA Superficie Corporea	BODY FAT Grasso Corporeo	BMI Indice di massa grassa
N	29	29	29	29	29	29
Media	26.10	173.93	68.83	1.82	19.95	22.64
Deviazio ne Standard	3.57	7.82	10.67	0.17	4.21	2.25
Minimo	23	159	51	1.51	14.24	18.87
Massimo	40	190	90	2.12	29.88	28.41

La Temperatura all'interfaccia

Durante i 15 minuti del test, sono state registrate 150 temperature per ciascuna parte del corpo (destra e sinistra).

I dati acquisiti sono stati i seguenti:

- (1) T_i : la prima temperatura registrata all'interfaccia
- (2) T_f : l'ultima temperatura registrata all'interfaccia
- (3) T_m : la temperatura media all'interfaccia durante i 15 minuti della prova
- (4) T_a : la temperatura ambiente media durante i 15 minuti della prova
- (5) ΔT_1 : la differenza tra la temperatura media e la temperatura ambiente media
- (6) ΔT_2 : la differenza tra la temperatura finale e la temperatura iniziale all'interfaccia
- (7) ΔT_3 : la differenza tra la temperatura finale all'interfaccia e la temperatura ambiente media
- (8) H_r : la velocità di riscaldamento, ottenuta dividendo ΔT_2 per 15 (minuti)

Alla fine del test, al soggetto è stato chiesto di rispondere alle domande del questionario e quindi valutare la sensazione di comfort termico percepita per ciascuna parte del corpo.

Data la simmetria del corpo umano, per ciascuna parte del corpo sono state fatte le medie dei dati relativi alla temperatura ottenuti per la parte destra e la parte sinistra. In questo modo si sono ottenuti i dati totali per ciascuna parte del corpo. I valori utilizzati nel questionario per la valutazione della sensazione termica (e il relativo indice di comfort (I.C.)) sono mostrati nella Tabella IV.2.

Tabella IV. 2 *Indice di comfort (I.C.) associato a ciascuna voce del questionario*

Indice di comfort qualitativo	Indice di comfort quantitativo
Neither hot nor cold	3
Slightly hot/cool and slight discomfort	2
Hot/Fresh and strongly localized discomfort	1
Very hot/Cold and excessive discomfort	0

Un esempio dei dati registrati è riportato nella Tabella IV.3.

Capitolo IV

Tabella IV. 3 *Dati raccolti per la spalla durante il test.*

	IC dx	IC sx	IC	Ti	Tf	hr
1	1	1	1	32.64	32.88	1.61
2	2	2	2	36.98	37.17	1.21
3	2	2	2	35.42	35.62	1.30
4	3	3	3	34.41	34.54	0.92
5	2	2	2	36.47	36.60	0.86
6	2	2	2	35.86	36.04	1.25
7	2	1	1.5	33.82	33.87	0.36
8	2	2	2	35.75	35.87	0.78
9	3	3	3	37.02	37.15	0.91
10	3	3	3	36.01	36.15	0.92
11	3	2	2.5	35.32	35.52	1.36
12	3	3	3	33.94	34.02	0.53
13	2	2	2	36.41	36.56	0.98
14	3	3	3	36.81	36.91	0.71
15	2	2	2	36.22	36.40	1.22
16	3	3	3	35.95	36.12	1.15
17	1	2	1.5	35.61	35.82	1.39
18	3	2	2.5	35.75	35.91	1.05
19	2	2	2	34.24	36.36	0.81
20	3	3	3	35.94	36.06	0.84
21	3	3	3	35.80	36.00	1.35
22	1	1	1	35.17	35.41	1.63
23	3	3	3	34.98	35.23	1.70
24	3	3	3	35.87	36.04	1.17
25	3	3	3	36.32	36.52	1.33
26	2	2	2	36.66	36.78	0.80
27	2	2	2	36.72	36.83	0.73
28	2	2	2	36.51	36.63	0.80
29	2	2	2	37.16	37.27	0.73

Nelle Tabelle IV.4, IV.5, IV.6, IV.7, IV.8, IV.9, IV.10 sono riportati i dati statistici relative alle diverse parti del corpo.

Tabella IV. 4 *Descrizione statistica dei dati relativi alle spalle*

	Min.	Max.	Media	Deviazione Standard
IC dx	1	3	2.34	0.67
IC sx	1	3	2.28	0.65

La Temperatura all'interfaccia

IC	1	3	2.31	0.63
T _i	32.64	37.16	35.78	1.04
T _f	32.88	37.27	35.94	1.03
hr	0.36	1.70	1.05	0.33
ΔT_1	6.78	12.54	9.49	1.88
ΔT_2	0.05	0.25	0.16	0.05
T amb	23.64	29.63	26.39	1.72
ΔT_3	6.84	12.59	9.56	1.87
T media	32.75	27.12	35.87	1.03

Tabella IV. 5 Descrizione statistica dei dati relativi alle braccia

	Min.	Max.	Media	Deviazione Standard
IC dx	1	3	2.28	0.70
IC sx	1	3	2.21	0.68
IC	1	3	2.24	0.64
T _i	32.64	37.02	35.49	1.02
T _f	32.88	37.17	35.66	1.02
hr	0.81	2.30	1.31	0.36
ΔT_1	3.57	1.066	7.24	1.71
ΔT_2	0.12	0.34	0.20	0.05
T amb	23.64	29.63	26.39	1.72
ΔT_3	3.64	10.79	7.33	1.71
T media	29.40	35.14	33.62	1.44

Tabella IV. 6 Descrizione statistica dei dati relativi agli avambracci.

	Min.	Max.	Media	Deviazione Standard
IC dx	1	3	2.17	0.76
IC sx	0	3	2.14	0.79
IC	0.50	3	2.16	0.75
T _i	29.39	35.95	33.14	1.58
T _f	29.51	36.08	33.22	1.63
hr	0.10	2.87	0.81	0.54
ΔT_1	3.89	9.75	6.80	1.69
ΔT_2	0.02	0.43	0.12	0.08
T amb	23.64	29.22	26.15	1.40
ΔT_3	3.88	9.81	7.24	1.49
T media	29.46	36.02	33.19	1.60

Tabella IV. 7 *Descrizione statistica dei dati relativi al tronco.*

	Min.	Max.	Media	Deviazione Standard
IC dx	1	3	1.79	0.73
IC sx	1	3	1.79	0.73
IC	1	3	1.79	0.69
Ti	32.34	36.60	34.83	0.99
Tf	32.49	36.72	35.02	0.98
hr	0.75	2.03	1.24	0.35
ΔT_1	4.56	12.34	8.55	1.96
ΔT_2	0.11	0.31	0.19	0.05
T amb	23.64	29.22	26.15	1.40
ΔT_3	5.24	12.39	9.04	1.59
T media	32.42	36.66	34.93	0.98

Tabella IV. 8 *Descrizione statistica dei dati relativi al bacino.*

	Min.	Max.	Media	Deviazione Standard
IC dx	0	3	1.62	0.78
IC sx	0	3	1.55	0.78
IC	0	3	1.59	0.77
Ti	30.62	36.07	34.15	1.28
Tf	30.86	36.22	34.39	1.25
hr	1.03	2.75	1.58	0.42
ΔT_1	5.47	11.83	8.01	1.71
ΔT_2	0.15	0.41	0.24	0.06
T amb	23.64	29.22	26.27	1.54
ΔT_3	5.57	11.90	8.12	1.70
T media	30.74	36.15	34.28	1.26

Tabella IV. 9 *Descrizione statistica dei dati relativi alle cosce.*

	Min.	Max.	Media	Deviazione e Standard
IC dx	0	3	1.72	0.75
IC sx	0	3	1.69	0.76
IC	0	3	1.71	0.74
Ti	31.03	35.82	34.38	1.20
Tf	31.28	35.97	34.58	1.18
hr	0.62	2.60	1.36	0.51

La Temperatura all'interfaccia

ΔT_1	5.46	11.42	8.10	1.61
ΔT_2	0.09	0.39	0.20	0.08
T amb	23.64	29.22	26.15	1.40
ΔT_3	5.59	11.49	8.60	1.46
T media	30.50	39.91	34.30	1.37

Tabella IV. 10 *Descrizione statistica dei dati relativi alle gambe*

	Min.	Max.	Media	Deviazione Standard
IC dx	1	3	1.59	0.63
IC sx	1	3	1.62	0.62
IC	1	3	1.60	0.59
Ti	31.00	36.40	34.54	1.35
Tf	31.09	36.55	34.72	1.37
hr	0.23	2.33	1.22	0.47
ΔT_1	4.71	11.45	8.25	1.94
ΔT_2	0.03	0.35	0.18	0.07
T amb	23.64	29.22	26.15	1.40
ΔT_3	4.75	11.56	8.74	1.72
T media	31.05	36.47	34.63	1.36

I dati sono stati raccolti per valutare l'impatto delle caratteristiche individuali dei soggetti (ad esempio età, sesso, indice di massa corporea, percentuale di massa grassa e superficie corporea) e l'impatto dei parametri termici (Ti, Tf, Tm, Ta, ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 , Hr) sulle sensazioni termiche, nonché sulla percezione comfort. Ci sono studi precedenti che correlano le caratteristiche individuali alla sensazione termica (Tuomaala et al., 2013), ma in letteratura, non è stato trovato nessun lavoro che affronti la correlazione tra la temperatura all'interfaccia dell'oggetto-corpo e la sensazione termica.

Un' analisi multivariata è stata eseguita per determinare eventuali correlazioni tra le variabili, per ciascuna parte del corpo. Il software di analisi statistica utilizzato è stato SPSS rel.13. I coefficienti di correlazione di Pearson sono stati calcolati per determinare la forza delle relazioni tra tutte le variabili, come mostrato in Tabella 12.

Tabella IV. 11 *Correlazioni statistiche tra le variabili*

		Perce ntile	Tm	Ti	Tf	hr	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3
IC spalla	Pearson	0.304	0.212	0.217	0.212	-0.139	0.133	-0.139	0.133
	Corr. Sig.	0.109	0.269	0.258	0.269	0.471	0.492	0.473	0.493
IC braccio	Pearson	-0.387(*)	-0.113	-0.114	-0.109	0.141	0.084	0.141	0.087
	Corr. Sig.	0.038	0.561	0.555	0.572	0.466	0.665	0.464	0.655
IC avambraccio	Pearson	-0.02	-	-	-	-0.189	-0.115	-0.189	-
	Corr. Sig.	0.92	.411(*)	.409(*)	.410(*)	0.327	0.552	0.327	0.152
IC tronco	Pearson	0.248	-0.124	-0.129	-0.119	0.211	0.154	0.21	0.185
	Corr. Sig.	0.195	0.523	0.504	0.538	0.273	0.424	0.274	0.335
IC glutei	Pearson	-0.028	0.043	0.038	0.031	-0.147	0.232	-0.147	0.23
	Corr. Sig.	0.886	0.824	0.844	0.873	0.447	0.225	0.448	0.23
IC coscia	Pearson	0.18	-0.258	-0.196	-0.181	0.283	0.259	0.284	0.183
	Corr. Sig.	0.351	0.177	0.308	0.348	0.137	0.175	0.135	0.341
IC gambe	Pearson	-0.169	-0.098	-0.102	-0.091	0.197	0.12	0.198	0.135
	Corr. Sig.	0.382	0.612	0.599	0.64	0.305	0.535	0.304	0.484

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

IV.2.6 I risultati

Per ciascuna parte del corpo, sono state effettuate analisi statistiche per verificare se vi fossero correlazioni tra l'indice di comfort e le altre variabili (sesso, statura, età, peso, percentile, superficie corporea, percentuale di massa grassa, indice di massa corporea, Ti, Tf, Tm, Ta, ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 , Hr).

L'indice di Pearson non ha rivelato forti correlazioni tra le variabili. In particolare, l'indice di Pearson ha rivelato una correlazione tra percentile e l'indice IC (la correlazione positiva è significativa al livello 0,05) nel caso delle braccia, e correlazioni negative tra indice IC e Tm, Ti e Tf nel caso degli avambracci (le correlazioni negative sono significative al livello 0,05).

Mentre nella prima parte dello studio, l'analisi è stata effettuata per ciascuna parte del corpo, l'analisi successiva ha riguardato la ricerca di eventuali correlazioni tra i dati di temperatura registrati sulla pelle all'interfaccia e il comfort percepito, indipendente dalla parte del corpo. In particolare, sono state valutate, le correlazioni tra indice IC e ΔT_2 , ΔT_3 e Tf. Per ciascuna coppia di variabili analizzate, i dati di 203 (7 parti del corpo * 29 soggetti) sono stati considerati. Un esempio è mostrato in Tabella IV.12.

La Temperatura all'interfaccia

Tabella IV. 12 *Dati utilizzati per valutare la correlazione tra $\Delta T2$ e l'indice IC. Questi dati vengono presentati in maniera aggregata e non separando i dati per ciascuna parte del corpo.*

$\Delta T2$	IC	$\Delta T2$	IC	$\Delta T2$	IC						
0.24	1	0.26	3	0.23	3	0.20	2	0.15	2	0.11	1
1		5		8		8		4		8	
0.18	2	0.18	3	0.26	1	0.28	2	0.26	2	0.14	1.5
2		0		2		0		0		6	
0.19	2	0.22	2	0.13	2.	0.09	1.5	0.20	3	0.12	2
5		5		5	5	4		0		0	
0.13	3	0.17	2	0.18	3	0.24	1	0.32	3	0.14	2
8		5		6		7		0		0	
0.12	2	0.15	1	0.15	2	0.39	2	0.34	1.5	0.21	1
9		5		1		0		4		1	
0.18	2	0.13	3	0.20	2	0.20	2	0.22	2.5	0.19	2
7		0		4		3		9		1	
0.05	1.	0.19	1.	0.19	1	0.26	2	0.17	3	0.18	2
3	5	0	5	2		9		4		9	
0.11	2	0.13	2	0.28	2	0.22	3	0.18	3	0.18	1
7		5		0		0		6		4	
0.13	3	0.13	2	0.26	3	0.34	1.5	0.22	2	0.11	3
6		1		5		8		8		2	
0.13	3	0.04	3	0.21	2	0.29	3	0.17	1	0.21	1.5
8		3		0		9		0		6	
0.20	2.	0.05	3	0.30	2	0.13	2	0.20	2	0.20	1
3	5	9		5		6		0		6	
0.08	3	0.09	2	0.15	1	0.16	1	0.25	1	0.35	3
0		6		0		5		5		0	
0.14	2	0.08	3	0.14	2	0.22	1	0.09	1	0.18	2
8		0		5		5		6		0	
0.10	3	0.07	1.	0.13	1	0.18	0	0.20	1	0.22	2
6		8	5	5		8		0		5	
0.18	2	0.07	2	0.24	1	0.29	2	0.18	3	0.21	1
3		9		3		5		0		5	
0.17	3	0.10	1.	0.22	1	0.19	2	0.09	1	0.16	2
2		9	5	5		5		3		0	
0.20	1.	0.04	3	0.25	1	0.30	3	0.15	1	0.16	1
8	5	8		7		0		7		5	
0.15	2.	0.04	0.	0.28	2	0.19	1	0.12	1.5	0.15	1
8	5	0	5	2		0		3		5	
0.12	2	0.10	2	0.18	1	0.14	2	0.14	2	0.15	2
1		5		9		5		8		0	
0.12	3	0.17	1	0.21	2	0.18	2	0.21	1	0.12	1
5		3		2		0		9		5	
0.20	3	0.14	3	0.18	1.	0.14	2	0.13	2	0.14	2
3		8		4	5	5		9		5	
0.24	1	0.11	3	0.15	3	0.14	2	0.15	2	0.12	1
5		6		4		6		2		5	

Capitolo IV

0.255	3	0.123	3	0.176	3	0.034	2	0.145	2	0.015	2
0.175	3	0.038	2	0.242	1	0.135	1	0.157	2	0.060	1.5
0.200	3	0.186	3	0.239	1.5	0.182	1	0.121	2	0.151	2
0.120	2	0.123	2	0.177	1	0.088	2	0.173	1.5	0.154	1
0.110	2	0.098	2	0.413	1	0.094	1.5	0.246	3	0.256	2
0.120	2	0.176	2.5	0.155	2	0.196	1.5	0.202	2	0.186	2
0.110	2	0.271	3	0.334	1	0.071	1	0.214	3	0.140	2
0.216	2	0.430	3	0.258	2	0.219	1.5	0.250	2	0.157	1
0.375	1	0.240	2	0.207	0	0.115	2	0.170	1	0.233	2
0.239	3	0.095	1	0.305	1	0.168	2	0.242	2	0.231	2
0.189	3	0.258	1	0.275	2	0.236	1.5	0.138	3	0.243	2
0.207	1	0.317	1	0.290	3	0.214	3	0.109	2		

Per ciascuna variabile considerate (ΔT_2 , ΔT_3 and T_f), i dati totali sono stati suddivisi in 4 classi e per ciascuna di esse sono state calcolate la media e la varianza degli indici di comfort relativi a ciascun intervallo (Tabella IV.13, IV.14 e IV.15).

Tabella IV. 13 *Dati relative a ΔT_2*

ΔT_2	IC mean	VAR
0.015-0.12	1.952	0.477
0.121-0.220	1.926	0.559
0.221-0.330	1.924	0.547
0.331-0.430	1.857	0.714

Tabella IV. 14 *Dati relative a ΔT_3*

ΔT_3	IC mean	VAR
3.640-5.880	2.079	0.674
5.881-8.120	1.819	0.608
8.121-10.350	1.907	0.501
10.351-12.590	2.286	0.370

Tabella IV. 15 *Dati relative a T_f*

T_f	IC mean	VAR
29.475-31.420	2.368	0.496
31.421-33.370	1.842	0.724
33.371-35.320	1.861	0.516
35.321-37.265	1.915	0.504

Lo studio ha evidenziato un trend, sebbene non molto forte, tra l'indice di comfort medio e l'incremento di temperature (Figura IV.4).

All'aumentare del ΔT_2 , il livello di comfort percepito decresce. Nonostante ciò, l'analisi delle varianze non confermano questo trend (Tabella IV.13), ma confermano, invece, i risultati delle analisi statistiche precedentemente riportati (Tabella IV.11).

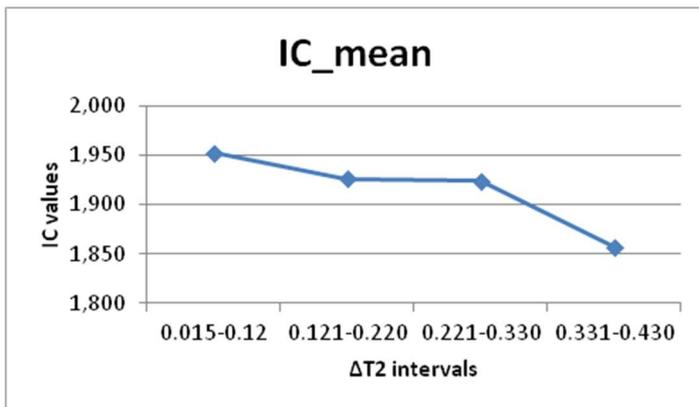


Figura IV. 4 *Grafico rappresentativo della correlazione tra IC e ΔT_2 .*

Un'analisi simile a quella effettuata per ΔT_2 e la temperatura finale è stata eseguita per ΔT_3 . I grafici presentati in Figura IV.5 e Figura IV.6 mostrano che non ci sono forti correlazioni tra le variabili.

Capitolo IV

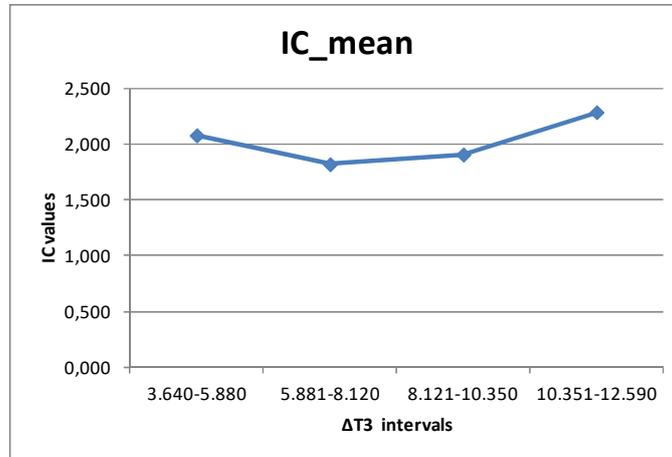


Figura IV. 5 Grafico rappresentativo della correlazione tra IC e ΔT_3 .

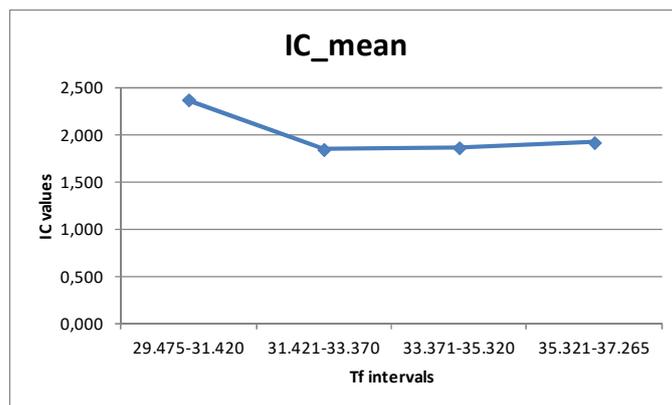


Figura IV. 6 Grafico rappresentativo della correlazione tra IC e T_f .

IV.2.7 Conclusioni

Per valutare come la temperatura della pelle all'interfaccia corpo-oggetto influenza il livello di comfort percepito è stato utilizzato un approccio psicofisico. Per valutare il livello di comfort percepito dal soggetto in funzione della temperatura all'interfaccia, si è deciso di eseguire il test su un materasso. In questo modo è stato possibile considerare le interazioni di tutta la parte posteriore del corpo con l'oggetto.

Durante le prove, sono stati registrati due tipi di dati: la temperatura all'interfaccia e la percezione soggettiva di comfort.

Nella prima parte dello studio, le correlazioni tra la temperatura all'interfaccia e la percezione di comfort sono state valutate in relazione a ciascuna parte del corpo (braccia, avambraccia, tronco, glutei, gambe e cosce). L'indice di

La Temperatura all'interfaccia

Pearson non ha rivelato un'alta correlazione tra le variabili considerate. In particolare, l'indice Pearson ha rivelato correlazioni negative tra indice di comfort IC e T_m , T_i e T_f nel caso degli avambracci.

Nella seconda parte dello studio, l'obiettivo è stato quello di verificare le correlazioni tra l'indice di comfort e la temperatura della pelle all'interfaccia, indipendentemente dalla specifica parte del corpo.

In particolare, sono stati valutati, le correlazioni tra indice IC e ΔT_2 , ΔT_3 e T_f . Le analisi dei dati hanno confermato l'assenza di correlazioni forti. L'unico risultato interessante è relativo alla correlazione tra gli aumenti di temperatura, ΔT_2 , e l'indice di comfort. Lo studio ha dimostrato che all'aumentare del ΔT_2 (incremento totale della temperatura all'interfaccia) si riduce il comfort percepito.

Capitolo IV

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: le problematiche di valutazione del comfort nelle interfacce Uomo-Prodotto.

Il lavoro è stato sviluppato con l'obiettivo di analizzare il comfort e nel caso specifico quello relativo alla temperatura e alla pressione all'interfaccia uomo-oggetto, individuando tutte le grandezze più significative, estrapolabili dalle distribuzioni di pressione e di temperature, che bisogna considerare quando si vuole valutare come tali aspetti influenzano il comfort percepito.

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

- È stata effettuata un'ampia indagine bibliografica sull'ergonomia e sul comfort. L'indagine bibliografica è stata in grado di fornirmi tutte le conoscenze propedeutiche per poter affrontare al meglio il lavoro di ricerca.
- È stato realizzato il modello di percezione del comfort sulla base di modelli esistenti in letteratura. In seguito all'analisi effettuata, si è partiti dal modello di Vink e Hallbeck (2012), lo si è ampliato e dettagliato al fine di tener conto di altri nuovi aspetti. Il risultato è stato un nuovo modello di comfort: NC-model. La grande novità di tale modello riguarda l'introduzione dei dispositivi di valutazione quali: HMD (human mounted display) utilizzato in ambito della realtà virtuale e che possono modificare la percezione di comfort posturale; markers e sensori posizionati sul corpo per la misurazione di pressioni/temperatura/movimento possono modificare la percezione del comfort fisiologico; questionari che possono annoiare i soggetti influenzando il comfort cognitivo.
- 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. I risultati ottenuti hanno confermato ciò che è asserto nel modello di Naddeo, 2014a 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.

- È stata testata l'ipotesi che sta alla base del nuovo modello di percezione del comfort: 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. Per fare ciò si è considerato il caso delle sedute automobilistiche. Lo stesso sedile è stato valutato in modi diversi da un campione di soggetti aggiungendo man mano informazioni: da una semplice foto all'esperienza di guida. 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.

Nella seconda parte dello studio si è focalizzati l'attenzione su due aspetti che influenzano il comfort nell'interazione uomo-oggetto, ossia, la temperatura e la distribuzione della pressione all'interfaccia.

- È stata effettuata un'ampia ricerca bibliografica con l'obiettivo di individuare le grandezze più significative, estrapolabili dalle distribuzioni di pressione e dalle distribuzioni di temperatura all'interfaccia, che bisogna considerare quando si vuole valutare come tali aspetti influenzano il comfort percepito.

Attraverso casi studio si sono potute verificare tutte le correlazioni significative che tali grandezze hanno con il livello di comfort percepito da parte dei soggetti che hanno partecipato ai test.

- Uno dei fattori che influenzano la percezione comfort nell'ambito dello HMI è la distribuzione della pressione del corpo o parte di esso in contatto con un oggetto. Tale aspetto è stato valutato nel caso dell'interazione tra un sedile e un soggetto e quindi interessa la zona dei glutei. Durante le prove, sono stati registrati diversi tipi di dati: genere sessuale, peso, statura e indice di massa corporea; flessione del tronco, la flessione della coscia, flessione / estensione gamba, abduzione della coscia; indice di comfort; P_{max} , P_{mean} e area di contatto. L'indice Pearson ha rivelato elevate correlazioni tra le variabili considerate. In particolare, l'indice di Pearson ha rivelato correlazioni positive tra variabili antropometriche e quelli di pressione, la correlazione negativa tra le variabili di pressione, correlazioni positive tra le variabili di pressione e quelli posturali e correlazione positiva tra l'IC e l'area di contatto.
- "I movimenti effettuati da soggetti, che sono obbligati a stare in una stessa posizione per periodi più o meno lunghi, sono sintomo di disagio". In questo lavoro di tesi si è voluto dimostrare questa ipotesi

La Temperatura all'interfaccia

partendo dalle distribuzioni delle pressioni sul piano di seduta e convertendole in movimenti effettuati dai soggetti mediante la valutazione delle variazioni delle distribuzioni delle pressioni nel tempo. I risultati hanno rivelato una correlazione negativa tra i micromovimenti effettuati e il comfort percepito dai soggetti stessi in seguito al test.

- Per valutare come la temperatura della pelle all'interfaccia corpo-oggetto influenza il livello di comfort percepito è stato utilizzato un approccio psicofisico. Per valutare il livello di comfort percepito dal soggetto in funzione della temperatura all'interfaccia, si è deciso di eseguire il test su un materasso. Le analisi dei dati hanno confermato l'assenza di correlazioni forti. L'unico risultato interessante è relativo alla correlazione tra gli aumenti di temperatura, ΔT_2 , e l'indice di comfort. Lo studio ha dimostrato che all'aumentare del ΔT_2 (incremento totale della temperatura all'interfaccia) si riduce il comfort percepito.

Il modello di valutazione di percezione del comfort e la valutazione delle correlazioni tra pressione\temperatura all'interfaccia e il comfort percepito, 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.
- Apostolico, A. Cappetti, N. D’Oria, C. Naddeo, A. Sestri, M. (2013). Postural comfort evaluation: experimental identification of Range of Rest Posture for human articular joints. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Pag.1-14 ISSN: 1955-2513.
- Armstrong, T.J., Buckle, P., Fine, L.J., Hagberg, M., Jonsson, B., Ilbom, A., Kuorinka, I. A.A., Silverstein, B.A., Sjogaard, G., Viikari-Juntura, E.R.A., 1993. A conceptual model for work-related neck and upper limb disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 19, 73–84
- Branton, P., Grayson, G., 1967. An Evaluation of Train Seats by Observation of Sitting Behaviour. *Ergonomics* 10(1): 35–51.
- Brnkhorst, R.E., Krause, F., 2005. Designing comfortable passenger seats. In: *Comfort and design, principles and good practice*, edited by P. Vink, 155–167. Boca Rotan: CRC Press.
- Brwn Z., Cole R.J.. Influence of occupants' knowledge on comfort expectations and behavior, *Building Research and Information*, Volume 37, Issue 3, May 2009, Pages 227-247, DOI: 10.180/09613210902794135
- Caberletti, L., Kümmel, D. M., Elfmann, K. & Schierz, C. (2009). Influence of Ambient Lighting in Vehicle Interior on the Drivers Perception. In *International Conference on the Effects of Light on Wellbeing*.
- Carcone, S.M., Keir, J.K., 2007. Effects of backrest design on biomechanics and comfort during seated work. *Applied Ergonomics* 38: 755–764.

- 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.
- Chen, H., Song, H., Zhang, J., Wang, F., 2013. Study on influence of back angle on human body pressure distribution. *Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes*; Beihai; China; December 22-23, 2012. *Advanced Materials Research Vol 655–657*: 2088–2092.
- Chen, J., Hong, J., Zhang, E., Liang, J., Bingheng, L.U., 2007. Body pressure distribution of automobile driving human machine contact interface. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 20(4), 66–70.
- Ciaccia, F., Sznclwar, L., 2012. An approach to aircraft seat comfort using interface pressure mapping. *Work* 41 (1): 240–245.
- 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
- D’Oria C., Naddeo A., Cappetti N., Pappalardo M., 2010. Postural analysis in HMI design: an extension of OCRA standard to evaluate discomfort level. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 39, 60-70, ISSN 17348412.
- Da Silva, L., Bortolotti, S. L. V., Campos, I. C. M. & 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 termo igrometrico. *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 26, 401-415.
- Dauris, D.D.I., Deros, B.M.D. & 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 Korte, E.M., Huysmans, M.A., De Jong, A.M., Van de Ven, J.G.M., Ruijsendaal M., 2012. Effects of four types of non-obtrusive feedback on computer behavior, task performance and comfort. *Applied ergonomics*, 43, 344-353, doi: 10.1016/j.apergo.2011.06.010.
- De Looze, M.P., Kuijt-Evers, L.F.M., Van Dien, J.H., 2003. Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, 46, 985-997, doi:10.1080/0014013031000121977.

- Deuble, M.P., de Dear R.J., 2012. Mixed-mode buildings: A double standard in occupants' comfort expectations, *Building and Environment*, Volume 54, August 2012, Pages 53-60, DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.01.021
- Di Pardo, M., Riccio, A., Sessa, F., Naddeo, A., & Talamo, L. (2008). Methodology development for ergonomic analysis of workcells in virtual environment. SAE Technical Papers,
- Drucker, P.F., 1999. Knowledge worker productivity: the biggest challenge. *California Management Review* 41(2), 79–94.
- Dunk, N.M. & 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*, Volume 37, No.1.
- Eurostat news release, 142/2012. Available at: <http://ec.europa.eu/Eurostat>.
- Falou, W. E., Duchene, J., Grabisch, M., Hewson, D., Langeron, Y. & 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.
- Fogliatto, F.S. Guimaraes, L.B.M (2004), “Useroriented method for selecting workstation components”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 33, No. 2.
- Franz, M., Durt, A., Zenk, R., Desmet, P.M.A., 2012. Comfort effects of a new car headrest with neck support. *Applied Ergonomics* 43(2): 336–343.
- Franz, M.M., Durta, A., Zenk, R., Desmet, P.M.A., 2012. Comfort effects of a new car headrest with neck support. *Applied ergonomics*, 43, 336-343, doi: 10.1016/j.apergo.2011.06.009.
- Gerald, M. (2002). Towards a transactional ergonomics for driver stress and fatigue. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3,195-211.

- Graf, M., Guggenbühl, U., Krueger, H., (1995). An assessment of seated activity and postures at five workplaces. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Volume 16
- Groenesteijn, L., Ellegast, R.P., Keller, K., Krause, F., Berger, H., De Looze, M.P., 2012. Office task effects on comfort and body dynamics in five dynamic office chairs. *Applied ergonomics*, 43, 320-328, doi: 10.1016/j.apergo.2011.06.007.
- 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.
- Gross CM, Goonettilleke RS, Menon KK, et al: The biomechanical assessment and prediction of seat comfort. In Lueder R, Noro K (eds): *Hard Facts About Soft Machines*. London: Taylor & Francis, London, 1994: 231-253
- Gyi, D.E., Porter, J.M., 1999. Interface pressure and the prediction of car seat discomfort. *Applied Ergonomics* 30(2): 99–107.
- Hamberg-van Reenen HH, van der Beek AJ, Blatter BM, van der Grinten MP, van Mechelen W, Bongers PM. Does musculoskeletal discomfort at work predict future musculoskeletal pain? *Ergonomics* 2008; 51: 637-48
- Hartung, J., Mergl, C., Bubb, H., 2004, Reliability of pressure measurement on car seats. *SAE Technical Papers*
- Hedge, A., Sakr, W., 2005. Workplace effects on office productivity: a macroergonomic framework. *Proceedings of ODAM 20th annual meeting*: 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*, Volume 40, No.9.
- Herzberg, F., Mausner, B., Snyderman, B.B., 1959. *The Motivation to Work*. Transaction Publishers, Somerset, NJ.
- Hiemstra-van Mastrigt, S., Kamp, I., Van Veen, S.A.T., Vink, P., Bosch, T., 2015. The influence of active seating on car passengers’ perceived comfort and activity levels. *Applied Ergonomics* 47: 211–219.
- Hostens, I., Papaioannou, G., Spaepen, A., Ramon, H., 2001. Buttock and back pressure distribution tests on seats of mobile agricultural machinery. *Applied Ergonomics* 32(4): 347–356.
- Jackson, C., Emck, A.J., Hunston, M.J., Jarvis, P.C., 2009. Pressure Measurements and Comfort of Foam Safety Cushions for Confined Seating. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 80(6): 6.

- Jackson, C., Emck, A.J., Hunston, M.J., Jarvis, P.C., 2009. Pressure Measurements and Comfort of Foam Safety Cushions for Confined Seating. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 80(6): 6.
- 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*, 43, 329-335, doi: 10.1016/j.apergo.2011.06.008.
- 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*, 32, 357-66.
- Kee, D., Lee, I., 2012. Relationships between subjective and objective measures in assessing postural stresses. *Applied Ergonomics*, 43, 277-282, doi: 10.1016/j.apergo.2011.06.002.
- 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.
- Kong, Y.K. Kim, D.M. Lee, K.S. Jung, M.C. (2012), “Comparison of comfort, discomfort, and continuum ratings of force levels and hand regions during gripping exertions”, *Applied Ergonomics*, Volume 43, No.2.
- 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 LFM, Comfort in handtools, PhD thesis, TUDelft, 2007
- Kuijt-Evers, L.F.M. Groenesteijn, L. de Looze, M.P. Vink, P. (2004), “Identifying factors of comfort in using hand tools”, *Applied Ergonomics*, Volume 35, No. 5.
- 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. & 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 Ergonomic*, 38, 516-525.
- Kyung, G., Nussbaum, M.A., 2008. Driver sitting comfort and discomfort (part II): Relationships with and prediction from

- interface pressure. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38 (5–6): 526–538
- Kyung, G., Nussbaum, M.A., 2013. Age-related difference in perceptual responses and interface pressure requirements for driver seat design. *Ergonomics* 56(12): 1795–1805.
- Lars, ., Willfried, W. & Lena, S. (2003). A control handling comfort model based on fuzzylogics, *Int. Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 87–100.
- Le, P., Rose, J., Knapik, G., Marras, W.S., 2014. Objective classification of vehicle seat discomfort. *Ergonomics* 57(4): 536–544.
- 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.
- Lueder, R., 2004. *Ergonomics of Sitting and Seating: The Case For and Against Movement For Its Own Sake. A Review of The Scientific Literature*, April 4, 2004. Updated June 5, 2005. Humanics ErgoSystems, Encino (CA). www.humanics-s.com/movement-ergonomics.htm Viewed on 12/15/09.
- 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.
- Mansfield, N., Sammonds, G., & Nguyen, L. (2015). Driver discomfort in vehicle seats – Effect of changing road conditions and seat foam composition, *Applied Ergonomics*, 50, 153-159
- MEDLINE® <https://www.nlm.nih.gov/bsd/pmresources.html>
- Mergl C. *Entwicklung eines Verfahrens zur Objektivierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen*, Dissertation: Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, 2006.
- Mergl, C., 2006. *Entwicklung eines Verfahrens zur Objektivierung des Sitzkomforts aufAutomobilsitzen*. PhD thesis, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.
- Moes, C.C.M., 2007. Variation in Sitting Pressure Distribution and Location of the Points of Maximum Pressure with Rotation of the Pelvis, Gender and Body Characteristics. *Ergonomics* 50(4): 536–561.
- Moes,N.C.C.M.,2005.Analysisofsittingdiscomfort,areview.In:Bust,P. D.,McCabe,P.T. (Eds.), *Contemporary Ergonomics 2005*. Taylor& Francis, London, pp. 200–204.

- 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.
- Moore, J.S., & Garg, A. (1995). The Strain Index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *AIHAJ*, 56, 443-458.
- Na, S., Lim, S., Choi, H.-S., Chung, M.K., 2005. Evaluation of driver's discomfort and postural change using dynamic body pressure distribution. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35(12): 1085–1096.
- Naddeo A. (2013) Virtual Comfort Evaluation as a New Paradigm of Health and Safety In Industrial Engineering. *Ind Eng Manage* 2: e119. doi: 10.4172/2169-0316.1000e119
- Naddeo, A., Apicella, M. & Galluzzi, D. (2015a). 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. & D'Oria, C. (2015b). Proposal of a new quantitative method for postural comfort evaluation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 48, 25-35.
- Naddeo, A., Cappetti, N. & Ippolito, O. (2014b). Dashboard reachability and usability tests: a cheap and effective method for drivers' comfort rating. *SAE Technical Paper* 2014-01-0455.
- Naddeo, A., Cappetti, N., Vallone, M. & Califano, R. (2015c). 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. (2014a). 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 *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, edited by T. Ahram, W. Karwowski and T. Marek.
- Naddeo, A., Memoli, S.: Postural comfort inside a car: development of an innovative model to evaluate the discomfort level. *SAE Int. J. Passeng. Cars Mech. Syst.* 2(1), 1065–1070 (2009)
- 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 Ergonomic*, 19,129-146.
- 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*, 42,397-405.
- Nordin, M. , 2004. Zusammenhang zwischen Sitzen und arbeitsbedingten Rückenschmerzen. In: *Ergomechanics*, H.J. Wilke (ed.). Aachen: Shaker Verlag, 10–35.
- Noro, K., Naruse, T., Lueder, R., Nao, N., Kozawa, M., 2012. Application of Zen sitting principles to microscopic surgery seating. *Applied Ergonomics*, 43, 308-319, doi: 10.1016/j.apergo.2011.06.006.
- OECD, Organization for Economic Co-operation and Development, 1996. *The knowledgebased economy. General distribution OCDE//GD(96)102.*
- Oudenhuijzen, A., Tan, K. & Morsch, F. (2003). The relationship between seat pressure and comfort. *SAE Technical Paper 2003-01-2213.*
- Oyama, H., Noro, K., Mitsuya, R., Takao, H., 2003. Development of a new working posture for VDT. *Conference proceedings of HUMACS conference 2003, Tokyo, Japan: Waseda University, 12–15.*
- Oyama, H., Noro, K., Mitsuya, R., Takao, H., 2003. Development of a new working posture for VDT. *Conference proceedings of HUMACS conference 2003, Tokyo, Japan: Waseda University, 12–15.*
- Park, S.J., Kim, C.H., Kim, C.J., Lee, J.W., 2000. Comfortable driving postures for Koreans. *International Journal of Industrial Ergonomics* 26(4): 489–497.
- Patrick, G. D., Raymond, W. & 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.
- Paul, G., Daniell, N., Fraysse, F., 2012. Patterns of correlation between vehicle occupant seat pressure and anthropometry. *Work* 41: 2226–2231.

- 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: 177-186.
- Pheasant S: *Ergonomics, Work and Health*. London: Macmillan, 1991: 212-230
- Pheasant, S., Haslegrave, C.M., 2006. *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, Third Edition. CRC Press: Boca Raton.
- Porter, J.M., Gyi, D.E., Tait, H.A., 2003. Interface pressure data and the prediction of driver discomfort in road trials. *Applied Ergonomics* 34 (3): 207–214.
- 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.
- Reed, M.P., Manary, M.A., Flannagan, C.A.C., Schneider, L.W., 2000. Effects of Vehicle Interior Geometry and Anthropometric Variables on Automobile Driving Posture. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 42(4): 541–552.
- Reinecke, S.M., Hazard, R.G., Coleman, K., 1994. Continuous passive motion in seating: A new strategy against low back pain. *Journal of Spinal Disorders* 7(1): 29–35.
- Sammonds, G.M., Fray, M. and Mansfield, N.J., 2017. Effect of long term driving on driver discomfort and its relationship with seat fidgets and movements (SFMs). *Applied Ergonomics*, 58, pp.119-127.
- Schoberth H: *Sitzhaltung, Sitzschaden*. Berlin: Sitzmöbel Springer, 1962
- Sember J.A., 1994. The biomechanical relationship of seat design to the human anatomy. In: Lueder, R., Noro, K., eds. *Hard Facts About Soft Machines: the Ergonomics of Seating*. London: Taylor & Francis, 221–251.
- Silvestro M: *La progettazione di una sedia. Il design tra scienza e creatività*. Roma: Editrice Librerie Dedalo, 2004
- Smith, D. R., Andrews, D. M. & Wawrow, P. T. (2006). Development and evaluation of the Automotive Seating Discomfort Questionnaire. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 141-149.
- Søndergaard, K.H.E., Olesen, C.G., Søndergaard, E.K., De Zee, M., Madeleine, P., 2010. The variability and complexity of sitting

- postural control are associated with discomfort. *Journal of Biomechanics* 43: 1997–2001.
- 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
- Szczepanska-Rosiak, E. Heim, D. Gorko, M. (2013), “Visual comfort under real and theoretical, overcast and clear sky conditions”, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28.
- Telfer, S., Spence, W.D., Solomonidis, S.E., 2009. The potential for actigraphy to be used as an indicator of sitting discomfort. *Human Factors* 51(5): 694–704.
- Telfer, S., Spence, W.D., Solomonidis, S.E., 2009. The potential for actigraphy to be used as an indicator of sitting discomfort. *Human Factors* 51(5): 694–704.
- Teraoka, T., Mitsuya, R., Noro, K., 1994. Comfort in Furniture at Home. In: *Comfort and Design, Principles and Good Practice*, P. Vink (ed.). Boca Rotan: CRC Press, 137–145.
- Tessendorf, B., Arnrich, B., Schumm, J., Setz, C., Tröster, G., 2009. Unsupervised monitoring of sitting behavior. Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS. Minneapolis, Minnesota, USA. 2–6 September.
- 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.
- Van Deursen, D.L., Goossens, R.H.M., Evers, J.J.M., Van der Helm, F.C.T., Van Deursen, L.L.J.M., 2000. Length of the spine while sitting on a new concept for an office chair. *Applied Ergonomics* 31(1): 95–98.
- Van Deursen, D.L., Goossens, R.H.M., Evers, J.J.M., Van der Helm, F.C.T., Van Deursen, L.L.J.M., 2000. Length of the spine while sitting on a new concept for an office chair. *Applied Ergonomics* 31(1): 95–98.
- Van Dieën, J.H., De Looze, M.P., Hermans, V., 2001. Effects of dynamic office chairs on trunk kinematics, trunk extensor EMG and spinal shrinkage. *Ergonomics* 44(7), 739–750.
- Vergara, M. & Page, A. (2002). Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting comfort. *Applied Ergonomics*, 33, 1-8.

- Vincent, A., Bhise, V.D., Mallick, P. (2012). Seat comfort as a function of occupant characteristics and pressure measurements at the occupant-seat interface. SAE Technical Paper 2012- 01-0071, 2012, doi:10.4271/2012-01-0071.
- Vink, P. & Hallbeck, S. (2012). Editorial: comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied Ergonomics*,43, 271–276.
- Vink, P., Overbeeke, C.J., Desmet, P.M.A., 2005. Comfort Experience. In: *Comfort and Design, Principles and Good Practice*. P. Vink (ed.). Boca Rotan: CRC Press, 1–12.
- Vos, G.A., Congleton, J.J., Moore, J.S., Amendola, A.A., Ringer, L., 2006. Postural versus chair design impacts upon interface pressure. *Applied Ergonomics* 37(5): 619–628.
- Vos, G.A., Congleton, J.J., Moore, J.S., Amendola, A.A., Ringer, L., 2006. Postural versus chair design impacts upon interface pressure. *Applied Ergonomics* 37(5): 619–628.
- 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.
- Wang, B., Jin, X., Chen, B., Tao, X., 2011. Assessment of driver movements during prolonged driving using seat pressure measurements. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 55th annual meeting*. 1568–1572.
- Wang, B., Jin, X., Chen, B., Tao, X., 2011. Assessment of driver movements during prolonged driving using seat pressure measurements. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 55th annual meeting*. 1568–1572.
- Winkel, J., Westgaard, R., 1992. Occupational and individual risk factors for shoulder neck complaints: Part II – The scientific basis (literature review) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics* 10, 85–104.
- 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, June 2013, Pages 146-151, DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.03.002
- Xu, L., Chen, G., Wang, J., Shen, R., Zhao, S., 2012. A sensing cushion using simple pressure distribution sensors. *Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*; Hamburg; Germany; September 13-15, 2012: 451–456.

- Yamada, Y., Owaki, M., Mori, T., Fukumoto, K., Miura, S., Furuta, M. & Matsuyama, M. (2000). Advanced seat fabrics with high performance deodorant function. *JSAE*, 21, 543-547.
- Zenk R .Objektivierung des Sitzkomforts und seine automatische Anpassung, PhD TUMunche n, Herbert Utz Verlag, 2008.
- Zenk, R., Franz, M., Bubb, H., Vink, P., 2012. Spine loading in automotive seating. *Applied Ergonomics*, 43, 290-295, doi: 10.1016/j.apergo.2011.06.004.
- Zhang, L., Helander, M., Drury, C., 1996. Identifying factors of comfort and discomfort. *Human Factors* 38, 377–389.
- Zhiping, L., Jian, W., 2011. Influences of Sitting Posture and Interface Activity on Human Physical and Psychological Reaction. *Proceedings of the 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE)*. 10–12 May 2011, Wuhan, China.
- 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