

CAPITOLO 1	5
INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 2	8
ERGONOMIA E STRUMENTI NORMATIVI	8
2.1 DIFFERENZA TRA COMFORT ED ERGONOMIA	8
2.2 INTERVALLI DI MOVIMENTO ARTICOLARE E METODI DI MISURA	9
<i>Fattori di influenza</i>	19
<i>Metodi di misura</i>	19
2.3 LA NORMATIVA ISO 11228 E L'ERGONOMIA	31
2.4 NIOSH: NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH	32
2.5 SNOOK E CIRIELLO	36
2.6 OCRA: OCUPATIONAL REPETITIVE ACTIONS	43
2.7 METODI DI VALUTAZIONE POSTURALE: STATO DELL'ARTE E DIFFERENZE	47
2.8 METODO RULA: RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT	48
2.9 METODO REBA: RAPID ENTIRE BODY ASSESSMENT	60
2.10 METODO LUBA: LOADING OF THE UPPER BODY ASSESSMENT	64
2.11 ANALISI COMPARATIVA	76
CAPITOLO 3	88
ANALISI DEGLI INTERVALLI DI MOBILITÀ DELLE ARTICOLAZIONI	88
3.1 COMFORT RANGE OF MOTION (CROM)	88
3.2 RANGE OF REST POSITION (RRP)	96
<i>RRP e scelta del campione</i>	96
<i>Procedura di elaborazione delle immagini</i>	97
<i>Layout laboratorio sperimentale</i>	104
3.3 POST-ELABORAZIONE	105
<i>Elaborazione statistica dei dati</i>	105
<i>Organizzazione dei dati in frequenze</i>	108
<i>Stima delle funzioni di distribuzione delle popolazioni di RP</i>	110
<i>Tabelle riassuntive degli RRP</i>	127

3.4	DIPENDENZA TRA I MOTI DI ROTAZIONE LATERALE E FLESSIONE FRONTALE DEL COLLO	133
	CAPITOLO 4	152
	CA-MAN: COMFORTABLE ASSESSED MAN - IL MODELLO DI VALUTAZIONE DEL COMFORT	152
4.1	DEFINIZIONE DEI PUNTEGGI DI COMFORT	152
4.2	LE CURVE DI COMFORT	158
4.3	APPLICAZIONE DEL METODO	171
4.4	SUPERFICIE DI COMFORT FLESSIONE FRONTALE – ROTAZIONE LATERALE DEL COLLO	180
	<i>Esempio Applicativo – Comfort sale di pubblico spettacolo</i>	<i>188</i>
4.5	CONSIDERAZIONI GENERALI SUL METODO	201
4.6	LA VALUTAZIONE DEL COMFORT GLOBALE CON CA-MAN	201
4.7	L'ERGONOMIA COGNITIVA	204
	<i>L'usabilità negli standard ISO</i>	<i>205</i>
	<i>Metriche e misure di valutazione dell'usabilità</i>	<i>206</i>
	<i>Analisi qualitativa vs misurazione quantitativa</i>	<i>207</i>
4.8	ANALISI E VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA COGNITIVA	208
	<i>Modalità di analisi della ergonomia cognitiva</i>	<i>208</i>
	<i>Valutazione della ergonomia cognitiva attraverso la sintesi dei parametri caratteristici</i>	<i>213</i>
	<i>Il parametro ergonomia cognitiva P_{ec}</i>	<i>222</i>
	CAPITOLO 5	223
	CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	223
	RINGRAZIAMENTI	226

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

Lo studio condotto in questa trattazione approfondisce il tema dell'ergonomia e del comfort dell'interfaccia uomo-macchina, nell'accezione più ampia del termine, fino allo sviluppo di un metodo di misurazione del livello di comfort percepito dall'uomo. Il modello, di carattere generale, sarà applicabile a qualsiasi contesto, dalla postazione di lavoro nel settore industriale, e al luogo di lavoro in generale, all'abitacolo di un'autovettura o mezzo di cantiere, allo scopo di migliorarne la qualità avvertita dall'utente.

L'importanza di un tale tipo di strumento è dettata da esigenze industriali sempre più pressanti, dalla continua ricerca di leve di mercato che spingono anche grandi colossi mondiali a far uso più intenso della tecnologia per tendere all'ottimizzazione di tutti i parametri di progetto che definiscono le caratteristiche dei loro prodotti.

Non è una novità che l'acquirente tipo è molto più attento di quanto lo era qualche decennio fa, ma la sua attenzione in genere ricade sulle caratteristiche di "qualità apparente" del prodotto, ovvero sulle prerogative con le quali ha diretto contatto e/o ne ha una più diretta cognizione. Non a caso hanno assunto maggiore importanza l'aspetto estetico, ed ergonomico, entrambi fattori sui quali l'industria oggi investe molto, proprio perché miglioramenti in queste due direzioni hanno un ritorno di immagine immediato, e un forte peso sulla valutazione finale del prodotto.

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

difficile trovare prodotti pessimi o davvero inutilizzabili, è ormai diventata cosa rara definire imbarazzante una seduta di una poltrona!

Al contrario 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.

Nell'ambito automotive, già da qualche anno, si studia con molta attenzione e dettaglio l'aspetto ergonomico dell'abitacolo, per la realizzazione di prodotti sempre più appaganti per l'utente finale. La comunità scientifica, come di consuetudine, ha risposto creando una serie di strumenti di aiuto al progettista, che attualmente è in grado di modellare un prodotto semplice o complesso, verificarne la resistenza strutturale con strumenti normativi e un forte bagaglio di conoscenze che lo seguono e aiutano nella valutazione, ma ancora poco si è fatto nell'ambito della valutazione dell'ergonomia. Quest'ultima viene approssiata con notevole difficoltà proprio a causa della mancanza di riferimenti validi ed autorevoli. Basti pensare che case automobilistiche di una certa importanza si affidano preliminarmente a giudizi del tutto soggettivi dei tecnici incaricati, i quali per mezzo di strumenti software sono in grado di definire le posture assunte da un utente medio nell'interazione con l'abitacolo, ma non sono propriamente in grado di giudicarne la bontà, riuscendone a stimare soltanto una più o meno naturalezza. In particolare, conosciuta la postura dell'attore all'interno del veicolo, si dà un giudizio ergonomico definendone la naturalezza su 2 livelli: postura naturale o non naturale.

La vera e propria analisi del comfort dell'abitacolo viene poi condotta per mezzo di prove di giuria, numerose, onerose, e a questo punto obbligatorie per la buona riuscita del prodotto.

E' proprio da questo stato di cose che la nostra attività di ricerca ha trovato linfa vitale, in parte come risposta all'esigenza, del mondo industriale, di riferimenti validi che rendano sempre più attendibile la fase prototipale dello sviluppo del prodotto, in parte a copertura di una reale mancanza di norme e guide di ausilio al tecnico progettista durante le sue scelte.

Il fine ultimo del lavoro è quello di fornire uno strumento di analisi posturale che presenti i risultati in modo fruibile. L'output del modello deve garantire, pertanto, il supporto ad eventuali azioni correttive,

fornendo una descrizione dei risultati che evidenzia le criticità nelle posture studiate, e l'opportuna priorità da seguire nel processo di ottimizzazione.

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

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

Per fornire ulteriori strumenti di comprensione al lettore è riportata una trattazione sulle malattie professionali, sulla normativa vigente in termini di ergonomia e sui metodi di valutazione ergonomica suggeriti nei testi di legge.

Capitolo 2

ERGONOMIA E STRUMENTI NORMATIVI

2.1 Differenza tra comfort ed ergonomia

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

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

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

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

Come mostrato in figura 2.1, 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.

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

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

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

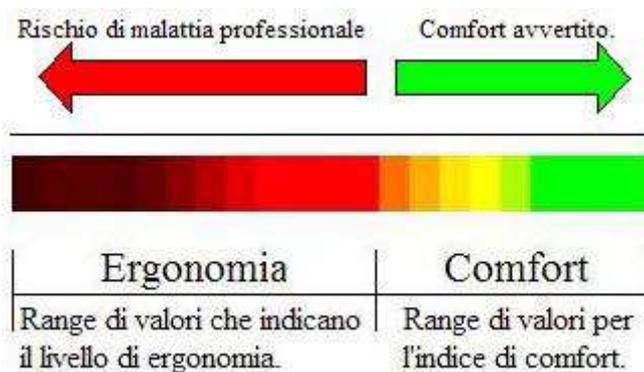


Figura 2.1; Ergonomia e Comfort.

2.2 Intervalli di movimento articolare e metodi di misura

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

- apparato scheletrico
- sistema muscolare

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

particolare ci si soffermerà con l'intento di caratterizzarne quelle che sono le articolazioni di maggiore interesse.

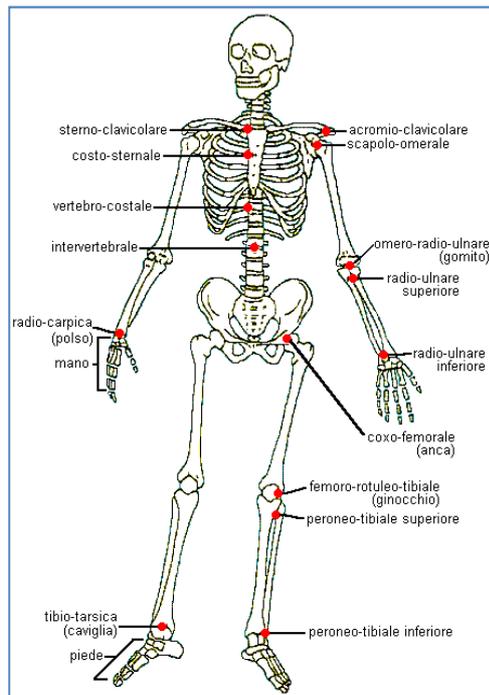


Figura 0.2; Apparato scheletrico umano

Le articolazioni sono giunzioni tra capi ossei, interconnessi tramite i tessuti connettivi. A seconda della loro differente mobilità, cioè della loro escursione o range articolare, possono essere di tipo mobile (ad esempio l'articolazione della spalla), semimobile (come le vertebre) o fisso (il cranio). In un corpo umano adulto esistono duecentosei ossa ed una moltitudine di articolazioni delle quali solo una parte è interessante, dal punto di vista cinematico, per la caratterizzazione di una postura o di un movimento.

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

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

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

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

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

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

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

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

Piani di misura

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

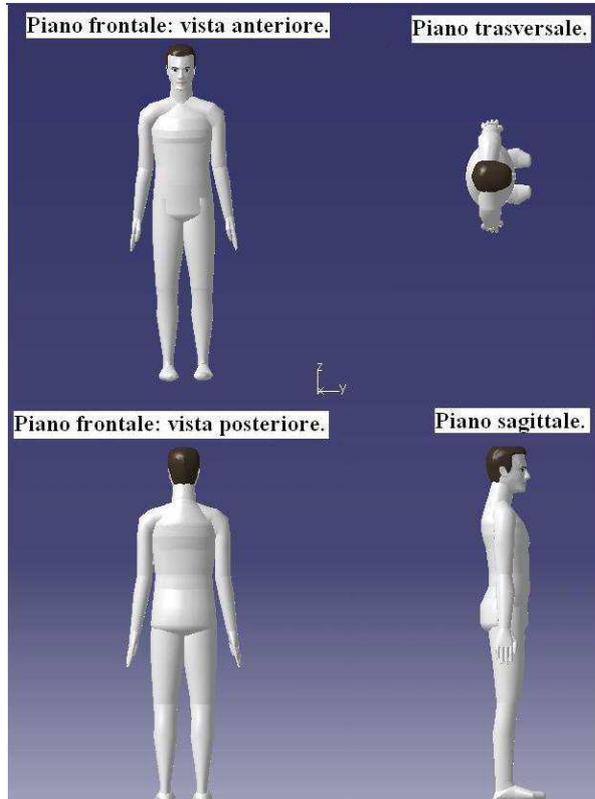


Figura 2.3: Piani di suddivisione del corpo umano.

In figura 2.3¹ sono rappresentati i piani principali in cui è possibile visualizzare il corpo umano:

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

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

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

¹ Software Delmia V5R 15, sviluppato da Dassault Systèmes.

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

Nel seguito si identificheranno accuratamente le caratteristiche dei vari piani.

Piano Sagittale

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

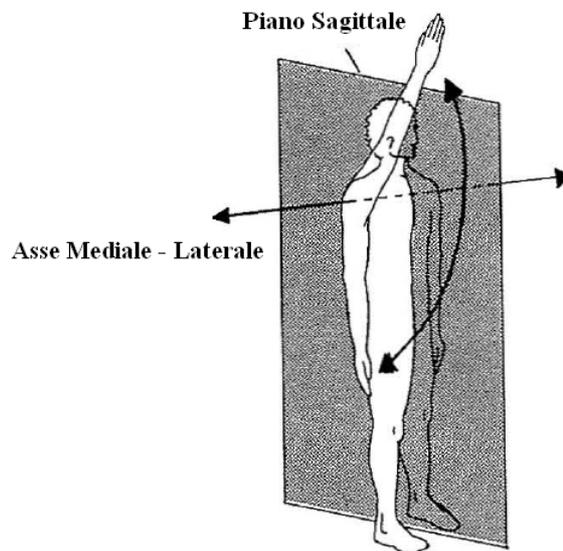


Figura 2.3.1; Piano sagittale, modello in piedi in posizione

Piano Frontale

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

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

asse che passa per il dito medio: un movimento che allontana le altre dita dal medio è detto di "abduzione", mentre un movimento che avvicina le dita al medio è detto di "adduzione".

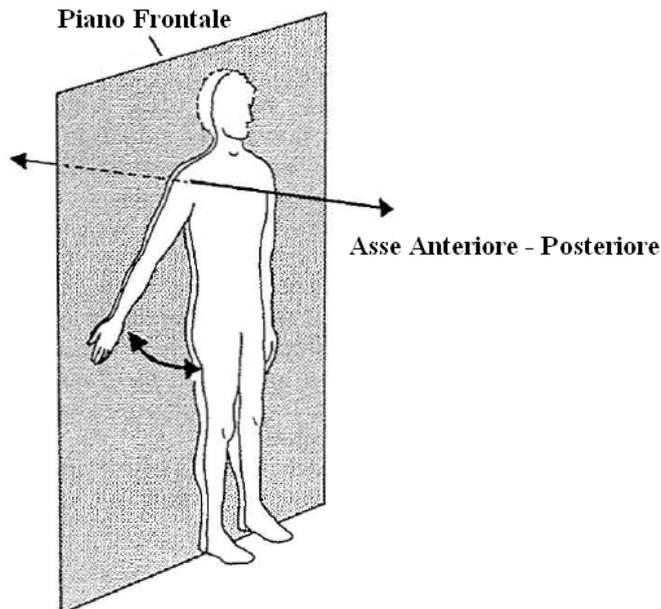


Figura 2.3.2: Piano Frontale, modello in piedi in posizione.

Piano Trasversale

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

Nel caso del rachide si parla di rotazione destra o sinistra. Vale ricordare, a tal proposito, che nel caso dell'avambraccio questi due movimenti

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

Asse Verticale

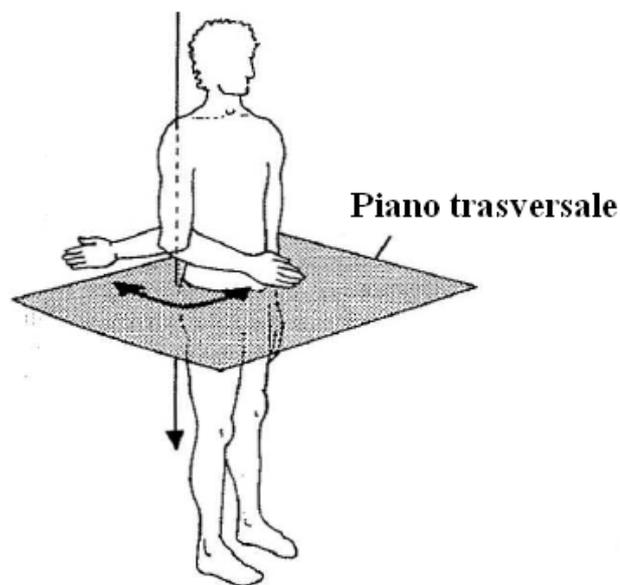


Figura 2.3.3: Piano trasversale.

ROM

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

AROM (active range of motion) quando il movimento di un arto è un movimento attivo.

AROM

L'AROM è il movimento che viene eseguito dall'arto del soggetto analizzato in maniera autonoma. Da questa analisi si può capire quale disponibilità ha il soggetto a muoversi, nonché il suo coordinamento e il suo sforzo muscolare. Se si verificano alcuni dolori da parte del soggetto nel momento in cui egli esegue alcune movimentazioni è possibile attribuire la loro causa alle articolazioni o tessuti muscolari come ad esempio i legamenti. E' chiaro che tale AROM permette in prima battuta di fare una valutazione fisica non invasiva sul soggetto per quanto concerne il ROM. Ovviamente l'analisi è puramente visiva da parte dell'esaminatore.

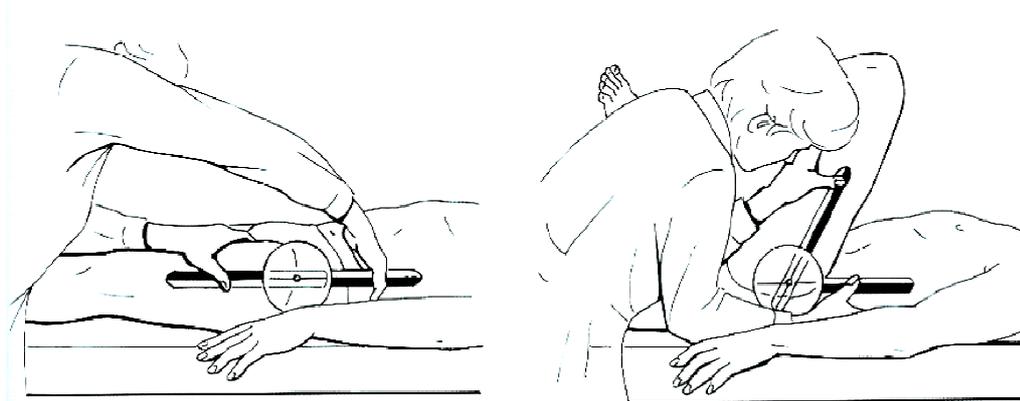


Figura 2.3.5: Esempio di AROM per la movimentazione del ginocchio e dell'anca.

PROM

Il PROM è il movimento che viene eseguito dall'arto del soggetto tramite un esaminatore il quale si prende pieno carico nella sua movimentazione. Tale tecnica risulta essere superiore a quella precedente in quanto è possibile far eseguire alcune movimentazioni al soggetto non possibili altrimenti nel caso in cui esse fossero eseguite volontariamente. E' chiaro che in questo modo l'esaminatore può egli stesso rendersi conto di come variano le articolazioni del corpo umano ed eventualmente capire se

sussistono problemi in esse (tastare il muscolo e capire se esso presenta una contrazione ed un eventuale infiammazione). Di solito il PROM viene eseguito dopo che il soggetto ha compiuto il suo AROM in quanto il PROM può essere considerato come un intervallo di protezione che l'articolazione ha nel momento in cui viene sottoposta ad una forza (Fig 2.36). A differenza dell'AROM esso non dipende dalla forza muscolare del soggetto e dalla sua coordinazione.

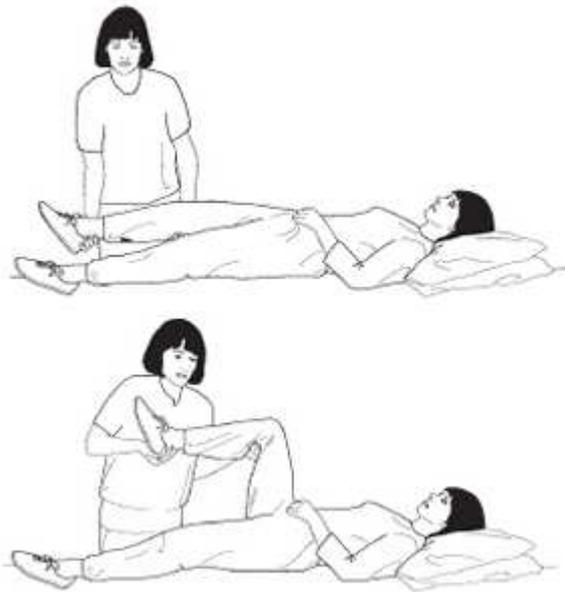


Figura 2.3.6. Esempio di PROM per la movimentazione del ginocchio e dell'anca.

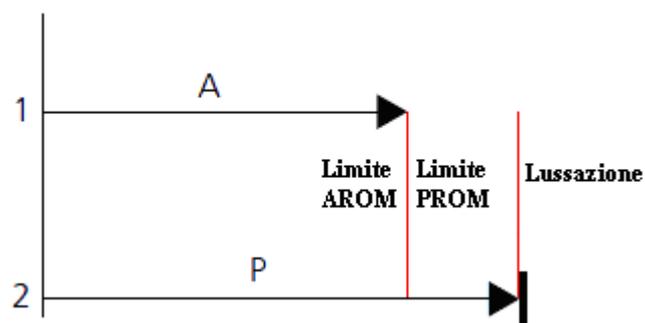


Figura 2.3.7 Movimento attivo (A), Movimento passivo (P).

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

Fattori di influenza

Il ROM può variare a seconda dell'individuo che si va ad analizzare. Sussistono alcuni fattori determinanti come l'età ed il sesso che lo modificano pienamente. Altri fattori che possono essere presi in considerazione nella modifica del ROM possono essere la professione o le attività ricreative del soggetto. E' chiaro che una ballerina professionista di danza classica ha un ROM estremamente più spinto rispetto ad una persona che non ha mai praticato ginnastica durante la sua vita. Per questi motivi, nella scelta del campione significativo, deve essere presa in considerazione la storia clinica e professionale dei soggetti, in modo da tenere in conto tutto ciò che può portare fuori media l'analisi fatta.

Metodi di misura

L'escursione articolare può essere analizzata attraverso:

- L'utilizzo di Strumenti meccanici ed elettronici:
 - Goniometri
 - Inclinometri
- L'analisi Cinematica del Movimento

Utilizzo di strumenti meccanici ed elettronici

Goniometri

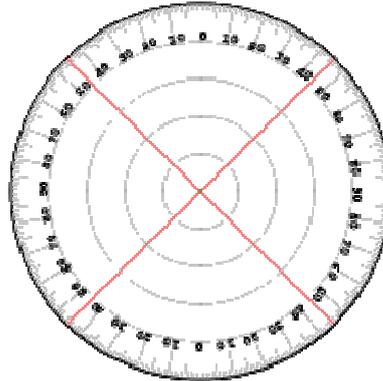


Figura 2.3.8 *Disco goniometrico.*

Il *goniometro*² o *disco goniometrico* è uno strumento per la misurazione di angoli.

Struttura dei goniometri meccanici

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

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

I goniometri da officina sono realizzati in materiale più robusto, tipicamente acciaio inossidabile, onde prevenire che la ruggine renda

² URL www.wikipedia.it, Goniometro [Consultato in data 07/10/2010].

difficoltosa la lettura o cancelli la scala. Spesso la superficie viene opacizzata per evitare abbagliamenti durante la lettura.

Goniometro a bracci

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

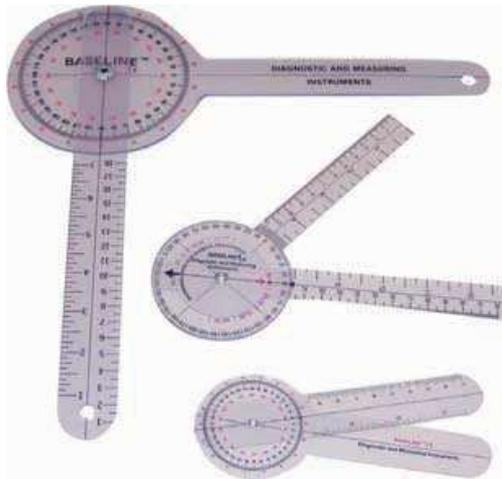


Figura 2.3.9 *Goniometri ortopedici a bracci.*

Un braccio è parte integrante del goniometro, dove è incisa la scala graduata, l'altro braccio viene incernierato nel centro del goniometro, e dispone di un *indice* che punta sulla scala. I bracci così incernierati, possono ruotare liberamente posizionandosi tra loro ad un angolo qualsiasi. Quando si deve effettuare una misura per valutare il ROM articolare, i due bracci vengono posizionati a *battuta* sulle due superfici di cui si vuole misurare l'angolo, il rilievo può essere così fatto leggendo la posizione dell'indice. Il goniometro va posto precisamente sul centro della articolazione e, mentre si allinea uno dei due bracci al segmento osseo fisso, rispetto al quale avviene il movimento del segmento contiguo,

l'altro ne segue l'escursione e, a fine corsa, la quantizza. Si tratta di rilevazioni a rapporto con uno zero e con un valore perfettamente utilizzabile a scopi statistici.

Scale

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

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

Inclinometri

L'inclinometro³ è uno strumento, che consente il controllo dell'inclinazione. Costituito in maniera semplice da un dispositivo a bolla d'aria con un ago che indica il numero di gradi sulla scala di un goniometro con caratteristica on-off per interdire tutti i movimenti qualora si trovi su di un piano inclinato oltre i limiti ammessi. In posizione di lavoro oltre una certa altezza che varia da modello a modello, il modulo di controllo dell'inclinometro emette un segnale sonoro d'allarme se si supera la massima inclinazione ammissibile.

La maggior parte degli inclinometri sono calibrati in riferimento alla forza di gravità in analogia alla livella utilizzata dai carpentieri. Dato che la gravità è uguale per tutti i punti dello spazio in cui viene effettuata la

³Nancy Berryman Reese – William D.Bandy, “*Joint Range of Motion and Muscle Length Testing*”, 2002. op. cit. sec. I, Introduction, pag. 18.

misura, significa che la posizione di partenza dell'inclinometro può essere sempre identificata in modo coerente.

Gli inclinometri sono disponibili in due tipi:

- inclinometro meccanico
- inclinometro elettronico

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

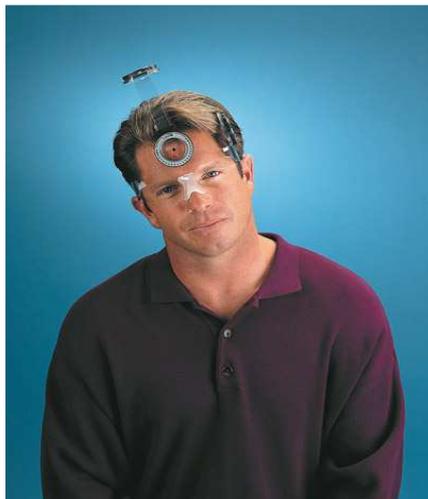


Figura 2.3.10 *Inclinometro CROM (Cervical Range of Motion).*



Figura 2.3.11 *Inclinometro BROM (Back Range of Motion).*

Altri strumenti di misura

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

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

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

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

Un'altra proprietà importante, al pari di quelle elencate fin'ora, è senza dubbio l'invasività dello strumento. Dato per assunto che la misura dei ROM articolari deve essere presa senza intralciare in alcun modo la libertà di movimento dell'arto su cui è disposto lo strumento, questo tuttavia può essere elemento di disturbo per il soggetto semplicemente per il fatto di essere un corpo estraneo con un proprio peso. Occorre quindi prestare attenzione ad alcuni fattori importanti quali la modalità e la posizione di fissaggio, ed il peso dello strumento in relazione a quello dell'arto su cui è collocato.

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

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

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

Gli **strumenti ottici**, come la fotografia, sono sicuramente più economici di quelli elettronici, e particolarmente utili per quelle articolazioni che coinvolgono arti dalla lunghezza pronunciata, facilmente schematizzabili in segmenti di retta di cui andarne a misurare l'angolazione reciproca. Se condotta con criterio, l'analisi fotografica per l'estrapolazione dei ROM articolari può garantire un discreto livello di accuratezza, non comparabile forse con quello di strumenti elettronici o meccanici, ma pur sempre significativo. I punti di forza di questa tipologia di dispositivi risiedono senz'altro nella versatilità, semplicità e

scarsa invadenza della modalità di misurazione. Attraverso gli strumenti ottici, infatti, è possibile misurare praticamente tutti i ROM articolari (previo opportuno collocamento di macchine fotografiche), richiedendo al soggetto di eseguire semplici istruzioni e senza l'intralcio di dispositivi da collocarsi sugli arti. Per effettuare le misurazioni, occorre tuttavia studiare preventivamente il sistema macchina – ambiente - soggetto; una corretta disposizione del soggetto, in relazione all'ambiente in cui viene scattata la foto ed al punto di acquisizione delle immagini, è indispensabile per ricavare materiale adatto ad una successiva elaborazione. Altrettanto importante nella configurazione del sistema di cui sopra, è la distanza tra il soggetto e l'obiettivo, che è da mantenersi costante sia al variare dei piani di acquisizione, sia al variare dei soggetti stessi, al fine di garantire uno standard rispetto al quale confrontarsi nella fase di analisi dei dati a posteriori. Un'ulteriore accortezza da seguire, è quella di riportare all'interno dell'ambiente fotografato un sistema di riferimento, che possa restituire eventuali distorsioni dell'immagine presa: tale riferimento può essere scelto come una griglia uniforme collocata alle spalle del soggetto.

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

Seguono tabelle riassuntive che descrivono le articolazioni ed i gradi di libertà inclusi nell'indagine svolta, nonché i piani nei quali misurarne i ROM.

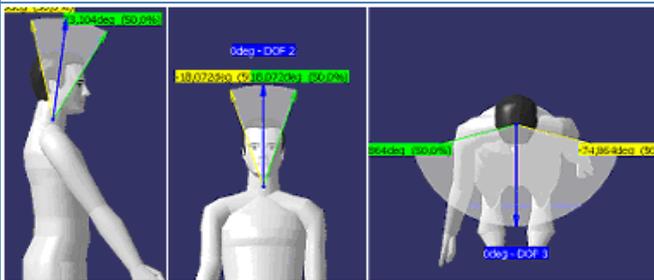
COLLO	
	
G.D.L.	Piano
Flesso/Estensione	PS
Flessione Laterale	PF (a)
Rotazione	PT

Tabella 2.4; Collo, gradi di libertà e piani di misurazione.

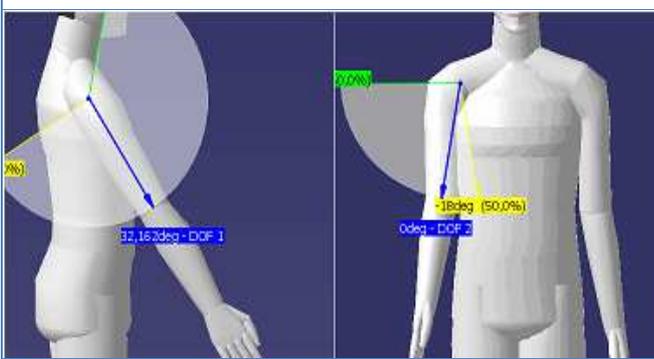
SPALLA	
	
Flesso/Estensione	PS
Abd/Adduzione	PF (a)

Tabella 2.5; Spalla, gradi di libertà e piani di misurazione.

GOMITO	
G.D.L.	Piano
Flesso/Estensione	PS
Prono/Supinazione	PF (a)

Tabella 2.6; Gomito, gradi di libertà e piani di misurazione.

POLSO		
G.D.L.	Piano	Strumento
Flesso/Estensione	PF (a)	Ottico
Dev. Radio/Ulnare	PS	Ottico

Tabella 2.7; Polso, gradi di libertà e piani di misurazione.

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

L'articolazione del **collo** nei suoi tre ROM articolari può essere agevolmente misurata chiedendo al soggetto di effettuare dei semplici movimenti per i vari gradi di libertà. Le misure si possono estrapolare come segue:

- Flessione/estensione: misurata come l'angolo compreso tra la verticale condotta per la base della nuca ed un segmento tracciato come l'asse della testa (freccia azzurra in tabella 2.4, figura a).
- Flessione laterale: i riferimenti presi sono gli stessi considerati per la flessione/estensione, mentre l'angolo misurato questa volta è quello giacente nel piano sagittale (vedi tabella 2.4, figura b).
- Rotazione: l'angolo misurato è quello che identifica l'orientazione di un segmento passante per l'asse della testa ed il centro del viso (freccia azzurra in tabella 2.4, figura c), localizzato alla base del naso. Tale orientazione è definita in relazione all'asse di simmetria della testa nel piano trasversale.

L'articolazione della **spalla**, che evidenzia i ROM del braccio, può essere misurata disponendo inizialmente l'arto nella posizione dello zero geometrico, disteso lungo il fianco. A partire da questa posizione, la foto è scattata chiedendo al soggetto di muovere l'arto. La medesima procedura è valida per entrambi i ROM del braccio, cambiando opportunamente il piano di riferimento.

Le misure possono essere estrapolate a posteriori:

- Flessione/estensione: considerando l'angolo formato da due segmenti, uno orientato nella direzione dell'asse del braccio (freccia azzurra in tabella 2.5, figura a) e l'altro verticalmente a partire dalla testa dell'omero.
- Abduzione/adduzione: considerando l'angolo formato dai due segmenti, il primo coincidente con l'asse del braccio (freccia azzurra in tabella 2.5, figura b), il secondo orientato verticalmente a partire dalla testa dell'omero.

La misurazione della posizione angolare dell'avambraccio, che interessa l'articolazione del **gomito**, è eseguita anch'essa a partire dalla posizione dello zero geometrico chiedendo poi al soggetto muovere l'arto.

Le modalità di misura sono le seguenti:

- Flessione/estensione: misurando l'angolo compreso tra due segmenti, uno orientato come la retta passante per la testa dell'omero ed il gomito (freccia in giallo in tabella 2.6, figura a), l'altro orientato a partire dal gomito e coincidente con l'asse dell'avambraccio (freccia azzurra in tabella 2.6, figura a).
- Pronazione/supinazione: per la misura di tale ROM, si colloca un polsino immediatamente a ridosso del polso con un'asta rigida

vincolata ad esso. La calibrazione dello strumento richiede che tale asta sia ortogonale al piano frontale quando l'arto è nella posizione dello zero geometrico (vedi tabella 2.6, figura b). Chiedendo in seguito al soggetto di muovere l'arto, la rotazione dell'avambraccio che descrive la prono/supinazione è la stessa che individua l'orientazione dell'asta rispetto ad una retta ortogonale al piano frontale. Affinché tale misura possa essere estrapolata con analisi fotografica, occorre che l'articolazione del gomito si fletta a novanta gradi riportando tale rotazione nel piano frontale (vedi tabella 2.6, figure c e d), prendendo come riferimento una retta verticale (freccia in giallo) e misurando l'angolo compreso tra questa e l'asta rigida (freccia in azzurro). Per un'indagine visiva, invece, vista la difficoltà nell'identificare un angolo di prono/supinazione ad occhio, è possibile andare a stabilire semplicemente se l'avambraccio è in pronazione o supinazione. Sebbene questa soluzione sia meno accurata, è sicuramente più pratica per condurre rilevazioni posturali per successive analisi di comfort.

La configurazione posturale della mano è caratterizzabile identificando gli angoli articolari del **polso** di flessione/estensione e deviazione radio/ulnare come segue:

- Flessione/estensione: misurata come l'angolo compreso tra i due segmenti, il primo tracciato come il prolungamento dell'asse dell'avambraccio, ed il secondo a congiungere la base del pollice con la nocca dell'indice (freccia azzurra in tabella 2.7, figura a).
- Deviazione radio/ulnare: è identificata come l'angolo formato dal prolungamento dell'asse dell'avambraccio con un segmento opportunamente tracciato (freccia azzurra in tabella 2.7, figura b), che congiunga il centro del polso (a partire dall'osso semilunare) con la congiunzione di terzo e quarto osso metacarpale (dito medio ed anulare).

2.3 La normativa ISO 11228 e l'ergonomia

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.

2.4 NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health

Il metodo NIOSH⁴ è comunemente impiegato per la valutazione ergonomica di azioni di sollevamento e trasporto manuale di carichi. La procedura proposta permette di sintetizzare un indice, a partire dalla stesura di un'equazione, che tiene in considerazione il peso (la massa) da sollevare, con l'aggiunta di una serie di ulteriori variabili che possono contribuire all'aumento del livello di rischio. Per determinare tale indice, comunemente denominato "limite di peso raccomandato" o RWL (Recommended Weight Limit), occorre misurare alcuni parametri relativi all'ambiente ed alle modalità di esecuzione del sollevamento, quali (figura 3.1):

- la distanza orizzontale rispetto al baricentro delle anche, alla quale il carico è sollevato (H);
- la distanza verticale delle mani rispetto al suolo, nella posizione di partenza (V);
- l'escursione verticale del sollevamento (D);
- il tempo che intercorre tra le azioni di sollevamento o frequenza di sollevamento (F);
- l'angolazione del carico rispetto al corpo (A);
- la tipologia di presa a seconda dell'impugnatura disponibile (C).

Per ciascuna delle voci elencate, è assegnato un valore numerico (fattore moltiplicativo) reperibile in apposite tabelle. A questo punto si può comporre l'equazione NIOSH, che consta di sei fattori moltiplicativi e restituisce il limite di peso raccomandato:

⁴ Metodo NIOSH: Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS), URL <http://www.ccohs.ca>, [Consultato in data 28/10/2010].

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM.$$

I fattori coinvolti nell'equazione sono:

- LC, costante di carico "Load Constant";
- HM, fattore moltiplicativo orizzontale "Horizontal Multiplier";
- VM, fattore moltiplicativo verticale "Vertical Multiplier";
- DM, fattore moltiplicativo di distanza "Distance Multiplier";
- FM, fattore moltiplicativo di frequenza "Frequency Multiplier";
- AM, fattore moltiplicativo di asimmetria "Asymmetric Multiplier";
- CM, fattore moltiplicativo di presa "Coupling Multiplier".

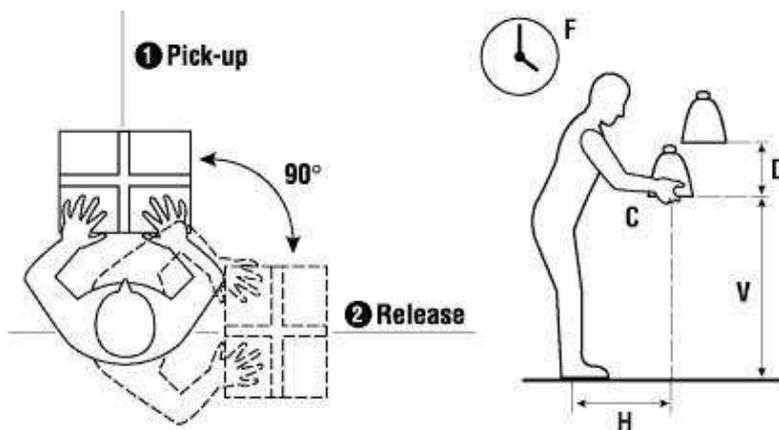


Figura 2.8; Parametri impiegati nel metodo NIOSH.

Le tabelle da cui estrapolare i fattori moltiplicativi sono le seguenti:

<i>Distanza orizzontale (H) in cm</i>	<i>HM Factor</i>
<= 25	1
30	0,83
40	0,63
50	0,5
60	0,42

Tabella 2.1; NIOSH, Distanza orizzontale.

<i>Distanza verticale (V) in cm</i>	<i>VM Factor</i>
0	0,78
30	0,87
50	0,93
70	0,99
100	0,93
150	0,78
175	0,7
>175	0

Tabella 2.2; NIOSH, Distanza verticale.

<i>Escursione sollevamento (D)</i>	<i>DM Factor</i>
<=25	1
40	0,93
55	0,9
100	0,87
145	0,85
175	0,85
>175	0

Tabella 2.3; NIOSH, Escursione del sollevamento.

<i>Angolazione del carico (A)</i>	<i>AM Factor</i>
90°	0,71
60°	0,81
45°	0,86
30°	0,9
0°	1

Tabella 2.4; NIOSH, Angolazione del carico.

<i>Presca (C)</i>	<i>CM Factor</i>	
	In piedi	Chinato
Buona	1	1
Accettabile	1	0,95
Scarsa	0,9	0,9

Tabella 2.5; NIOSH, Qualità di presa.

<i>Frequenza (F)</i>	<i>FM Factor</i>	
	In piedi / Chinato	
	<= 1 ora	> 1 ora
5 min	1	0,85
1 min	0,94	0,75
30 sec	0,91	0,65
15 sec	0,84	0,45
10 sec	0,75	0,27
6 sec	0,45	0,13
5 sec	0,37	/

Tabella 2.6; NIOSH, Frequenza delle azioni.

Il metodo NIOSH trova una corretta applicazione nei seguenti contesti:

- operazioni di sollevamento con due mani;
- valutazione di comfort per la postura di sollevamento;
- valutazione di comfort per ambiente di lavoro.

Risulta invece poco adatto, e pertanto sconsigliato, nelle seguenti situazioni:

- operazioni di sollevamento con una mano;
- turni superiori alle otto ore;
- in posizione seduta o inginocchiata;
- in spazi di lavoro ristretti;
- per carichi squilibrati;
- operazioni di traino o spinta;
- operazioni con pala o carriola;
- operazioni di movimentazione veloci (>30 pollici/s, circa 0,75 m/s);
- carichi estremamente caldi o freddi, o in ambienti a temperature estreme;
- in equilibrio precario (rischio di caduta o scivolamento).

2.5 Snook e Ciriello

Per le azioni di traino, spinta e trasporto in piano non esistono metodi universalmente riconosciuti come quello proposto dal NIOSH, sebbene gli studi condotti da Snook e Ciriello⁵ costituiscano un valido supporto per la valutazione dell'indice ergonomico (o indice di rischio) in tali contesti.

Gli studi partono con la scomposizione del movimento complessivo in azioni elementari che sono:

- azioni di traino/spinta;
- azioni di mantenimento.

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

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

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

La quantificazione delle forze effettivamente applicate, richiede il ricorso ad appositi dinamometri, da applicare alle reali condizioni operative per eseguire la misurazione.

⁵ Metodo Snook e Ciriello: Occupational Safety Tools (OSTools), URL:

<http://www.liftingindex.com> , [Consultato in data 28/10/2010].

Altezza delle presa cm		TIRO – Valori limite della FORZA INIZIALE– validi per il 90% della popolazione N															
		Frequenza di tiro															
		10/min 0.1667 Hz		5/min 0.0833 Hz		4/min 0.0667 Hz		2.5/min 0.042 Hz		1/min 0.0167 Hz		1/2min 0.0083 Hz		1/5min 0.0033 Hz		1/8h 3.5x10 ⁻⁵ Hz	
m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f		
2 m distanza percorsa																	
144	135	140	130	160	160					180	170			190	190	230	220
95	89	190	140	220	160					250	180			270	210	320	230
64	57	220	150	250	170					280	190			300	220	360	240
8 m distanza percorsa																	
144	135					110	110			160	160			170	170	210	200
95	89					150	140			230	160			240	190	290	210
64	57					180	150			260	170			270	200	330	220
15 m distanza percorsa																	
144	135							130	100	150	130			160	150	200	170
95	89							180	100	210	140			230	160	280	180
64	57							200	110	240	150			260	170	310	190
30 m distanza percorsa																	
144	135									120	120			150	140	190	170
95	89									160	130			210	150	260	180
64	57									180	130			240	150	300	190
45 m distanza percorsa																	
144	135									100	100			130	140	160	160
95	89									140	130			180	150	230	180
64	57									160	130			210	150	260	190
60 m distanza percorsa																	
144	135											100	100	110	110	140	140
95	89											130	120	160	130	190	160
64	57											150	130	180	140	220	170
m	male																
f	female																

For a worker population of all males, use male limits; for an all-female or mixed male/female population, use female limits. The low handle heights are not recommended.

Tabella 2.7; Snook e Ciriello, Azioni di traino per la forza iniziale

Altezza delle presa Cm		TIRO – Valori limite della FORZA DI MANTENIMENTO – validi per il 90% della popolazione N															
		Frequenza di tiro															
		10/min 0.1667 Hz		5/min 0.0833 Hz		4/min 0.0667 Hz		2.5/min 0.042 Hz		1/min 0.0167 Hz		1/2min 0.0083 Hz		1/5min 0.0033 Hz		1/8h 3.5x10 ⁻⁵ Hz	
m	F	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f		
2 m distanza percorsa																	
144	135	80	50	100	80					120	100			150	110	180	150
95	89	100	50	130	80					160	100			190	110	240	140
64	57	110	40	140	80					170	90			200	100	250	130
8 m distanza percorsa																	
144	135					60	60			100	90			120	100	150	130
95	89					60	60			130	90			160	100	190	130
64	57					70	50			140	80			170	90	200	120
15 m distanza percorsa																	
144	135							60	40	90	60			100	80	130	110
95	89							70	40	120	60			140	80	170	110
64	57							70	40	120	60			150	70	180	100
30 m distanza percorsa																	
144	135									70	50			90	70	130	100
95	89									70	50			120	70	170	100
64	57									70	50			130	60	180	90
45 m distanza percorsa																	
144	135									50	50			80	70	100	90
95	89									60	40			100	60	140	90
64	57									60	40			110	60	150	80
60 m distanza percorsa																	
144	135											60	40	60	50	90	70
95	89											70	40	90	50	120	70
64	57											80	30	90	50	120	60
m		male															
f		female															
For a worker population of all males, use male limits; for an all-female or mixed male/female population, use female limits. The low handle heights are not recommended.																	

Tabella 2.8; Snook e Ciriello, Azioni di traino per la popolazione femminile.

Azioni di spinta

Altezza delle presa cm		SPINTA – Valori limite della FORZA INIZIALE – validi per il 90% della popolazione															
		N															
		Frequenza di spinta															
		10/min 0.1667 Hz		5/min 0.0833 Hz		4/min 0.0667 Hz		2.5/min 0.042 Hz		1/min 0.0167 Hz		1/2min 0.0083 Hz		1/5min 0.0033 Hz		1/8h 3.5x10 ⁻⁵ Hz	
m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f
2 m distanza percorsa																	
144	135	200	140	220	150					250	170			260	200	310	220
95	89	210	140	240	150					260	170			280	200	340	220
64	57	190	110	220	120					240	140			250	160	310	180
8 m distanza percorsa																	
144	135					140	150			210	160			220	180	260	200
95	89					160	140			230	160			250	190	300	210
64	57					130	110			200	140			210	160	260	170
15 m distanza percorsa																	
144	135							160	120	190	140			200	150	250	170
95	89							180	110	220	140			230	160	280	170
64	57							150	90	190	120			200	130	240	150
30 m distanza percorsa																	
144	135									150	120			190	140	240	170
95	89									170	120			220	150	270	180
64	57									140	110			190	120	230	150
45 m distanza percorsa																	
144	135									130	120			160	140	200	170
95	89									140	120			190	150	230	180
64	57									120	110			160	120	200	150
60 m distanza percorsa																	
144	135											120	120	140	130	180	150
95	89											140	120	160	130	200	160
64	57											120	100	140	110	170	130
m	f																
		m male f female															
For a worker population of all males, use male limits; for an all-female or mixed male/female population, use female limits. The low handle heights are not recommended.																	

Tabella 2.9; Snook e Ciriello, Azioni di spinta per la forza iniziale

Altezza delle presa Cm		SPINTA – Valori limite della FORZA DI MANTENIMENTO – validi per il 90% della popolazione N															
		Frequenza di spinta															
		10/min 0.1667 Hz		5/min 0.0833 Hz		4/min 0.0667 Hz		2.5/min 0.042 Hz		1/min 0.0167 Hz		1/2min 0.0083 Hz		1/5min 0.0033 Hz		1/8h 3.5x10 ⁻⁵ Hz	
m	F	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f
2 m distanza percorsa																	
144	135	100	50	130	80					150	100			180	110	220	140
95	89	100	50	130	70					160	90			190	100	230	130
64	57	100	40	130	60					160	80			180	90	230	120
8 m distanza percorsa																	
144	135					60	50			130	70			150	80	180	110
95	89					60	50			130	80			150	90	180	110
64	57					60	50			120	70			140	80	180	110
15 m distanza percorsa																	
144	135							60	40	110	40			130	70	160	90
95	89							60	40	110	40			130	70	160	100
64	57							60	40	110	40			120	70	150	90
30 m distanza percorsa																	
144	135									60	40			120	60	160	80
95	89									60	40			120	60	160	90
64	57									60	40			110	60	150	80
45 m distanza percorsa																	
144	135									50	40			100	50	130	80
95	89									50	40			90	60	130	80
64	57									50	40			90	50	130	70
60 m distanza percorsa																	
144	135											70	30	80	40	110	60
95	89											70	30	80	40	110	60
64	57											70	30	80	40	100	60
m		male															
f		female															
For a worker population of all males, use male limits; for an all-female or mixed male/female population, use female limits. The low handle heights are not recommended.																	

Tabella 2.10; Snook e Ciriello, Azioni di spinta per la forza di mantenimento

Azioni di trasporto in piano

Altezza mani	Azioni di trasporto in piano - popolazione maschile																	
	Distanza	2 metri						7,5 metri						15 metri				
Frequenza	6 s	12 s	1 m	5 m	30 m	8 h	15 s	22 s	1 m	5 m	30 m	8 h	25 s	35 s	1 m	5 m	30 m	8 h
110 cm	10	14	17	19	21	25	9	11	15	17	19	22	10	11	13	15	17	20
80 cm	13	17	21	23	26	31	11	14	18	21	23	27	13	15	17	20	22	26

Tabella 2.11; Snook e Ciriello, Azioni di trasporto in piano per la popolazione maschile.

Altezza mani	Azioni di trasporto in piano - popolazione femminile																	
	Distanza	2 metri						7,5 metri						15 metri				
Frequenza	6 s	12 s	1 m	5 m	30 m	8 h	15 s	22 s	1 m	5 m	30 m	8 h	25 s	35 s	1 m	5 m	30 m	8 h
110 cm	11	12	13	13	13	18	9	10	13	13	13	18	10	11	12	12	12	16
80 cm	13	14	16	16	16	22	10	11	14	14	14	20	12	12	14	14	14	19

Tabella 2.12; Snook e Ciriello, Azioni di trasporto in piano per la popolazione femminile.

Applicando la procedura analitica descritta, attraverso questo studio è possibile ricavare dunque un indice sintetico di rischio per ciascuna delle operazioni di movimentazione elencate. Tali indici sono in effetti il rapporto tra il peso (la forza) effettivamente movimentato nella specifica situazione lavorativa, ed il peso (la forza) raccomandato per quella determinata azione.

Sulla scorta dei risultati ottenuti, è possibile individuare tutte le attività che necessitano di interventi di revisione, al fine di prevenire l'insorgenza di eventuali malattie professionali o infortuni.

La priorità delle azioni correttive da apportare è determinata dunque dal valore dell'indice di rischio, come sinteticamente schematizzato di seguito:

Indice di rischio (IR)		
IR ≤ 0,75	Situazione accettabile	Non è richiesto intervento.
0,76 < IR < 1,25	Situazione al limite	Una quota della popolazione (tra 11% ed il 20%) può essere non protetta. Consigliate azioni correttive.
IR > 1,25	Situazione rischiosa	Buona parte della popolazione è a rischio, necessarie azioni correttive nel breve periodo.
IR > 3	Situazione critica	Necessità di intervento immediato.

Tabella 2.13; Snook e Ciriello, Indice di rischio e livelli di azione.

2.6 OCRA: OCcupational Repetitive Actions

Il metodo OCRA⁶ nasce formalmente per l'analisi e la prevenzione del rischio dovuti a movimenti ripetuti. Ai fini di questa trattazione, non occorre spaziare tra i molteplici aspetti della valutazione, ma è sufficiente una descrizione del solo indice OCRA per la valutazione dell'esposizione a movimenti ripetitivi.

In effetti, sono tre i presupposti da cui è scaturita la proposta di tale indice:

- la necessità di valutare, in modo integrato, il contributo dei principali fattori di rischio lavorativo (durata, frequenza, forza, postura, ripetitività, carenza di periodi di recupero, fattori complementari), a partire da metodi di quantificazione semplificata;
- l'interesse a sviluppare un modello di calcolo di un indice sintetico per la valutazione di compiti di sollevamento manuale di carichi;
- la propensione all'intervento preventivo basato sull'identificazione e correzione dei fattori di rischio che risultano più penalizzanti.

L'indice OCRA è il risultato del rapporto tra il numero assoluto di azioni tecniche realmente svolte (Actual Technical Actions, ATA) in un turno di lavoro, ed il corrispondente numero di azioni tecniche raccomandate (Recommended Technical Actions, RTA):

$$OCRA = \frac{ATA}{RTA}$$

La procedura di valutazione consta di tre steps fondamentali, che sono:

- calcolare la frequenza delle azioni tecniche al minuto ed il recupero complessivo di azioni tecniche reali (ATA) effettuate nel turno per ciascun arto superiore;
- calcolare il numero complessivo di azioni tecniche di riferimento nel turno (RTA);

⁶ D. Colombini, E. Occhipinti, M. Fanti, *“Il metodo OCRA per l'analisi e la prevenzione del rischio da movimenti ripetuti”*, Franco Angeli, 4a edizione, (2009).

- ricavare l'indice OCRA e valutare il rischio.

Il numero complessivo di azioni tecniche realmente svolte in un turno (ATA) è facilmente calcolabile tramite un'analisi organizzativa, che fornisca:

- D_j : la durata netta in minuti del compito j ;
- F_j : la frequenza media di azioni al minuto del compito j .

In questo modo il termine ATA è facilmente determinabile come segue:

$$ATA = \sum_j (F_j \times D_j)$$

Per calcolare il numero complessivo di azioni tecniche raccomandate nel turno (RTA), occorre adottare la seguente formula generale:

$$RTA = \sum_{j=1}^n [CF \times (F_{O_{Mj}} \times P_{O_{Mj}} \times Re_{Mj} \times Ad_{Mj}) \times D_j] \times (Rc_M \times Du_M)$$

dove:

- n , numero di compiti ripetitivi presenti nel turno;
- j , generico compito ripetitivo degli arti superiori;
- CF , costante di frequenza di azioni tecniche per minuto, raccomandata in condizioni di riferimento (pari a trenta);
- $F_{O_{Mj}}$, $P_{O_{Mj}}$, Re_{Mj} , Ad_{Mj} , fattori moltiplicativi, scelti in relazione al comportamento dei fattori di rischio forza, postura, ripetitività e complementari, in ciascun j -esimo compito considerato.
- D_j , durata in minuti di ciascun j -esimo compito ripetitivo;
- Rc_M , fattore moltiplicativo per il rischio carenza di tempi di recupero;
- Du_M , fattore moltiplicativo che tiene conto della durata netta complessiva dei compiti ripetitivi.

Ai fini dello studio che si vuole illustrare nel seguito, la procedura per determinare i vari fattori che compongono l'RTA risulta superflua, ad eccezione del fattore di postura Po .

Moltiplicatore per la postura (Po_M)

Sia in letteratura che in protocolli standard internazionali sono forniti dei limiti di frequenza per particolari azioni o movimenti ripetitivi. Nel modello OCRA per la descrizione delle posture e dei movimenti, la presenza di movimenti e/o posture eccedenti il 40%-50% del range articolare per almeno 1/3 del tempo ciclo, è stata assimilata ad una condizione di rischio. A partire da questa, le combinazioni che superano tale scenario di impegno posturale danno un rischio potenzialmente maggiore.

Tutti questi elementi contribuiscono a costruire uno schema utile per identificare i valori del moltiplicatore Po. Tale fattore di postura tiene conto delle possibili configurazioni relative agli arti superiori (e relative articolazioni), che sono: braccio (spalla), avambraccio (gomito) e mano (polso). In aggiunta ai valori assegnati in base al range angolare assunto ed al tempo di mantenimento, si include anche un punteggio che tiene conto della tipologia di presa.

Il fattore Po è calcolato per ciascuno dei segmenti dell'arto superiore e, separatamente, per i due arti. Tra essi, ai fini del calcolo dell'RTA, andrà utilizzato il moltiplicatore Po più "penalizzante" corrispondente al valore di impegno posturale più elevato, per ciascun arto, tra quelli relativi alla spalla, al gomito, al polso o alla tipologia di presa.

Si tenga presente che il fattore di postura è un indicatore del livello di discomfort, pertanto il discomfort articolare più alto è quello associato al fattore Po minore.

Le tabelle che seguono fanno una sintesi immediata dei valori attribuiti ai vari contesti, in funzione della condizione temporale peggiore (quella, cioè, che prevede l'impegno dell'arto per i 3/3 del tempo ciclo):

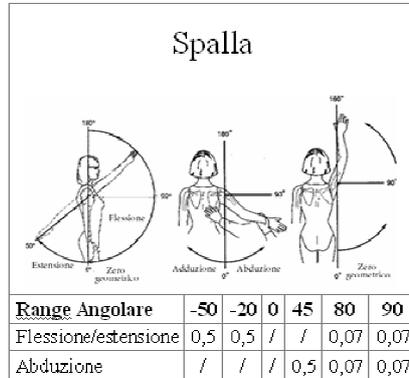


Tabella 3.14: OCRA, Gradi di libertà, ROM e punteggi di comfort della spalla.

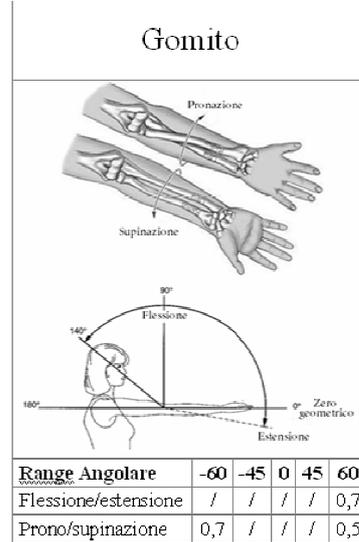


Tabella 3.15: OCRA, Gradi di libertà, ROM e punteggi di comfort del gomito.

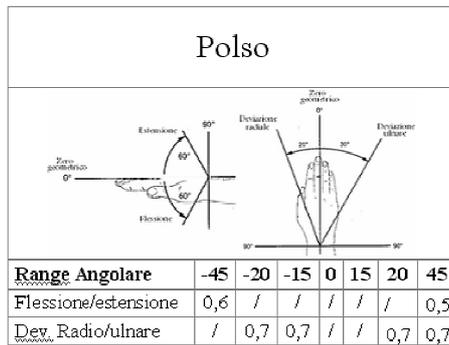


Tabella 3.16: OCRA, Gradi di libertà, ROM e punteggi di comfort del polso.



Tabella 3.17: Tipologia di presa e punteggi di comfort.

Figura 2.9: parametri posturali analizzati dall'OCRA

2.7 Metodi di valutazione posturale: stato dell'arte e differenze

La normativa ISO 11228 per l'ergonomia nella movimentazione di carichi e movimenti ripetitivi, suggerisce diversi metodi che ad oggi rappresentano uno standard certificato per la misurazione degli indici ergonomici. Per tali metodi è stata fornita in precedenza una panoramica dettagliata, dalla quale si evincono le differenti caratteristiche di valutazione, come ad esempio le articolazioni ed i movimenti articolari considerati, il metodo di misurazione degli angoli posturali, il criterio di analisi dei dati o la scala adottata per descrivere i risultati.

Nel seguito, invece, si riporta una descrizione dei metodi di valutazione posturale esistenti, comunemente impiegati per le analisi di comfort.

In generale, i metodi di analisi posturale hanno due qualità principali, l'una in contrasto con l'altra: la generalità e la sensibilità.

Un alto livello di generalità comporta inevitabilmente una scarsa sensibilità, e viceversa. Ad esempio L'OWAS (Ovaco Working Posture Analysis Systems) ha un vasto campo di applicazioni ma con scarso livello di dettaglio, mentre il NIOSH richiede informazioni dettagliate e parametri specifici di postura, ma ha un limitato campo applicativo.

La scelta del metodo dunque, non può prescindere dal considerare determinati aspetti, quali:

- il contesto da valutare;
- i parametri da misurare;
- gli strumenti e le tipologie di misurazione;
- i criteri di analisi e la leggibilità dei risultati prodotti.

Per comprendere meglio le differenze tra i criteri di valutazione, di seguito è fornita una descrizione nel dettaglio di alcuni tra i metodi riconosciuti per lo studio posturale.

2.8 Metodo RULA: Rapid Upper Limb Assessment

Il RULA⁷ è un metodo di valutazione per lo studio degli indici posturali degli arti superiori, mediante la definizione di tre tipologie di fattori di rischio:

Fattori di rischio

Carico esterno	Numero di movimenti
	Lavoro statico dei muscoli
	Forza
	Postura di lavoro
	Tempo di lavoro senza pause
Modalità di esecuzione del lavoro	Le posture di lavoro assunte
	Uso non necessario di sforzo statico
	Velocità ed accuratezza dei movimenti
	Frequenza e durata delle pause
Fattori soggettivi	Carichi particolari
	Fattori individuali (età, esperienza, sesso)
	Ambiente di lavoro
	Variabili psicosociali

Tabella 2.14; RULA, Fattori di rischio.

In base ad un' appropriata combinazione di punteggi, relativi al livello di esposizione a tali fattori di rischio, si arriva a determinare un punteggio finale. Tale punteggio è variabile su una scala da uno a sette, ed è correlato a quattro livelli di azione.

Al fine di esaminare i fattori di rischio direttamente collegati al carico esterno, il RULA è stato sviluppato nell'ottica di:

⁷ Lynn McAtamney and E. Nigel Corlett, "RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders", Applied Ergonomics 24(2) (1993), pagg. 91-99.

- fornire un metodo di selezione veloce dei lavoratori che sono soggetti a disturbi agli arti superiori;
- individuare lo sforzo muscolare associato alla postura di lavoro ed all'esercizio di una forza nello svolgimento del lavoro (sforzo statico o ripetitivo), elementi che contribuiscono alla fatica muscolare;
- fornire dei risultati immediati che possano essere inclusi successivamente in una stima ergonomica più allargata, che preveda anche la parte epidemiologica, fisica e mentale.

Questo metodo di valutazione è stato pensato per un utilizzo pratico e veloce, senza ricorrere a strumenti particolari per effettuare l'analisi. In questo modo si garantisce la possibilità di condurre numerose indagini senza fronteggiare elevati costi di acquisto per strumenti di misura. Il RULA, inoltre, è riconosciuto come un metodo che può essere utilizzato da molti, dal momento che non richiede conoscenze specifiche per chi osserva e raccoglie i dati relativi alle posture da analizzare.

Per descrivere in maniera chiara il metodo, è comodo suddividere la procedura in tre steps, che sono:

1. modalità di registrazione delle posture durante il lavoro;
2. sviluppo del sistema di punteggio;
3. sviluppo della scala dei livelli di azione, che forniscono una guida al livello di rischio.

Step 1: Modalità di registrazione delle posture durante il lavoro

Per produrre un metodo che fosse di rapido utilizzo, il corpo è stato suddiviso in due gruppi, A e B.

- Il gruppo A include il braccio, l'avambraccio ed il polso,
- mentre il gruppo B comprende il collo, il tronco e le gambe.

In questo modo l'analisi è estesa all'intero corpo, prendendo in considerazione eventuali posture incongrue delle gambe, del tronco o del collo che possano influenzare la postura degli arti superiori, di cui si vuole valutare il fattore di rischio.

Il criterio di base nello sviluppo del RULA è stato importato dal sistema OWAS, che associa a ciascuna postura un codice numerico, costituendo un metodo chiaro e conciso che può essere utilizzato

velocemente. L'associazione di un punteggio a ciascuna postura del corpo, già codificata in diagrammi standard, consente una notevole semplificazione delle modalità di registrazione.

I movimenti del corpo sono stati suddivisi, infatti, in opportuni intervalli angolari, in accordo ai criteri derivati dalla letteratura. Tali intervalli sono numerati in modo che il numero uno corrisponda all'intervallo di movimento o alla postura di lavoro in cui il fattore di rischio correlato è minimo. Numeri più alti sono assegnati agli intervalli di movimento che presentano posture più estreme, che indicano una crescita del fattore di rischio a carico della sezione considerata.

Negli schemi che seguono sono riportati gli intervalli di movimento relativi alle diverse sezioni del corpo, utilizzate per la registrazione dei dati sul campo.

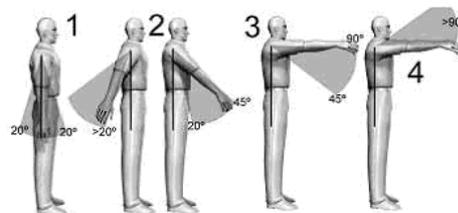


Figura 2.10; RULA, range angolari e punteggi di comfort del braccio.

La stima e la relativa assegnazione del punteggio all'intervallo per il **braccio**, sono basate sugli studi condotti da Tichauer, Chaffin, Herberts et al., Hagberg, Schuldt et al. e Harms-Ringdahl and Schuldt. Tali punteggi sono:

- 1, per flessione o estensione comprese tra 0° e 20°;
- 2, per un'estensione superiore a 20° o una flessione compresa tra 20° e 45°;
- 3, per una flessione tra 45° e 90°;
- 4, per una flessione pari o superiore a 90°.

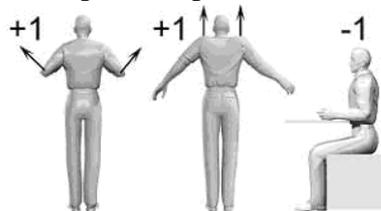


Figura 2.11; RULA, punteggi peggiorativi per il comfort del braccio.

A questa suddivisione vanno aggiunte alcune considerazioni in merito a punteggi peggiorativi:

- se il braccio è in abduzione, il punteggio è incrementato di un punto;
- se la spalla è sollevata, il punteggio di postura è incrementato di un punto;
- se il peso dell'arto è sorretto, il punteggio diminuisce di un punto.

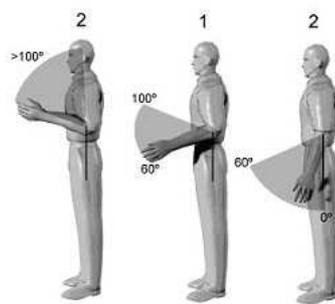


Figura 2.12; RULA, range angolari e punteggi di comfort dell'avambraccio.

I range angolari relativi all'**avambraccio**, invece, sono tratti dal lavoro sviluppato da Grandjean e Tichauer, e sono:

- 1, per flessione compresa tra 60° e 100° ;
- 2, per flessione inferiore a 60° o superiore a 100° .

A questi valori si associa l'idea che, se l'avambraccio lavora in modo incrociato rispetto alla mezzeria del corpo o fuori lato, il punteggio relativo alla postura è incrementato di un punto.

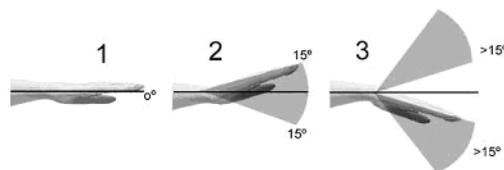


Figura 2.13; RULA, range angolari e punteggi di comfort per il polso.

Le linee guida adottate per il **polso** sono quelle pubblicate da Health and Safety Executive, riassunte nei seguenti punteggi posturali:

- 1, se in posizione neutra;
- 2, se in estensione o flessione in un intervallo compreso tra 0° e 15° ;

- 3, per un'estensione o una flessione superiore a 15°.



Figura 2.14; RULA, punteggi peggiorativi per il comfort del polso (deviazione radio/ulnare).

Se il polso è sottoposto ad una deviazione ulnare o radiale, il punteggio posturale relativo va aumentato di un punto.

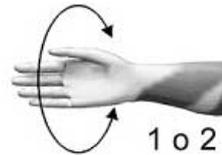


Figura 2.15; RULA, punteggi peggiorativi per il comfort del polso (prono/supinazione).

Per quanto riguarda i movimenti di pronazione e supinazione del polso, i punteggi sono definiti sulla base degli studi di Tichauer come segue:

- 1, se il polso è ruotato fino a metà della propria escursione;
- 2, se il polso è prossimo o è proprio nella posizione di massima torsione.

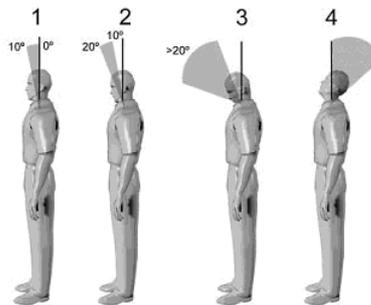


Figura 2.16; RULA, range angolari e punteggi di comfort per il collo.

Passando alla valutazione degli arti del gruppo B, i punteggi e gli intervalli di postura relativi al **collo** sono tracciati a partire dagli studi di Chaffin e Kilbom et al.:

- 1, per una flessione compresa tra 0° e 10°;
- 2, per una flessione compresa tra 10° e 20°;
- 3, per una flessione pari o superiore a 20°;
- 4, se il collo è in estensione.

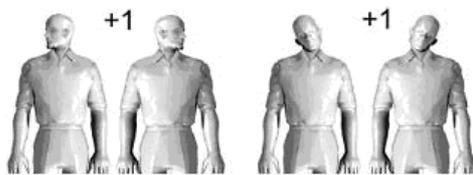


Figura 2.17; RULA, punteggi peggiorativi per il comfort del collo (rotazione o flessione laterale).

A questi si aggiunge un punto se il collo è ritorto o piegato su un lato.

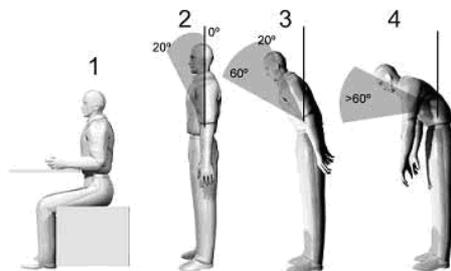


Figura 2.18; RULA, range angolari e punteggi di comfort per il tronco.

Gli intervalli inerenti al **tronco** invece, sono stati sviluppati da Drury e Grandjean, e sono:

- 1, da seduto con angolo tra anca e tronco uguale o superiore a 90°;
- 2, per una flessione comprese tra 0° e 20°;
- 3, per una flessione compresa tra 20° e 60°;
- 4, per una flessione uguale o superiore a 60°.

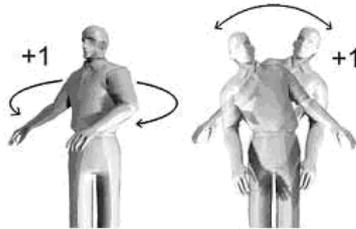


Figura 2.19; RULA, punteggi peggiorativi per il comfort del tronco (rotazione o flessione laterale).

Se il busto è ruotato o piegato da un lato, il punteggio viene aumentato di un punto.

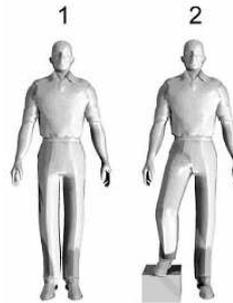


Figura 2.20; RULA, punteggi di comfort per le gambe.

I punteggi per le gambe sono definiti come di seguito:

- 1, se le gambe ed i piedi sono ben poggiati, seduti e/o con il peso del corpo ben bilanciato;
- 1, se in piedi e con il peso del corpo ben ripartito su entrambi i piedi, con spazio sufficiente per cambiare posizione;
- 2, se le gambe ed i piedi non sono ben appoggiati o il peso del corpo non è ben bilanciato.

Definito il significato dei diagrammi ed i relativi valori associati, viene riportata di seguito la modalità di rilievo e di registrazione dei dati sul campo.

1. Si parte dall'osservazione del lavoratore durante lo svolgimento di diversi cicli di lavoro, in modo da individuare quale sia la mansione e la postura più significativa da analizzare. La scelta può essere fatta sia considerando la postura che viene maggiormente

mantenuta durante il lavoro, sia considerando gli arti maggiormente sollecitati.

2. A questo punto, i punteggi relativi ai diagrammi descritti sopra vengono misurati e riportati nel foglio di calcolo che segue:

GRUPPO A
Braccio
Avambraccio
Polso Flesso/Estensione
Polso Rotazione

Tabella 2.15; RULA,
Scheda del Gruppo A.



Punteggio di postura A,
determinato mediante la
tabella A.

GRUPPO B
Collo
Tronco
Gambe

Tabella 2.16; RULA,
Scheda del Gruppo B.



Punteggio di postura B,
determinato mediante la
tabella B.

Dall'insieme di questi dati si ottiene una stima complessiva per il gruppo A e per il gruppo B, che rappresentano il livello di carico posturale del sistema muscolo-scheletrico, determinato dalla combinazione delle posture di tutto il corpo. La scala dei valori è nata dallo studio portato avanti da ergonomisti e fisioterapisti occupazionali. Il primo passo per arrivare a tale definizione è stato quello di classificare ogni combinazione delle posture in modo da assegnare valori da uno a nove a partire dal carico minore a quello massimo. Il risultato di tale classificazione ha portato alla definizione di una tabella di valori per A ed una per B.

<i>Tabella A: braccio, avambraccio e polso.</i>		<i>Punteggio del polso</i>							
		1		2		3		4	
braccio	avambraccio	rotazione		rotazione		rotazione		rotazione	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	3	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Tabella 2.17; RULA, Tabella A: braccio, avambraccio e polso.

<i>Tabella B: collo, tronco e gambe.</i>	<i>Punteggio postura del tronco</i>											
	1		2		3		4		5		6	
	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe	gambe
collo	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Tabella 2.18; RULA, Tabella B: collo, tronco e gambe.

Step 2: Sviluppo del sistema di punteggio

I valori A e B così determinati non sono però ancora del tutto completi. In tali tabelle, infatti, non compaiono le informazioni relative all'uso dei muscoli ed al punteggio associato alla forza esercitata. Per questo motivo è stato studiato un metodo che include nel sistema di punteggio anche eventuali sollecitazioni addizionali sul sistema muscolo scheletrico, causate da un eccessivo lavoro statico dei muscoli, da movimenti ripetuti e dalla richiesta di esercitare una forza o mantenere un carico esterno mentre si sta eseguendo un'attività. Tali valori sono calcolati in maniera distinta per i due gruppi, ed i fattori correttivi così individuati permettono di arrivare alla determinazione rispettivamente dei punteggi C e D.

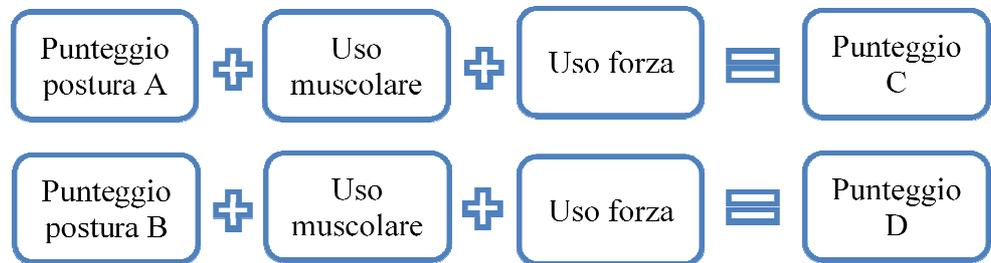


Figura 2.21; RULA, Scheda di valutazione.

Riprendendo uno studio sviluppato da Bjorksten e Jonsson, ripreso e generalizzato nel metodo RULA, l'effetto del carico statico o delle forze esercitate che procurano disturbi agli arti superiori, sono strettamente collegate al tempo di esposizione del lavoratore a tali fattori di rischio esterni. Secondo questa logica, si è stabilito che il valore del punteggio di postura (A o B) debba aumentare di un punto qualora la postura sia prevalentemente statica, cioè mantenuta immutata per più di un minuto. Si è sancito altresì che l'uso di un muscolo è da ritenersi ripetitivo se l'azione che lo coinvolge è ripetuta con una frequenza superiore alle quattro volte al minuto.

Step 3: Sviluppo della scala dei livelli di azione

Nella terza fase di sviluppo del metodo si è individuato un criterio che permettesse di correlare tutti i punteggi raccolti, in modo da ottenere un unico punteggio finale, un indice posturale dal quale individuare la priorità delle situazioni che richiedano azioni correttive.

Il punteggio finale, fissato su una scala di valori che va da uno a sette, è basato sul rischio di lesione stimato a causa di sollecitazioni muscolo scheletriche, ed è determinato dal confronto dei punteggi C e D, come riportato nella tabella riassuntiva che segue:

<i>Punteggio finale</i>									
C/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2	3	3	4	5	5	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6	6	6
4	3	3	3	4	5	6	6	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7	7	7
9	5	5	6	7	7	7	7	7	7

Tabella 2.19; RULA, Punteggio finale.

A partire dalla tabella riassuntiva degli indici posturali, i livelli d'azione sono determinati nel modo seguente:

- il punteggio 1 o 2 indica che la postura è accettabile se non è mantenuta o ripetuta per lunghi periodi;
- il punteggio 3 o 4 indica che sono necessarie ulteriori osservazioni e che sono richieste delle modifiche;
- il punteggio 5 o 6 indica che sono necessarie indagini e modifiche repentine;
- il punteggio 7 indica la necessità di indagini e modifiche immediate.

In ultima analisi, si può concludere che il RULA non fornisce la tipologia di azione correttiva da adottare, bensì si limita ad identificare la priorità delle azioni correttive da attuare in presenza di posture potenzialmente dannose.

2.9 Metodo REBA: Rapid Entire Body Assessment

Il REBA⁸ è un metodo per l'analisi posturale sviluppato per soddisfare il bisogno di uno strumento che fosse pratico ed economico, nel tentativo di conciliare generalità e sensibilità dei risultati. Un team di ergonomisti, fisioterapisti ed infermieri ha collezionato e codificato, a tal proposito, oltre seicento esempi posturali, al fine di generare un metodo che includesse fattori di carico sia statici che dinamici, un'interfaccia uomo-carico ed un nuovo concetto di postura per gli arti superiori.

Lo sviluppo del REBA si propone i seguenti obiettivi:

- sviluppare un sistema di analisi posturale sensibile ai rischi muscolo scheletrici, relativi ad un certo numero di azioni;
- dividere il corpo in segmenti che possano essere poi codificati in relazione ai piani di movimento;
- fornire un sistema a punteggio per le attività muscolari causate da posture statiche, dinamiche, rapide variazioni di postura o posture instabili;
- dare un livello di azioni (correttive) con un relativo indice di urgenza;
- richiedere il minimo equipaggiamento per essere impiegato (carta e penna), al fine di mantenere bassi i costi.

Per definire la suddivisione del corpo, sono stati analizzati dei semplici tasks con variazioni di carico, distanza ed altezza di movimentazione. I dati così raccolti sono stati successivamente organizzati impiegando diverse tecniche presenti in letteratura, quali il NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), l'RPE (Rated Perceived Exertion), l'OWAS (Ovako Working-posture Analysis System), il BPDS (Body Part Discomfort Survey) ed il RULA. L'analisi è stata poi impiegata per stabilire i ranges articolari che configurano i movimenti mostrati di seguito, ripartiti analogamente al RULA, in due gruppi: gruppo A e gruppo B. Sempre analogamente al RULA, i punteggi dati alle posture vengono maggiorati o minorati di alcune unità a seconda della presenza o meno di alcuni fattori peggiorativi/migliorativi, quali possono essere presenza di carichi, accoppiamento del task con posture particolarmente

⁸ Sue Hignett, Lynn McAtamney, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)", Applied Ergonomics 31 (2000), pagg. 201-205.

critiche, presenza di punti di sostegno per gli arti (quali braccioli poggia braccia e così via).

Lo studio condotto da infermieri, fisioterapisti ed ergonomisti, ha individuato e codificato oltre seicento esempi di posture, da aziende manifatturiere ed elettrotecniche. I risultati sono poi stati impiegati per rifinire il metodo e cominciare un'analisi di affidabilità della codifica del corpo umano. Da tali risultati, è emerso un totale di trentasei combinazioni posturali per il gruppo A tra braccio, avambraccio e polso, a cui è attribuibile un punteggio compreso tra uno e nove, oltre ad un fattore correttivo che tenga conto del tipo di presa (coupling). Il gruppo B invece, conta un insieme di sessanta combinazioni posturali tra collo, tronco e gambe, a cui si può attribuire in punteggio che va da uno a nove, oltre ad un eventuale fattore di carico-forza. In questo modo ciascuna postura può essere descritta, in prima analisi, da due punteggi, A e B, relativi ai due gruppi articolari identificati. I punteggi A e B sono successivamente combinati attraverso la tabella C per fornire un totale di centoquarantaquattro possibili combinazioni, le quali sono state interfacciate con carichi e tipi di presa. A partire dal valore così determinato, si ricava infine il punteggio posturale del REBA, variabile tra uno e quindici, valutando eventuali addendi correttivi derivanti dalle tipologie di attività.

La valutazione completa del REBA, inoltre, allega anche il livello di rischio e quello di priorità per le azioni correttive da apportare:

<i>Livelli di azione</i>			
Punteggio azione	Punteggio REBA	Livello di rischio	Priorità
0	1	Inesistente	Non necessaria
1	da 2 a 3	Basso	Facoltativa
2	da 4 a 7	Medio	Necessaria
3	da 8 a 10	Alto	Urgente
4	da 11 a 15	Molto alto	Immediata

Tabella 2.20; REBA, Livelli di azione.

Gli ultimi sviluppi del REBA hanno introdotto nella valutazione posturale il concetto di azione assistita dalla gravità, che può riassumersi come un ulteriore addendo nella procedura di assegnazione del punteggio. La

logica che ha guidato tale sviluppo, ammette che esistono differenze tra azioni condotte a favore della gravità ed in contrasto con quest'ultima, definendo, in accordo con quanto ci detta la nostra esperienza diretta, che un movimento "assistito" dal campo gravitazionale possa risultare più agevole di uno che debba vincere la forza peso.

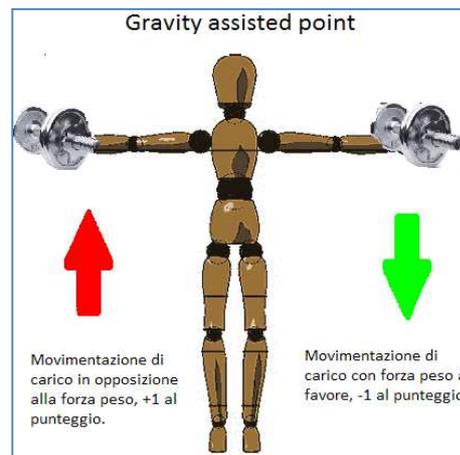


Figura 2.22; REBA, Gravity Assisted Point

E' possibile riassumere schematicamente il "gravity assisted point" mediante la figura su esposta, nella quale sono riportati due movimenti di sollevamento:

- il primo (freccia in rosso) è chiaramente un'azione condotta contro la forza peso, il cui punteggio pertanto deve essere incrementato di un punto;
- il secondo (freccia in verde), è la movimentazione di un carico con l'aiuto della forza di gravità, il che comporta un punto in meno nella definizione del punteggio posturale.

Si noti come il gravity assisted point contribuisca a rendere il REBA un metodo più sensibile ai fattori esterni, nello sforzo di includere un aspetto significativo nella valutazione degli indici posturali relativi a movimenti condotti lungo la dimensione verticale.

Per concludere, si riporta la scheda riassuntiva per la raccolta dei vari punteggi:

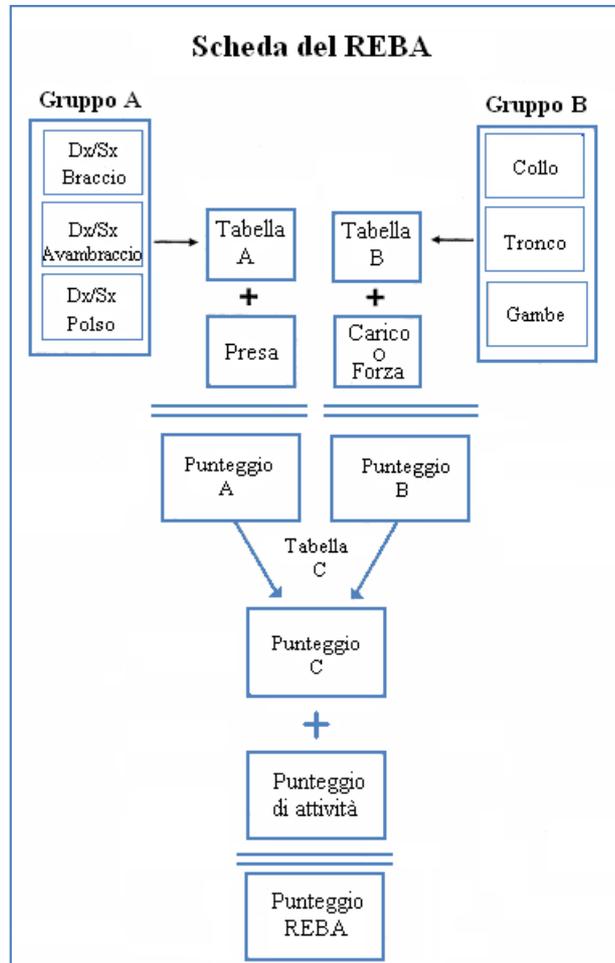


Figura 2.23; REBA, Scheda di valutazione.

2.10 Metodo LUBA: Loading of the Upper Body Assessment

Il LUBA⁹ è una tecnica di valutazione per carichi posturali relativi agli arti superiori, incentrata sul discomfort dei movimenti articolari e sul tempo massimo di durata. Sebbene i metodi che affiancano il LUBA forniscano buoni risultati per la quantificazione dello stress posturale, presentano comunque alcuni svantaggi.

- In primo luogo, molti schemi di classificazione basati sull'osservazione non si riconducono a dati sperimentali, ma a valutazioni di terapisti e fisioterapisti. Inoltre, la maggior parte di questi è stata sviluppata per applicazioni specifiche e quindi è poco generalizzabile.
- Infine, spesso le categorie di movimenti articolari presi in considerazione sono limitate, dal momento che si sono concentrate su disordini muscolo-scheletrici specifici.

Sulla base di queste considerazioni, il LUBA è stato sviluppato nell'ottica di ottimizzare la valutazione dello stress posturale, coinvolgendo nella fase sperimentale un campione di venti soggetti maschi volontari sani, cioè senza sintomi di disordini muscolo-scheletrici. Il campione analizzato presentava le seguenti caratteristiche:

- Età compresa tra i 22 e i 28 anni;
- Statura compresa tra 166 e 178 cm;
- Peso corporeo compreso tra 60 Kg e 73 Kg.

Metodo di valutazione e progettazione degli esperimenti

Il discomfort percepito, relativo ad un dato insieme di posture, è stato stimato numericamente attraverso la compilazione di appositi moduli per la valutazione della magnitudo, uno dei metodi di quantificazione psicofisica disponibile in letteratura (Geisheider, 1985; Han et al. 1998; Lodge, 1981).

Il metodo di stima della magnitudo richiede che un osservatore riporti stime numeriche del grado di reazione sensoriale dovuta a diversi

⁹ Dohyung Kee, Waldermar Karwowski, "LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time", Applied Ergonomics 32 (2001), pagg. 357-366.

stimoli. Il vantaggio di questo metodo è che produce risultati quantitativi forniti di una scala percentuale, che può essere comodamente impiegata per successive analisi statistiche. Al contrario, i metodi classici forniscono esclusivamente l'informazione qualitativa, come la distribuzione di frequenza con cui si provano determinate reazioni.

L'obiettivo dello studio è sicuramente quello di quantificare i valori di discomfort percepito relativo a differenti movimenti articolari, che saranno poi inseriti in analisi quantitative (statistiche).

Dal momento che le scale di magnitudo rappresentano il modo migliore per fornire informazioni quantitative relative all'intensità di giudizio dei soggetti, tale metodo è stato impiegato negli esperimenti condotti.

Per collezionare le valutazioni dei soggetti sono state selezionate tre tipologie di moduli per la valutazione della magnitudo:

- Il modulo standard: correlato di una scala predefinita di valori tra i quali il soggetto è chiamato a scegliere;
- Il modulo aperto: non impone al soggetto una scala predefinita, lasciandogli la possibilità di calibrare il proprio giudizio;
- Il modulo assoluto: non corredato di scala, presenta le sole opzioni "comoda" e "scomoda".

Sulla base degli studi di Geisheider, la scelta del modulo di valutazione è ricaduta sul modulo aperto.

Il livello di discomfort percepito, misurato da varie posture e per cinque articolazioni della parte superiore del corpo (vedi tabella), include la quasi totalità delle configurazioni articolari nelle posizioni da seduto o da in piedi.

Per la posizione da seduto, è stata utilizzata una sedia con schienale perpendicolare alla seduta e priva di braccioli, mentre per la postura da in piedi, il soggetto è stato posto su uno step di altezza pari a 20 cm.

Il livello di discomfort è stato misurato in cinque livelli nel range di movimento articolare: 0%, che corrisponde alla posizione neutra, 25%, 50%, 75% e 100%, che corrisponde al limite angolare massimo del movimento. Occorre precisare che i punteggi ottenuti dalla sperimentazione sono relativi a condizioni di esposizione di breve durata.

Movimenti articolari analizzati nel LUBA		
Articolazione	Postura	
	Da seduto	In piedi
Polso	Flessione	Flessione
	Estensione	Estensione
	Deviazione radiale	Deviazione radiale
	Deviazione ulnare	Deviazione ulnare
Gomito	Flessione	Flessione
	Supinazione	Supinazione
	Pronazione	Pronazione
Spalle	Flessione	Flessione
	Estensione	Estensione
	Adduzione	Adduzione
	Abduzione	Abduzione
	Rotazione mediale	Rotazione mediale
	Rotazione laterale	Rotazione laterale
Collo	Flessione	Flessione
	Estensione	Estensione
	Rotazione	Rotazione
	Flessione laterale	Flessione laterale
Schiena	Flessione	Flessione
	/	Estensione
	Rotazione	Rotazione
	Flessione laterale	Flessione laterale

Tabella 2.21; Movimenti articolari analizzati nel LUBA

Procedura sperimentale

Prima di sottoporsi alle prove sperimentali, ciascun soggetto è stato informato degli scopi e dei metodi impiegati concernenti lo studio in una sessione di istruzione di trenta minuti, al termine della quale è stato fornito un modulo di consenso informato.

L'intero esperimento si è articolato in tre parti:

- un test di calibrazione;
- la determinazione dei ROM articolari;
- la misurazione del discomfort avvertito.

La definizione dei movimenti articolari, per valutare il punteggio di discomfort dei ROM riportati nella tabella precedente, è stata tratta da numerosi studi già presenti in letteratura.

- I movimenti del polso, del gomito e del collo sono presi da Murrell (1969);
- quelli delle spalle da Chaffin e Andersson (1991), Hsiao e Keyserling (1991), Kremer et al. (1994);
- i movimenti delle anche, invece, da Hsiao e Keyserling (1991), Kee (1997).

I soggetti sono stati istruiti su come assumere una serie di posture, una alla volta, ed alla fine è stato chiesto loro di fornire una valutazione del livello di discomfort attraverso una stima della magnitudo con il metodo a modulo aperto.

La valutazione è stata condotta assegnando un numero a ciascuna postura, in modo che tale valore rispecchiasse l'intensità del discomfort provato. Ciascuna posizione è stata fatta mantenere per un minuto, intervallando un minuto di recupero tra una valutazione e l'altra. Gli esperimenti sono stati presentati casualmente a ciascun soggetto, ed ogni soggetto ha preso parte a cinque sessioni in giorni separati. Ciascuna sessione comprendeva dieci minuti di riscaldamento condotti su una cyclette ad andatura media, dieci esercizi di allenamento e ventiquattro esercizi sperimentali, per una durata complessiva di settanta/ottanta minuti.

Presentazione dei risultati

Il metodo del calcolo della magnitudo con modulo aperto ha portato una serie di dati su scale di valutazione differenti, scelte liberamente dai

soggetti. Per tale motivo si è resa necessaria, a posteriori, una normalizzazione dei risultati in modo tale che le valutazioni fossero comparabili e fruibili per successive valutazioni statistiche.

Punteggi relativi ai movimenti articolari

Per ciascun movimento articolare sono stati classificati cinque intervalli di deviazione angolare dalla posizione neutra (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), e suddivisi in classi (ranges angolari) con lo stesso grado di discomfort normalizzato. Successivamente, a ciascuna classe di movimenti è stato assegnato un punteggio normalizzato sulla base di quello assegnato al gomito nella posizione neutra per la flessione. Tale configurazione del gomito, in effetti, è risultata la meno stressante dal punto di vista del comfort e pertanto è stata impiegata come parametro di riferimento: ad essa si è assegnato un punteggio di 1.0, ed i punteggi relativi alle altre articolazioni sono stati attribuiti come multipli di tale valore. Le tabelle riassuntive di seguito presentano i punteggi di discomfort classificati in base alle articolazioni coinvolte nel movimento.

Spalla	Da seduto		In piedi	
	ROM	Punteggio di discomfort	ROM	Punteggio di discomfort
Flessione	0°-45°	1	0°-45°	1
	45°-90°	3	45°-90°	3
	90°-150°	6	90°-150°	6
	>150°	11	>150°	11
Estensione	0°-20°	1	0°-20°	1
	20°-45°	4	20°-45°	3
	45°-60°	9	45°-60°	6
	>60°	13	>60°	10
Adduzione	0°-10°	1	0°-10°	1
	10°-30°	2	10°-30°	2
	>30°	8	>30°	8
Abduzione	0°-30°	1	0°-30°	1
	30°-90°	3	30°-90°	3
	>90°	10	>90°	7
Rotazione mediale	0°-30°	1	0°-30°	1
	30°-90°	2	30°-90°	2
	>90°	7	>90°	5
Rotazione laterale	0°-10°	1	0°-10°	1
	10°-30°	3	10°-30°	2
	>30°	7	>30°	5

Tabella 2.22; LUBA, punteggi di discomfort della spalla.

Gomito	Da seduto		In piedi	
	ROM	Punteggio di discomfort	ROM	Punteggio di discomfort
Flessione	0°-45°	1	0°-45°	1
	45°-120°	2	45°-120°	3
	>120°	5	>120°	5
Pronazione	0°-70°	2	0°-70°	2
	>70°	7	>70°	7
Supinazione	0°-90°	2	0°-90°	2
	>90°	7	>90°	7

Tabella 2.23; LUBA, punteggi di discomfort del gomito.

Polso	Da seduto		In piedi	
	ROM	Punteggio di discomfort	ROM	Punteggio di discomfort
Flessione	0°-20°	1	0°-20°	1
	20°-60°	2	20°-60°	2
	>60°	5	>60°	5
Estensione	0°-20°	1	0°-20°	1
	20°-45°	2	20°-45°	2
	>45°	7	>45°	7
Deviazione radiale	0°-10°	1	0°-10°	1
	10°-30°	3	10°-30°	3
	>30°	7	>30°	7
Deviazione ulnare	0°-10°	1	0°-10°	1
	10°-20°	3	10°-20°	3
	>20°	6	>20°	6

Tabella 2.24; LUBA, punteggi di discomfort del polso.

Collo	Da seduto		In piedi	
	ROM	Punteggio di discomfort	ROM	Punteggio di discomfort
Flessione	0°-20°	1	0°-20°	1
	20°-45°	3	20°-45°	3
	>45°	5	>45°	5
Estensione	0°-30°	1	0°-30°	1
	30°-60°	6	30°-60°	4
	>60°	12	>60°	9
Flessione laterale	0°-30°	1	0°-30°	1
	30°-45°	3	30°-45°	2
	>45°	10	>45°	7
Rotazione	0°-30°	1	0°-30°	1
	30°-60°	2	30°-60°	2
	>60°	8	>60°	8

Tabella 2.25; LUBA, punteggi di discomfort del collo.

Schiena	Da seduto		In piedi	
	ROM	Punteggio di discomfort	ROM	Punteggio di discomfort
Flessione	0°-20°	1	0°-30°	1
	20°-60°	3	30°-60°	3
	>60°	10	60°-90°	6
	/	/	>90°	12
Estensione	/	/	0°-10°	1
	/	/	10°-20°	4
	/	/	20°-30°	8
	/	/	>30°	15
Flessione laterale	0°-10°	1	0°-10°	1
	10°-20°	3	10°-20°	4
	20°-30°	9	20°-30°	9
	>30°	13	>30°	13
Rotazione	0°-20°	1	0°-20°	1
	20°-30°	2	20°-60°	3
	30°-45°	7	>60°	10
	>45°	11	/	/

Tabella 2.26; LUBA, punteggi di discomfort della schiena.

Come si evince dalle tabelle, i punteggi di discomfort in piedi e da seduto sono molto simili, ed aumentano drasticamente quando l'articolazione è portata al limite del proprio range di movimento. I risultati, inoltre, hanno evidenziato i ROM della schiena come quelli più soggetti a stress posturale, in particolar modo in estensione superiore a 30° (si noti il punteggio di discomfort pari a 15 in posizione in piedi.).

Valutazione della postura

Lo schema per la classificazione posturale è costituito da cinque steps che guidano l'esaminatore nella valutazione sul campo.

Il primo step consiste nella registrazione dell'operatore per acquisire le posture di lavoro durante diversi turni lavorativi. Le posture individuate in questo modo saranno poi analizzate nello step successivo. Tipicamente, la videocamera per la ripresa dovrebbe essere posizionata con un'angolazione tale da fornire una prospettiva tridimensionale della postura, in modo da semplificare l'identificazione durante la revisione delle registrazioni. E' buona norma riprendere un certo numero di turni di lavoro, poiché le posture possono essere differenti da turno a turno, a seconda del tipo di lavoro svolto.

Nel secondo step si selezionano le posture per la successiva valutazione, in funzione del tempo di permanenza (in una determinata posizione) o del possibile stress posturale. Secondo questa logica, le posture da includere sono quelle mantenute per tempi sufficientemente lunghi o quelle ritenute particolarmente affaticanti per il sistema muscolo-scheletrico.

Il terzo step della procedura è quello in cui è assegnato a ciascun movimento articolare, relativo alle posture evidenziate, un punteggio di discomfort, in accordo con lo schema di classificazione precedente. L'obiettivo del terzo step è quello di determinare la relazione che sussiste tra il tempo di mantenimento massimo di una postura (Max Holding Time, MHT) ed il relativo valore di carico posturale (Postural Load, PL). Un esempio esplicativo di tale relazione è riportato nella figura che segue:

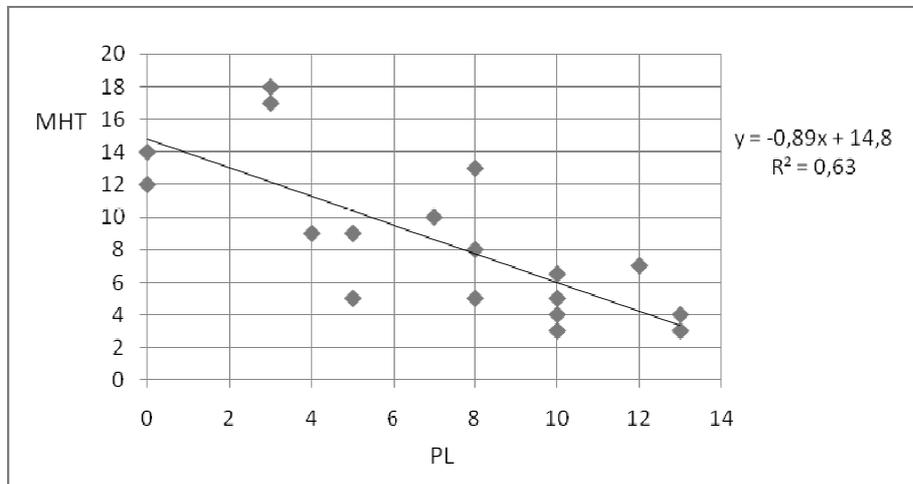


Figura 2.23; LUBA, Grafico MHT-PL.

Dopo aver classificato le posture e costruito per ciascuna di esse un grafico MHT-PL, è possibile leggerne i punteggi di carico posturale da tali grafici.

Il quarto step consiste, invece, nell'applicazione di un'equazione per calcolare l'indice di carico posturale (Postural Load Index, PLI) per i movimenti articolari che si discostano dalla posizione neutra. Tale indice è calcolato per i movimenti di braccio e mano rispettivamente destri e sinistri, per il collo e per la schiena. Infine, sulla base degli indici ricavati, la postura viene valutata applicando la seguente equazione:

$$PLI = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{mj} S_{ij}$$

PLI, indice di carico posturale;

i, movimento articolare;

n, numero di movimenti articolari coinvolti nella postura;

j, articolazione;

mj, numero di movimenti articolari studiati per la j-esima articolazione.

Ciascun indice di carico posturale può essere eventualmente correlato di azioni correttive, laddove necessarie. Si ricorda che gli S_{ij} sono punteggi

di discomfort relativi all'articolazione del gomito (in posizione neutra), pertanto $S_{ij}=0$ se il punteggio di discomfort relativo è 1.0.

Categorie posturali

Conseguentemente all'assegnazione di un punteggio di discomfort per ciascuna postura, occorre un criterio per la valutazione delle eventuali azioni correttive da adottare. Nel LUBA tale criterio è basato sul massimo tempo di mantenimento della posizione (MHT), così come descritto da Miedema et al. (1997), in cui sono stati analizzati gli MHT di diciannove posture. Si è mostrato in precedenza, infatti, come l'MHT ed il carico posturale siano inversamente proporzionali attraverso un modello lineare, con coefficiente di correlazione pari a -0.89 e coefficiente di dispersione $R^2=0.63$.

Secondo Miedema et al. le posture lavorative vanno classificate in tre categorie, sulla base del valor medio dell'MHT:

- Postura comoda: $MHT > 10$ min;
- Postura moderata: $5 \text{ min} \leq MHT \leq 10$ min;
- Postura scomoda: $MHT < 5$ min.

Adottando la medesima logica, nel LUBA si delineano quattro categorie di azioni correttive, delle quali le prime tre sono le stesse di Miedema et al. (1997).

Tali categorie sono:

<i>Categorie posturali</i>				
Categoria	MHT (min)	PLI	Tipo di postura	Azioni correttive
Categoria I	>10	≤5	Postura accettabile se non ad alta frequenza	Non richieste
Categoria II	tra 5 e 10	tra 5 e 10	Postura da sottoporre ad ulteriori indagini	Da verificare
Categoria III	≤5	tra 10 e 15	Postura pericolosa	Richieste
Categoria IV	<2	≥15	Postura critica	Immedieate

Tabella 2.27; LUBA, Categorie posturali.

Le categorie presentate possono essere meglio illustrate nella figura che segue:

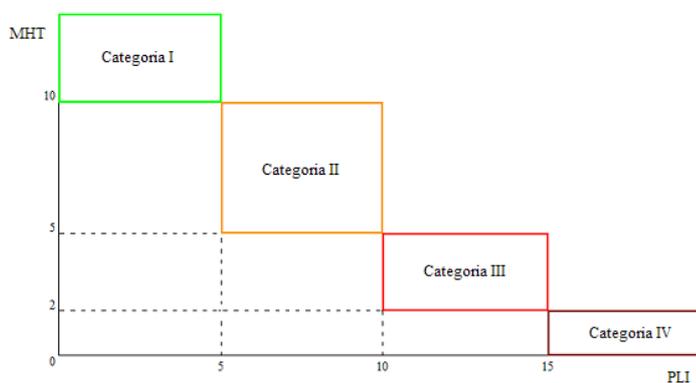


Figura 2.24.; LUBA, Categorie di discomfort e livelli di azione.

2.11 Analisi comparativa

Per comprendere quali siano le principali differenze che contraddistinguono i metodi descritti, di seguito si propone un'analisi comparativa che metterà a confronto le seguenti caratteristiche:

- ROM articolari;
- Suddivisione dei ROM;
- Punteggi di discomfort.

Per quanto riguarda i *ROM articolari* considerati dai metodi, è possibile fare subito alcune considerazioni; RULA e REBA trattano le stesse articolazioni con la medesima logica di suddivisione in gruppi:

- gruppo A: braccio, avambraccio e polso;
- gruppo B: collo, tronco e gambe.

Mentre il RULA è prevalentemente incentrato sulla valutazione degli arti superiori, nella quale le gambe rientrano per un discorso legato all'equilibrio della postura, nel REBA gli arti inferiori sono classificati da un punteggio in relazione agli angoli che compongono al pari delle altre articolazioni, in aggiunta all'aspetto dell'equilibrio.

Il LUBA, invece, caratterizza l'analisi posturale degli arti superiori prescindendo da considerazioni inerenti agli arti inferiori. Questa scelta può essere sicuramente vantaggiosa da un punto di vista pratico e comprensibile nell'ottica di un metodo fortemente incentrato sulla valutazione Upper Body. Pur non includendo le gambe, il LUBA comprende nell'analisi le anche per definire l'inclinazione relativa del busto con gli arti inferiori, informazione che risulta importante dal punto di vista del discomfort per i carichi che interessano la zona lombare. Per quanto riguarda la *suddivisione dei ROM*, di seguito si riporta una tabella riassuntiva che descrive al meglio i criteri adottati nei vari metodi:

Range Articolare (Flesso/Estensione)	REBA					RULA					LUBA				
	Braccio	Avambraccio	Polso	Collo	Tronco	Braccio	Avambraccio	Polso	Collo	Tronco	Braccio	Avambraccio	Polso	Collo	Tronco
-70											10		5		
-60								3			6		2	5	
-50								3			6		2	5	
-45								3			3		2	3	15
-40	2					2		3			3		2	3	15
-30	2		2		3	2		3			3		2	3	8
-20	1		2	1	2	1		3	4		1		1	1	4
-15	1		1	1	2	1		2	4		1		1	1	4
-10	1		1	1	2	1		2	4		1		1	1	1
0	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1
10	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1
15	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
20	1	2	2	1	2	1	2	3	3	2	1	1	1	1	1
30	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	1	1	2	1	1
40	2	2			3	2	2	3	3	3	1	1	2	4	3
45	2	2			3	2	2	3	3	3	1	1	2	4	3
50	3	2			3	3	2			3	3	3	7	4	3
60	3	1			3	3	1			4	3	3	7	4	3
70	3	1			4	3	1			4	3	3		9	6
80	3	1				3	1			4	3	3		9	6
90	3	1				4	1			4	3	3		9	6
100	4	1				4	1				6	3			12
110	4	2				4	2				6	3			12
120	4	2				4	2				6	3			12
130											6	5			
140											6	5			
150											6	5			
160											11	5			

Tabella 2.28; Tabella comparativa di REBA, RULA e LUBA per la flessione/estensione degli arti.

Dal momento che REBA e RULA trattano esclusivamente la flessione/estensione per ciascuna articolazione, accorpando nei fattori peggiorativi gli altri gradi di libertà, la tabella riportata sopra mette a

confronto i range di flesso/estensione. Si ricorda, inoltre, che le gambe sono analizzate su basi differenti nei primi due metodi e non rientrano in alcun modo nella valutazione del LUBA, pertanto non avrebbe senso una comparazione in questa sede. Come emerge dalla tabella, i vari metodi forniscono una scala di *punteggio di discomfort* differente. Per rendere la comparazione più significativa, è utile normalizzare tali punteggi rispetto al LUBA per riportarli su scala unica:

Range Articolare (Flesso/Estensione)	REBA					RULA					LUBA				
	Braccio	Avambraccio	Polso	Collo	Tronco	Braccio	Avambraccio	Polso	Collo	Tronco	Braccio	Avambraccio	Polso	Collo	Tronco
-70											0,67		0,33		
-60								0,20			0,40		0,13	0,33	
-50								0,20			0,40		0,13	0,33	
-45								0,20			0,20		0,13	0,20	1,00
-40	0,13					0,13		0,20			0,20		0,13	0,20	1,00
-30	0,13		0,13		0,20	0,13		0,20			0,20		0,13	0,20	0,53
-20	0,07		0,13	0,07	0,13	0,07		0,20	0,27		0,07		0,07	0,07	0,27
-15	0,07		0,07	0,07	0,13	0,07		0,13	0,27		0,07		0,07	0,07	0,27
-10	0,07		0,07	0,07	0,13	0,07		0,13	0,27		0,07		0,07	0,07	0,07
0	0,07	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,07	0,07	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
10	0,07	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,13	0,07	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
15	0,07	0,13	0,07	0,07	0,13	0,07	0,13	0,13	0,13	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
20	0,07	0,13	0,13	0,07	0,13	0,07	0,13	0,20	0,20	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,20	0,13	0,13	0,20	0,20	0,20	0,07	0,07	0,13	0,07	0,07
40	0,13	0,13			0,20	0,13	0,13	0,20	0,20	0,20	0,07	0,07	0,13	0,27	0,20
45	0,13	0,13			0,20	0,13	0,13	0,20	0,20	0,20	0,07	0,07	0,13	0,27	0,20
50	0,20	0,13			0,20	0,20	0,13			0,20	0,20	0,20	0,47	0,27	0,20
60	0,20	0,07			0,20	0,20	0,07			0,27	0,20	0,20	0,47	0,27	0,20
70	0,20	0,07			0,27	0,20	0,07			0,27	0,20	0,20		0,60	0,40
80	0,20	0,07				0,20	0,07			0,27	0,20	0,20		0,60	0,40
90	0,20	0,07				0,27	0,07			0,27	0,20	0,20		0,60	0,40
100	0,27	0,07				0,27	0,07				0,40	0,20			0,80
110	0,27	0,13				0,27	0,13				0,40	0,20			0,80
120	0,27	0,13				0,27	0,13				0,40	0,20			0,80
130											0,40	0,33			
140											0,40	0,33			
150											0,40	0,33			
160											0,73	0,33			

Tabella 2.29; Tabella comparativa normalizzata di REBA, RULA e LUBA per la flesso/estensione degli arti.

Sulla base di tale normalizzazione, si riporta una serie di grafici di confronto organizzati per articolazione:

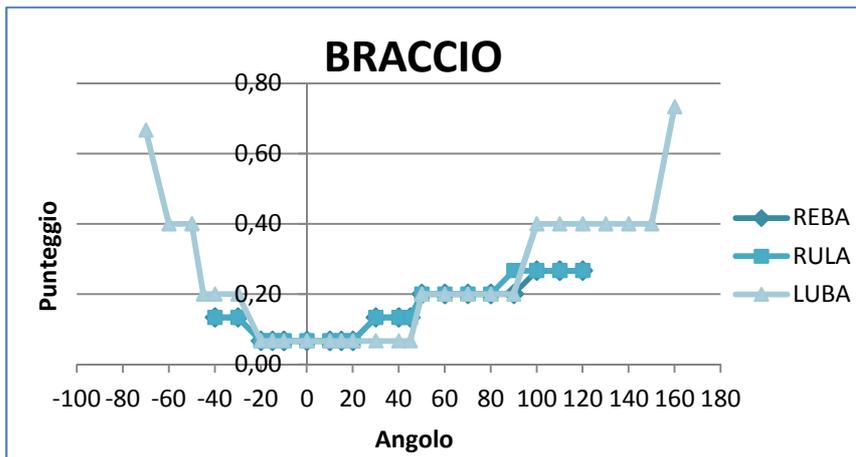


Figura 2.25; Grafico di confronto tra REBA, RULA e LUBA : braccio.

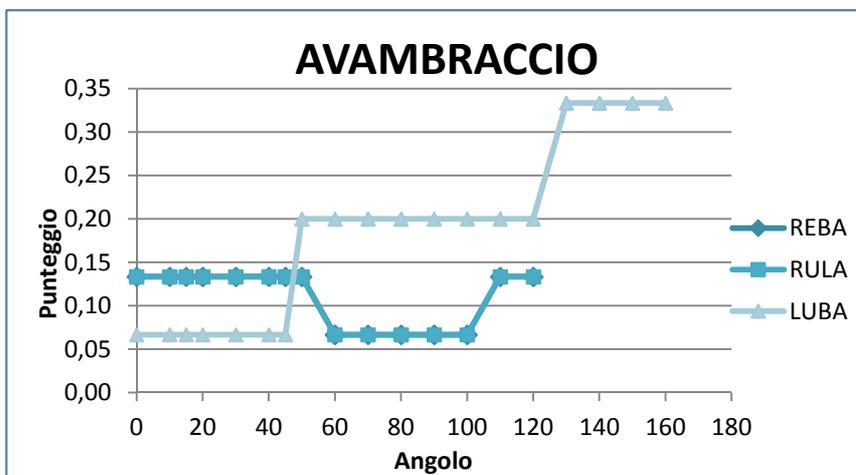


Figura 2.26; Grafico di confronto tra REBA, RULA e LUBA : avambraccio.

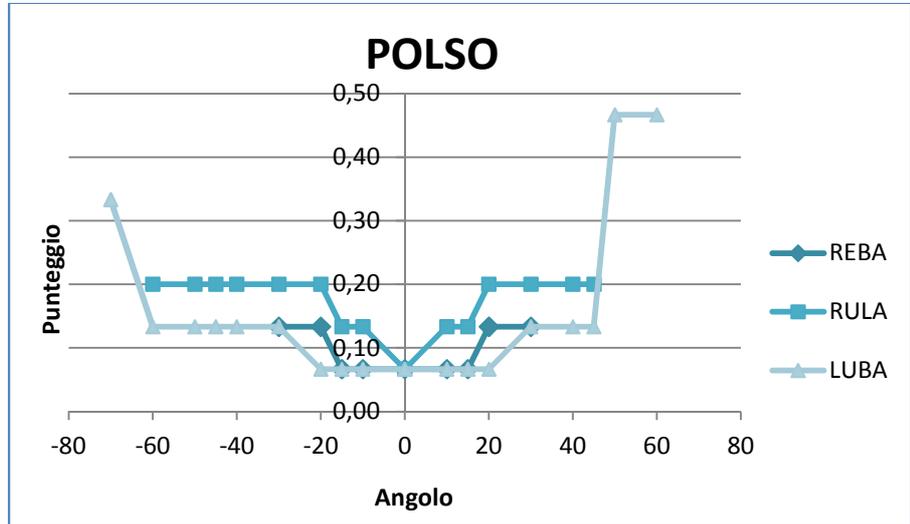


Figura 2.27; Grafico di confronto tra REBA, RULA e LUBA : polso.

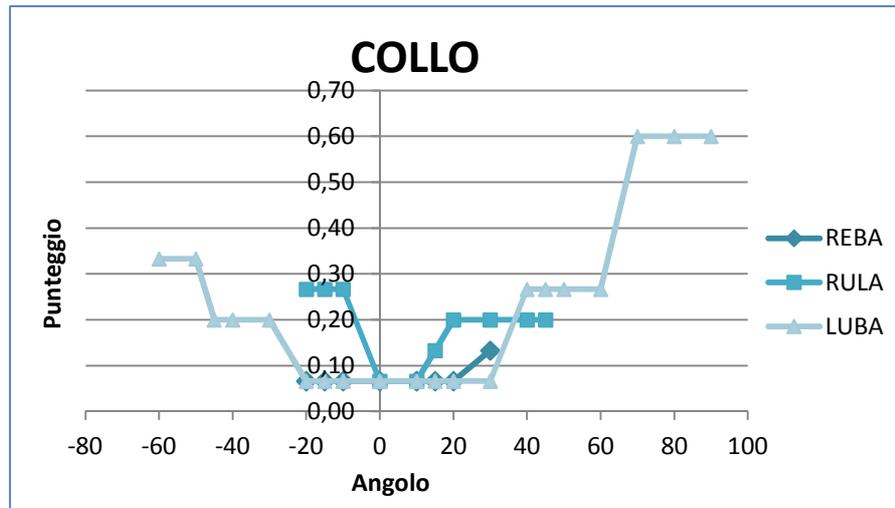


Figura 2.28; Grafico di confronto tra REBA, RULA e LUBA : collo.

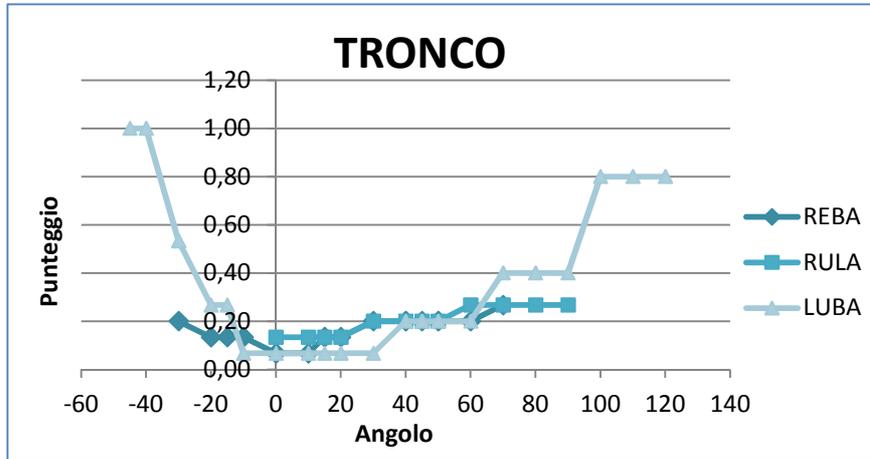


Figura 2.29; Grafico di confronto tra REBA, RULA e LUBA : tronco.

In generale, da questi grafici è possibile osservare la forte somiglianza tra RULA e REBA che spesso si sovrappongono, nonché la tendenza verosimile del discomfort ad aumentare, discostandosi dalla posizione zero per ciascuna articolazione. Si ricorda che a questi punteggi il RULA aggiunge eventuali fattori peggiorativi derivanti dall'uso muscolare e della forza (per azioni statiche o tensioni prolungate nel tempo). Il REBA invece, somma il punteggio di attività che considera la frequenza, il tempo di mantenimento e l'ampiezza dei movimenti eseguiti, oltre a tener conto del contributo gravitazionale con il Gravity Assisted Point. Da un'ulteriore osservazione si può concludere che il LUBA è il metodo che abbraccia un range angolare maggiore per ciascun articolazione rispetto agli altri due. Questa caratteristica del LUBA lo rende sicuramente un ottimo termine di paragone quando, nel seguito, si sceglieranno i ROM da studiare dal punto di vista del comfort.

Partendo da questa considerazione, si offre di seguito una visione complessiva di tale metodo, includendo in una tabella normalizzata tutte le articolazioni ed i relativi gradi di libertà che esso comprende:

Range Articolare	LUBA (VALORI NORMALIZZATI)											
	BRACCIO		AVAMBRACCIO		POLSO		COLLO			TRONCO		
	Flesso/Estensione	Abd/Adduzione	Flessione	Prono/Supinazione	Flesso/Estensione	e Radio/Ulna	Flesso/Estensione	Flessione Laterale	Rotazione	Flesso/Estensione	Flessione Laterale	Rotazione
-80				0,60					0,53			0,67
-70	0,67			0,20	0,33				0,53			0,67
-60	0,40			0,20	0,13		0,33	0,47	0,13			0,20
-50	0,40			0,20	0,13		0,33	0,47	0,13	1,00	0,87	0,20
-45	0,20			0,20	0,13		0,20	0,13	0,13	1,00	0,87	0,20
-40	0,20			0,20	0,13	0,67	0,20	0,13	0,13	1,00	0,87	0,20
-30	0,20			0,20	0,13	0,33	0,20	0,07	0,07	0,53	0,60	0,20
-20	0,07			0,20	0,07	0,33	0,07	0,07	0,07	0,27	0,27	0,07
-15	0,07			0,20	0,07	0,33	0,07	0,07	0,07	0,27	0,27	0,07
-10	0,07			0,20	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
0	0,07	0,07	0,07	0,20	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
10	0,07	0,07	0,07	0,20	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
15	0,07	0,07	0,07	0,20	0,07	0,33	0,07	0,07	0,07	0,07	0,27	0,07
20	0,07	0,07	0,07	0,20	0,07	0,33	0,07	0,07	0,07	0,07	0,27	0,07
30	0,07	0,07	0,07	0,20	0,13	0,60	0,07	0,07	0,07	0,07	0,60	0,87
40	0,07	0,40	0,07	0,20	0,13		0,27	0,13	0,13	0,20	0,87	0,20
45	0,07	0,40	0,07	0,20	0,13		0,27	0,13	0,13	0,20	0,87	0,20
50	0,20	0,40	0,20	0,20	0,47		0,27	0,47	0,13	0,20	0,87	0,20
60	0,20	0,40	0,20	0,20	0,47		0,27	0,47	0,13	0,20		0,20
70	0,20	0,40	0,20	0,20			0,60		0,53	0,40		0,67
80	0,20	0,40	0,20	0,20			0,60		0,53	0,40		0,67
90	0,20	0,40	0,20	0,20			0,60			0,40		
100	0,40	0,87	0,20	0,60						0,80		
110	0,40	0,87	0,20							0,80		
120	0,40		0,20							0,80		
130	0,40		0,33									
140	0,40		0,33									
150	0,40		0,33									
160	0,73		0,33									

Tabella 2.30; LUBA, punteggi di discomfort normalizzati.

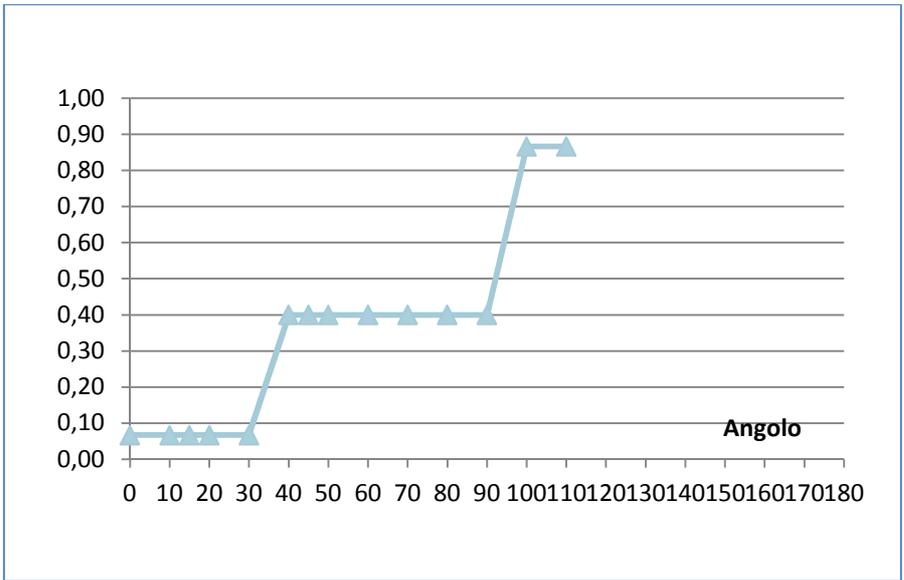
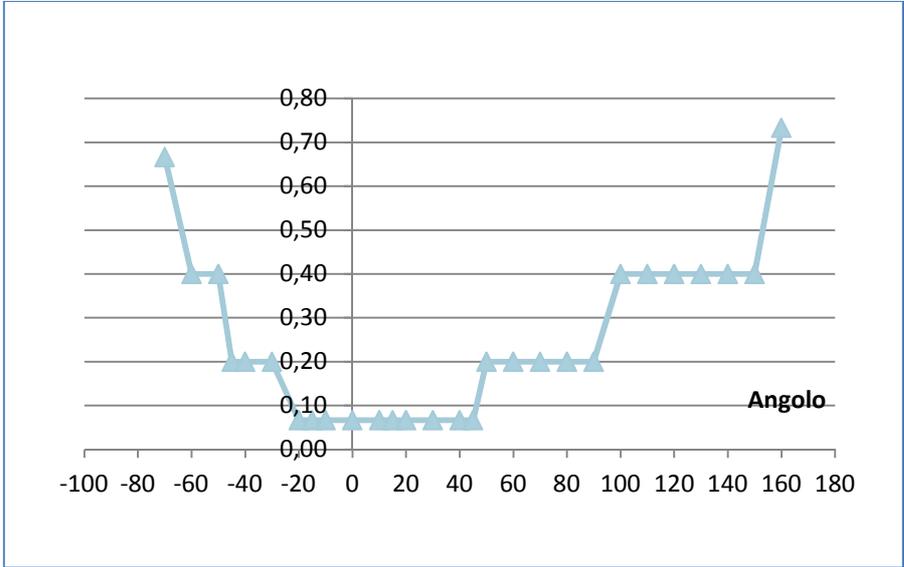


Figura 2.30; LUBA, Punteggi di discomfort normalizzati: flesso/estensione, abd/adduzione del braccio.

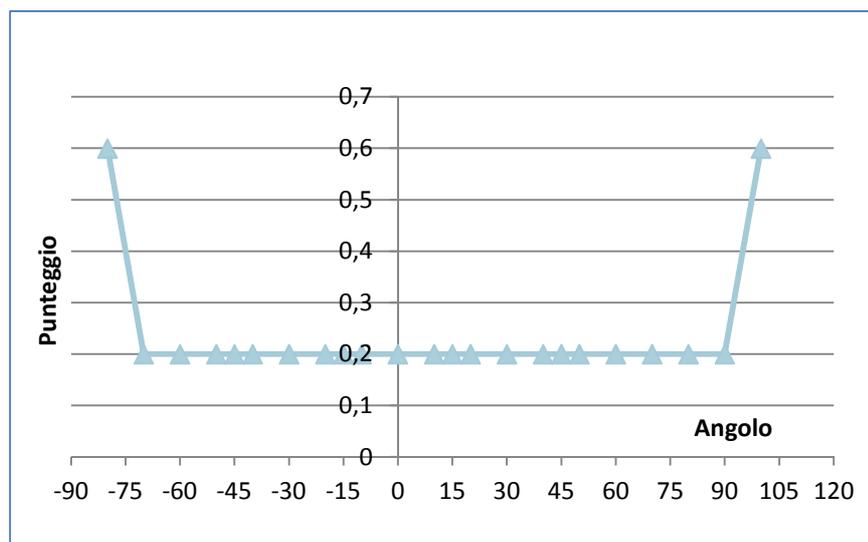
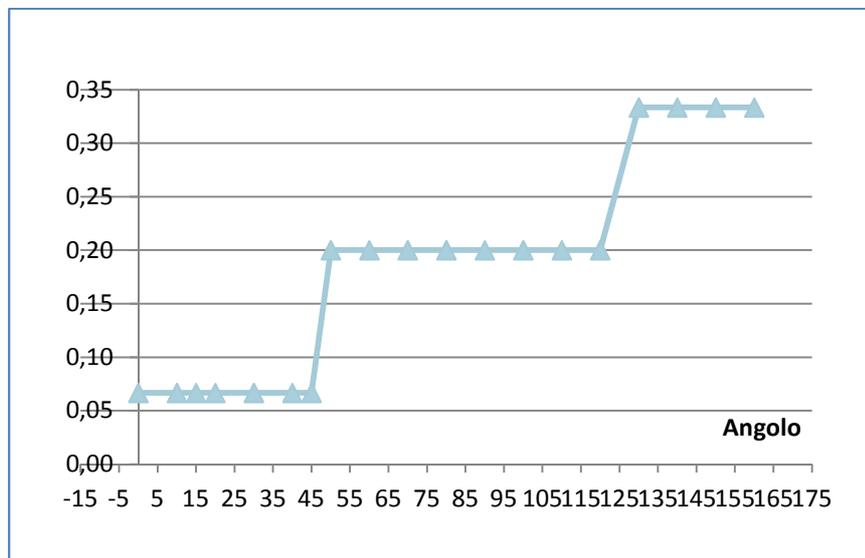


Figura 2.31; LUBA, Punteggi di discomfort normalizzati: flesso/estensione, prono/supinazione dell'avambraccio.

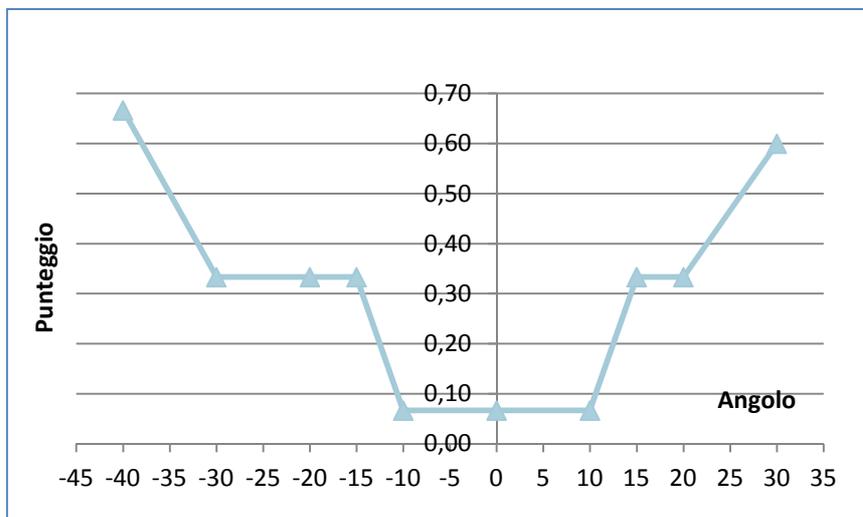
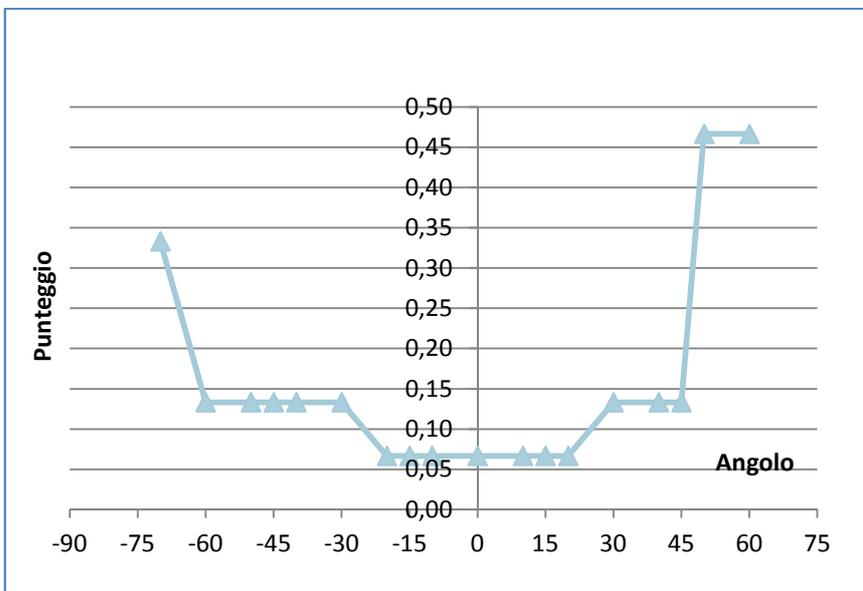


Figura 2.32;LUBA, Punteggi di discomfort normalizzati: flesso/estensione, deviazione radio/ulnare del polso.

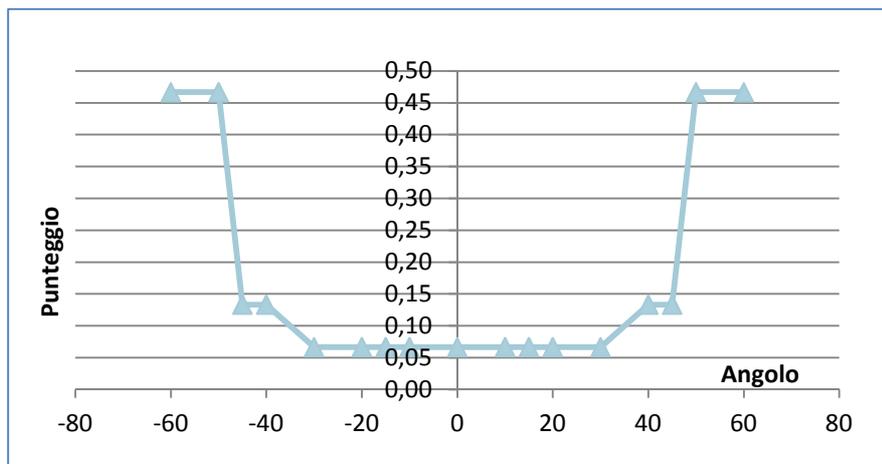
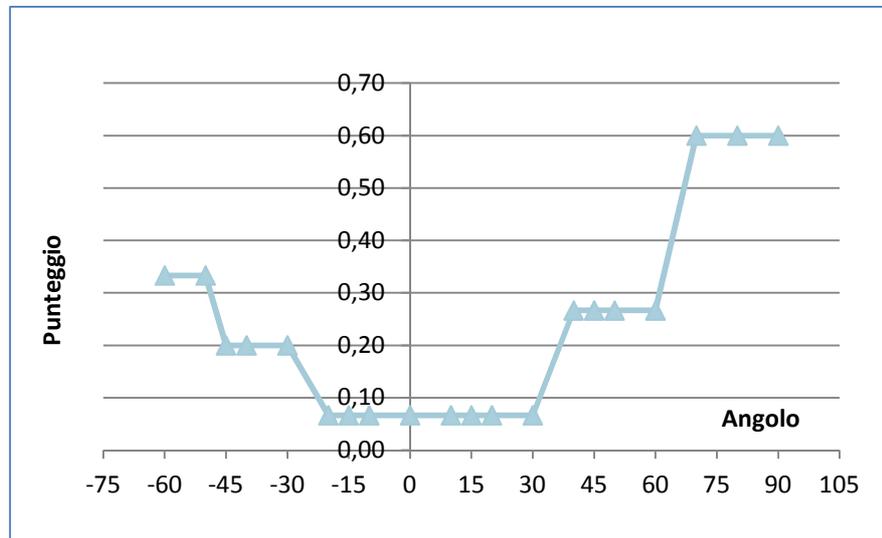


Figura 2.33;LUBA, Punteggi di discomfort normalizzati: flesso/estensione, flessione laterale del collo.

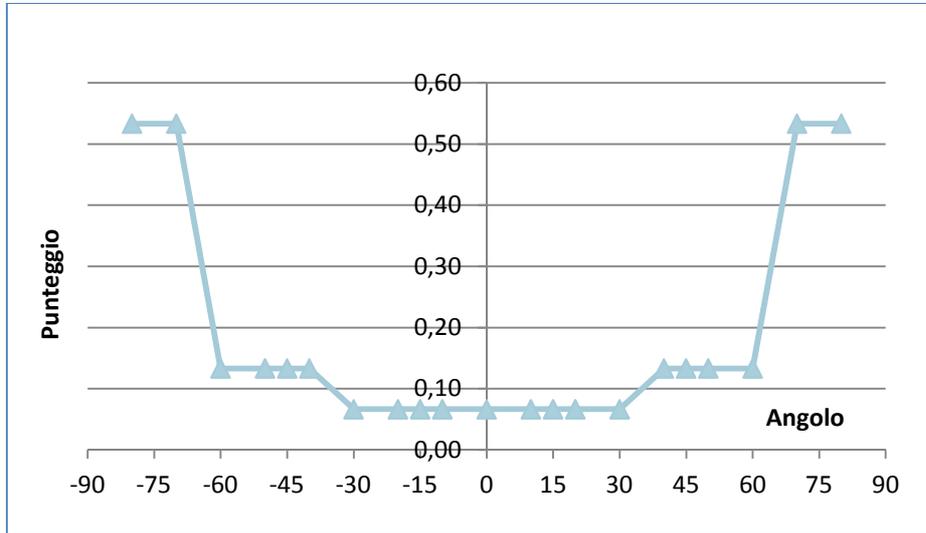


Figura 2.34;LUBA, Punteggi di discomfort normalizzati: rotazione del collo.

Come si può constatare, il LUBA è sicuramente il metodo più completo e dettagliato tra quelli descritti sia per gli ampi range articolari che per i diversi gradi di libertà analizzati.

CAPITOLO 3

ANALISI DEGLI INTERVALLI DI MOBILITÀ DELLE ARTICOLAZIONI

3.1 Comfort Range of Motion (CROM)

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

Le tabelle che seguono, organizzate per articolazione, mostrano i ROM e le relative fonti bibliografiche dalle quali sono stati estrapolati. Accanto a queste, si riportano altrettante tabelle inerenti al range angolare sintetizzato da un'analisi dei testi visionati. Il criterio che ha portato alla definizione di tale range è stato quello di identificare un ROM, per ciascuna articolazione, rispetto al quale sviluppare il modello. Tali ROM sono stati selezionati avendo cura di includere al loro interno la posizione dello zero geometrico, ovvero la posizione rispetto alla quale è misurato un movimento articolare. Essa è stata indicata in figura per ciascuna articolazione. Questa accortezza è stata tenuta assumendo che in un'intorno prossimo allo zero geometrico fosse compresa la rest position, la posizione di massimo comfort. I ROM così evidenziati sono quelli su cui andrà a svilupparsi il modello di valutazione del comfort, e pertanto sono stati chiamati Comfort Range of Motion (CROM).

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

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

NECK – COLLO

Fonti	Flesso/Estensione	Flessione Laterale L-R	Rotazione L-R
Appunti Medicina	da -45 a 45	da -45 a 45	da -45 a 45
Lantz, Chen and Buch ¹⁰	da -60 a 56	da -43 a 41	da -73 a 72
AMA ¹¹	da -50 a 60	da -45 a 45	da -80 a 80
NOTE			
Flessione negativa, estensione positiva.			
Flessione laterale: sinistra (L) positiva, destra (R) negativa.			
Rotazione: sinistra (L) negativa, destra (R) positiva.			

Tabella 3.1 a; Range of Comfort del collo, raccolti dalle fonti bibliografiche.

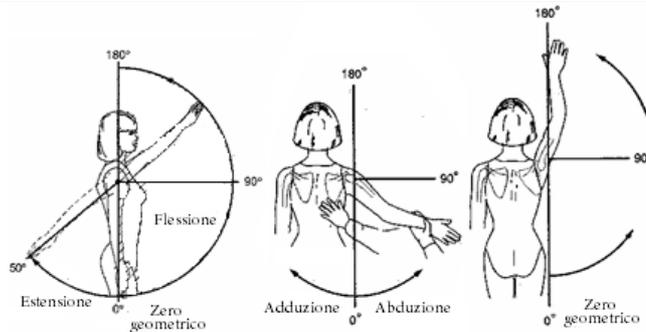
CROM		
Neck - Collo	Estremo Inferiore	Estremo Superiore
Flessione/Estensione	-45	45
Flessione Laterale L-R	-43	41
Rotazione L-R	-45	45

Tabella 3.1 b; Comfort Range of Motion del collo.

¹⁰ Lantz. CA, Chen J., Buch D., “Clinical validity and stability of active and passive cervical range of motion with regard to total and unilateral uniplanar motion”, [Spine \(Phila Pa 1976\)](#). 1999 Jun 1;24(11):1082-9.

¹¹ American Medical Association, “Guide to the Evaluation of Permanent Impairment”, 3a edizione, AMA, Chicago IL, 1988.

SHOULDER - SPALLA



Fonte	Flesso/Estensione	Abd/Adduzione	Rotazione Est./Int.
Appunti medicina	da -60 a 170	da -40 a 170	da -80 a 90
Netter's Orthopaedics ¹²	da -60 a 180	da 0 a 180	da 0 a 60
www.fpnotebook.com ¹³	da -60 a 180	da 0 a 150	da -90 a 90
AAOS ¹⁴	da -60 a 180	da 0 a 180	da -70 a 90
AMA	da -50 a 150	da 0 a 180	da -90 a 90
Bone & Azen ¹⁵	da -62.3 a 166.7	da 0 a 184	da -68.8 a 103.7
Green & Wolf ¹⁶	da 0 a 155.8	da 0 a 167.6	da -48.7 a 83.6
www.vba.va.gov/VBA/ ¹⁷	da 0 a 180	da 0 a 180	da -90 a 90
NOTE			
Rotazione: esterna positiva, interna negativa.			

Tabella 3.2 a; Range of Comfort della spalla, raccolti dalle fonti bibliografiche.

¹² Jon C. Thompson, "Netter's Concise Atlas of Orthopaedic Anatomy", Saunders, 1a edizione, (2001).

¹³ Family Practice Notebook, URL <http://www.fpnotebook.com/> [Consultato in data 29/10/2010].

¹⁴ American Academy of Orthopaedics Surgeons, "Joint Motions Methods of Measuring and Recording", AAOS, Chicago, (1965).

¹⁵ Boone DC, Azen SP, "Normal range of motion in male subjects", J. Bone Joint Surg Am. 61, pagg. 756-779.

¹⁶ Greene BL, Wolf SL, "Upper extremity joint movement: comparison of two measurement devices", Arch. Phys. Med. Rehabil., (1989), 70(4), pagg. 288-90.

¹⁷ Veteran Benefits Administration, URL <http://www.vba.va.gov/VBA/> [Consultato in data 29/10/2010].

CROM		
Shoulder – Spalla	Estremo Inferiore	Estremo Superiore
Flessione/estensione	-50	150
Abduzione/adduzione	0	168
Rotazione est/int	-49	60

Tabella 3.2 b; Comfort Range of Motion della spalla.

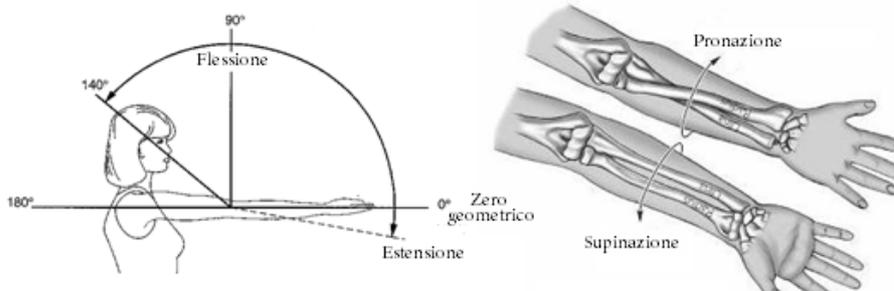
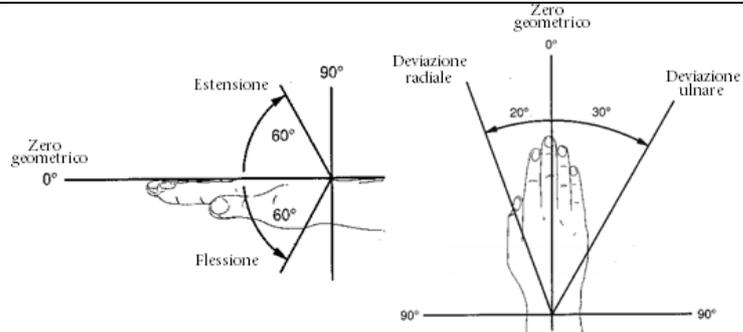
ELBOW - GOMITO		
		
Fonti	Flesso/Estensione	Prono/Supinazione
Appunti medicina	da 0 a 150	da -90 a 90
Netter's Orthopaedics	da -10 a 140	da -75 a 85
www.fpnotebook.com	da 0 a 150	da -70 a 90
AAOS	da 0 a 150	da -80 a 80
AMA	da 0 a 140	da -80 a 80
Bone & Azen	da -0.6 a 142.9	da -75.8 a 82.1
Green & Wolf	da 0 a 145.3	da -84.4 a 76.9
www.vba.va.gov/VBA/	da 0 a 145	da -80 a 85
NOTE		
Flessione positiva, estensione negativa.		
Pronazione negativa, supinazione positiva.		

Tabella 3.3 a; Range of Comfort del gomito, raccolti dalle fonti bibliografiche.

CROM		
Elbow - Gomito	Estremo Inferiore	Estremo Superiore
Flessione/estensione	0	140
Prono/supinazione	-75	77

Tabella 3.3 b; Comfort Range of Motion del gomito.

WRIST - POLSO



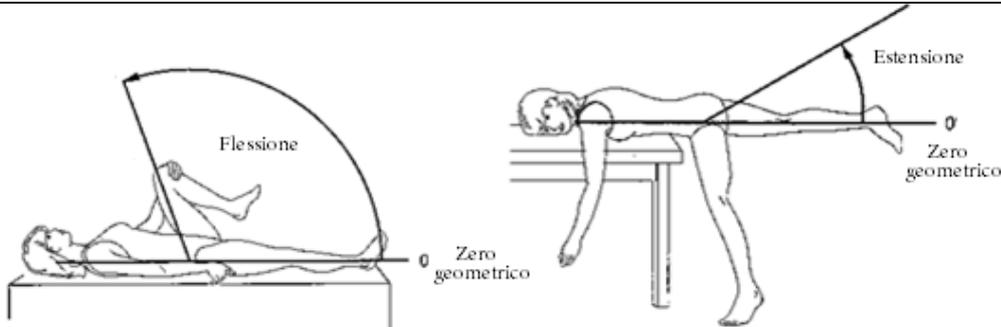
Fonti	Flesso/Estensione	Deviazione radio/ulnare
Appunti medicina	da -80 a 80	da -20 a 30
Netter's Orthopaedics	da -75 a 85	da -20 a 30
www.fpnotebook.com	da -70 a 70	da -20 a 40
AAOS	da -80 a 70	da -20 a 30
AMA	da -60 a 60	da -20 a 30
Bone & Azen	da -76.4 a 74.9	da -21.5 a 36.0
Green & Wolf	da -73.3 a 64.9	da -25.4 a 39.2
www.vba.va.gov/VBA/	da -80 a 70	da -20 a 45
NOTE		
Flessione negativa, estensione positiva.		
Deviazione radiale negativa, ulnare positiva.		

Tabella 3.4 a; Range of Comfort del polso, raccolti dalle fonti bibliografiche.

CROM		
Wrist - Polso	Estremo Inferiore	Estremo Superiore
Flessione/estensione	-60	60
Deviazione radio/ulnare	-20	30

Tabella 3.4 b; Comfort Range of Motion del polso.

HIP - ANCA



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

Tabella 3.5 a; Range of Comfort dell'anca, raccolti dalle fonti bibliografiche.

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

Tabella 3.5 b; Comfort Range of Motion dell'anca.

KNEE - GINOCCHIO	
Fonti	Flesso/Estensione
Appunti Medicina	da -135 a 0
Netter's Orthopaedics	da -145(135) a 5
www.fpnotebook.com	da -135 a 10
AAOS	/
AMA	da -150 a 0
Bone & Azen	da -142.5 a 0
Green & Wolf	/
www.vba.va.gov/VBA/	da -140 a 0
NOTE	
Flessione negativa, estensione positiva	

Tabella 3.6 a; Range of Comfort del ginocchio, raccolti dalle fonti bibliografiche

CROM		
Knee - Ginocchio	Estremo Inferiore	Estremo Superiore
Flessione/estensione	-135	0

Tabella 3.6 b; Comfort Range of Motion della ginocchio.0.1

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

Tabella 3.7 a; Range of Comfort della caviglia, raccolti dalle fonti bibliografiche.

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

Tabella 3.7 b; Comfort Range of Motion della caviglia.

3.2 Range of Rest Position (RRP)

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

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

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

RRP e scelta del campione

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

- collo: flesso/estensione, flessione laterale e rotazione;
- spalla: flesso/estensione, abd/adduzione;
- gomito: flesso/estensione, prono/supinazione;
- caviglia: flessione dorso/plantare.

In questa sperimentazione non sono presenti gli angoli neutri relativi alle articolazioni dell'anca e delle ginocchia in quanto tali misurazioni sarebbero influenzate da fattori quali peso corporeo, conformazione imposta da sedie, sedili o qualsiasi altra postazione da seduto, e perderebbero il loro dominio universale.

Il metodo scelto per l'acquisizione dei RRP è stato quello dell'acquisizione fotografica. La fotografia può essere considerata uno strumento ottico e come tale risulta sicuramente più economico e meno invasivo di uno strumento elettronico o meccanico.

Risulta inoltre sicuramente più efficiente per quelle articolazioni che coinvolgono arti di lunghezza pronunciata, facilmente schematizzabili in segmenti di retta di cui andarne a misurare l'angolazione reciproca. È stato studiato in maniera preventiva il sistema macchina – ambiente – soggetto facendo in modo che il soggetto assumesse alcune posizioni, da seduto o in piedi, in base al tipo di postura da assumere. Inoltre è stato riportato all'interno dell'ambiente fotografico un sistema di riferimento, in modo da riconoscere eventuali distorsioni dell'immagine presa. Il riferimento scelto è una griglia uniforme collocata alle spalle del soggetto. Il campione è stato prelevato da una popolazione di studenti mista, composta da 43 uomini e 42 donne con:

- altezza compresa tra 149 cm e 195 cm
- età compresa compresa tra 20 a 40 anni.
- assenza di patologie dell'apparato muscolo-scheletrico

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

Il software utilizzato per elaborare le immagini è Kinovea^{®18} versione 0.8.7.

Procedura di elaborazione delle immagini

Nel seguito viene illustrata la procedura di analisi dei gradi di libertà delle articolazioni ed i relativi angoli inclusi nell'indagine fotografica sulle posture di massimo comfort.

L'articolazione della **spalla**, che definisce i ROM del braccio, può essere agevolmente misurata nella configurazione a riposo.

Si dispone inizialmente l'arto nella posizione dello zero geometrico, disteso lungo il fianco. A partire da questa posizione, la foto è scattata chiedendo al soggetto di rilassare completamente l'arto. La medesima procedura è valida per entrambi i ROM del braccio, cambiando opportunamente il piano fotografato.

Le misure estrapolate riguardano:

- *Flessione/estensione*: considerando l'angolo formato da due segmenti, uno orientato nella direzione dell'asse del braccio

¹⁸ Created by Creative Commons Attribution 3.0

(freccia azzurra in figura 5.1 A) e l'altro verticalmente a partire della testa dell'omero.

- *Abduzione/adduzione*: considerando l'angolo formato dai due segmenti, il primo coincidente con l'asse del braccio (freccia azzurra in figura 5.1 B), il secondo orientato verticalmente a partire dalla testa dell'omero.

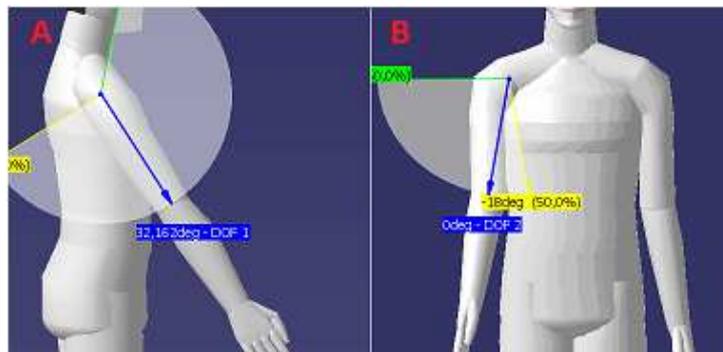


Figura 3.8: posture indagine fotografica

La misurazione della posizione neutra dell'avambraccio, che interessa l'articolazione del *gomito*, è eseguita anch'essa a partire dalla posizione dello zero geometrico chiedendo poi al soggetto di rilassare l'arto.

Le modalità di misura sono le seguenti:

- *Flessione/estensione*: misurando l'angolo compreso tra due segmenti, uno orientato come la retta passante per la testa dell'omero ed il gomito (freccia in giallo in figura 5.2 C), l'altro orientato a partire dal gomito e coincidente con l'asse dell'avambraccio (freccia azzurra in figura 5.2 C).
- *Pronazione/supinazione*: per la misura di tale ROM, si colloca un polsino immediatamente a ridosso del polso con un'asta rigida vincolata ad esso. La calibrazione dello strumento richiede che tale asta sia ortogonale al piano frontale quando l'arto è nella posizione dello zero geometrico (vedi figura 5.2 D). Chiedendo in seguito al soggetto di rilassare l'arto, la rotazione dell'avambraccio che descrive la prono/supinazione è la stessa che individua l'orientazione dell'asta rispetto ad una retta ortogonale al piano frontale. Affinché tale misura possa essere estrapolata con analisi fotografica, occorre che l'articolazione del gomito si fletta

a novanta gradi riportando tale rotazione nel piano frontale (vedi figura 5.2 E - F), prendendo come riferimento una retta verticale (freccia in giallo) e misurando l'angolo compreso tra questa e l'asta rigida (freccia in azzurro).

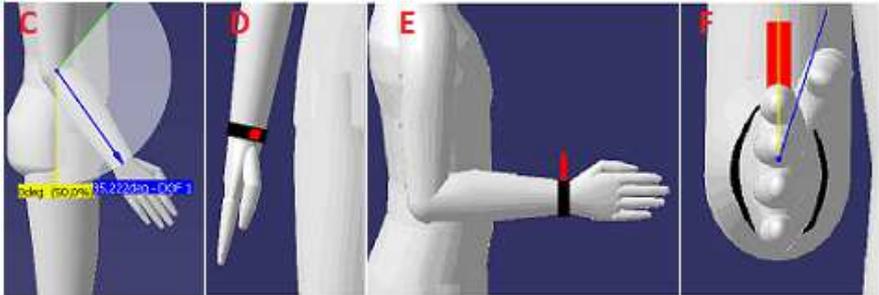


Figura 3.9: posture indagine fotografica

La configurazione a riposo della mano è caratterizzabile identificando i RRP del *polso* per i seguenti gradi di libertà:

- *Flessione/Estensione*: misurata come l'angolo compreso tra due segmenti, il primo tracciato come il prolungamento dell'asse dell'avambraccio, ed il secondo a congiungere la base del pollice con la nocca dell'indice (freccia azzurra in figura 5.3 G).
- *Deviazione Radio/Ulnare*: è identificata come l'angolo formato dal prolungamento dell'asse dell'avambraccio con un segmento opportunamente tracciato (freccia azzurra in figura 5.3 H), che congiunge il centro del polso (a partire dall'osso semilunare) con la congiunzione di terzo e quarto osso metacarpale (dito medio ed anulare).

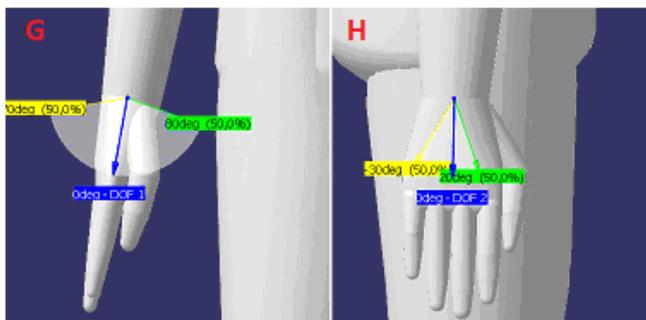


Figura 3.9: posture indagine fotografica

Da evidenze sperimentali si è appurato che l'influenza della gravità non influisce sul comfort percepito per l'articolazione del polso. Per tale motivo il RRP coincide con lo zero geometrico.

L'articolazione del *collo*, nei suoi tre ROM articolari, può essere misurata analogamente alle altre articolazioni, chiedendo questa volta al soggetto di trovare la posizione di riposo con gli occhi chiusi. Questa condizione garantisce che la postura del collo non venga influenzata da fattori esterni, quali ad esempio punti di riferimento presi istintivamente nell'ambiente circostante. Sulla base di queste considerazioni, le misure si possono estrapolare come segue:

- Flessione/Estensione: misurata come l'angolo compreso tra l'orizzontale passante per il centro dell'orecchio e il segmento congiungente quest'ultima con la base del naso (freccia azzurra in figura 5.4 I). C'è da precisare che tale misurazione è calibrata rispetto ad uno zero che non è quello riconosciuto dalla bibliografia ortopedica di riferimento. Ciò è dettato dall'esigenza di riconoscere due punti di riferimento facilmente riscontrabili in fase di valutazione fotografica, inoltre il centro dell'orecchio statisticamente è allineato con la base del naso.
- Flessione laterale: i riferimenti presi sono gli stessi considerati per la flessione/estensione, mentre l'angolo misurato questa volta è quello giacente nel piano sagittale (vedi figura 5.4 L).
- Rotazione: l'angolo misurato è quello che identifica l'orientazione di un segmento passante per l'asse della testa ed il centro del viso (freccia azzurra in figura 5.4 M), localizzato alla base del naso. Tale orientazione è definita in relazione all'asse di simmetria della testa nel piano trasversale.

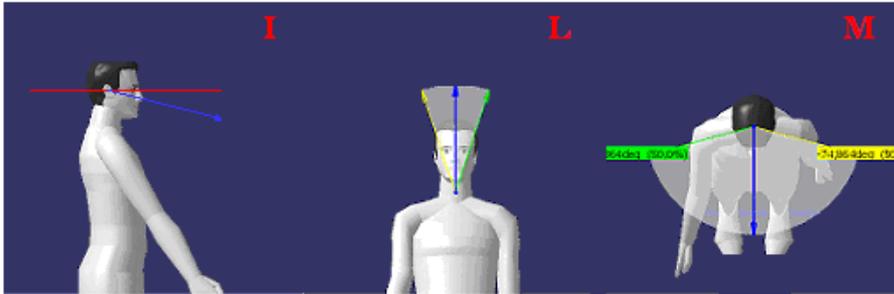


Figura 3.10: posture indagine fotografica

Per la misurazione dei gradi di libertà della *caviglia*, nella configurazione a riposo, le fotografie sono state scattate disponendo il soggetto in posizione da seduto con i piedi sospesi. L'analisi per la flessione dorso/plantare è stata eseguita misurando l'angolo compreso tra un asse, congiungente ginocchio e malleolo (freccia gialla in figura), ed un segmento di congiunzione tra il malleolo stesso ed il punto medio tra il secondo ed il terzo metatarso (freccia azzurra in figura 5.5 O).

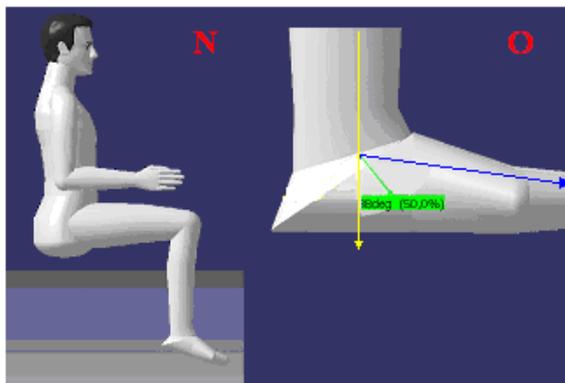


Figura 3.11: posture indagine fotografica

Di seguito riportiamo due esempi di fotografia elaborate: uomo e donna.

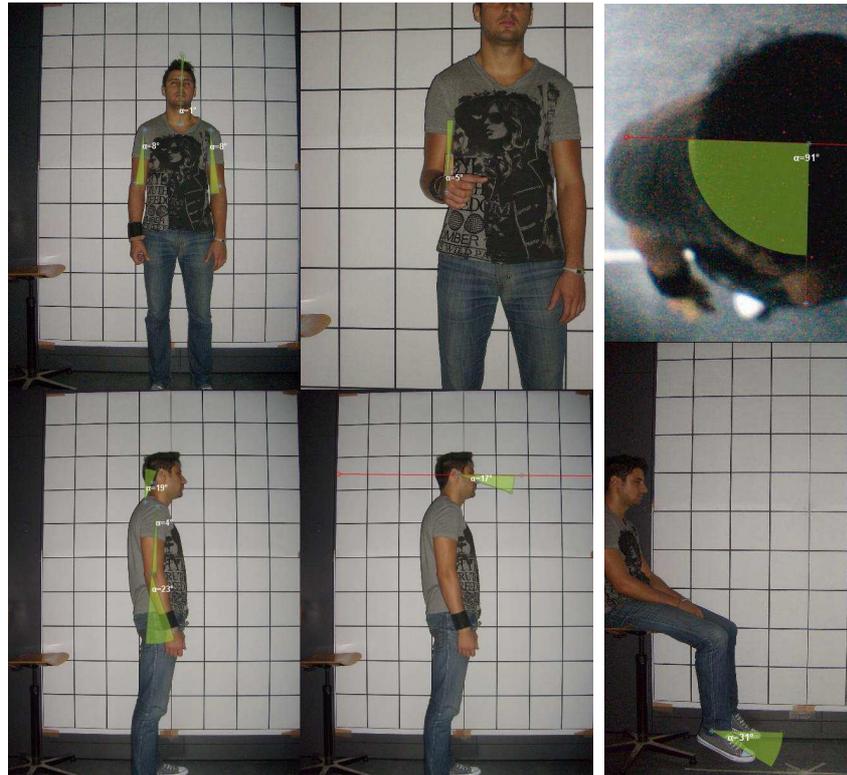


Figura 3.12: immagine elaborata soggetto maschile



Figura 3.13: immagine elaborata soggetto femminile

Layout laboratorio sperimentale

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

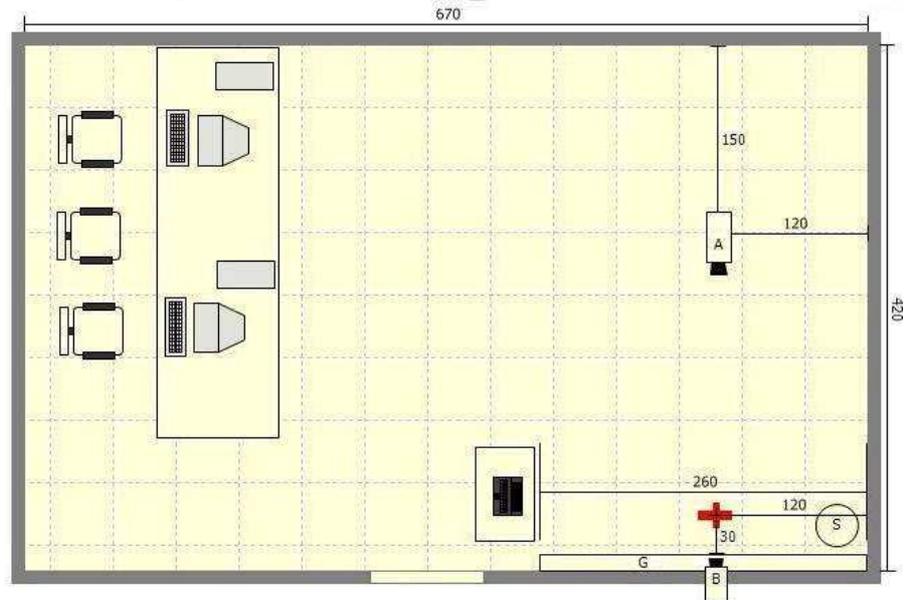


Figura 3.14: layout ambiente di lavoro

Si ha dunque:

A: macchina fotografica digitale, collocata ad un'altezza di 120 cm;

B: webcam, collocata ad un'altezza di 220 cm;

G: griglia uniforme (260x200);

S: seduta con altezza regolabile, per fotografare le caviglie nel piano sagittale con le gambe sospese;

⊕: posizione del soggetto per le fotografie nei piani frontale e sagittale (macchina A) e trasversale (macchina B).



Figura 3.15: fotografia dell'ambiente di lavoro

3.3 Post-elaborazione

Elaborazione statistica dei dati

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

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

Statistica	ALTEZZA (cm)	SPALLA			GOMITO		COLLO			CAVIGLIA
		Fles./Est.	Abd./add. Destra	Abd./add. Sinistra	Fles./Est.	Prono/ Sup.	Fles./Est.	Fles. lat.	Rotaz.	
Media	178.52	2.53	7.74	8.88	22.53	-16.65	-13.12	0.81	-0.60	24.84
Dev. St.	6.93	1.97	2.54	2.30	4.05	7.66	7.79	1.94	2.56	5.83
Valore MAX	135	9	14	14	32	-4	0	9	4	37
Valore MIN	134	0	4	2	15	-35	-35	-3	-6	16
Numero Classi (Sturges)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Range Classi	5.2	1.5	1.7	2.0	2.8	5.2	5.8	2.0	1.7	3.5

Tabella 3.8: statistiche campione maschile

Statistica	ALTEZZA (cm)	SPALLA			GOMITO		COLLO			CAVIGLIA
		Fles./Est.	Abd./add. Destra	Abd./add. Sinistra	Fles./Est.	Prono/ Sup.	Fles./Est.	Fles. lat.	Rotaz.	
Media	165,85	2,26	4,63	5,76	18,71	-18,76	-11,90	0,33	0,33	23,79
Dev.St.	6,80	1,62	2,48	3,32	5,88	10,50	6,01	2,61	3,04	5,31
Valore MAX	177	7	12	14	35	2	-2	8	6	38
Valore MIN	149	0	0	0	7	-51	-28	-8	-5	12
Numero Classi R (Sturges)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Range Classi	4,7	1,2	2,0	2,4	4,7	8,9	4,4	2,7	1,8	4,4

Tabella 3.9: statistiche campione femminile

Organizzazione dei dati in frequenze

Si presentano le tabelle inerenti ai campionamenti di uomini e donne ordinati in classi e quartili. Il numero di classi scelto è pari a 6. In base a tale divisione i quartili della distribuzione discreta campionaria risultano così suddivisi:

- 1° quartile 11
- 2° quartile o mediana 22
- 3° quartile 33

CAMPIONE MASCHILE											
TEST	ALTEZZA(cm)	SPALLA			GOMITO		COLLO			CAVIGLIA	
		Fles./Est.	Abd./Add. Destra	Abd./Add. Sinistra	Fles./Est.	Prono/Sup	Fles./Est.	Fles. lat.	Rotaz.	Fles. Dorso/plantare	
1	164	0	4	2	15	-35	-35	-3	-6	16	
2	167	0	4	5	18	-31	-30	-3	-5	16	
3	168	0	4	6	18	-31	-27	-2	-4	17	
4	169	0	4	6	18	-29	-25	-2	-4	17	
5	171	0	4	6	18	-26	-25	-1	-4	17	
6	172	0	5	6	18	-24	-23	-1	-3	17	
7	172	1	5	6	18	-24	-23	0	-3	19	
8	172	1	5	7	18	-24	-22	0	-3	19	
9	173	1	5	7	18	-24	-17	0	-3	19	
10	173	1	5	7	18	-23	-17	0	-3	19	
11	173.5	1	6	8	19	-22	-16	0	-3	20	
12	174	2	6	8	19	-21	-16	0	-3	20	
13	174	2	6	8	20	-21	-15	0	-2	21	
14	174	2	6	8	20	-21	-15	0	-2	22	
15	174	2	7	8	21	-20	-14	0	-2	22	
16	175	2	7	8	21	-20	-14	0	-2	22	
17	175	2	7	9	21	-20	-14	0	-1	22	
18	176	2	7	9	21	-18	-14	0	-1	23	
19	176	2	7	9	22	-18	-13	0	-1	23	
20	176	2	7	9	22	-17	-12	1	-1	23	
21	176	2	7	9	22	-16	-12	1	-1	24	
22	178	2	7	9	22	-16	-12	1	-1	24	
23	179	2	8	9	22	-16	-12	1	-1	25	
24	179	2	8	9	23	-15	-11	1	-1	25	
25	180	2	8	9	23	-14	-11	1	0	26	
26	181	2	8	9	23	-14	-10	1	0	26	
27	182	3	9	9	23	-13	-10	1	0	27	
28	182	3	9	10	23	-12	-10	1	0	27	
29	182	3	9	10	23	-12	-9	1	1	28	
30	183	3	9	10	24	-12	-9	1	1	28	
31	183	3	9	10	24	-12	-9	1	1	28	
32	183.5	3	10	10	25	-12	-9	2	1	29	
33	183.5	3	10	10	25	-11	-9	2	1	29	
34	184	4	10	10	25	-9	-8	2	2	30	
35	185	4	10	10	26	-9	-8	2	2	30	
36	185	4	10	11	27	-9	-7	2	2	31	
37	185	4	10	11	28	-8	-7	2	2	31	
38	187	4	11	11	29	-8	-6	2	3	31	
39	187	5	11	12	29	-8	-4	2	3	31	
40	188	5	11	12	29	-6	-2	3	3	34	
41	188	6	12	13	29	-6	-2	3	4	36	
42	192	8	12	13	30	-5	0	4	4	37	
43	195	9	14	14	32	-4	0	9	4	37	

Tabella 3.10: suddivisione del campione maschile in classi e quartili

CAMPIONE FEMMINILE										
TEST	ALTEZZA (cm)	SPALLA			GOMITO		COLLO			CAVIGLIA
		Fles./Est.	Abd./add. Destra	Abd./add. Sinistra	Fles./Est.	Prono/Sup.	Fles./Est.	Fles. lat.	Rotaz.	Fles. dorso/plantare
1	149	0	0	0	7	-51	-28	-8	-5	12
2	155	0	1	1	9	-47	-27	-3	-5	13
3	155	0	1	1	9	-34	-23	-3	-5	15
4	156	0	2	1	10	-31	-23	-3	-4	17
5	157	0	2	2	12	-31	-20	-3	-4	17
6	157	1	2	2	13	-30	-20	-2	-3	17
7	157	1	2	2	13	-30	-16	-2	-3	17
8	158	1	2	3	13	-26	-15	-2	-3	18
9	158.5	1	2	3	13	-24	-15	-2	-3	19
10	160	1	3	3	14	-23	-15	-2	-2	20
11	162	1	3	3	15	-22	-15	-1	-2	21
12	162	1	3	3	15	-22	-14	-1	-2	21
13	163	1	3	4	15	-22	-14	0	-1	23
14	163	1	4	4	16	-22	-14	0	-1	23
15	164	1	4	4	17	-21	-14	0	-1	23
16	164	1	4	4	17	-20	-13	0	-1	23
17	165	1	4	5	17	-20	-13	0	-1	23
18	165	2	4	5	18	-19	-13	0	-1	23
19	165	2	4	5	18	-19	-12	0	0	24
20	165	2	4	5	18	-18	-12	0	0	24
21	166	2	4	6	18	-18	-11	1	0	24
22	166	2	4	6	19	-18	-10	1	1	24
23	167	2	5	6	19	-17	-10	1	1	25
24	167.5	2	5	6	19	-17	-10	1	1	25
25	168	3	5	6	20	-17	-9	1	1	25
26	168	3	5	6	20	-16	-9	1	2	25
27	168	3	5	7	20	-16	-9	1	2	25
28	168	3	6	7	22	-15	-9	1	2	25
29	171	3	6	7	22	-15	-8	1	2	26
30	172	3	6	7	22	-14	-8	1	2	26
31	172	3	6	7	22	-13	-8	1	2	27
32	172	3	6	7	22	-13	-8	1	3	27
33	172	4	7	8	22	-12	-7	1	3	27
34	172.5	4	7	8	23	-11	-7	2	3	27
35	173	4	7	9	23	-10	-7	2	3	28
36	173	4	7	10	24	-8	-7	2	4	29
37	173	4	7	10	25	-8	-6	3	4	29
38	174	4	8	11	26	-6	-5	4	4	30
39	175	4	9	11	26	-6	-5	4	5	30
40	175	5	9	11	28	-5	-5	4	5	31
41	175	5	12	12	30	-3	-4	4	5	33
42	177	7	-	14	35	2	-2	8	6	38

Tabella 3.11: suddivisione del campione femminile in classi e quartili

Stima delle funzioni di distribuzione delle popolazioni di RP

Di seguito si riportano le distribuzioni continue della popolazioni di “angoli di riposo” (RP) dei vari campioni esaminati, uno per ogni singola articolazione e per sesso. Essi sono stati elaborati con minitab^{®19}, attraverso procedure di inferenza statistica, e per mezzo di carte di probabilità. Scelta la distribuzione opportuna, il RRP è definito come l’intervallo all’interno del quale è contenuto il 50% dell’area centrata rispetto alla moda.

Spalla – Uomini

E’opportuno sottolineare che per la abduzione/adduzione si è tenuto conto di un range che includesse sia il campionamento destro che il sinistro e quindi, tramite la formula di Sturges, le frequenze sono state ricalcolate sulla base di 8 classi.

SPALLA					
Fles./Est.		Abd./Add.Destra		Abd./Add.Sinistra	
Range	Frequenza	Range	Frequenza	Range	Frequenza
da 0 a 1,5	11	da 4 a 5,7	10	da 2 a 4	1
da 1,5 a 3	16	da 5,7 a 7,3	12	da 4 a 6	1
da 3 a 4,5	11	da 7,3 a 9	5	da 6 a 8	8
da 4,5 a 6	2	da 9 a 10,7	10	da 8 a 10	17
da 6 a 7,5	1	da 10,7 a 12,3	5	da 10 a 12	11
da 7,5 a 9	2	da 12,3 a 14	1	da 12 a 14	5
MEDIA	2.53	7.74		8.88	
DEV.STANDARD	1.97	2.54		2.30	

Tabella 3.12: Range e frequenza classi Spalla uomini.

Per la Flesso/Estensione è apparsa evidente la scelta di una funzione continua LogoNormale a 3 parametri. Tale scelta è dettata dal fatto che il

¹⁹ Minitab[®] è un software statistico. E’ stato sviluppato all’ Università dello stato della Pennsylvania dai ricercatori Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr., e Brian L. Joiner, 1972.

RRP è distribuito verso la posizione di flessione dell'articolazione e quindi la curva è asimmetrica e spostata verso il lato sinistro.

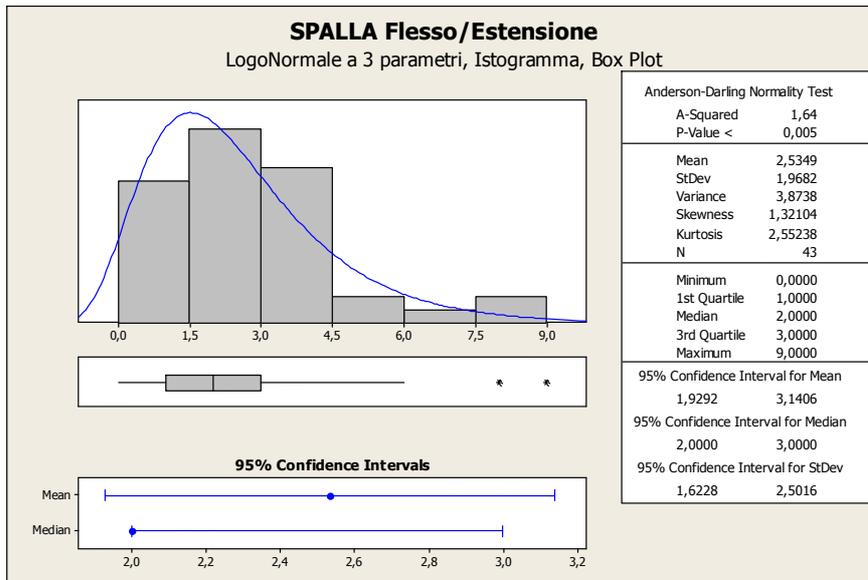


Figura 3.8: Sommario Grafico.

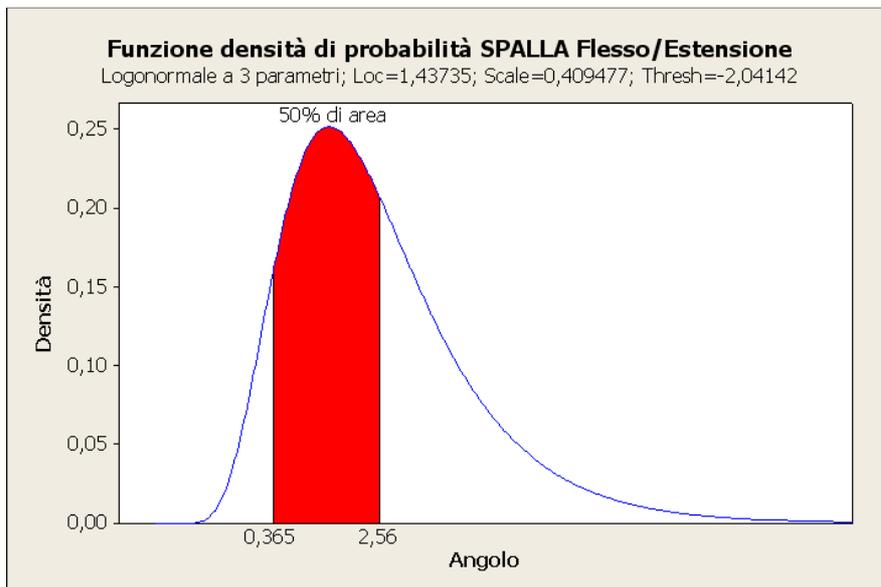


Figura 3.9: Funzione densità di probabilità Spalla Flesso/Estensione con moda 1.50.

L'Abduzione/Adduzione invece presenta una distribuzione continua Normale in quanto il RRP è distribuito intorno ad un valore medio, coincidente in questo caso con lo zero geometrico dell'articolazione.

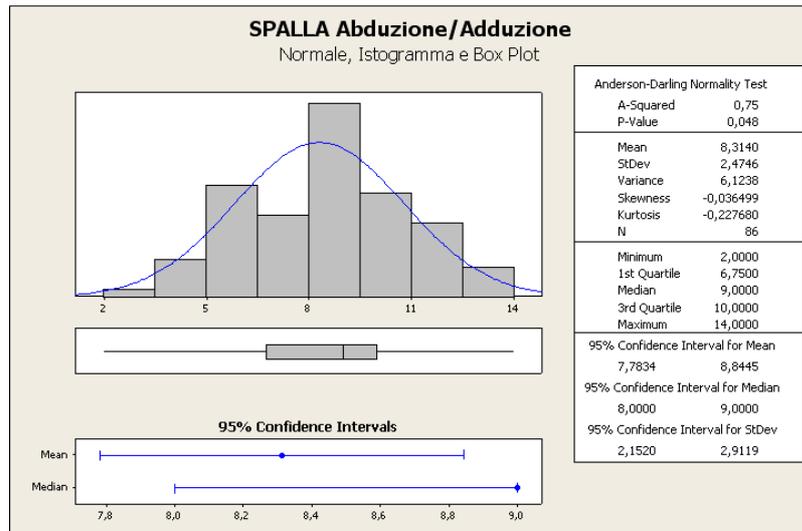


Figura 3.10: Sommario Grafico.

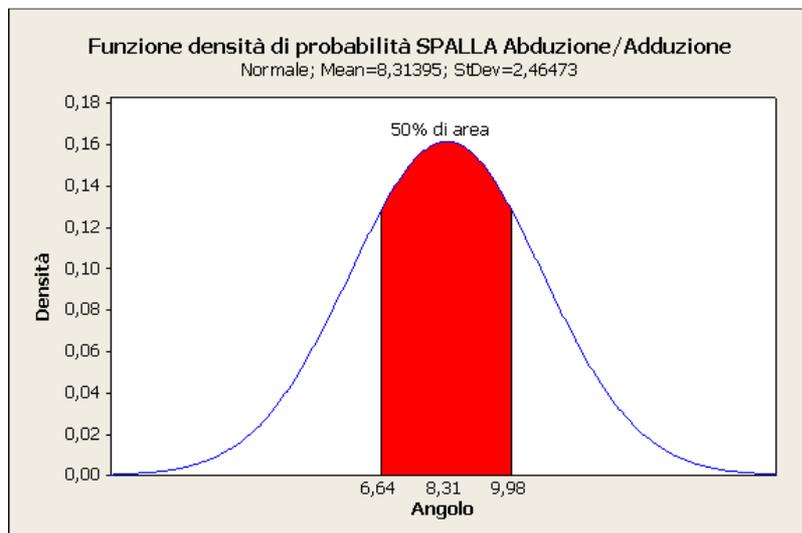


Figura 3.11: Funzione densità di probabilità Spalla Abduzione/Adduzione con moda 8.31.

Spalla – Donne

Anche per le donne si è tenuto conto di un range che includesse sia il campionamento destro che il sinistro e quindi, tramite la formula di Sturges, le frequenze sono state ricalcolate sulla base di 8 classi. La distribuzione continua LogoNormale a 3 parametri è la distribuzione che meglio descrive l'andamento della Flessione/Estensione, in analogia a quanto detto per la Flesso/Estensione della Spalla del campione maschile.

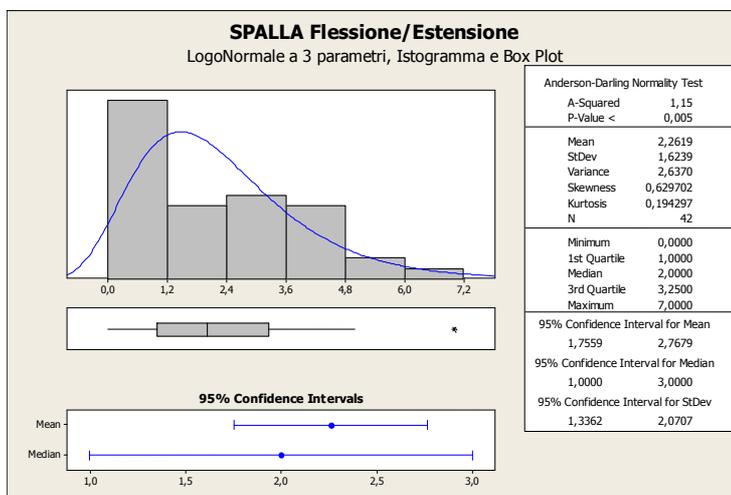


Figura 3.12: Sommario Grafico.

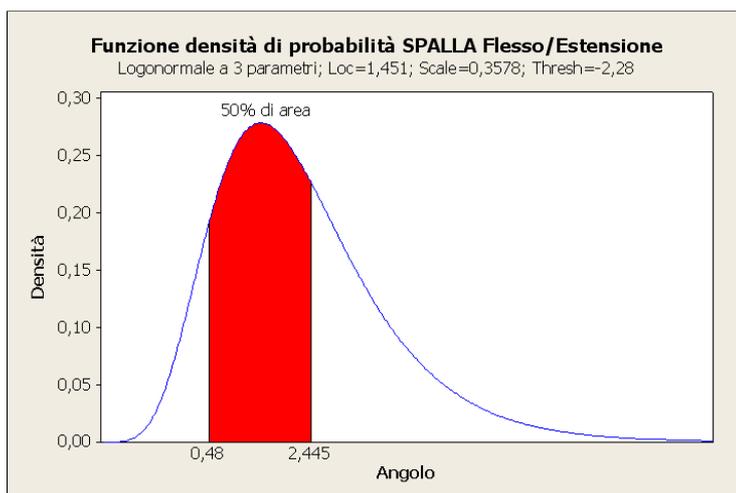


Figura 3.13: Funzione densità di probabilità Spalla Flesso/Estensione con moda 1.46.

Per il campione femminile si è constatato che l'Abduzione/Adduzione ha una distribuzione asimmetrica spostata leggermente verso l'abduzione dell'articolazione. E' quindi descritta bene da una curva LogoNormale a 3 parametri.

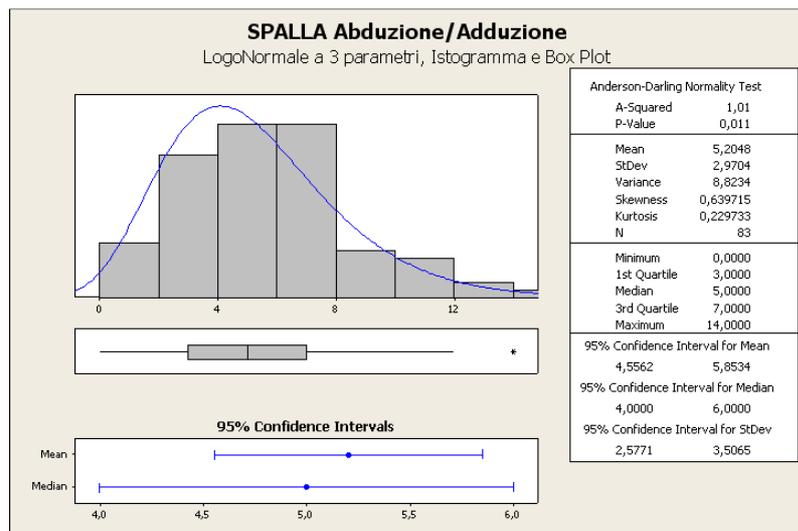


Figura 3.14: Sommario Grafico

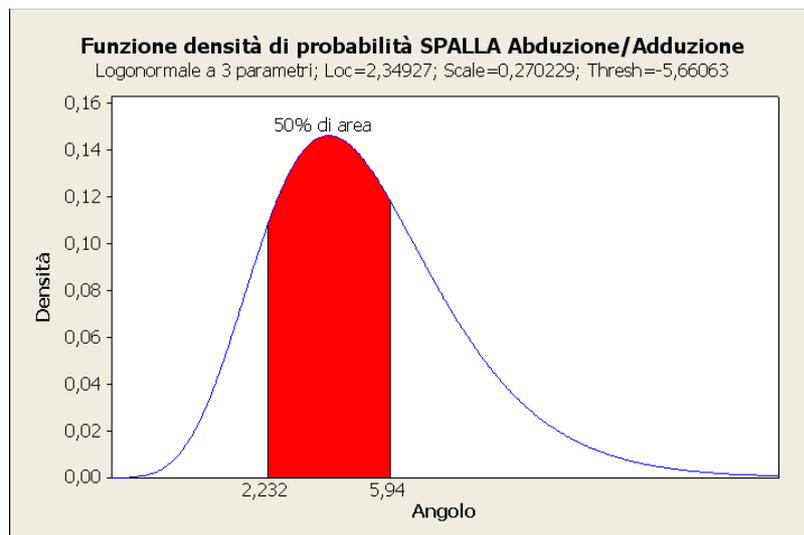


Figura 3.15: Funzione densità di probabilità Abduzione/Adduzione con moda 4.10.

Gomito – Uomini

La scelta della distribuzione continua ricade su una LogoNormale. Data l'unidirezionalità del movimento, il RRP include la sola flessione.

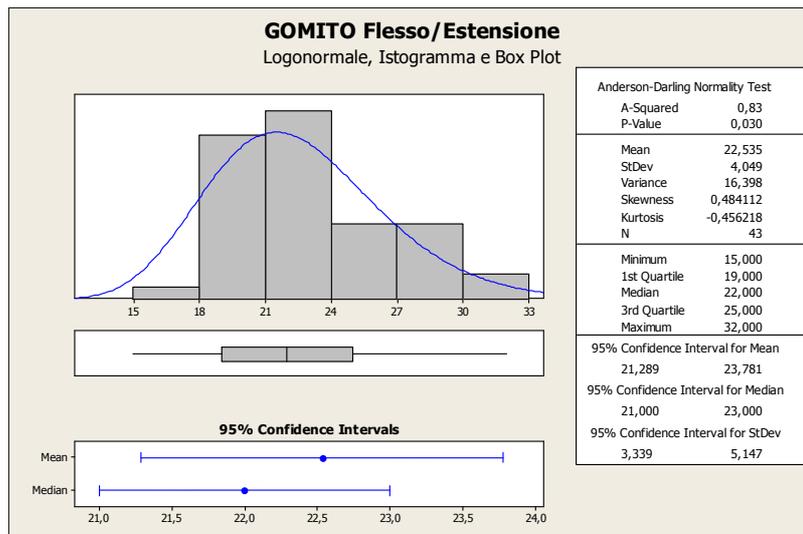


Figura 3.16: Sommario Grafico

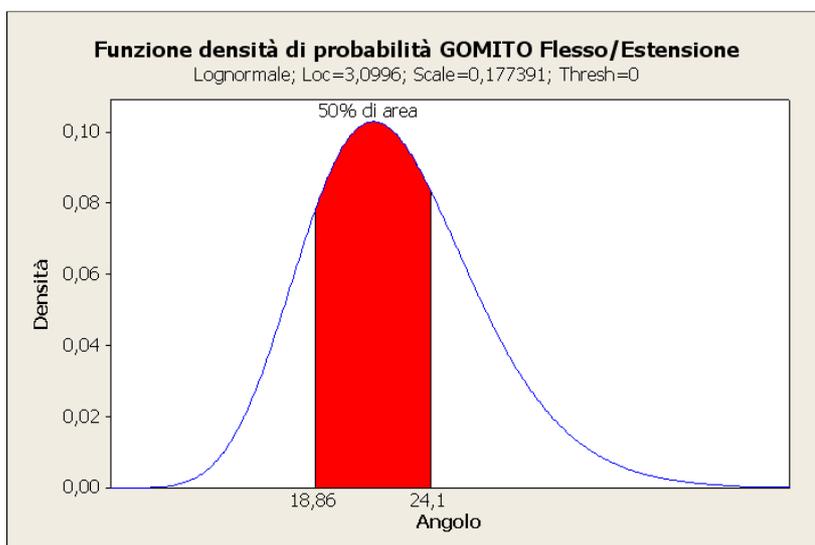


Figura 3.17: Funzione densità di probabilità Gomito Flesso/Estensione con moda 21.58.

La Prono/Supinazione del Gomito è descritta da una distribuzione continua Weibull a 3 parametri e il RRP è leggermente spostato verso la supinazione.

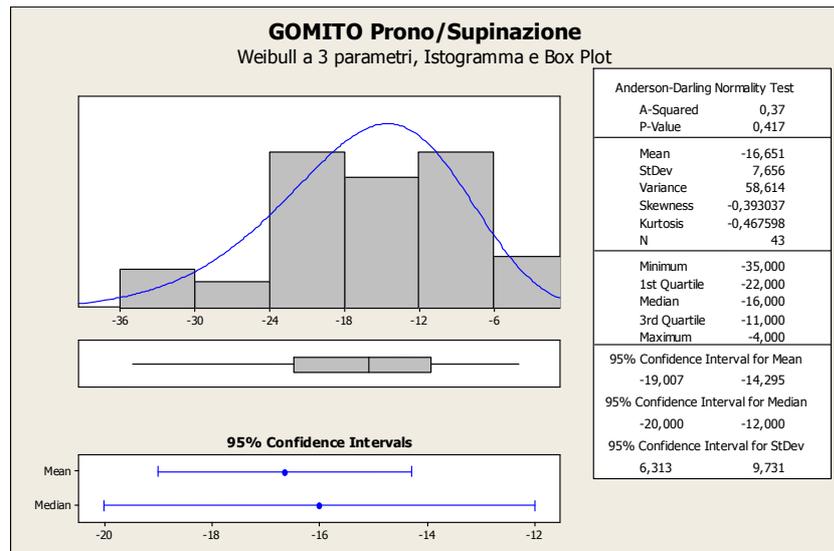


Figura 3.18: Sommario Grafico

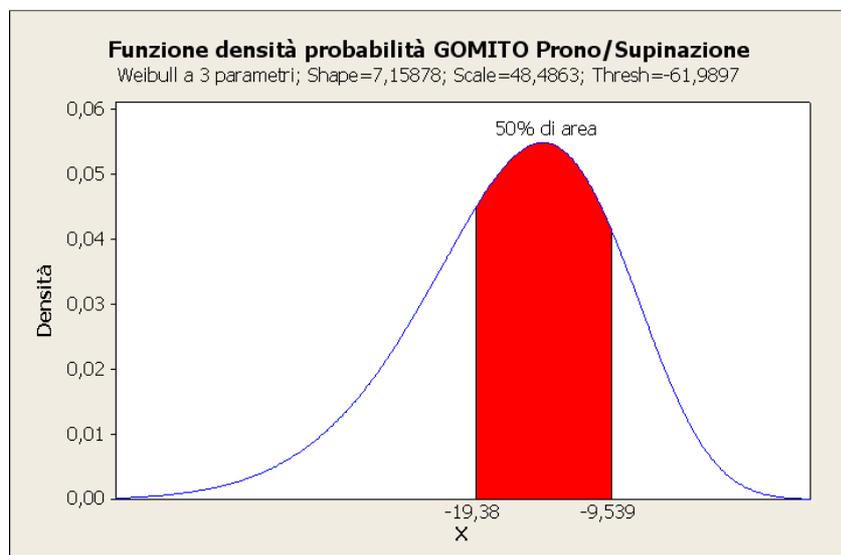


Figura 3.19: Funzione densità di probabilità Gomito Prono/Supinazione con moda - 14.50.

Gomito – Donne

La scelta della distribuzione continua ricade su una LogoNormale. Anche in questo caso, in analogia con il campione maschile, per l'unidirezionalità del movimento il RRP include la sola flessione.

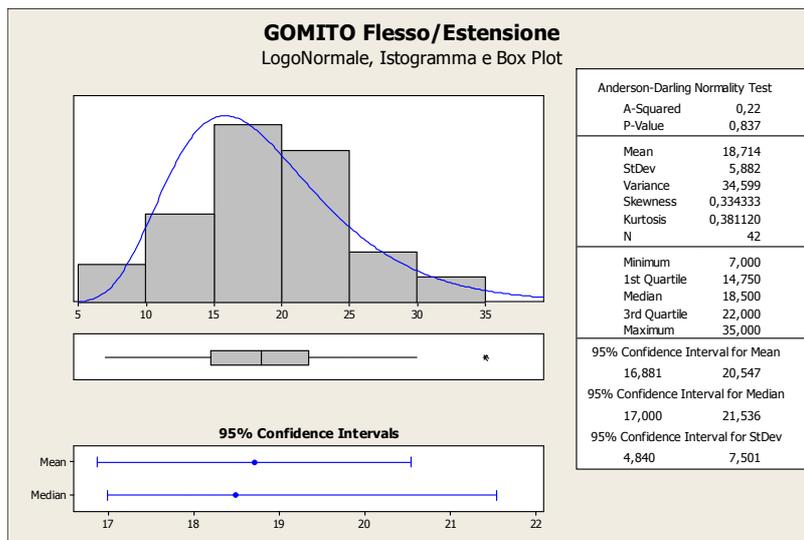


Figura 3.20: Sommario Grafico

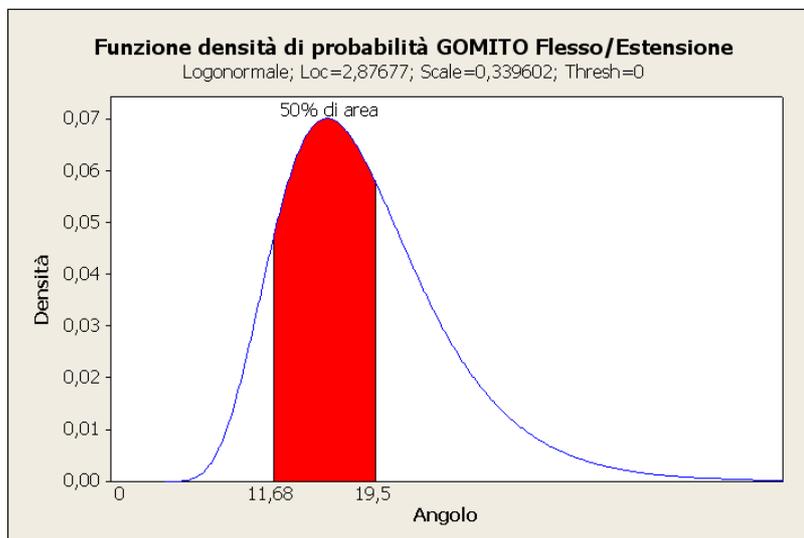


Figura 3.21: Funzione densità di probabilità Gomito Flesso/Estensione con moda 15.70.

Per un discorso analogo a quanto detto per il campione maschile, anche la Prono/Supinazione del Gomito del campione femminile è ben modellata da una Weibull a 3 parametri.

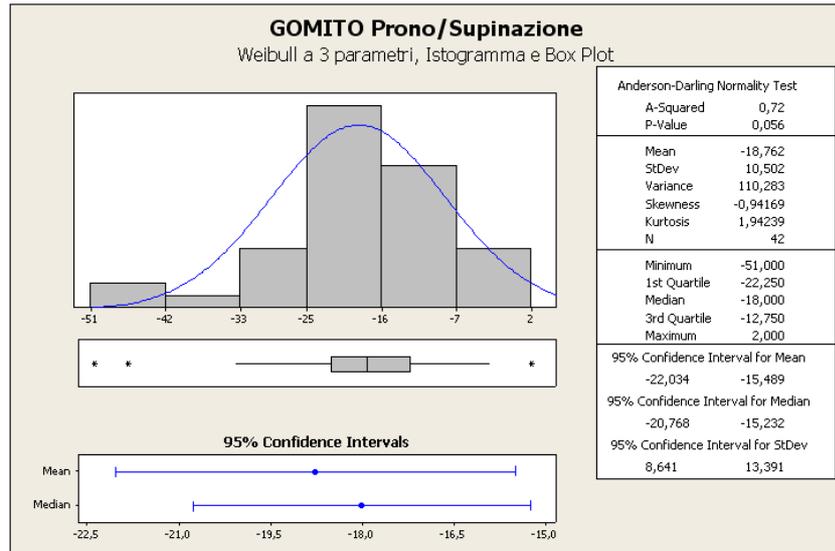


Figura 3.22: Sommario Grafico

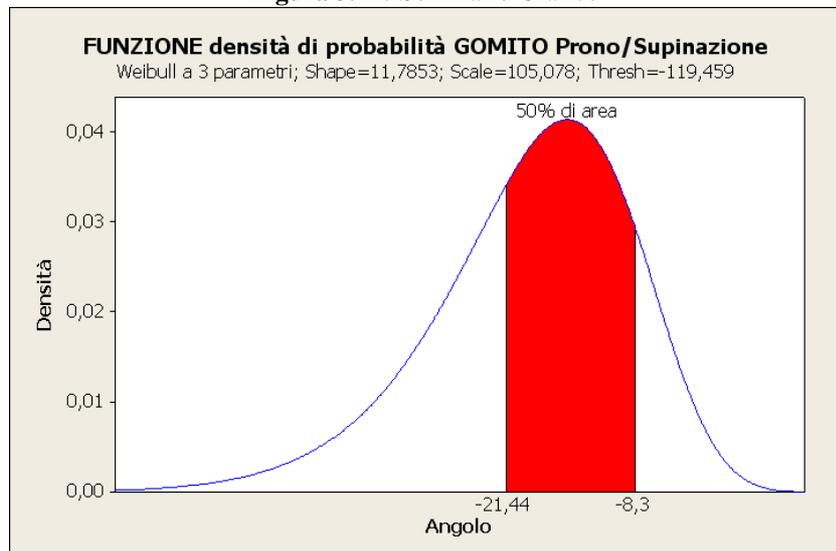


Figura 3.23: Funzione densità di probabilità Gomito Prono/Supinazione con moda - 15.00.

Collo – Uomini

La distribuzione che descrive meglio la Flesso/Estensione del Collo è la Weibull a 3 parametri è il RRP è spostato verso l’Estensione.

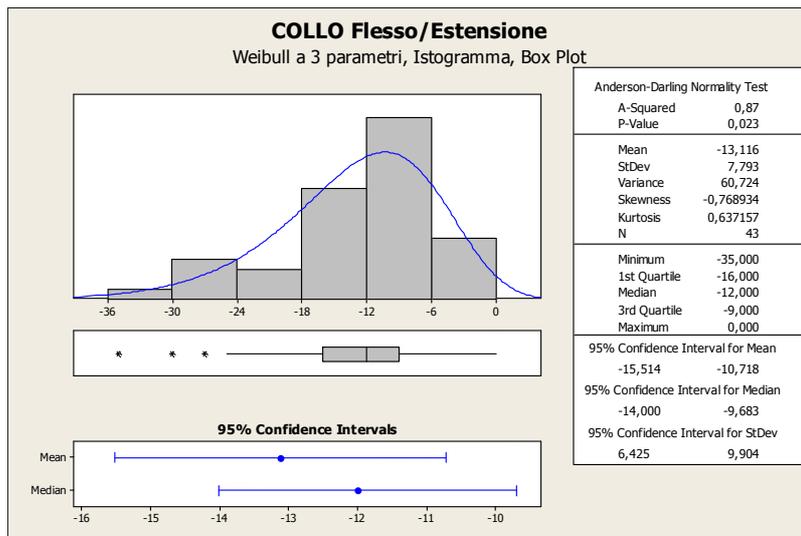


Figura 3.24: Sommario Grafico

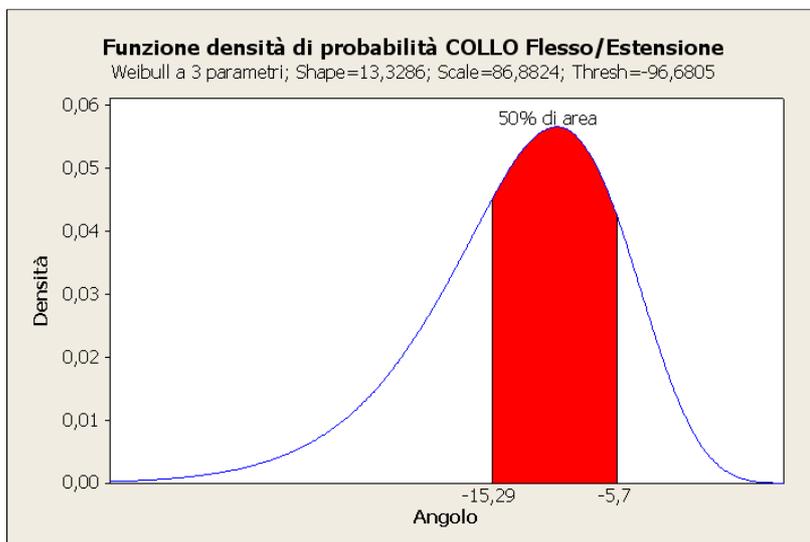


Figura 3.25: Funzione densità di probabilità Collo Flesso/Estensione con moda 10.5.

La Flessione laterale del Collo è descritta bene da una curva Normale è il RRP è leggermente spostato verso la flessione sinistra.

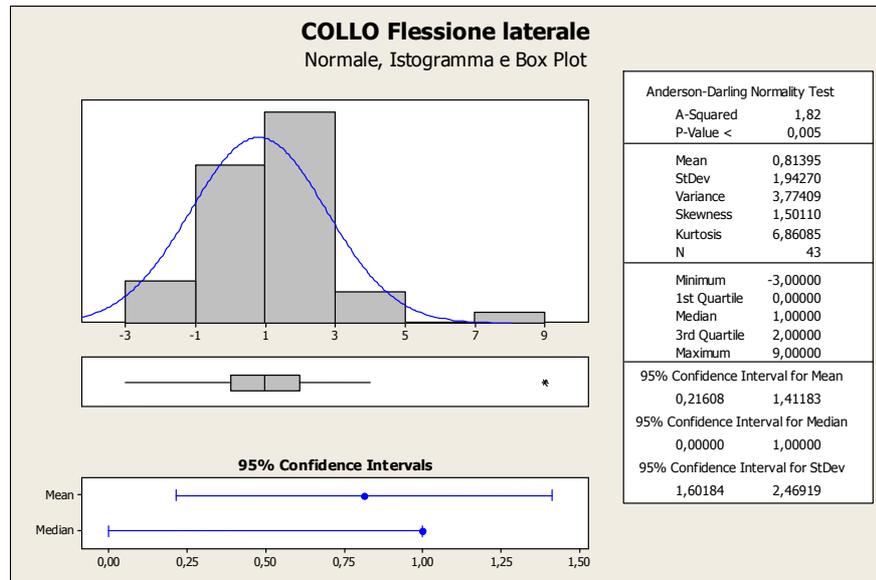


Figura 3.26: Sommario Grafico

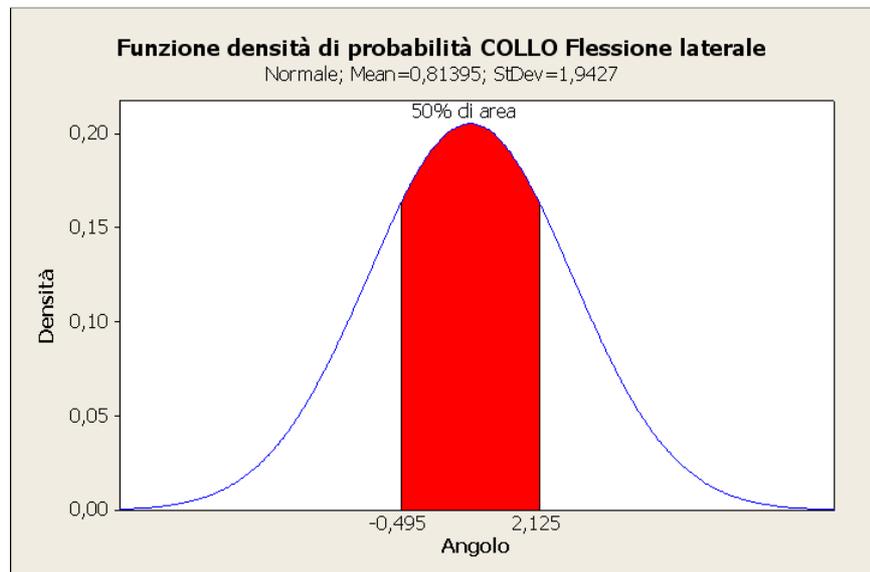


Figura 3.27: Funzione densità di probabilità Collo Flessione laterale con moda 0.81.

La rotazione del Collo è descritta bene da una distribuzione continua Weibull a 3 parametri e il RRP è quasi simmetrico rispetto allo zero geometrico.

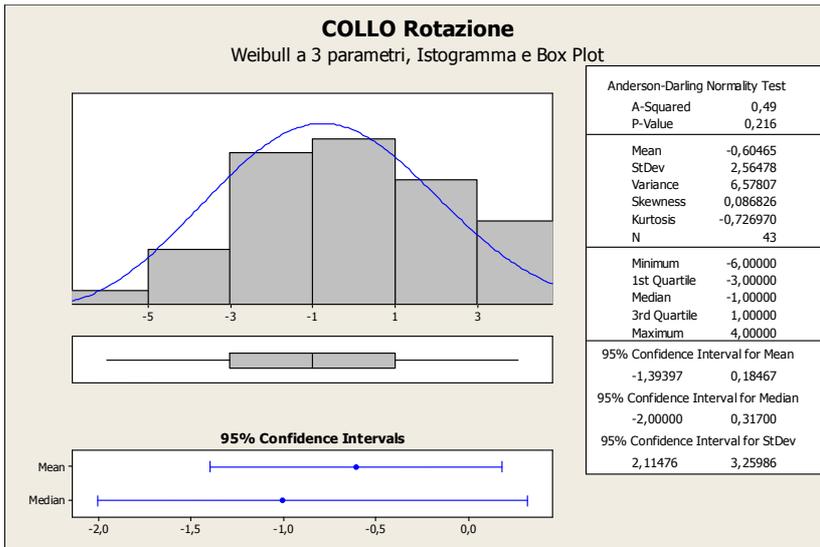


Figura 3.28: Sommario Grafico

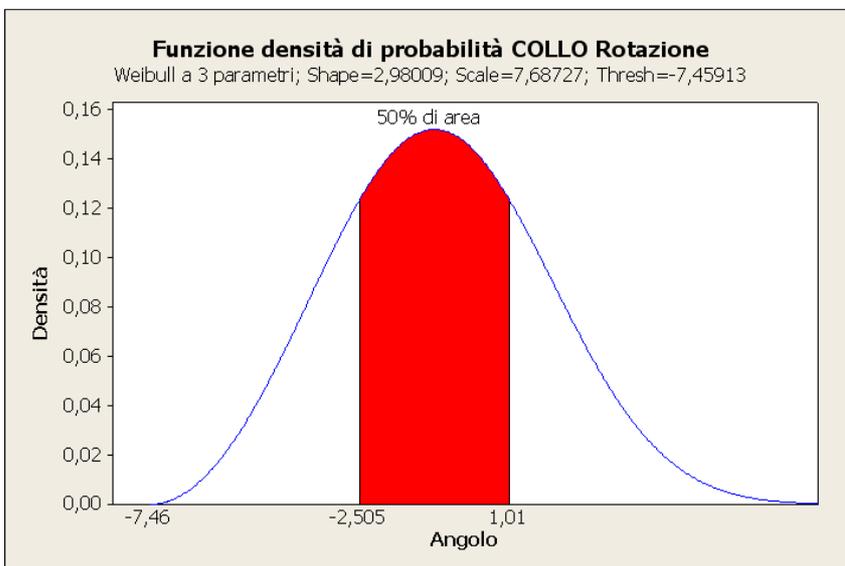


Figura 3.29: Funzione densità di probabilità Collo Rotazione con moda -0.75.

Collo – Donne

In analogia a quanto detto per gli uomini, anche in tal caso si sceglie una distribuzione Weibull a 3 parametri.

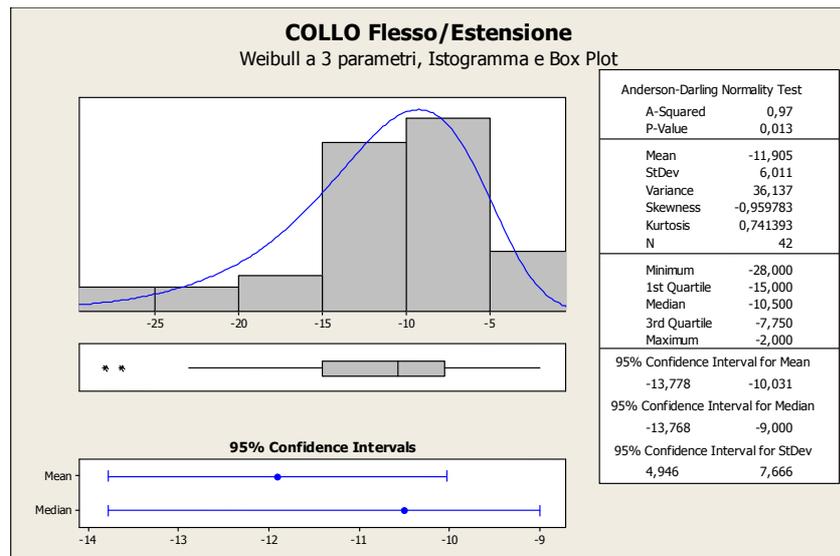


Figura 3.30: Sommario Grafico

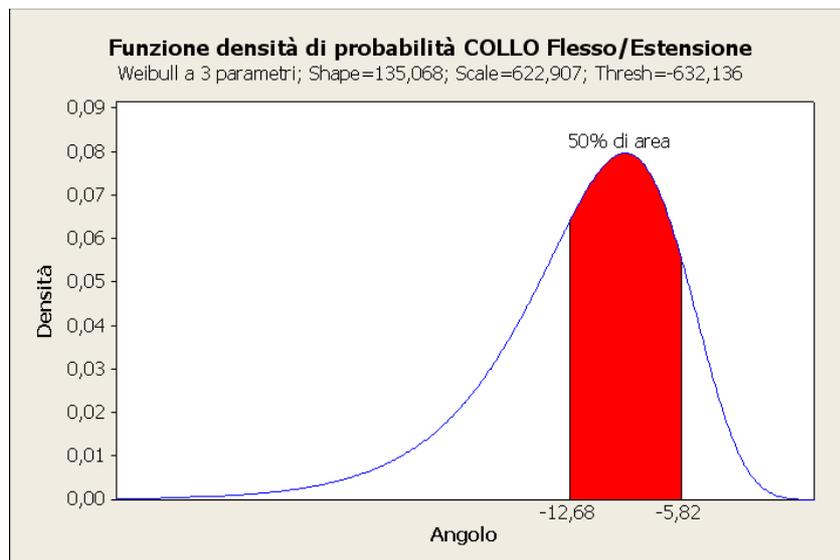


Figura 3.31: Funzione densità di probabilità Collo Flesso/Estensione con moda -9.3.

La Flessione laterale del Collo è modellata bene da una curva Normale.

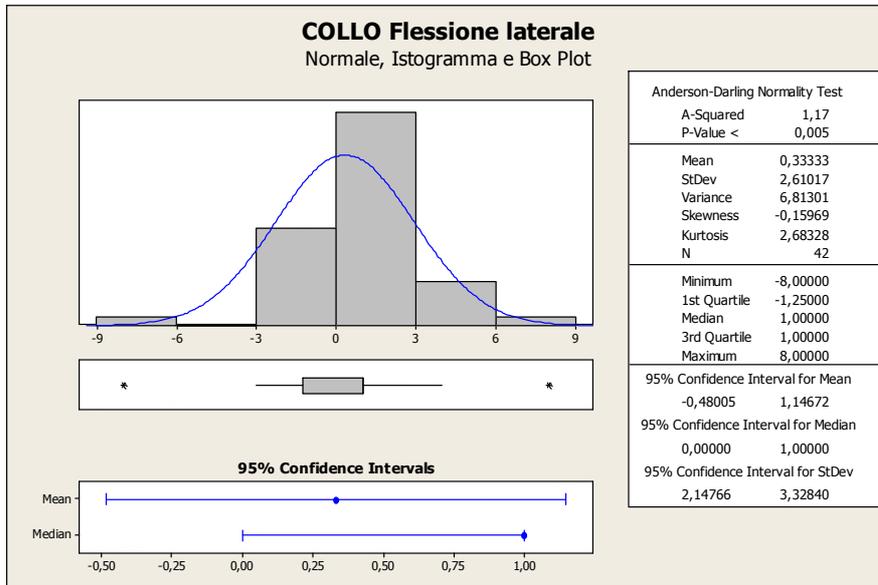


Figura 3.32: Sommario Grafico

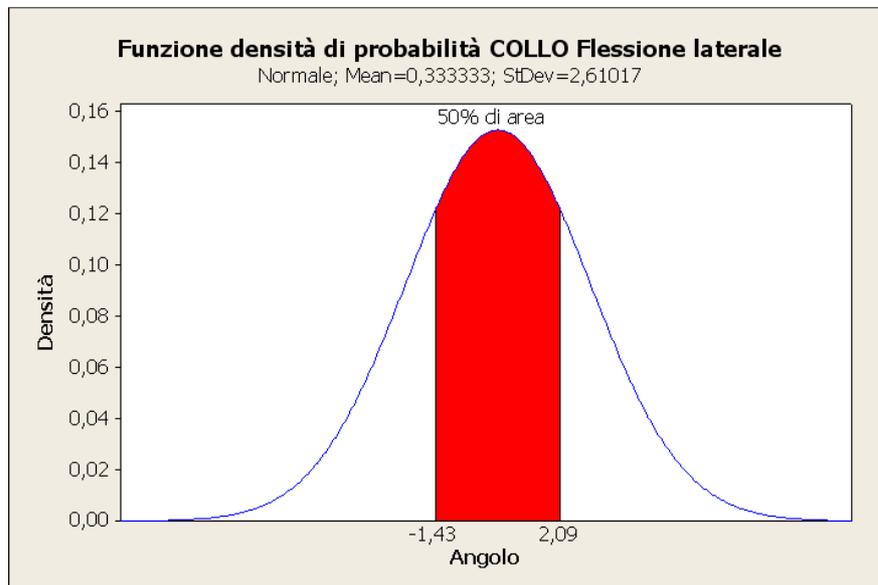


Figura 3.33: Funzione densità di probabilità Collo Flessione laterale con moda 0.33.

Anche per la rotazione del Collo del campione femminile è stata scelta una distribuzione continua Weibull a 3 parametri.

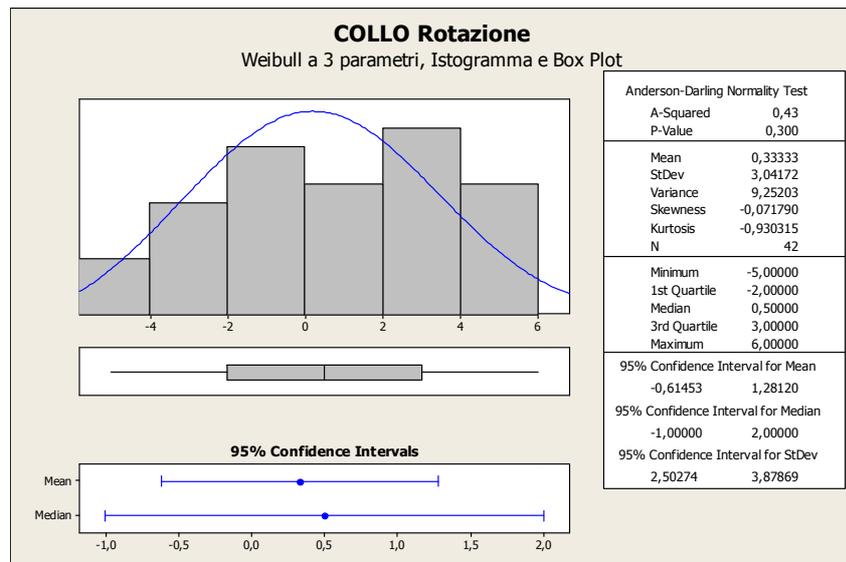


Figura 3.34: Sommario Grafico

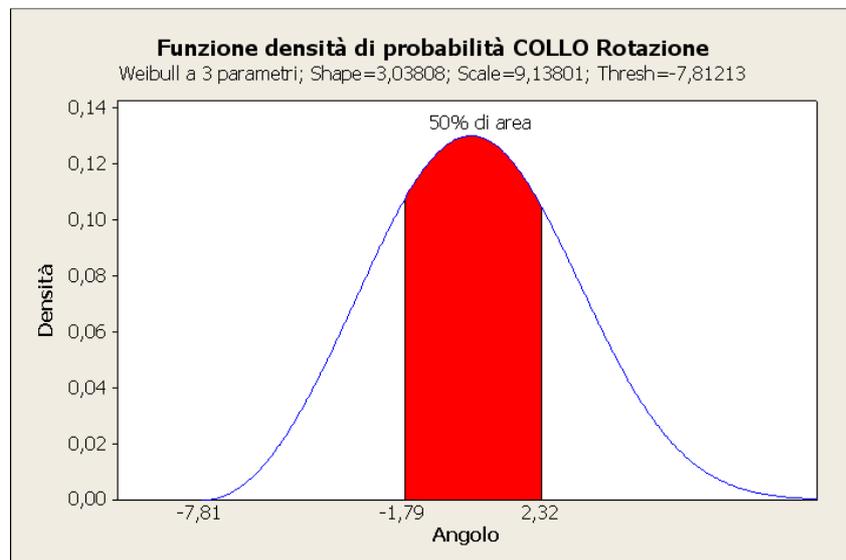


Figura 3.35: Funzione densità di probabilità Collo Rotazione con moda 0.25.

Caviglia – Uomini

La Flessione Dorso/Plantare della caviglia ha una distribuzione LogoNormale ed essendo , nella prova, sospesa e soggetta alla forza di gravità, ha un RRP unidirezionale tendente alla flessione plantare.

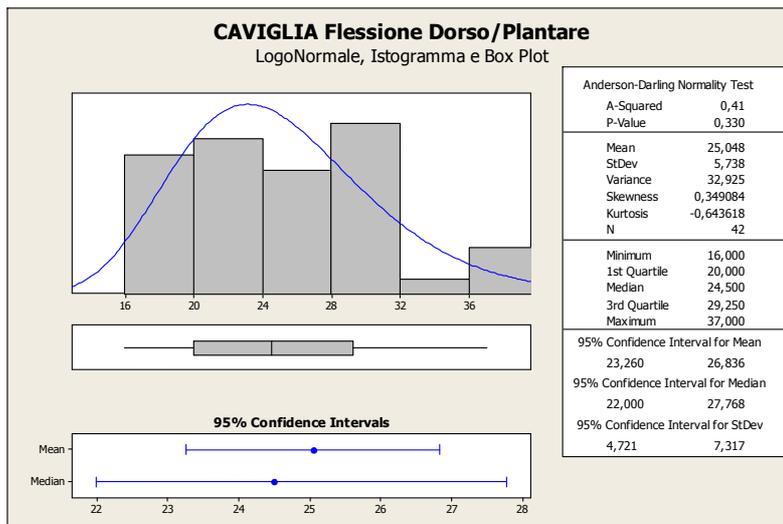


Figura 3.36: Sommario Grafico

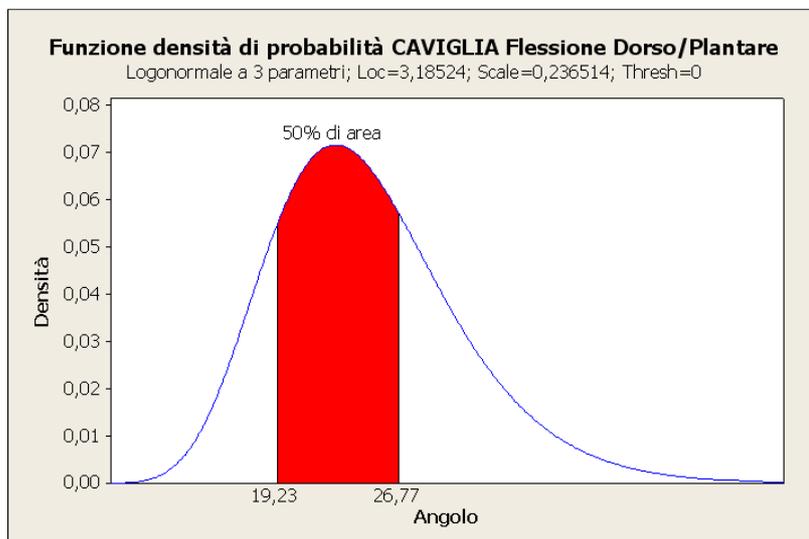


Figura 3.37: Funzione densità di probabilità Caviglia Flessione Dorso/Plantare con moda 23.00.

Caviglia – Donne

La distribuzione continua Weibull descrive bene l'andamento del RRP della caviglia. Le considerazioni sulla unidirezionalità sono identiche a quelle fatte per la caviglia degli uomini.

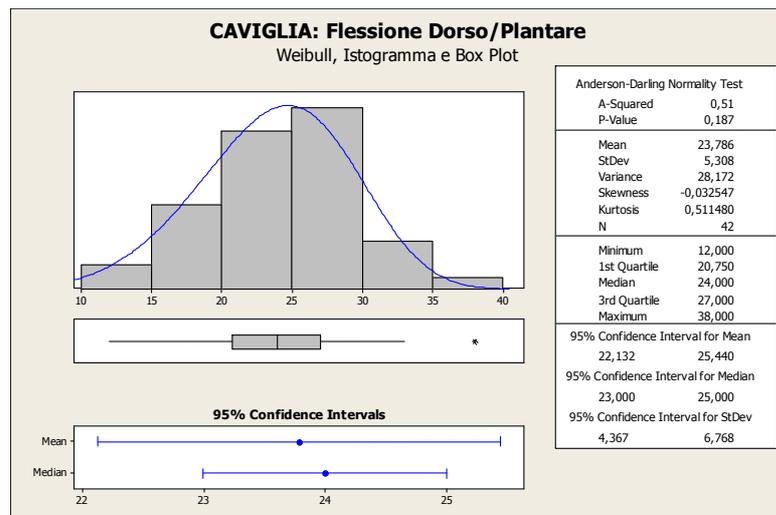


Figura 3.38: Sommario Grafico

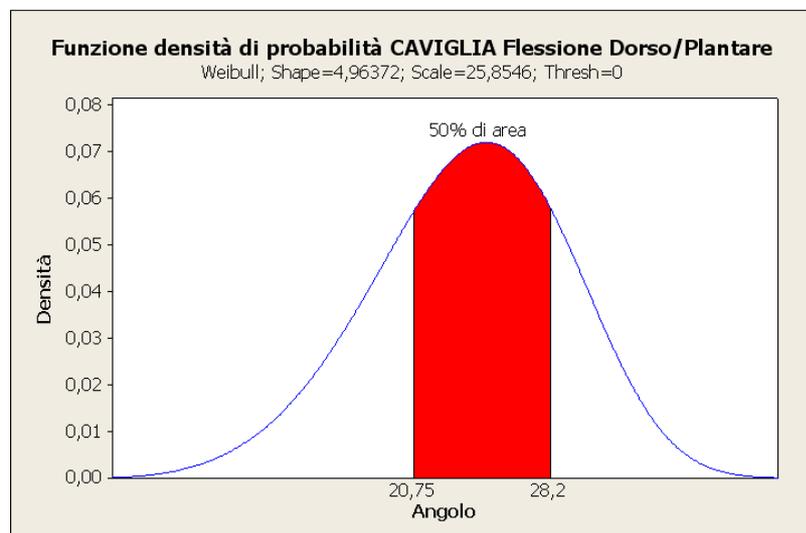


Figura 3.39: Funzione densità di probabilità Caviglia Flessione Dorso/Plantare con moda 24.50.

Tabelle riassuntive degli RRP

Dall'analisi statistica fatta è ora possibile stabilire i valori dei RRP. Inoltre per il gomito ed il collo si pervengono, da bibliografia, ulteriori valori per il RRP:

- per il collo i valori bibliografici di Flessione laterale e Rotazione, eseguiti con prove sperimentali diverse dal metodo fotografico, sono pressappoco simili e comparabili.
- Per quanto concerne la Flesso/Estensione invece si fanno notare dei valori diversi, probabilmente dovuti al fatto che la prova del H. Christensen & N. Nilsson è stata eseguita con un elettrogoniometro calibrato su uno zero differente rispetto a quello scelto per la prova fotografica (per i dettagli vi si riporta alla pubblicazione scientifica²⁰). E' possibile notare che a il range angolare della prova fotografica e di quella di Christensen & N. Nilsson è pressappoco lo stesso.

Le tabelle che seguono mostrano i vari intervalli di RRP scelti. Tale range, come detto nel paragrafo precedente, sono scelti prendendo gli estremi del 50% dell'area a cavallo della moda, sia per il campione maschile che per quello femminile.

Il range finale del RRP di entrambi i campioni è scelto prendendo il range che ingloba il minimo valore, come estremo inferiore, ed il massimo valore, come estremo superiore, di entrambe le popolazioni. Tale assunzione è resa possibile dalla estrema somiglianza dei valori relativi ai due sessi. Nei grafici è compreso anche il parametro *polso* con le considerazioni fatte precedentemente. Va notato che gli RRP sono tutti definiti nell'intorno dello zero geometrico dell'articolazione.

²⁰ Henrik W. Christensen, DC, MD, and Niels Nilsson, DC, MD, PhD, "*The ability to Reproduce the Neutral Zero Position of the Head*", 1999.

Spalla

SPALLA	Campione	Fles./Est.	Abd./Add.
	Uomini	da 0.48° a 2.445°	da 6.64° a 9.98°
	Donne	da 0.365° a 2.56°	da 2.232° a 5.94°

NOTE: La rotazione è positiva se verso l'esterno, negativa verso l'interno.

Tabella 3.13: RRP Spalla.

I valori del RRP per la *spalla* sono dunque:

- Flessione/Estensione: da 0.365° a 2.56°.
- Abduzione/Adduzione: da 2.232° a 9.98°.

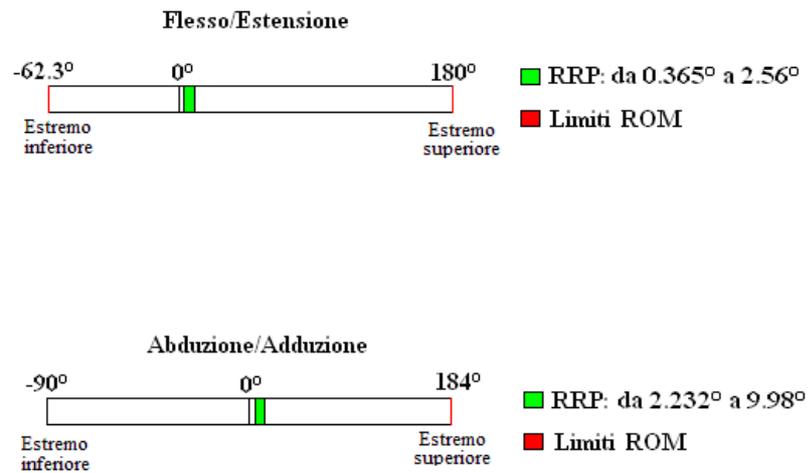


Figura 3.40: RRP e ROM SPALLA

Gomito

GOMITO	Campione	Fles./Est.	Prono/Sup.
	Uomini	da 18.86° a 24.1°	da -19.38° a -9.539°
	Donne	da 11.68° a 19.5°	da -21.44° a -8.3°

NOTE: I valori negativi di flessione/estensione si riferiscono ad iper - estensioni.

Pronazione (verso l'interno) negativa, supinazione (verso l'esterno) positiva.

Tabella 3.14: RRP Gomito.

I valori del RRP per il *gomito* sono dunque:

- Flessione/Estensione: da 11.98° a 24.1°.
- Prono/Supinazione: da -21.44° a -8.3°.

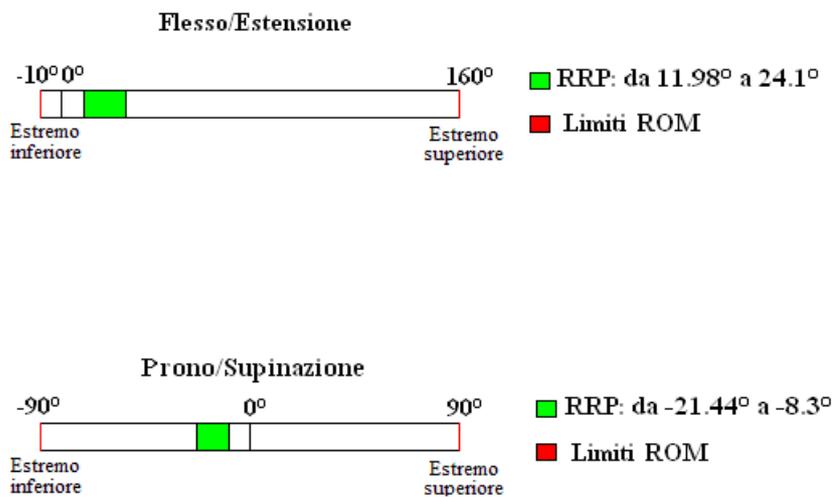


Figura 3.41: RRP e ROM GOMITO

Collo

COLLO	Campione	Fles./Est.	Fles,Lat.	Rotaz.
	Uomini	da -15.29° a -5.7°	da 0.415° a 2.125°	da -2.505° a 1.01°
	Donne	da -12.68° a -5.82°	da -1.43° a 2.09°	da -1.79° a 2.32°
	H. Christensen & N. Nilsson	da -7.2° a 0°	da 0° a 2.9°	da 0° a 3.3°

NOTE: Valori di flessione negativi, estensione positivi.

Valori di flessione laterale L positivi, R negativi.

Valore di rotazione L negativa, R positiva.

Tabella 3.15: RRP Collo.

I valori del RRP per il *collo* sono dunque:

- Flessione/Estensione: da -7.2° a 0°²¹.
- Flessione laterale: da -1.43° a 2.9°.
- Rotazione: da -2.505° a 3.3°.

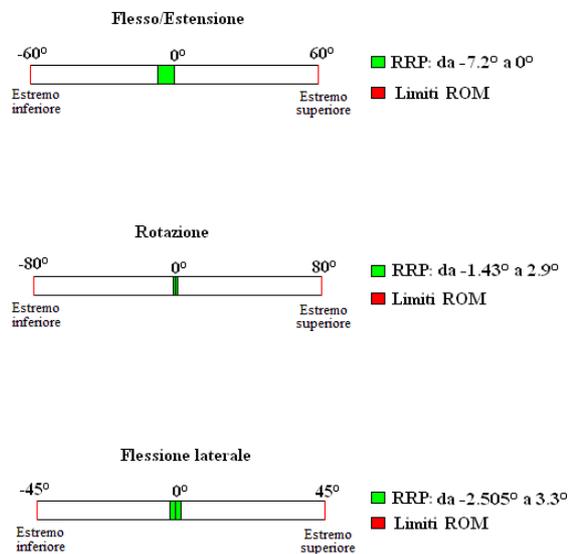


Figura 3.42: RRP e ROM COLLO

²¹ Range di valori rispetto al riferimento del Christensen & N. Nilsson

Polso

POLSO	Campione	Fles./Est.	Dev. Radio/Ulnare
	Uomini	0°	0°
	Donne	0°	0°

**NOTE: I valori negativi di flessione/estensione si riferiscono ad iper - estensioni.
Pronazione (verso l'interno) negativa, supinazione (verso l'esterno) positiva.**

Tabella 3.16: RRP Polso.

I valori del RRP per il *polso* sono dunque:

- Flessione/Estensione: intorno di 0°.
- Deviazione Radio/Ulnare: intorno di 0°.

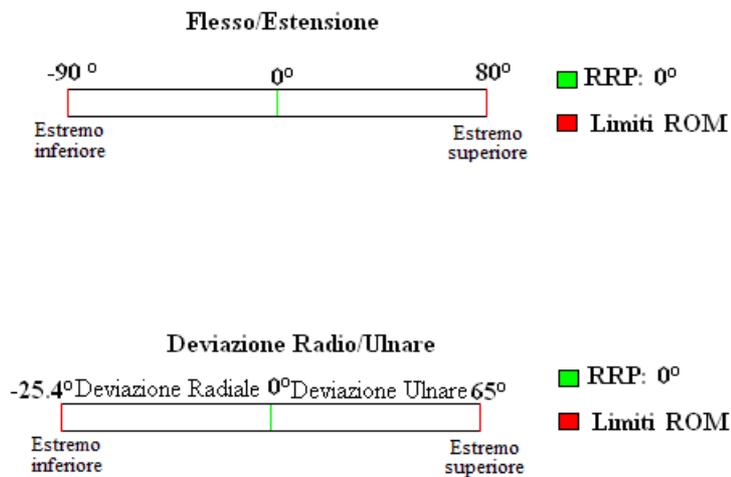


Figura 3.43: RRP e ROM POLSO

3.4 Dipendenza tra i moti di rotazione laterale e flessione frontale del collo

Da una più accurata analisi dei parametri che regolano il comfort del collo, si è riscontrata una forte influenza tra i gradi di libertà di flessione frontale e rotazione laterale. Tale fenomeno, già conosciuto in ambito medico, lo si è riscontrato, anche sperimentalmente, nella variazione del ROM della flessione frontale al variare della rotazione, e viceversa.

In questo paragrafo ci si propone di definire un modello dettagliato, capace di determinare il comfort nelle diverse posizioni che assume il capo, in seguito ai moti del collo di flessione frontale e rotazione laterale, trascurando la flessione laterale, in quanto meno influente degli altri due movimenti analizzati.

La sostanziale differenza tra l'approccio che seguirà, e quello proposto in precedenza, è nel fatto stesso di determinare, in maniera univoca, un indice di comfort generale per il collo, che considera i due moti suddetti in modo accoppiato – andando oltre l'ordinaria analisi del problema posturale che, comunemente, considera i movimenti in modo disaccoppiato.

Nella pratica il collo è una delle “articolazioni” più frequentemente soggette a posizioni non ottimali: del resto, la cosiddetta cervicale (*cervicalgia*) è un disturbo molto diffuso, che prende forma in un dolore del collo che si irradia alle spalle (trapezi) e, nei casi più gravi, alle braccia, rendendo difficoltosi i movimenti.

Infatti, è sufficiente uno sforzo non adeguato a livello del collo, che può essere istantaneo e brusco o prolungato, a generare una lesione nelle strutture meccaniche situate nella regione delle prime vertebre della colonna: si tratta di muscoli, di legamenti, di dischi intervertebrali e delle articolazioni posteriori che garantiscono il movimento. Insomma, uno stress meccanico esagerato e non corretto, rispetto a quello che queste strutture possono sopportare, provoca dolore, che nella maggioranza dei casi, fra l'80 e l'85%, è frutto di un'alterazione non grave. In una situazione di questo tipo, spesso, si inserisce lo stress che, provocando una contrattura della muscolatura, favorisce l'insorgenza di micro-lesioni.

Problemi di questo tipo non sono affatto infrequenti, infatti basti pensare che anche durante la vita quotidiana siamo spesso costretti a posture

rigide, quindi le richieste funzionali a carico del collo sono troppo spesso inadeguate: ad esempio, nell'utilizzo di un videoterminale, si tende ad allungare il collo per avvicinarsi con lo sguardo allo schermo. Situazioni di questo genere, però, portano inevitabilmente ad una contrattura della muscolatura, che sempre più frequentemente si traducono in uno sforzo prolungato. Una stasi esagerata provoca, di conseguenza, una sofferenza muscolare alla colonna cervicale a causa della carenza di ossigenazione, in quanto l'ossigeno deve arrivare al muscolo, attraverso il sangue, per mezzo di un meccanismo di pompa, che per funzionare a dovere necessita del movimento frequente del muscolo, in un processo di contrazione e rilasciamento.²²

Scelta del campione

Il campione scelto per questa analisi è del tutto omogeneo rispetto a quello utilizzato nelle precedenti fasi sperimentali:

- età compresa fra i 20 e i 40 anni;
- altezza compresa fra 1,50 e 1,90 metri;
- assenza di patologie dell'apparato muscolo-scheletrico;
- distinzione fra i sessi.

Le attività sperimentali sono, quindi, state condotte su un numero totale di sessanta individui, distinguendo il campione equamente per sesso, di modo da eseguire la sperimentazione su trenta uomini e trenta donne. Secondo questo criterio, si ci è assicurati, in effetti, un numero di soggetti sufficientemente elevato da poter ritenere i risultati ottenuti attendibili in modo soddisfacente.

Organizzazione della sperimentazione

Ricordando che lo scopo è l'analisi dei movimenti di *Flessione Frontale* (FF) e di *Rotazione Laterale* (RL) del collo in modo accoppiato, ovvero nell'osservazione di diverse posizioni del capo nello spazio, di modo da

²² Stefano Negrini, ISICO: Istituto Scientifico Italiano Colonna vertebrale

ottenere per ogni valore di rotazione laterale un determinato valore di *Rest Position* (RP).

In coerenza con il criterio generale seguito da tutti i metodi precedentemente descritti, si è deciso di considerare, per la Flessione Frontale:

- positivi gli angoli che descrivono un movimento verso l'alto (estensione) rispetto al piano di riferimento, che passa dalla base dell'orecchio, parallelamente al pavimento;
- negativi gli angoli che descrivono un movimento verso il basso (flessione) rispetto al piano di riferimento.

Mentre, per la Rotazione Laterale si sono considerati:

- positivi gli angoli che descrivono un movimento verso destra rispetto al piano di riferimento, che passa simmetricamente per il capo, perpendicolarmente al pavimento;
- negativi gli angoli che descrivono un movimento verso sinistra rispetto al piano di riferimento.

Per valutare con precisione la posizione esatta del capo del soggetto nello spazio, si è modificato il laboratorio di esame in alcuni punti salienti qui di seguito elencati. L'immagine che segue (figura 5.46), delinea in forma stilizzata quanto descritto:

- lì dove andava ospitato l'attore, in piedi, è stata rappresentato sul pavimento un ventaglio di riferimenti, che spazia da -40° a $+40^\circ$ di Rotazione Laterale, con intervalli di 10° ;
- in esatta corrispondenza del punto occupato dall'attore, è stata posizionata una webcam in alto, assicurandola sulla parete con un apposito sostegno e con l'obiettivo proiettato verso il basso, di modo da supervisionare efficacemente la testa del soggetto rispetto al riferimento sul pavimento;
- una seconda webcam, è stata assicurata ad un'asta di legno dell'altezza di 1,80 metri tramite un sostegno mobile a slittamento: in questo modo, è stato possibile variare velocemente e facilmente l'altezza della camera in relazione a quella del soggetto, da riprendere dal lato profilo;
- a partire dalla stessa origine dei riferimenti principali, sono stati ricavati altri otto riferimenti, formanti angoli retti con i primi: in questo modo, si è facilitata la posizione dell'asta di legno per un'ottimale ripresa da parte della seconda webcam del profilo del

soggetto, assicurando in ogni situazione una visione perfetta di 90° del capo;

- le due camere, l'una per monitorare l'esatta posizione dell'attore, l'altra per l'acquisizione vera e propria delle immagini utili alla sperimentazione, sono state collegate tramite prolunghe USB ad un laptop e, per il loro utilizzo simultaneo, si ci è affidati al software *ManyCam Virtual Webcam 2.6.55*, che consente una gestione contemporanea di più apparecchi per la cattura video.

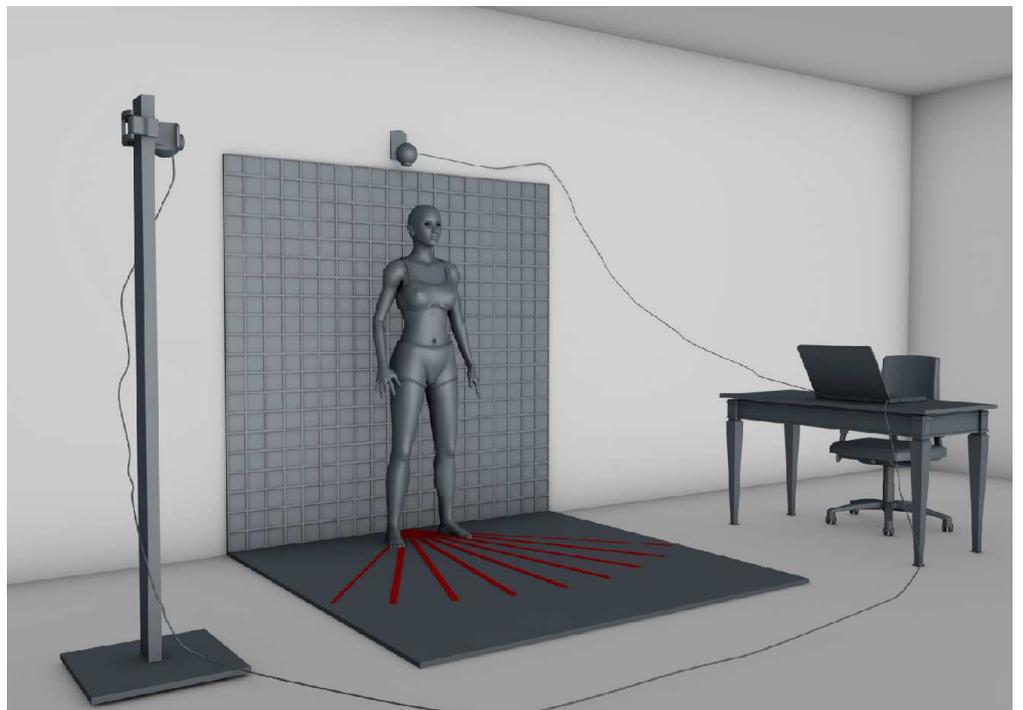


Figura 3.45: laboratorio d'esame

Per quel che concerne la procedura, ripetuta per i sessanta soggetti sottoposti alla sperimentazione, essa può essere riassunta nei punti seguenti.

1. All'attore è richiesto di posizionarsi nel punto opportuno, lì dove si diramano i riferimenti per le angolazioni di Rotazione Laterale e lì dove la prima camera è esattamente collocata, per catturare e monitorare le immagini del soggetto dall'alto.

2. All'attore è richiesto di assumere una posizione corretta all'impiedi, rilassando i muscoli delle braccia e tenendo i piedi paralleli fra loro e leggermente distanziati, in una posizione naturale, di modo da non inficiare i risultati della sperimentazione.
3. All'attore viene richiesto di spostare il capo verso destra, in sola Rotazione Laterale, di un angolo di 10° , sino alla posizione di $+10^\circ$ in RL. Quindi, gli è altresì richiesto di assumere una posizione di Flessione Frontale quanto più comoda (neutra) possibile, ovvero di porsi intuitivamente in una condizione di Rest Position.



Figura 3.46: Rest Position durante un esperimento

4. A questo punto, è richiesta all'attore una prima valutazione di comfort circa la posizione assunta (indicheremo nel seguito del paragrafo, con maggior dettaglio, i criteri e la scala di valori per i giudizi di comfort), quindi gli si chiede – restando nella posizione di $+10^\circ$ in RL – di sollevare il capo, allontanandolo dunque dalla Rest Position della Flessione Frontale, sino ad un punto arbitrario, in cui dovesse avvertire una condizione di comfort inferiore a quella percepita in condizioni di Rest Position. Nella nuova posizione così raggiunta, detta *primo step superiore*, è richiesto un nuovo giudizio di comfort, presumibilmente inferiore al precedente. Fatto ciò, è richiesto all'attore di sollevare ulteriormente il capo, sino ad una nuova posizione arbitraria, in cui dovesse avvertire una condizione di comfort peggiore del primo step superiore: anche in questa nuova condizione, detta *secondo step superiore*, gli sarà richiesto un giudizio di comfort.

5. Dopo aver effettuato, col capo, i due steps superiori, è richiesto all'attore di sollevare ulteriormente la testa sino al massimo consentito senza produrre uno sforzo non sopportabile. Questa nuova ed estrema posizione è la *Massima Escursione Superiore* (MES) ed identificherà il limite massimo superiore dal Range di movimento per l'accoppiamento "Flessione Frontale – Rotazione Laterale a +10°". Anche in questa posizione, è richiesto un nuovo giudizio di comfort.



Figura 3.47: Massima Escursione Superiore durante un esperimento

6. Al termine della valutazione dei due steps superiori e della MES, è richiesto all'attore di tornare nella condizione di Rest Position di Flessione Frontale – pur restando a +10° in Rotazione Laterale. A questo punto, si invita il soggetto a flettere il capo sino ad identificare il *primo step inferiore* ed il *secondo step inferiore*, seguendo le medesime modalità indicate nel punto "4.". Quindi, gli si chiede di abbassare la testa ulteriormente sino al minimo consentito, senza produrre uno sforzo non tollerabile. Questa nuova ed estrema posizione è la *Massima Escursione Inferiore* (MEI) ed identificherà il limite massimo inferiore del Range di movimento per il medesimo accoppiamento indicato nel punto "5." e, come nel punto precedente, sarà associato ad un nuovo giudizio di comfort.



Figura 0.48: Massima Escursione Inferiore durante un esperimento

7. Dopo aver dato i sette giudizi corrispondenti alla posizione di Rotazione Laterale $+10^\circ$ e alle rispettive condizioni di Flessione Frontale (Rest Position, primo e secondo step superiore, Massima Escursione Superiore, primo e secondo step inferiore, Massima Escursione Inferiore), viene invitato il soggetto a ruotare lateralmente il capo di altri 10° , sino a portarsi nella posizione di $+20^\circ$ in RL.
8. Il procedimento viene ripetuto otto volte, in corrispondenza dei valori di Rotazione Laterale pari a: $+10^\circ$, $+20^\circ$, $+30^\circ$ e $+40^\circ$ per le rotazioni verso destra; -10° , -20° , -30° e -40° per le rotazioni verso sinistra. Di conseguenza, una singola sperimentazione comporterà lo studio di otto posizioni in Rotazione Laterale e di sette posizioni in Flessione Frontale, accoppiate fra loro, per un totale di 56 posizioni differenti per ogni soggetto sottoposto all'esperimento.

Come si può notare dal punto "8." del procedimento, si è deciso di non prendere in considerazione l'angolo neutro di Rotazione Laterale ($+0^\circ$), in quanto l'accoppiamento "RL-FF" in questo caso non differirebbe in nulla dalle sperimentazioni descritte precedentemente con i valori disaccoppiati, trattandosi di una condizione in cui la Rotazione Laterale è in una posizione neutra, e come tale non condizione la RP della Flessione Frontale.

Presentazione dei risultati

La fase di valutazione delle RP è stata condotta contemporaneamente alla fase di valutazione del comfort posturale, la cui descrizione rimandiamo ai prossimi paragrafi. Per evitare inutili ripetizioni, solo per i parametri analizzati nel seguente paragrafo, anticiperemo alcuni risultati poi successivamente oggetto di approfondimento.

Con lo scopo di rendere il modello quanto più aderente alla realtà, si considereranno come valori della MES e della MEI della Flessione Frontale in corrispondenza alla Rest Position laterale (+0° di Rotazione Laterale) i risultati degli studi di *Lantz, Chen e Buch*²³. Da questo lavoro di ricerca, emergono dei valori di ROM in Rest Position laterale pari a:

- MES = +56°
- MEI = -60°

Analizziamo dapprima le tabelle di riepilogo per la Rest Position della flessione frontale del campione maschile, al variare della rotazione laterale.

<i>RL</i>	10°		20°		30°		40°	
	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>
<i>Media</i>	9,27	-4,07	8,70	-2,70	8,00	-2,43	7,07	-2,03
<i>Media Tronc.</i>	9,38	-3,38	8,62	-3,05	8,00	-2,67	7,00	-2,48
<i>Moda</i>	10	-5	9	-7	8	-3	8	0
<i>Mediana</i>	10	-3,5	9	-4	8	-3	7	-1,5
<i>RL</i>	-10°		-20°		-30°		-40°	
	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>	<i>Comfort</i>	<i>FF</i>
<i>Media</i>	9,20	2,10	8,20	0,23	7,23	-0,70	6,63	-0,57
<i>Media Tronc.</i>	9,24	2,24	8,24	-0,24	7,19	-0,67	6,67	-1,05
<i>Moda</i>	10	-2	8	4	8	-8	7	5
<i>Mediana</i>	9,5	2,5	8	-2	7	0,5	7	-1,5

Tabella 3.18: Uomini: Indici statistici della Rest Position

²³ *Lantz, Chen e Buch*: “Clinical validity and stability of active and passive cervical range of motion with regard to total and unilateral uniplanar motion”.

Si può notare come, nella condizione di Rest Position maschile, la media, nonché la media troncata al 75% dei valori dei giudizi di comfort del campione interrogato, sia maggiore (per pari valori di angolo di Rotazione Laterale) nei movimenti di rotazione verso destra, rispetto a quelli verso sinistra.

Il risultato è tanto più significativo, in quanto si registra tale differenza per ognuno dei quattro differenti angoli assoluti di rotazione (10°, 20°, 30° e 40°), con una chiara preferenza per le rotazioni positive, ovvero verso destra.

<i>RL</i>	10°		20°		30°		40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	9,43	-3,10	9,00	-3,30	8,23	-4,80	7,37	-3,60
<i>Media Tronc.</i>	9,54	-3,21	9,04	-3,42	8,29	-4,58	7,29	-3,50
<i>Moda</i>	10	-4	9	-6	8	-6	8	-4
<i>Mediana</i>	10	-4	9	-4,5	8	-5,5	7	-3
<i>RL</i>	-10°		-20°		-30°		-40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	9,10	-2,43	8,57	-2,47	7,80	-2,20	6,87	-2,50
<i>Media Tronc.</i>	9,17	-2,79	8,58	-2,75	7,75	-2,46	6,83	-3,08
<i>Moda</i>	9	-6	9	-4	7	-4	7	-6
<i>Mediana</i>	9	-4	9	-4	8	-4	7	-4

Tabella 3.19: Donne: Indici statistici per la Rest Position

La *Tabella 5.19* illustra in modo riassuntivo i risultati degli esperimenti condotti sul campione femminile in condizioni di Rest Position, mettendo ancor più in evidenza le stesse particolarità riscontrate nel campione maschile. Nel confrontare i risultati fra uomini e donne, non si apprezzano rilevanti differenze.

Passiamo all'analisi delle tabelle riassuntive degli indici statistici per le condizioni di Massima Escursione Superiore, dapprima nel campione maschile, quindi in quello femminile.

<i>RL</i>	10°		20°		30°		40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	3,50	44,33	2,80	39,83	2,73	34,63	2,03	31,20
<i>Media Tronc.</i>	3,42	44,50	2,71	40,38	2,63	35,21	1,88	32,13
<i>Moda</i>	3	49	1	41	1	35	1	35
<i>Mediana</i>	3	45	3	41	2,5	35	2	33
<i>RL</i>	-10°		-20°		-30°		-40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	3,93	47,37	3,03	46,37	2,40	41,90	1,90	36,10
<i>Media Tronc.</i>	3,96	47,92	3,04	47,33	2,33	42,79	1,71	36,46
<i>Moda</i>	3	55	2	49	2	51	1	40
<i>Mediana</i>	4	49,5	3	47,5	2	42,5	1,5	38

Tabella 3.20: Uomini: Indici statistici per la Massima Escursione Superiore

<i>RL</i>	10°		20°		30°		40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	3,50	44,57	3,17	39,97	2,83	36,83	2,00	33,97
<i>Media Tronc.</i>	3,50	44,75	3,00	40,38	2,67	37,04	1,79	34,25
<i>Moda</i>	3	48	2	37	1	40	1	39
<i>Mediana</i>	3	45,5	3	40,5	3	37	1,5	34
<i>RL</i>	-10°		-20°		-30°		-40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	4,30	44,77	3,73	40,90	2,60	38,83	1,83	34,23
<i>Media Tronc.</i>	4,29	44,54	3,63	40,83	2,38	38,54	1,58	34,21
<i>Moda</i>	3	46	2	40	1	40	1	34
<i>Mediana</i>	4	45,5	3	41	2,5	39	1	34

Tabella 3.21: Donne: Indici statistici per la Massima Escursione Superiore

Si può facilmente osservare che la tendenza a privilegiare le rotazioni destre rispetto alle speculari sinistre è, nel caso della posizione estrema di Massima Escursione Superiore, una condizione molto meno marcata e netta. Al contrario, vi è grande convergenza, anche fra i due sessi, nel valutare nel complesso le diverse posizioni di MES, in base agli angoli di rotazione, con giudizi molto bassi, nell'intorno inferiore dei 3/10. Risultato ancora più significativo per quel che concerne l'angolo di Flessione Frontale nelle condizioni di MES: infatti, emerge un chiaro addensamento dei valori intorno ad un angolo di +40°.

<i>RL</i>	10°		20°		30°		40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	3,87	53,47	3,40	50,10	3,03	47,23	2,73	43,17
<i>Media</i>		-		-		-		-
<i>Tronc.</i>	3,67	53,83	3,38	50,42	2,92	47,88	2,67	43,46
<i>Moda</i>	4	-55	3	-54	2	-46	2	-37
<i>Mediana</i>	4	-54,5	3	-51,5	3	-47,5	2,5	-42
<i>RL</i>	-10°		-20°		-30°		-40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	3,77	47,00	3,07	46,40	2,60	42,37	2,07	38,77
<i>Media</i>		-		-		-		-
<i>Tronc.</i>	3,83	46,96	3,00	46,63	2,50	42,67	1,88	38,58
<i>Moda</i>	5	-57	2	-44	1	-45	1	-34
<i>Mediana</i>	4	-48	3	-46	2	-44	1,5	-39,5

Tabella 3.22: Uomini: Indici statistici per la Massima Escursione Inferiore

<i>RL</i>	10°		20°		30°		40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	4,43	49,53	3,90	46,20	3,47	44,67	3,17	40,50
<i>Media</i>		-		-		-		-
<i>Tronc.</i>	4,38	50,04	3,88	46,38	3,46	44,79	3,13	40,63
<i>Moda</i>	3	-49	5	-44	2	-43	3	-41
<i>Mediana</i>	4	-50	4	-46	3	-44,5	3	-41
<i>RL</i>	-10°		-20°		-30°		-40°	
	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>	<i>Comfo</i>	<i>Angol</i>
	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>	<i>rt</i>	<i>o</i>
<i>Media</i>	4,67	46,53	4,00	44,50	2,97	41,27	2,20	36,77
<i>Media</i>		-		-		-		-
<i>Tronc.</i>	4,67	47,13	4,13	44,71	2,83	41,58	2,04	36,75
<i>Moda</i>	4	-48	5	-52	2	-44	1	-39
<i>Mediana</i>	5	-48,5	4	-44	3	-42	2	-36,5

Tabella 3.23: Donne: Indici statistici per la Massima Escursione Inferiore

Dall'analisi delle tabelle riassuntive degli indici statistici per le condizioni di Massima Escursione Inferiore, dapprima nel campione maschile, quindi in quello femminile, emerge una condizione sostanzialmente differente a quella riscontrata nel caso della MES.

Infatti, nel caso della MEI – come del resto si era già osservato per la RP – la preferenza del campione, sia maschile che femminile, per le rotazioni destre è reso in maniera più netta rispetto a quanto riscontrato per la MES, evidenziando per quasi tutte le posizioni giudizi di comfort nettamente migliori. Inoltre, a dispetto di quanto osservato per l'escursione superiore, in quella inferiore si registrano dei giudizi di comfort globali lievemente maggiori, sia per gli uomini che per le donne. Unitamente a ciò, anche l'addensamento dell'angolo di Flessione Frontale si concentra intorno ad un valore in termine assoluto più alto, ovvero fra i 44° e i 46°, con ovvio segno negativo. I risultati che emergono dalle ultime quattro tabelle (per la Massima Escursione Superiore ed Inferiore) erano ampiamente prevedibile, in quanto la flessione del capo è un movimento molto meno faticoso rispetto all'estensione dello stesso: da qui, giudizi di comfort più alti e angoli di flessione più ampi. Come già discusso in precedenza, ha

senso parlare di RRP se si passa dall'analisi campionaria alla stima della distribuzione della popolazione. Seguendo le modalità ampiamente discusse in precedenza, sulla base dei dati sperimentali, per mezzo di carte di probabilità, sono state scelte le distribuzioni di frequenza delle RP al variare della rotazione laterale. A conferma dell'andamento già definito per la flessione frontale del collo, anche in tal caso, a meno di variazioni del range angolare, le distribuzioni di frequenza si sono confermate del tipo Weibull a 3 parametri. Data l'omogeneità dei valori rilevati in fase sperimentale, i dati appartenenti ai campioni maschile e femminile sono stati raccolti assieme.

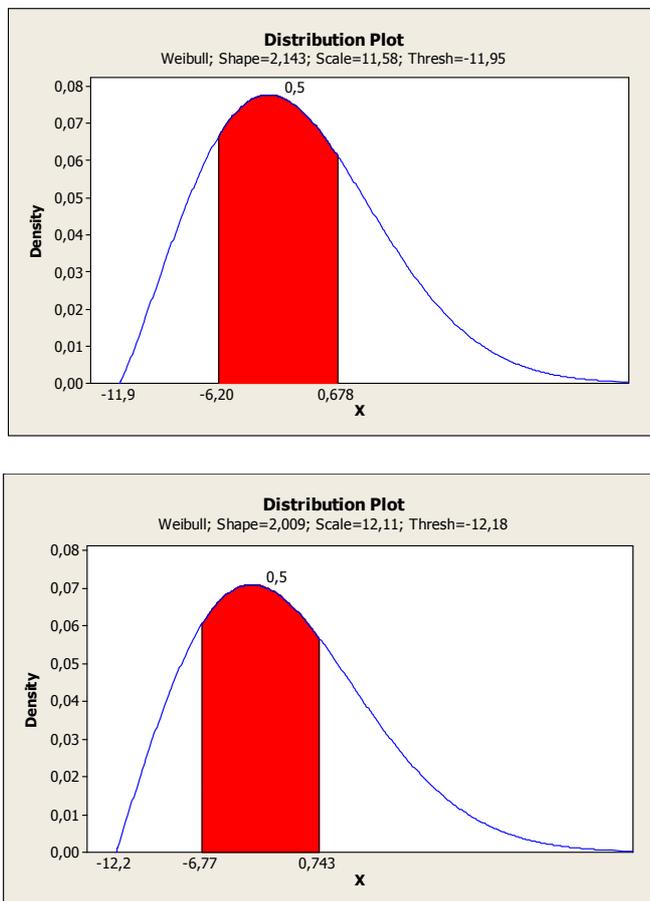


Figura 3.49: Funzione densità di probabilità Collo: Flessione Frontale con RL = -40°/-30°

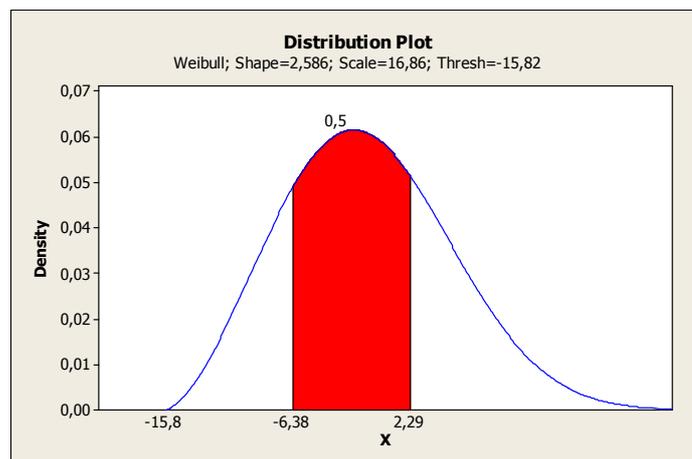
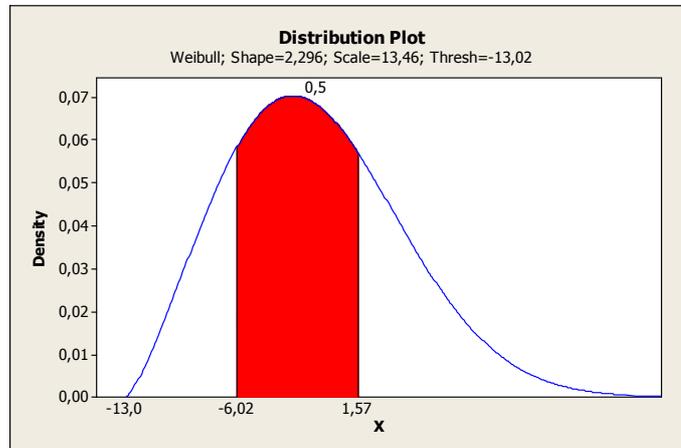


Figura 3.50: Funzione densità di probabilità Collo: Flessione Frontale con RL = -20°/-10°

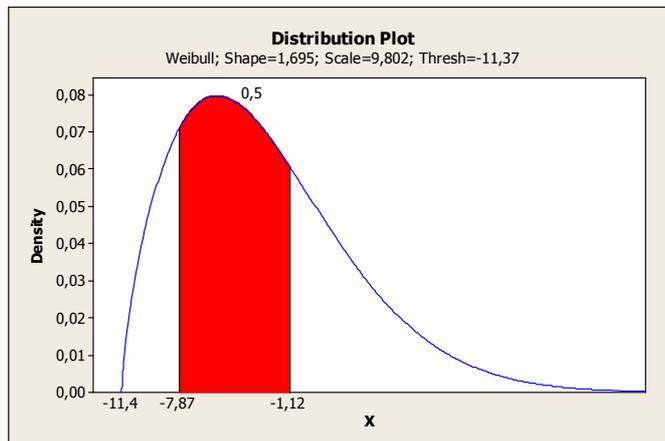
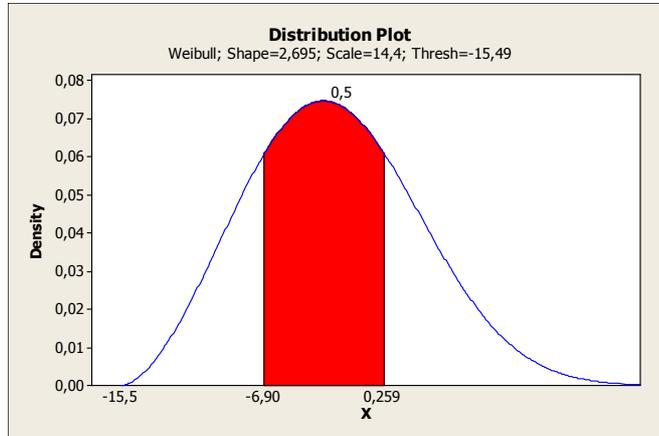


Figura 3.51: Funzione densità di probabilità Collo: Flessione Frontale con RL = 10°/20°

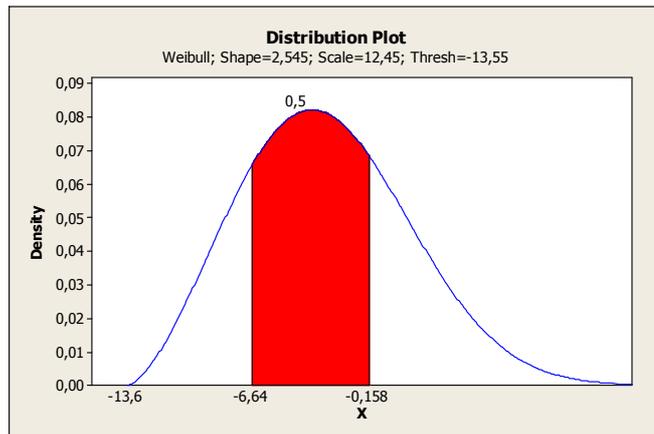
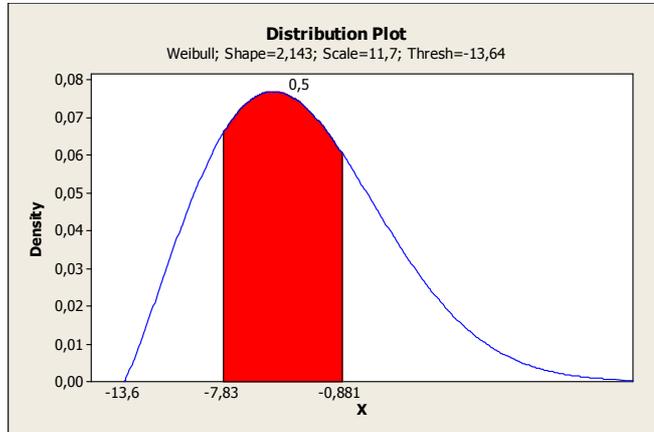


Figura 3.52: Funzione densità di probabilità Collo: Flessione Frontale con RL = 30°/40°

Ricordando che per una rotazione laterale del collo di 0° il RRP della flessione frontale è sempre quello calcolato nel paragrafo precedente (0° < RRP < -7.2°), i risultati ottenuti possono essere così riassunti:

Rotazione Laterale	RRP Flessione Frontale	
-40,0	-6.2	0.7
-30,0	-6.8	0.7
-20,0	-6.0	1.6
-10,0	-6.4	2.3
0,0	-7.2	0.0
10,0	-6.9	0.3
20,0	-7.9	-1.1
30,0	-7.8	-0.9
40,0	-6.6	-0.2

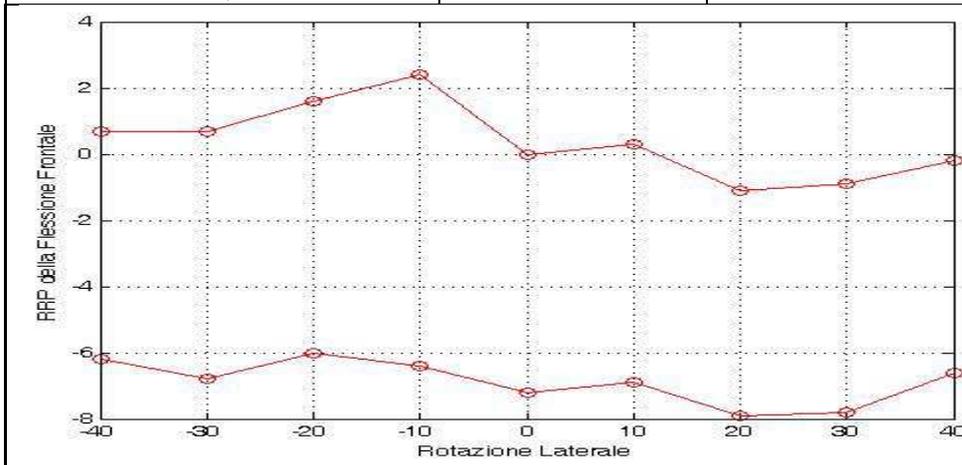


Tabella 3.24: variazione del RRP

Come si evince dai valori su esposti, la variazione del RRP della popolazione non è così significativa. Le differenze nei valori non sono tali da essere confrontabili in modo significativo con l'incertezza della misura, stimata essere non inferiore ad 1°. Considerata anche l'estrema aleatorietà del fattore misurato, che ripetiamo essere frutto di una stima qualitativa espressa nel corso di un'intervista sottoposta agli attori dell'esperimento, si rende superflua un'eventuale analisi differenziata del RRP della flessione frontale per i vari valori di rotazione laterale del collo assunti. Discorso differente vale per i limiti superiori ed inferiori dei ROM della flessione frontale del collo al variare del grado di libertà

rotazionale. Data la procedure di acquisizione dei limiti superiore ed inferiore del ROM, ha senso in tal caso parlare di CROM o ROM in modo indifferenziato. Si ricorda infatti che i CROM si ricavano da un confronto di varie fonti bibliografiche, in modo da ottenere, con un grado di fiducia massimo, un intervallo di posture congruo per l'articolazione in oggetto. Nel caso della flessione frontale del collo, non essendoci riferimenti bibliografici, il CROM si determina sulla base dei soli dati sperimentali.

Di seguito si riporta un grafico con indicate:

- le curve di variazione degli estremi superiore ed inferiore del CROM in rosso
- le curve di variazione degli estremi superiore ed inferiore del RRP in verde

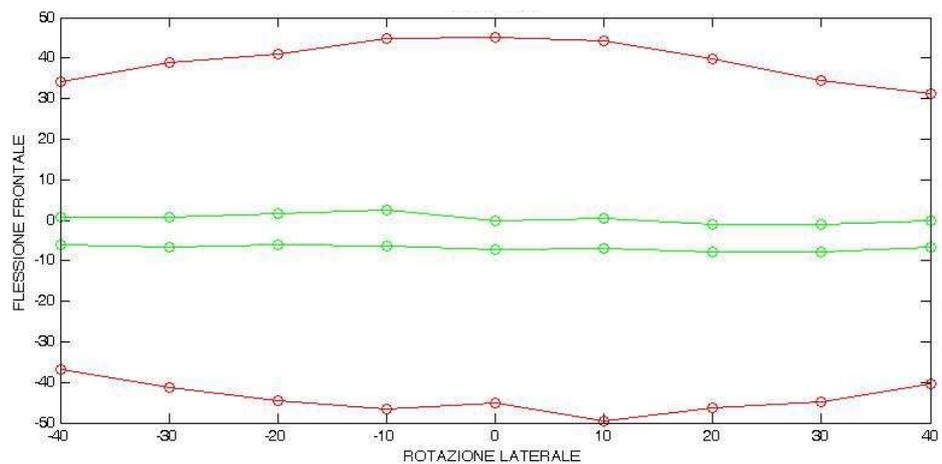


Figura 3.53: variazione del CROM della flessione frontale del collo

Osservando il grafico di figura 3.53, è ben evidente la riduzione del ROM della flessione frontale del collo, che si fa sempre più marcata all'aumentare dell'angolo di rotazione laterale del collo. Sempre nello stesso grafico è possibile verificare l'andamento del RRP (curve in verde), che come detto pocanzi non subisce variazioni significative durante la rotazione. I valori indicati nel grafico sono le medie delle distribuzioni della Massima Escursione Superiore (MES) e della Massima

Escursione Inferiore (MEI) ricavati durante la fase sperimentale. In particolare è stato preso il valore minimo delle medie degli MES ed il valore massimo delle medie degli MEI per tutti gli angoli di rotazione laterale analizzati. Si ricorda che data la loro distribuzione pressoché normale, un buon estimatore della media della popolazione è la media campionaria stessa, per cui tali valori assumono quindi un significato generale.

RL		-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
CROM	MES	34.2	38.8	40.9	44.7	45	44.3	39.8	34.6	31.2
	MEI	- 36.8	- 41.3	- 44.5	- 46.5	- 45	- 49.5	- 46.2	- 44.7	- 40.5

Tabella 3.25: variazione del “CROM=MES-MEI”

CAPITOLO 4

CA-MAN: Comfortable Assessed MAN - il modello di valutazione del comfort

4.1 Definizione dei punteggi di comfort

L'obiettivo di questa fase sperimentale è stato quello di assegnare un punteggio di comfort alle varie articolazioni, per gli intervalli angolari nei quali si sono suddivisi i CROM. Tale punteggio di comfort è stato attribuito su una scala da uno a dieci, dove uno è il comfort minimo e dieci quello massimo.

Si precisa che il modello di valutazione che si è sviluppato è orientato, almeno in questa sua prima versione, all'analisi degli arti superiori del corpo. Le articolazioni coinvolte sono, pertanto:

- collo: flesso/estensione, flessione laterale, rotazione;
- spalla: flesso/estensione, abd/adduzione;
- gomito: flesso/estensione, prono/supinazione;
- polso: flesso/estensione, deviazione radio/ulnare.

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

Il campione

Le attività sperimentali condotte hanno coinvolto un campione di dieci persone, con le seguenti caratteristiche:

- età compresa tra 20 e 30 anni;
- nessuna distinzione tra uomini e donne;
- assenza di patologie dell'apparato muscolo-scheletrico.

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

I CROM analizzati

Partendo dai CROM definiti nel paragrafo 5.1, questi sono stati opportunamente suddivisi in intervalli angolari nei quali occorre valutare il comfort avvertito dagli attori durante la sperimentazione.

COLLO				
Flessione/Estensione				
-45	-22,5	0	22,5	45
Flessione Laterale				
-45	-22,5	0	22,5	45
Rotazione				
-45	-22,5	0	22,5	45
SPALLA				
Flessione/Estensione				
-45	0	45	90	135
Abduzione/Adduzione				
0	45	90	135	170
GOMITO				
Flessione/Estensione				
0	30	60	90	135
Prono/Supinazione				
-90	-45	0	45	90
POLSO				
Flessione/Estensione				
-60	-30	0	30	60
Deviazione radio/ulnare				
-20	-10	0	15	30

Tabella 4.1; Suddivisione dei CROM.

Per la suddivisione è stato adottato lo stesso criterio impiegato nel metodo LUBA, ovvero ripartendo ciascun CROM in cinque parti di uguale ampiezza. Si tenga presente che, nella suddivisione dei CROM, i vari

intervalli sono stati arrotondati a favore di angoli noti per semplificarne, e allo stesso tempo renderne più efficiente e precisa, la misurazione visiva. Secondo questa logica, gli intervalli sono prevalentemente multipli di trenta o di quarantacinque gradi.

La procedura di acquisizione dei dati

I soggetti sono stati chiamati ad eseguire delle azioni elementari per ciascuna articolazione, e per tutti i gradi di libertà analizzati. Tali azioni sono state studiate appositamente con l'intento di disaccoppiare al massimo i vari gradi di libertà, e ciascuna di queste ha impegnato il soggetto per una decina di secondi. Il tempo così stabilito garantisce che il giudizio di comfort espresso non sia condizionato dal tempo di mantenimento della posizione, escludendo dalla valutazione il fattore fatica. Segue una descrizione delle azioni sottoposte al campione analizzato, organizzate per articolazione.



Figura 4.1; Sperimentazione: prova di comfort del collo.

Per le prove di comfort che coinvolgono il **collo**, è stato richiesto al soggetto di leggere un testo breve. Le modalità della prova prevedevano che il testo fosse disposto ad una distanza di ottanta centimetri dal viso, e che l'esaminato centrasse il foglio nel suo campo visivo prima di cominciare la lettura. In questo modo, spostando il foglio e reiterando varie prove, il soggetto si è trovato a ricoprire tutti gli intervalli angolari dei CROM del collo. Al termine di ciascuna prova è stato chiesto ed annotato il punteggio di comfort attribuito alla postura assunta per la lettura. Va fatto notare che i risultati così ricavati, in base a quanto detto nel precedente capitolo sull'influenza della rotazione laterale sui giudizi di comfort della flessione frontale, perdono di validità generale. Tale discorso verrà meglio analizzato nei prossimi paragrafi.



Figura 4.2; Sperimentazione: prova di comfort della spalla.

Le prove inerenti alla **spalla**, invece, richiedevano all'esaminato di ordinare una sequenza di numeri all'interno di una matrice prestampata. Nell'operazione (valida sia per la flessione/estensione che per l'abduzione/adduzione), è stato richiesto che il braccio del soggetto fosse teso e che questi passasse un dito nel portare il segno della numerazione. Le

uniche eccezioni in questo metodo sono state le prove per l'estensione a -45° ed a 0°. Per la prima è stato chiesto di afferrare un impugnatura opportunamente collocata, senza voltarsi, attribuendo il punteggio a questo tipo di azione. Per la seconda, invece, è stato sufficiente chiedere al soggetto di lasciare il braccio lungo il corpo e di fornire il giudizio di comfort.



Figura 4.3; Sperimentazione: prova di comfort del gomito.

Per misurare il comfort nei CROM del **gomito** sono state impiegate due tipologie di prove, una per ciascun grado di libertà. Per la flessione/estensione il soggetto doveva indicare il centro di una circonferenza appositamente collocata a pochi centimetri dalla punta delle dita. In questo modo, spostando verticalmente tale circonferenza, sono stati ricoperti i vari intervalli angolari. Per la pronazione/supinazione, invece, la prova consisteva nell'impugnare un'asta verticale incernierata all'estremità inferiore. Bloccando tale asta in vari steps, si sono acquisite le valutazioni di comfort per gli intervalli predefiniti.



Figura 4.4; Sperimentazione: prova di comfort del polso.

I valori di comfort per il **polso** sono stati acquisiti mediante l'utilizzo della stessa asta incernierata delle prove precedenti. Per la flessione/estensione occorreva ruotare l'impugnatura rispetto all'asse dell'asta stessa disponendola orizzontalmente, mentre per la deviazione radio/ulnare la rotazione doveva avvenire rispetto alla cerniera.

4.2 Le curve di comfort

Per generalizzare i risultati ottenuti dalle analisi effettuate in laboratorio, e a causa della forte dipendenza dei dati dai partecipanti alla sperimentazione, e della ridotta uniformità degli stessi, si è deciso di non utilizzare tecniche matematiche di interpolazione/approssimazione per ricostruire un valido modello matematico della relazione angolo-comfort. La ricerca quindi è stata volta verso uno strumento che consentisse di svincolarci dai risultati direttamente acquisiti dal campione di riferimento, ma che si basasse su tali valori per generarne di nuovi in corrispondenza di angoli differenti da quelli rilevati durante la sperimentazione. Tale modello doveva addestrarsi su quanto rilevato durante le sperimentazioni, ma generare valori nuovi e non direttamente connessi ai giudizi rilevati in laboratorio durante le sperimentazioni.

È stata quindi utilizzata una rete neurale²⁴ per ogni articolazione e per ogni movimento indicati nei capitoli precedenti. L'obiettivo della rete neurale è di stabilire il tipo di correlazione tra i valori angolari ed i punteggi di comfort a disposizione, per cui è stata addestrata con i dati rilevati nella fase sperimentale, con gli RRP ai quali è stato attribuito il massimo comfort, e con i limiti inferiore e superiore dei CROM caratterizzati dal minimo comfort. Per alcune articolazioni, quale ad esempio il gomito, la posizione di riposo è molto vicina al naturale limite di movimento dell'articolazione: ciò comporta che il valore di comfort risulta massimo per valori molto vicini ad uno dei limiti del CROM per poi diventare minimo (proprio in corrispondenza del valore del minimo).

Rete neurale

Le reti neurali traggono spunto, per il loro funzionamento, dai neuroni del cervello umano, sebbene, ancora ad oggi, non ne sia perfettamente chiaro il funzionamento. Infatti, quest'ultimo è, come si sa, una delle macchine più complicate che esistano, tuttavia ne sono stati studiati i meccanismi di fondo, che lo rendono potente e flessibile.

²⁴ *EasyNN plus*, version 8.0q, Copyright 2002-2007 Neural Planner Software Ltd. All Rights Reserved.

In effetti, il sistema nervoso funziona grazie alla presenza e alla connessione reciproca di miliardi di neuroni, cioè corpi cellulari dotati di propaggini di ingresso e di uscita, dove quelle di ingresso prendono il nome di dendriti, mentre in quelli d'uscita troviamo un ulteriore prolungamento, detto assone, che si ramifica per andare ad innestarsi sui dendriti di altri neuroni. Lungo questi corpi allungati circolano dei microsegnali elettrici, che determinano l'attivazione dei neuroni che ne sono attraversati. Questa complicatissima rete elettrica permette al nostro cervello di imparare, quindi il meccanismo dell'apprendimento si attua grazie alla modifica della rete che, di volta in volta, sulla base dell'esperienza, sgancia o aggancia reciprocamente neuroni e sistemi di neuroni. Per riprodurre artificialmente il cervello umano occorre che si realizzino modelli reticolari con strutture che simulino il funzionamento di dendriti e assoni e che, soprattutto, siano in grado di apprendere e generalizzare. L'idea di fondo appare chiara dal modello di neurone nella figura seguente.

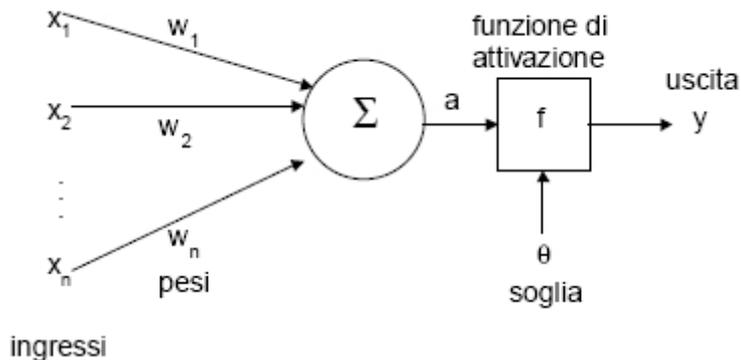


Figura 4.4.1 Modello di neurone

Le connessioni di ingresso rappresentano i dendriti mentre quella di uscita l'assone, quindi il nodo con il segno di sommatoria costituisce il neurone vero e proprio mentre il blocco quadrato, fra neurone ed uscita, contiene la funzione di trasferimento del sistema. Gli ingressi sono costituiti da valori numerici (X_i), di cui ognuno di questi ingressi viene moltiplicato per il proprio fattore (W_i), detto peso, dopodiché entra nel neurone stesso. All'interno del nodo gli ingressi "pesati" vengono sommati fra di loro in modo da formare un valore unico, che diventa, poi, input di una funzione

di trasferimento, la quale modifica l'ingresso in relazione alle sue caratteristiche: il numero che ne scaturisce è l'uscita finale del neurone. Quello descritto è un semplice neurone, tuttavia ciò che è necessario per formare una rete neurale artificiale, allo scopo di simulare il funzionamento del cervello, è un insieme, o meglio un reticolo di neuroni. La figura di seguito mostra la conformazione generale di una rete di neuroni di bassa complessità.

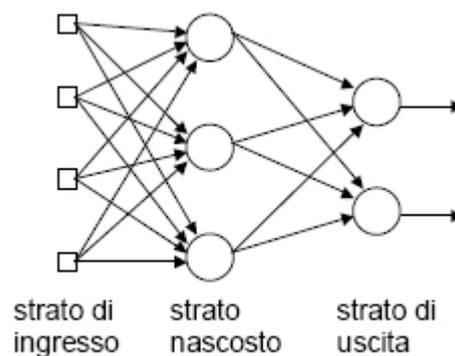


Figura 4.4.2 Modello di rete neurale

Come si vede ogni neurone di uno strato è connesso con tutti i neuroni dello strato successivo: sulle connessioni transitano segnali numerici che, a seconda del valore assunto, possono attivare o inibire il neurone collegato.

La reale potenza di una rete neurale risiede nel fatto che essa è capace di imparare a riprodurre l'andamento di un fenomeno attraverso il suo modello matematico, quindi può essere capace di imparare, ad esempio, le abitudini di un cliente o di un sistema di clienti per prevederne il comportamento futuro, nonché potrebbe imparare a riconoscere un volto, un carattere o, addirittura, una malattia. Tutto questo sempre e solo attraverso la codifica numerica di tali fenomeni. Nello specifico, l'apprendimento avviene attraverso l'uso di una procedura iterativa che garantisce l'aggiornamento dei pesi della rete fino a quando non si verificano determinate condizioni. In altri termini, l'interlocutore della rete, cioè l'uomo, presenta in ingresso una serie di valori che produrranno un certo fenomeno già conosciuto (le uscite). Quest'ultime, le uscite, che sono già note, vengono presentate alla rete insieme ai relativi ingressi: la procedura iterativa, cui si accennava poc'anzi, inizializza i pesi lungo le

connessioni ad un valore casuale, quindi calcola l'uscita della rete per quel valore e la confronta con l'uscita desiderata, per tutti i valori disponibili. Si effettua poi il calcolo dell'errore e i pesi vengono aggiornati facendo diminuire l'errore commesso, fino a quando, sull'intero set di apprendimento, non diventa uguale o almeno prossimo allo zero. Al termine di questa procedura, la rete, in via teorica, dovrebbe avere imparato e, a questo punto, si presentano nuovamente degli ingressi, senza però fornire le uscite: dal confronto fra i valori forniti dal sistema neurale e quelli veri si deduce il grado di apprendimento della rete.

Dopo aver analizzato, a grandi linee, il significato teorico di una rete neurale, questa tecnica è stata altresì utilizzata per consentire di determinare un certo valore dell'indice di comfort, in qualità di output della rete, a partire dai soli valori angolari. Tale risultato è stato raggiunto a partire da un addestramento, che ha significato, appunto, dare in input al sistema i rispettivi valori di parametro posturale, associandovi una opportuna valutazione del comfort, secondo la consueta scala in decimi: tutti i dati sono stati, ovviamente, ricavati dagli studi precedenti sul Range of Rest Position e sul Range of Motion in generale. Dopo aver addestrato la rete con opportune coppie di valori, è stata quindi messa alla prova nell'utilizzo, andando unicamente ad inserire i valori di input: di contro si è ottenuto l'output corrispondente, ovvero l'indice di comfort associato. La rete neurale è stata costruita per mezzo del software EasyNN.

In particolare, per addestrare correttamente la rete neurale, in aggiunta alle informazioni descritte in precedenza, sono stati forniti i seguenti dati:

- 20 punti per il limite inferiore del CROM, con punteggio di comfort minimo;
- 20 punti per il limite superiore del CROM, con punteggio di comfort minimo;
- 20 punti per l'RRP, con punteggio di comfort massimo.

L'aggiunta di questi punti è servita a "forzare" la rete in fase di apprendimento, in modo che l'output rispettasse le condizioni di vincolo logiche secondo le quali le curve di comfort presentano un massimo in corrispondenza degli RRP e siano decrescenti, con valore unitario in prossimità dei limiti dei CROM.

Si fa notare che l'analisi preliminare effettuata sull'accoppiamento tra i giudizi di comfort della flessione frontale e della rotazione laterale del

collo perdono il loro significato in questa fase del lavoro. Ciò si spiega con la procedura stessa di acquisizione dei giudizi di comfort: basandosi sull'intervista dell'attore, è plausibile considerare che il giudizio rilasciato in fase sperimentale sia condizionato, anche se in maniera indiretta, anche da eventuali parametri di correlazione non considerati in una prima fase. Detto questo si ribadisce la validità dei risultati sotto esposti, con l'ovvia considerazione che vadano integrati con ulteriori curve di comfort che accoppino i due gradi di libertà del collo su menzionati. In fine, costruita la rete, questa è stata interrogata su tutto l'intervallo di CROM per ciascuna articolazione, restituendo i seguenti risultati:

COLLO					
Angolo	Flesso/Estensione	Angolo	Flessione Laterale	Angolo	Rotazione
-45	1.0	-45	1.0	-45	1.0
-40	1.0	-40	1.0	-40	2.6
-35	1.0	-35	1.0	-35	6.7
-30	1.0	-30	1.9	-30	7.5
-25	6.5	-25	6.0	-25	7.7
-20	9.0	-20	6.2	-20	7.8
-15	10.0	-15	7.8	-15	7.9
-10	10.0	-10	9.7	-10	8.1
-5	10.0	-5	9.9	-5	9.9
0	9.8	0	9.9	0	10.0
5	8.8	5	9.9	5	10.0
10	7.7	10	9.7	10	10.0
15	7.5	15	7.5	15	9.8
20	7.5	20	6.2	20	8.1
25	7.4	25	6.0	25	7.9
30	4.8	30	2.0	30	7.1
35	1.2	35	1.0	35	1.8
40	1.0	40	1.0	40	1.0
45	1.0	45	1.0	45	1.0

Tabella 4.2; Collo: punteggi di comfort.

SPALLA			
Angolo	Flesso/Estensione	Angolo	Abd/Adduzione
-45	1.1	0	10.0
-40	1.1	5	10.0
-35	1.1	10	10.0
-30	1.1	15	9.7
-25	1.1	20	7.2
-20	1.2	25	5.8
-15	1.3	30	5.3
-10	1.7	35	5.2
-5	7.4	40	5.1
0	9.9	45	5.1
5	10.0	50	5.1
10	9.9	55	5.1
15	9.8	60	5.1
20	9.4	65	5.1
25	8.6	70	5.1
30	8.0	75	5.1
35	7.5	80	5.1
40	7.2	85	5.0
45	7.1	90	5.0
50	6.9	95	5.0
55	6.8	100	4.9
60	6.7	105	4.8
65	6.5	110	4.7
70	6.4	115	4.3
75	6.2	120	3.4
80	6.0	125	2.9
85	5.9	130	2.7
90	5.8	135	2.6
95	5.6	140	2.5
100	5.1	145	2.3

105	3.8	150	2.0
110	2.1	155	1.5
115	1.3	160	1.2
120	1.1	165	1.1
125	1.0	170	1.1
130	1.0		
135	1.0		

Tabella 4.3; Spalla: punteggi di comfort.

GOMITO			
Angolo	Flesso/Estensione	Angolo	Prono/Supinazione
0	10.0	-90	1.0
5	10.0	-85	1.0
10	10.0	-80	1.0
15	10.0	-75	1.0
20	10.0	-70	1.0
25	10.0	-65	1.0
30	7.7	-60	1.1
35	7.3	-55	1.5
40	7.2	-50	3.6
45	7.1	-45	5.5
50	7.1	-40	6.4
55	7.0	-35	9.7
60	6.9	-30	10.0
65	6.7	-25	10.0
70	6.4	-20	10.0
75	6.1	-15	9.9
80	5.9	-10	9.9
85	5.7	-5	9.8
90	5.6	0	9.7
95	5.4	5	9.5
100	5.2	10	9.2
105	4.7	15	8.9

110	3.7	20	8.4
115	2.1	25	7.8
120	1.2	30	7.1
125	1.0	35	6.5
130	1.0	40	6.2
135	1.0	45	6.0
		50	6.0
		55	5.9
		60	5.7
		65	5.0
		70	3.3
		75	1.6
		80	1.1
		85	1.0
		90	1.0

Tabella 4.4; Gomito: punteggi di comfort.

POLSO			
Angolo	Flesso/Estensione	Angolo	Dev. Radio/Ulnare
-60	1.0	-20	1.0
-55	1.0	-15	1.3
-50	1.0	-10	2.9
-45	1.2	-5	9.1
-40	3.1	0	10.0
-35	5.4	5	9.4
-30	5.8	10	5.8
-25	6.8	15	4.5
-20	9.6	20	4.3
-15	10.0	25	1.5
-10	10.0	30	1.0
-5	10.0		
0	10.0		
5	10.0		
10	9.9		
15	9.1		
20	6.5		
25	5.7		
30	5.6		
35	5.6		
40	5.0		
45	3.1		
50	1.6		
55	1.2		
60	1.1		

Tabella 4.5; Polso: punteggi di comfort.

Sulla base dei risultati ottenuti dalla rete neurale, sono state costruite le seguenti curve di comfort mediante interpolazione cubica e per mezzo di software Matlab:

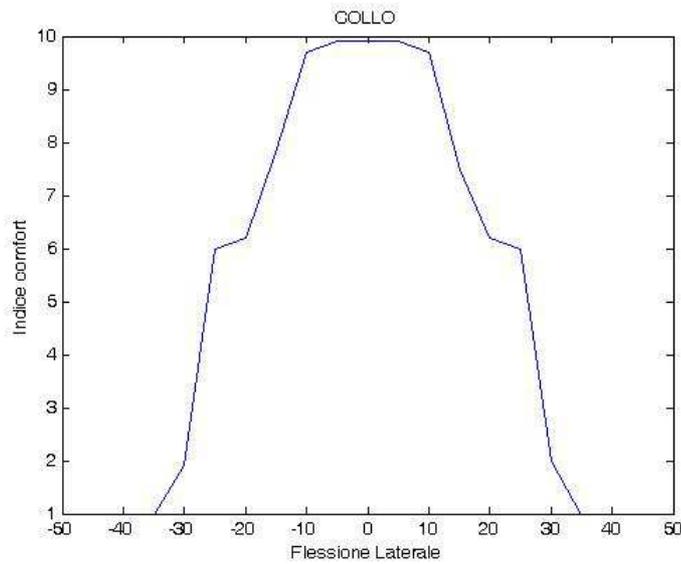


Figura 4.5; curva di comfort collo, flessione laterale.

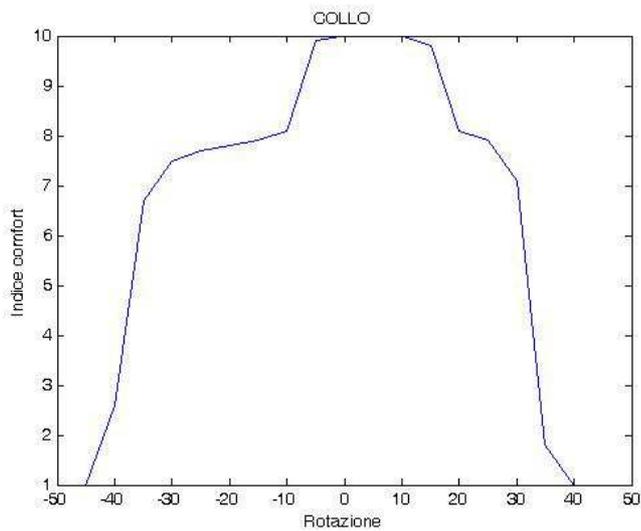


Figura 4.6; curva di comfort collo, rotazione

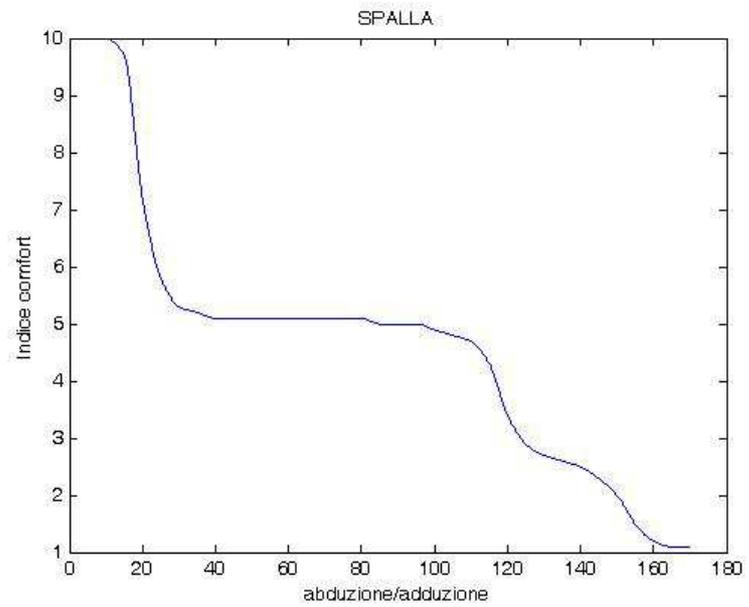
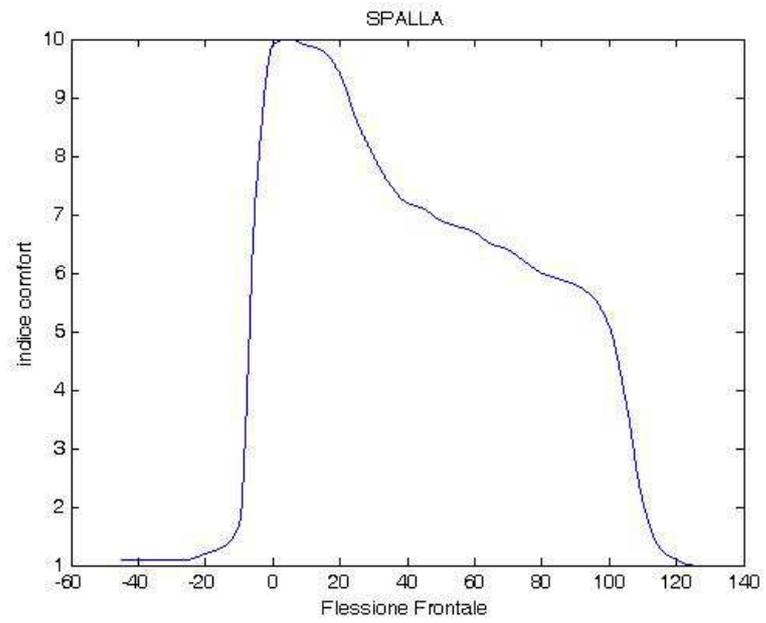


Figura 4.7; curva di comfort spalla, flesso/estensione e abd/adduzione.

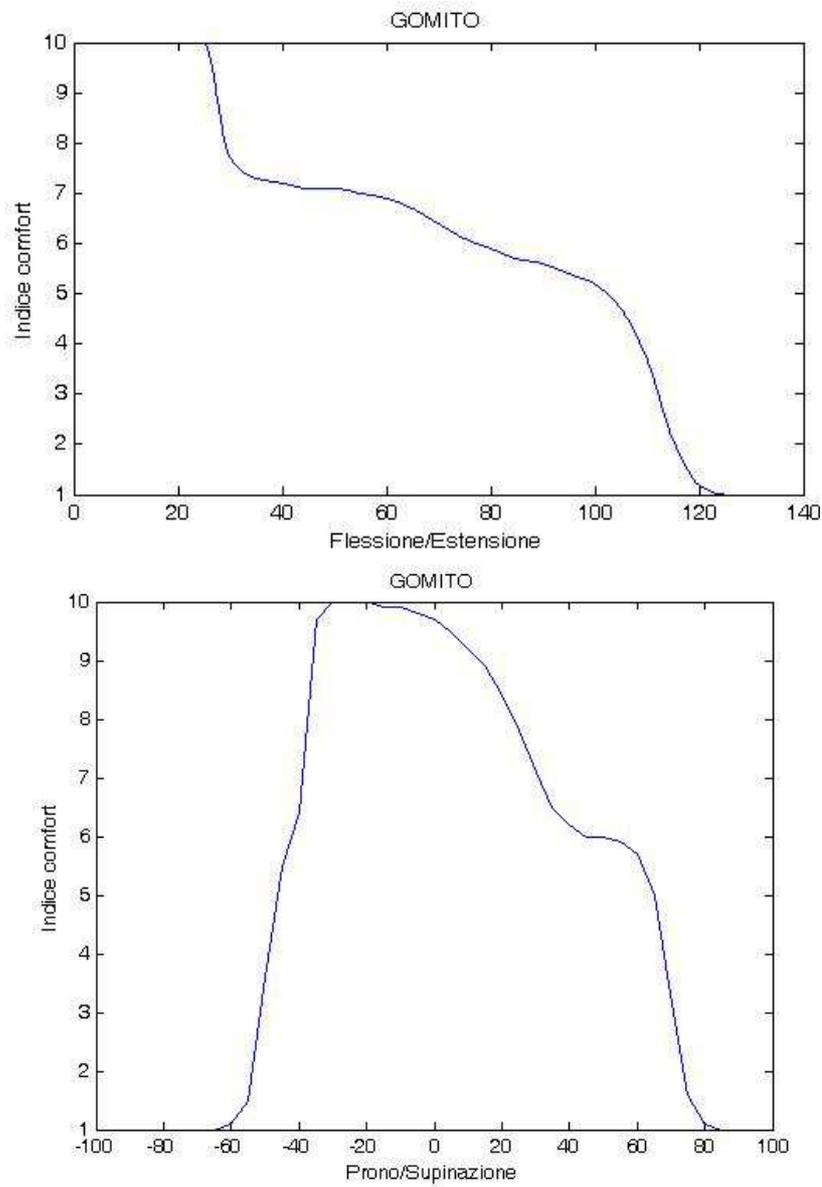


Figura 4.8; curva di comfort gomito, flesso/estensione e prono/supinazione.

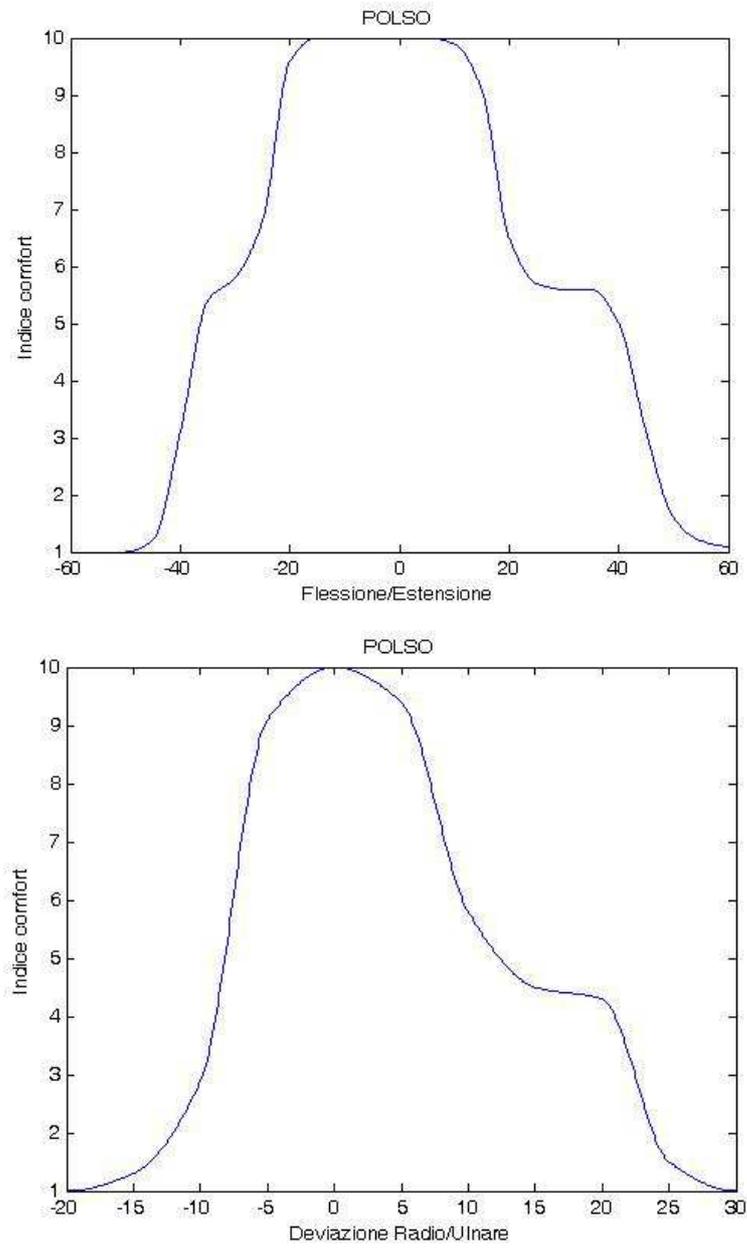


Figura 4.9; curva di comfort polso, flessione/estensione e deviazione radio/ulnare.

4.3 Applicazione del metodo

Di seguito si riporta una procedura di valutazione del comfort condotta tramite analisi fotografica. Si vuole valutare il comfort per tre tipologie di postura di guida al volante di un'automobile. Le immagini campione²⁵ sono state elaborate graficamente²⁶ ed in seguito si sono raccolti i valori dei parametri posturali nella scheda di valutazione proposta in precedenza.

Si precisa che per la misurazione i seguenti parametri sono stati assunti nello zero geometrico essendo verosimile che gli scostamenti da tale configurazione siano trascurabili:

- collo: flessione laterale, rotazione;
- spalla: abd/adduzione;
- gomito: prono/supinazione;
- polso: flesso/estensione.



Figura 4.10; Postura di guida 1.

²⁵ Immagini tratte dal web, URL: <http://www.alvolante.it/>, [Consultato in data 8/11/2010].

²⁶ Software: Kinovea, versione 0.8.7, Copyright© 2006-2010, Joan Charmant & Contrib.

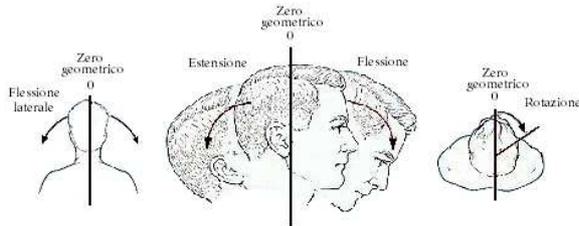


Figura 4.11; Postura di guida 2.



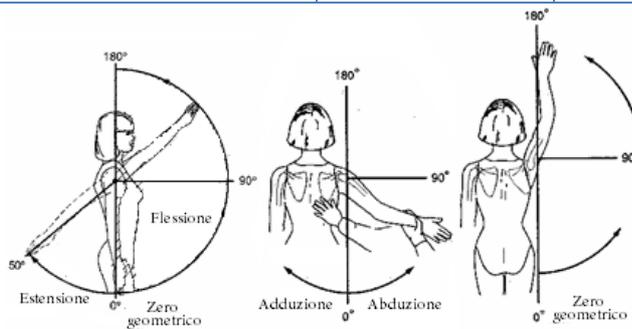
Figura 4.12; Postura di guida 3.

SCHEDA DI VALUTAZIONE (1)



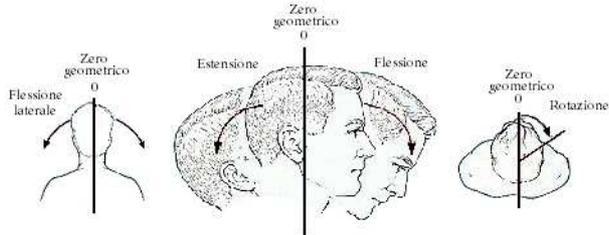
COLLO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	-5	10
Flessione Laterale	0	9.9
Rotazione	0	10

SPALLA	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	50	6.9
Abd/Adduzione	0	10



GOMITO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	26	10
Prono/Supinazione	0	9.7
POLSO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	0	10
Dev. Radio/Ulnare	-11	2.9

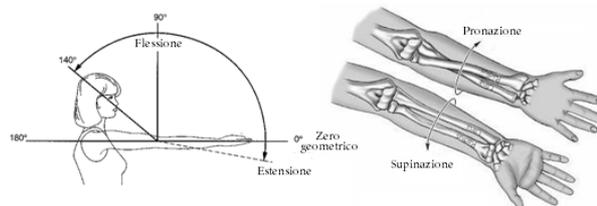
SCHEDA DI VALUTAZIONE (2)



COLLO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	-7	10
Flessione Laterale	0	9.9
Rotazione	0	10

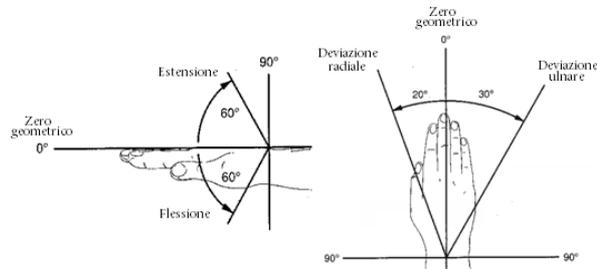
The image shows three diagrams of the shoulder. The first diagram on the left shows 'Flessione' (flexion) and 'Estensione' (extension) with a vertical line for 'Zero geometrico 0°'. It includes angle markers for 180°, 90°, and 50°. The middle diagram shows 'Adduzione' (adduction) and 'Abduzione' (abduction) with a vertical line for 'Zero geometrico 0°' and angle markers for 180° and 90°. The third diagram on the right shows 'Rotazione' (rotation) with a vertical line for 'Zero geometrico 0°' and angle markers for 180° and 90°.

SPALLA	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	21	9.4
Abd/Adduzione	0	10

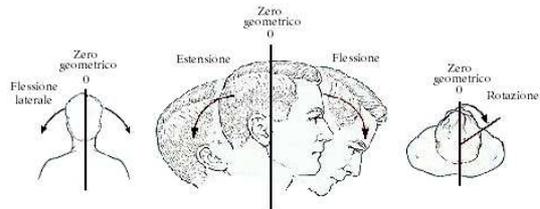


GOMITO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	108	3.7
Prono/Supinazione	0	9.7

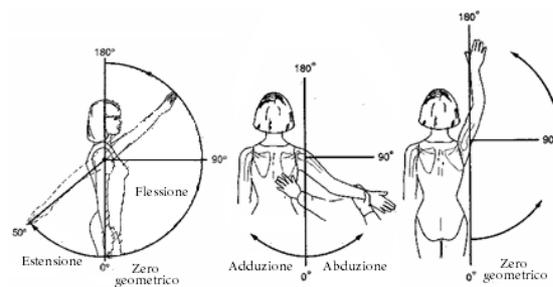
POLSO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	0	10
Dev. Radio/Ulnare	-11	2.9



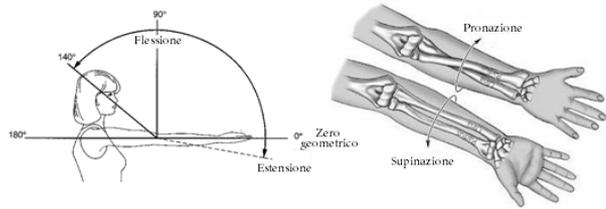
SCHEDA DI VALUTAZIONE (3)



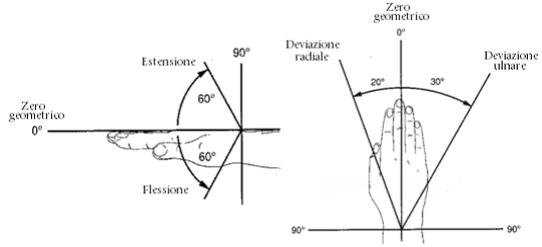
COLLO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	-5	10
Flessione Laterale	0	9.9
Rotazione	0	10



SPALLA	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	28	8.0
Abd/Adduzione	0	10



GOMITO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	76	6.1
Prono/Supinazione	0	9.7



POLSO	Angolo	Comfort
Flesso/Estensione	0	10
Dev. Radio/Ulnare	5	9.4

I parametri raccolti nelle tabelle di valutazione sono stati analizzati applicando i criteri esposti nel paragrafo precedente, con i seguenti risultati:

VALUTAZIONE DI COMFORT			
	Postura 1	Postura 2	Postura 3
SOMMA	79.4	75.6	83.1
MEDIA	8.8	8.4	9.2
MEDIA GEOMETR.	8.3	7.7	9.1

Tabella 4.6; Valutazione del comfort alla guida di un'automobile.

Come emerge dai valori in tabella, le tre posture sono caratterizzate da valori di comfort differenti. In particolare, osservando le tre fotografie, è possibile notare come le prime due rappresentino una posizione di guida scorretta mentre la terza rispetta i canoni di guida ergonomica suggeriti in bibliografia.

Da un'analisi più accurata è possibile osservare come nella figura 4.10 il soggetto presenta una postura di guida "distesa", caratterizzata da braccia e gambe allungate e con un angolo ottuso di flessione dell'anca. Sebbene questa possa sembrare una soluzione di guida comoda, dal punto di vista del comfort costringe il soggetto ad assumere angoli articolari molto distanti dai range ottimali, come mostrano i criteri di sintesi relativi a tale configurazione in tabella 4.6, postura 1.

Per quanto concerne la seconda fotografia (figura 4.11), questa riporta un esempio ancora più eloquente. Tale postura, infatti, già a prima vista non sarebbe giudicata confortevole, ed i risultati ottenuti ne sono una conferma: ragionando in termini di somma dei singoli punteggi, la seconda postura ha quasi quattro punti in meno sull'indice di comfort. E' chiaro che la differenza significativa tra le due è sicuramente la flessione/estensione del gomito, che penalizza fortemente la seconda postura.

La terza fotografia (figura 4.12), infine, è quella che presenta i parametri di comfort migliori. In effetti tale postura è indicata come la più corretta da assumere al volante, sia in termini di stress dell'apparato muscolo-scheletrico che di sicurezza alla guida. Si noti come in questa configurazione tutti i punteggi di comfort sono elevati rispetto ai due casi precedenti, e nel complesso la valutazione rispecchia fedelmente i giudizi condivisi dalla bibliografia e dal buonsenso pratico.

4.4 Superficie di Comfort flessione frontale – rotazione laterale del collo

Seguendo lo stesso approccio procedurale, basato sulla generalizzazione dei risultati mediante rete neurale, si passa ora ad analizzare le curve di comfort della flessione frontale del collo, determinate per vari valori della rotazione laterale del collo. Come già accennato nel capitolo precedente, le prove sperimentali hanno fornito vari valori del comfort della flessione frontale, ricavati ad intervalli angolari regolari della rotazione laterale. Da ogni attore del campione, seguendo la procedura precedentemente descritta, si sono rilevati i seguenti dati:

	10°		20°		30°		40°		-10°		-20°		-30°		-40°	
RP	10	-4	8	-7	6	-5	5	-4	9	-2	7	-5	5	-8	4	-4
Alto 1	9	24	8	27	5	22	4	15	8	25	6	22	5	24	4	14
Alto 2	6	39	7	40	4	35	2	23	6	41	4	33	4	32	3	21
ME Sup	3	51	3	49	2	42	2	32	4	50	3	44	2	38	2	30
Basso 1	9	-19	8	-22	5	-21	5	-14	8	-26	5	-24	5	-20	4	-16
Basso 2	7	-34	6	-35	4	-31	4	-26	7	-38	4	-39	3	-33	3	-23
ME Inf	4	-55	4	-54	2	-48	2	-34	5	-54	4	-51	2	-42	2	-30

Tabella 4.6; punteggi di comfort FF collo

Dalla lettura della tabella 4.6 si possono fare delle prime importanti considerazioni: il concetto di RRP, come precedentemente considerato, perde il suo valore assoluto, rimanendo però concettualmente lo stesso. In particolare non è più possibile considerare l'RRP come "l'intervallo a comfort 10", bensì come il range di valore massimo del comfort della flessione frontale, per ogni valore di rotazione laterale del collo. E' ovvio pensare che il valore dell'indice nel RRP della flessione frontale è fortemente influenzato dalla confortevolezza della rotazione laterale. Stessa cosa accade anche per gli altri valori di flessione frontale, che subiscono un decremento dipendente dalla posizione di rotazione laterale acquisita dall'attore.

Il valore dell'indice nel CROM rimane invece sempre lo stesso, e pari a 1.

Dai precedenti studi sulle curve di interpolazione polinomiale si è osservato un comportamento sostanzialmente simile nei due sessi. Nell'intenzione di addestrare una rete neurale, viste le sue finalità pratiche, che sia disaccoppiata dalla singola osservazione della popolazione maschile o femminile, valuteremo nella tabella che segue la differenza nell'indice di comfort per le diverse posizioni nei due sessi: nella prima parte della tabella come differenza fra i valori in senso assoluto mentre nella seconda parte come media dell'errore riscontrato rispetto al valor medio.

Errore

	10°	20°	30°	40°	-10°	-20°	-30°	-40°
MES	0,00	0,37	0,10	0,03	0,37	0,70	0,20	0,07
StepS2	0,04	0,11	0,37	0,23	0,03	0,25	0,40	0,16
StepS1	0,06	0,37	0,28	0,41	0,11	0,33	0,62	0,50
RP	0,16	0,30	0,23	0,30	0,10	0,37	0,57	0,24
StepI1	0,03	0,34	0,28	0,37	0,04	0,15	0,65	0,24
StepI2	0,24	0,39	0,56	0,28	0,17	0,40	0,64	0,36
MEI	0,56	0,50	0,44	0,44	1,10	0,93	0,37	0,13

Media dell'errore

	10°	20°	30°	40°	-10°	-20°	-30°	-40°
MES	0,00	0,18	0,05	0,01	0,18	0,35	0,10	0,03
StepS2	0,02	0,05	0,18	0,11	0,01	0,12	0,20	0,08
StepS1	0,03	0,18	0,14	0,20	0,05	0,16	0,31	0,25
RP	0,08	0,15	0,11	0,15	0,05	0,18	0,28	0,12
StepI1	0,01	0,17	0,14	0,18	0,02	0,07	0,32	0,12
StepI2	0,12	0,19	0,28	0,14	0,08	0,20	0,32	0,18
MEI	0,28	0,25	0,22	0,22	0,55	0,46	0,18	0,06

Tabella 4.6.1; Indice di comfort – confronto tra la popolazione maschile e femminile

Come si può osservare la media dell'errore nelle due popolazioni supera in un unico caso il mezzo punto, quindi si può concludere che l'addestramento di una rete neurale con un unico insieme di valori

indipendente dal sesso è un'approssimazione tollerabile. Del resto per il caso pratico che si andrà ad analizzare nel seguito – ovvero la determinazione di un indice di comfort globale nel caso di una sala adibita al pubblico spettacolo – non avrebbe molto senso considerare in modo distinto i due sessi dal momento che una progettazione della sala che volesse tener conto degli studi ergonomici non potrebbe di certo dividersi fra due considerazioni distinte in base al sesso. In definitiva per l'addestramento della rete neurale si utilizzeranno i valori illustrati nel seguito, in *Tabella 4.6.2*.

Indice di Comfort generale								
	10°	20°	30°	40°	-10°	-20°	-30°	-40°
MES	3,50	2,98	2,78	2,02	4,11	3,38	2,50	1,87
StepS2	5,64	5,38	4,75	4,33	5,56	5,02	4,43	3,94
StepS1	8,01	7,52	6,85	6,05	7,75	7,08	6,27	5,46
RP	9,35	8,85	8,11	7,22	9,15	8,38	7,51	6,75
StepI1	8,20	7,73	7,04	6,26	8,02	7,25	6,46	5,66
StepI2	6,10	5,75	5,12	4,61	5,87	5,40	4,74	4,15
MEI	4,15	3,65	3,25	2,95	4,32	3,53	2,78	2,13

Tabella 4.6.2; Indice di comfort generale

Quindi gli angoli di Flessione Frontale associati a tali valori:

Angoli di Flessione Frontale								
	10°	20°	30°	40°	-10°	-20°	-30°	-40°
MES	44,00	41,00	37,00	34,00	45,00	42,00	37,00	34,00
StepS2	29,00	27,00	25,00	23,00	28,00	26,00	25,00	22,00
StepS1	15,00	14,00	14,00	12,00	16,00	14,00	13,00	11,00
RP	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-1,00	-2,00	-2,00	-2,00
StepI1	-18,00	-17,00	-17,00	-16,00	-17,00	-16,00	-15,00	-14,00
StepI2	-35,00	-33,00	-31,00	-29,00	-32,00	-32,00	-30,00	-28,00
MEI	-52,00	-49,00	-46,00	-43,00	-47,00	-46,00	-43,00	-38,00

Tabella 4.6.3; Angoli di flessione frontale generali

Con i dati così organizzati è ora possibile addestrare opportunamente la rete neurale, della quale andremo a tratteggiare i grafici realizzabili tramite i risultati di output del sistema ad intervalli regolari degli angoli. A titolo d'esempio la tabella seguente espone i risultati dell'interrogazione della rete neurale per valori dell'angolo:

- della Flessione Frontale che vanno da 0° a $+40^\circ$;
- della Rotazione Laterale che vanno da $+10^\circ$ a $+40^\circ$;

dove per ambedue i movimenti di riga e colonna sono stati presi in considerazioni dei valori angolari per intervalli regolari di 5° .

Ricavati i valori dalla rete neurale, tramite interpolazione cubica sono state costruite 9 curve di comfort per 9 valori di rotazione laterale. Va tenuto conto che dato il RRP della rotazione laterale, si è posto che il comfort a 0° rispetti la stessa legge di variazione di quello a 10° . Ciò è possibile, a meno di un errore trascurabile, vista la curva di comfort della rotazione laterale (figura 4.6). A queste 9 curve se ne aggiungono altre 2, dal valore costante e pari ad 1, che sono proprie dei valori di rotazione laterale in corrispondenza dei limiti estremi del CROM.

Di seguito si riportano le curve su menzionate, raffigurate in vari colori asseconda dell'angolo di rotazione laterale considerato, e divise per valori positivi (linea tratteggiata) e valori negativi (linea continua).

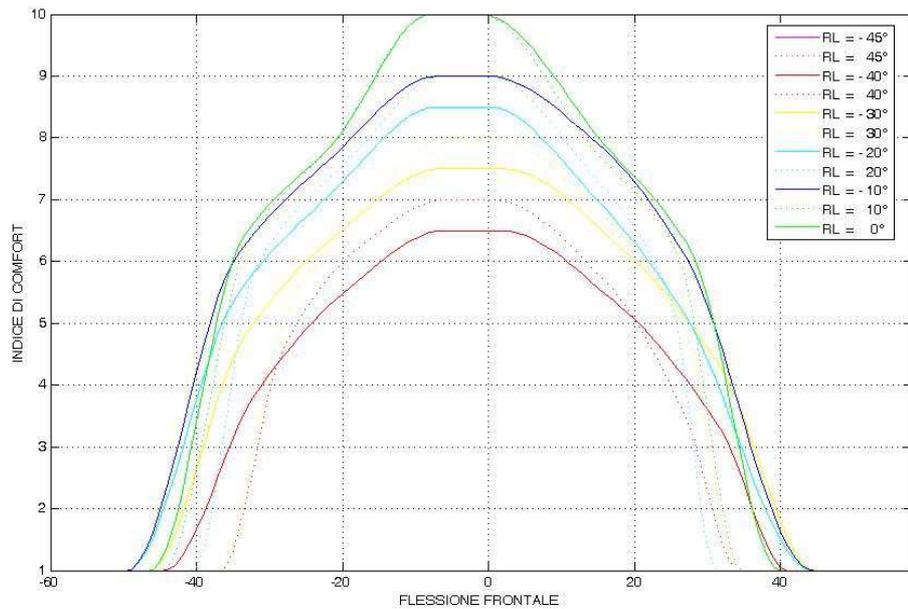


Figura 4.10; curva di comfort collo, flessione frontale

Si può notare come, al tendere dell'angolo di rotazione verso gli estremi del CROM, le curve risultano quasi scalate di un opportuno coefficiente. Ciò in parte rafforza la bontà dei dati rilevati nella fase sperimentale, e dell'approccio procedurale, e fa rilevare che il metodo è coerente rispetto a quanto ci conferma la nostra esperienza e la fisica stessa del problema. Dati i valori delle curve su esposte, vista l'esigenza di disporre di una mappatura in due dimensioni (flessione frontale / rotazione laterale) dell'indice di comfort, tramite una funzione di interpolazione lineare in 2D si è creata una superficie di interpolazione valida nel dominio dell'indice considerato che si ricorda essere:

- $-60^\circ < \text{Flessione Frontale} < 58^\circ$
- $-45^\circ < \text{Rotazione Laterale} < 45^\circ$

Il dominio è stato scelto volutamente maggiore rispetto all'intervallo CROM precedentemente menzionato, ma sono cmq rispettati i vincoli imposti secondo i quali dagli estremi del CROM l'indice di comfort deve assumere un valore 1.

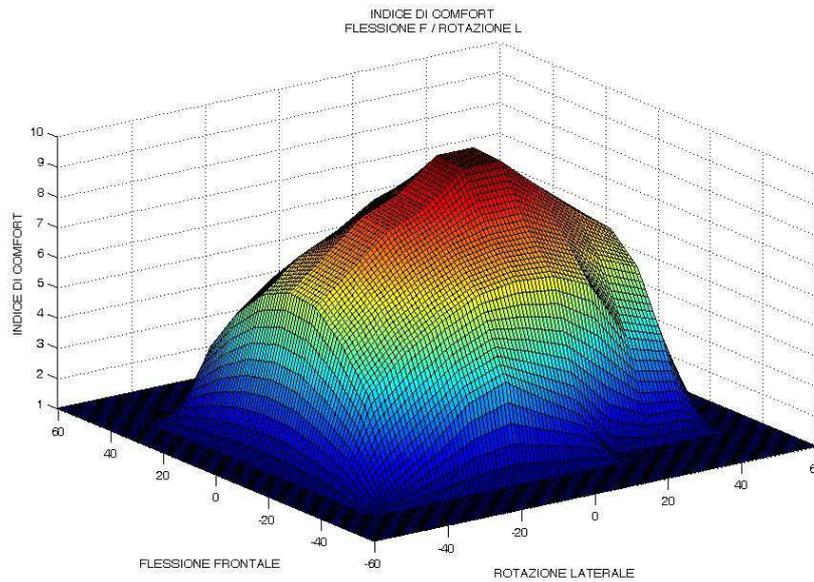


Figura 4.11; superficie di comfort collo, flessione frontale / rotazione laterale

Si può notare come l'area a comfort 10 sia quella corrispondente all'intorno del RRP della flessione frontale del collo e della rotazione laterale.

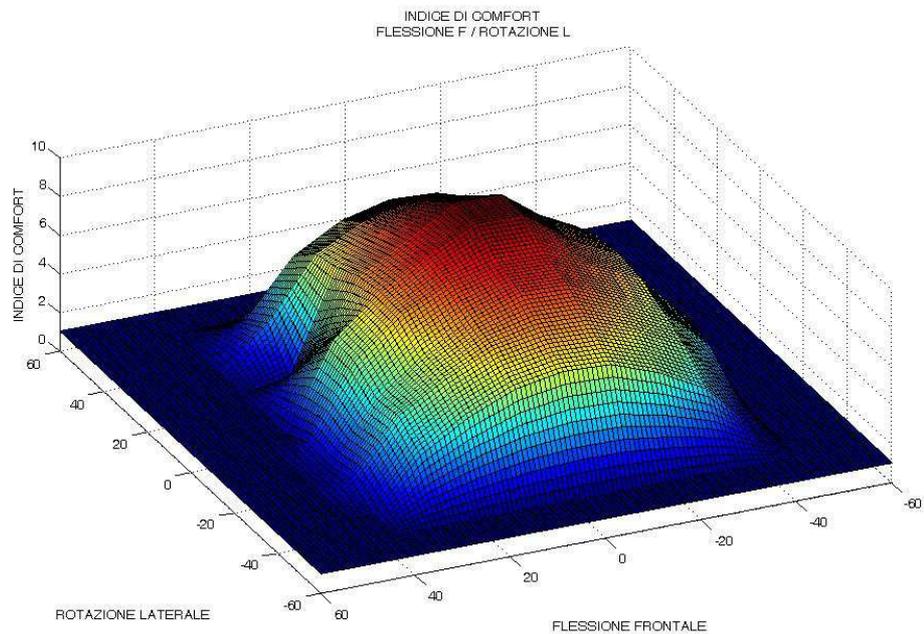


Figura 4.12; superficie di comfort collo, flessione frontale / rotazione laterale

Dalla superficie di comfort è possibile notare anche quanto già precedentemente descritto, indi la tendenza a preferire posture con rotazioni del collo verso destra, e quanto la gravità, e di conseguenza il peso del capo, influisca sulla percezione del comfort, facendo preferire posture a flessione frontale in direzione della forza peso.

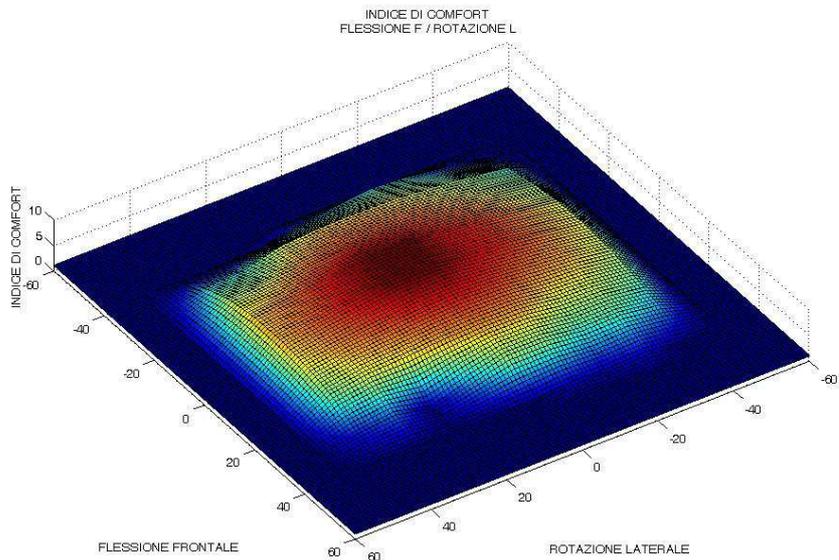


Figura 4.13; superficie di comfort collo, flessione frontale / rotazione laterale

Per completezza di esposizione si riportano anche le curve di livello dell'indice di comfort del collo, nel suo dominio 2D.

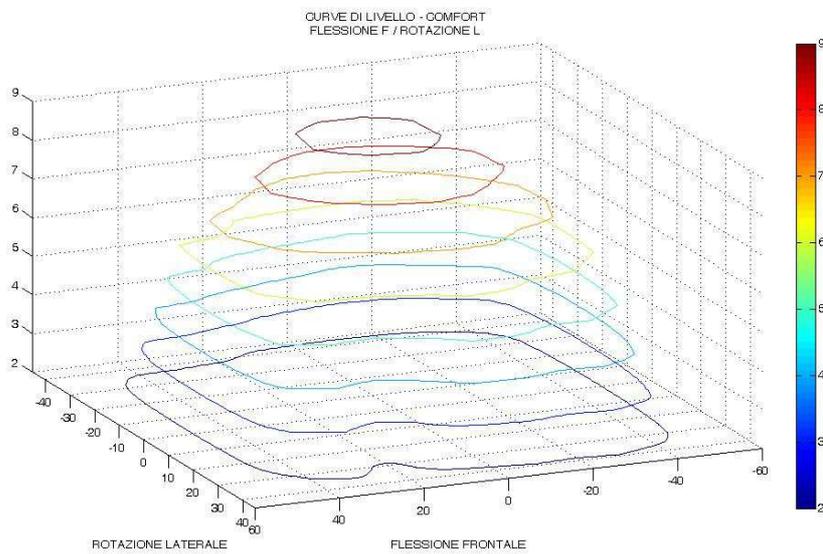


Figura 4.14; curve di livello comfort collo, flessione frontale / rotazione laterale

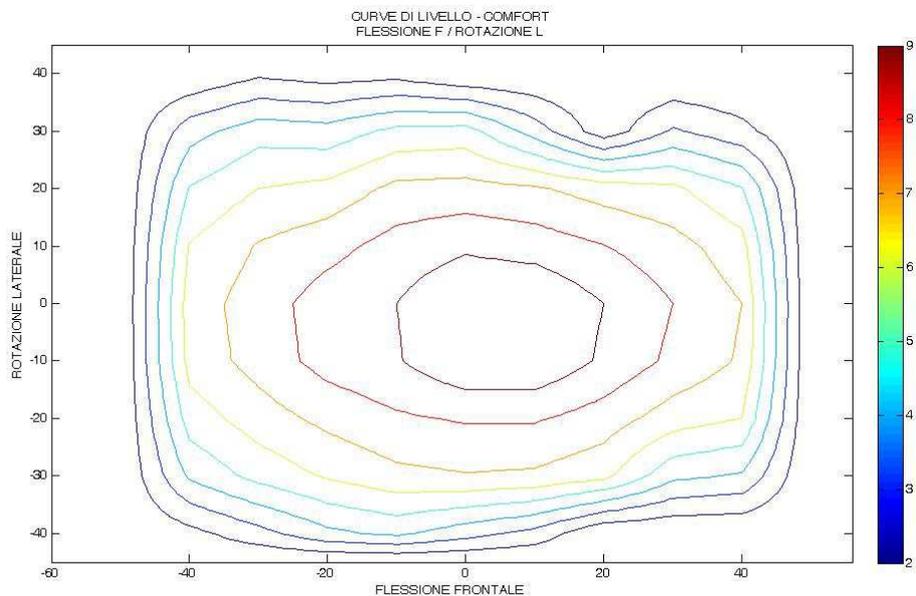


Figura 4.15; curve di livello comfort collo, flessione frontale / rotazione laterale

Esempio Applicativo – Comfort sale di pubblico spettacolo

Come è noto la progettazione di una sala cinematografica o di ogni altra struttura ospitante manifestazioni di tipo pubblico presenta una serie di problematiche da risolvere. Problematiche innanzitutto legate alla sicurezza della struttura, alla presenza e alle dimensioni delle vie di esodo, alle misure di protezione antincendio, alle misure di protezione contro fattori acustici, e così via.

La qualità percepita dall'utente di una sala di pubblico spettacolo è, però, fortemente influenzata dall'ergonomia e dal comfort, legati per lo più a fattori di tipo posturale, di tipo visivo ed acustico. Per motivi di spazio da un lato (disponibilità di strutture ospitanti più o meno grandi e collocazione poco funzionale dei posti a sedere) ed economici dall'altro (posti a sedere e in numero maggiore a fini di profitto), ergonomia e comfort vengono in parte 'sacrificati'. Bisogna poi attenersi alle norme per quanto riguarda la progettazione; norme che definiscono chiaramente, come è giusto che sia, i parametri per la sicurezza della struttura e l'incolumità del cittadino che frequenta determinati luoghi, la disposizione dei posti a sedere all'interno della sala con le distanze

minime, ma che in parte dimenticano le ‘nuove’ problematiche a cui abbiamo sopra accennato.

Non entrando ancora nel dettaglio, ci si limiti ad una serie di considerazioni. L’esperienza e il senso comune portano ad esprimere una serie di considerazioni in merito al comfort quando ci si trova all’interno di una sala cinematografica. Pur non dando peso alle considerazioni che si fanno in queste circostanze, il fatto che la maggior parte delle persone le esprima è una testimonianza che il problema esiste, è reale.

Ogni persona, recandosi al cinema, preferirebbe collocarsi in un posto a sedere non troppo distante né troppo vicino per non avere problemi con la vista, e piuttosto centrale in modo da causare meno fastidio possibile al collo in seguito alla eventuale rotazione e all’orecchio per motivi di audio. Sulla base di queste affermazioni si possono anticipare intuitivamente alcuni risultati, o meglio ci si può fare un’idea di come vari il comfort all’interno di una sala cinematografica. Si possono individuare quindi dei punti critici in cui l’indice di comfort assume valori piuttosto bassi. Allora presumibilmente ci si aspetterà che i posti a sedere maggiormente defilati delle prime file rappresenteranno un punto critico in quanto il collo umano è costretto ad effettuare un’elevata rotazione per poter visualizzare al meglio le immagini. Allo stesso modo si capisce intuitivamente come i posti centrali delle primissime file abbiano problemi di comfort in quanto il cono di vista dell’uomo è di dimensioni inferiori all’immagine, di conseguenza l’osservatore non punta esclusivamente il centro del telo, ma spazierà su di esso al fine di avere un quadro generale delle immagini che si susseguono. Ancora, dei problemi di comfort visivo possono essere presenti per quegli osservatori collocati nei posti maggiormente defilati delle ultime file, in quanto le distanze dal centro del telo di proiezione iniziano ad essere notevoli, finanche oltre i 20 metri. Si nota quindi che i punti critici possono non essere pochi; spesso il miglioramento di uno di questi può essere la causa di un peggioramento di un altro. Quindi può risultare migliore limitare gli effetti negativi derivanti dalla collocazione dei vari punti, piuttosto che focalizzare l’attenzione su un particolare punto critico con l’intento di risolvere totalmente il problema.

In questo ambito ci si soffermerà sul problema dell’analisi del comfort posturale, tenendo in considerazione, come è giusto che sia, tutti gli aspetti da esso dipendenti e ad esso connessi.

Descrizione Sala Cinematografica “Ciro Madonna” - complesso Stabia Hall di Castellammare di Stabia (NA)

L'analisi del comfort è stata effettuata su una sala cinematografica della capienza di duecentocinquantadue posti a sedere, la sala ‘Ciro Madonna’ del complesso Stabia Hall di Castellammare di Stabia (NA). Prima di ogni cosa sono state esaminate con sistemi di tipo CAD le planimetrie a disposizione.

In figura 4.16²⁷ e 4.17 sono riportate due viste della sala cinematografica completate da quote significative.

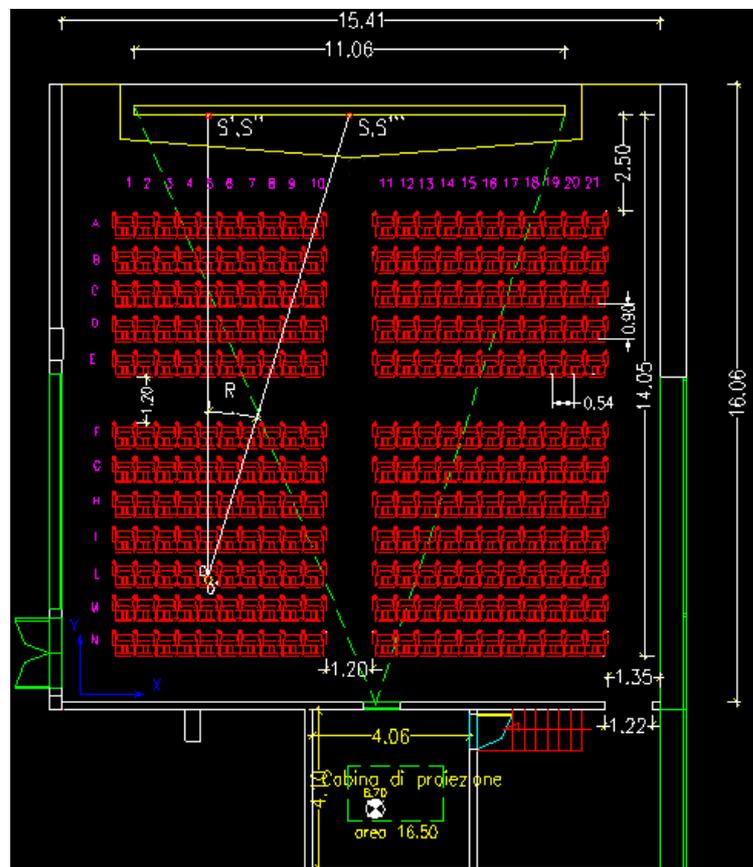


Figura 4.16 Pianta a quota ufficio cabina di proiezione.

²⁷ Software CAD, AUTOCAD® 2009

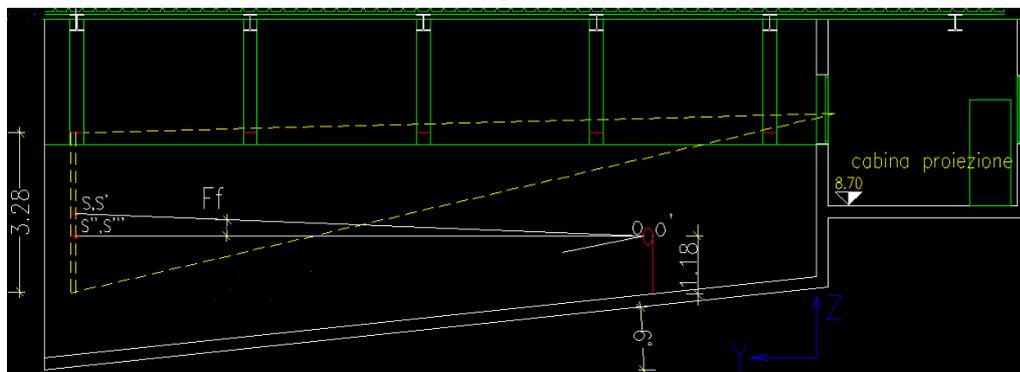


Figura 4.17 Sezione longitudinale Sala C.

Nella tabella che segue sono riportate le dimensioni caratteristiche della sala.

Lunghezza utile	16,06 m
Larghezza	15,41 m
Angolo inclinazione rispetto al pavimento	6°
Area utile	250 m ²
N° settori	4
Settore 1 (n°posti, n° file, n° posti per fila)	50; 5 ; 10
Settore 2 (n°posti, n° file, n° posti per fila)	55; 5 ; 11
Settore 3 (n°posti, n° file, n° posti per fila)	70; 7 ; 10
Settore 4 (n°posti, n° file, n° posti per fila)	77; 7 ; 11
N° posti a sedere	252
Corridoio posteriore	1,2 m
Corridoio anter. (distanza prima fila-telo)	2,5 m
Corridoio laterale sinistro	1,3 m
Corridoio laterale destro	1,35 m
Corridoio centrale (longitudinale)	1,2 m
Corridoio centrale (trasversale)	1,2 m

Poltrona (marca, modello)	Destro, Evolutionseat 1 ²⁸
Larghezza poltrone	0,54 m
Altezza max poltrone	1,1 m
Distanza tra schienali di file consecutive	0.9 m
Dimensioni telo di proiezione	11,06 m x 3,28 m
Punto medio telo di proiezione	$S_{XZ} = (7,41 ; 2,97)$
Distanza min. poltrona-telo di proiezione	2,50 m
Distanza max. poltrona-telo di proiezione	14,05 m

Tabella 4.7 Caratteristiche della sala cinematografica

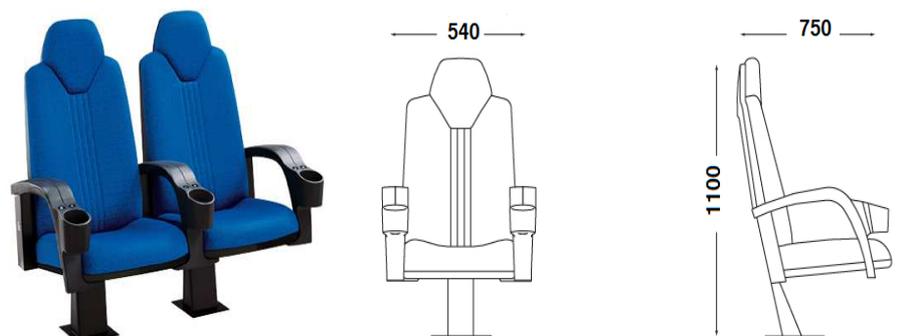


Figura 4.18 a) Poltrona Evolutionseat1, Destro S.p.a; b) quote significative della poltrona.

Identificazione dei parametri caratteristici

Si consideri la terna X-Y-Z per l'analisi delle varie piante/sezioni della planimetria del progetto della sala cinematografica. In particolare si pone l'origine del sistema di riferimento XY nel vertice basso a sinistra della pianta a quota ufficio cabina di proiezione della sala (figura 4.16), mentre l'origine del sistema di riferimento YZ sarà nel vertice basso a destra della sezione longitudinale di figura 4.17 (entrambi gli assi sono evidenziati in figura con colore blu). Le visualizzazioni del piano XY,

²⁸ <http://www.destrospa.com/prodottiCinemaMultiplexEvolutionseat1.php>

attraverso la pianta a quota ufficio cabina di proiezione, e del piano YZ, attraverso la sezione longitudinale della sala, saranno usate come supporto alla determinazione di alcuni parametri caratteristici.

Essi sono necessari, o meglio fondamentali, per l'analisi del comfort, e consentono di calcolare i valori di angolo di rotazione laterale e flessione frontale di ogni posto a sedere. Ad ogni angolo in seguito verrà associato un determinato valore dell'indice di comfort rispettivamente per la rotazione laterale e la flessione frontale del collo.

Il centro del telo rappresenta il punto rispetto al quale l'utente mira la propria vista. In tale analisi non vengono contemplate le problematiche legate al fatto che una seduta troppo vicina al telo non consente all'utente di vedere contemporaneamente tutta l'immagine proiettata. Tale fenomeno si spiega col fatto che il suo cono di vista è di dimensioni inferiori all'immagine, di conseguenza l'osservatore non punta esclusivamente il centro del telo, ma spazierà su di esso al fine di avere un quadro generale delle immagini che si susseguono.

Sono stati definiti vari punti, univocamente fissati nello spazio, al fine di calcolare le distanze e gli angoli (rotazione/flessione) tra i vari posti a sedere e il centro del telo di proiezione.

Il punto S è quel punto corrispondente al centro geometrico del telo. Volendo visualizzare il telo di proiezione nel piano XY, e quindi facendo riferimento alla vista in proiezione di figura 5.2, si noti che esso assume la forma di un segmento parallelo all'asse X di lunghezza pari a 11.08 m e avente centro in un punto di coordinata $X=7.41$; volendo visualizzare il telo di proiezione nel piano XZ esso appare come un rettangolo di dimensioni 11.08×3.28 , avente centro geometrico nel punto di coordinate $S_{xz}=(7.41;2.97)$.

È stato poi definito il punto O' come il punto medio di ogni schienale di una fila.

Il punto O è il punto di contatto tra la circonferenza di diametro OO' e il cranio umano del modello antropometrico del cinquantesimo percentile, in essa inscritto. È posto ad una distanza dal punto O' (punto medio dello schienale) di circa 0,2 m, perché tale è la massima distanza tra i due estremi anteriore e posteriore del cranio umano del modello antropometrico definito dal DELMIA. Questo punto è di fondamentale importanza, come si avrà modo di vedere in seguito, perché proprio a partire da esso vengono misurate le distanze e gli angoli rispetto al centro del telo.

Ad ogni diverso posto a sedere di ogni diversa fila corrisponderà una diversa coordinata dei punti O, O'.

Il punto S' è il punto di intersezione tra un segmento avente origine nel punto O e la linea orizzontale, parallela all'asse X, passante per il centro del telo di proiezione; il punto S'' è il punto di intersezione tra un segmento avente origine nel punto O, parallelo all'asse Z, e il telo di proiezione; il punto S''' infine è il punto di intersezione tra un segmento avente origine in O, di coordinata Z costante, e la linea verticale, parallela all'asse Z, del telo di proiezione.

Prima di descrivere la misura degli angoli e delle distanze è necessario sottolineare una cosa di fondamentale importanza, che sta alla base del calcolo delle distanze e degli angoli: è stato definito l'H-point come punto più basso del piano di seduta posto ad una distanza (parallela all'asse Z) di 0.36 m dal corrispondente punto del pavimento. Con l'utilizzo del software DELMIA sono state rilevate le misure caratteristiche di un modello antropometrico corrispondente al cinquantesimo percentile, di razza Europea.

Ai fini dell'analisi del comfort posturale della sala cinematografica sono state prese in considerazione solo le misure più significative. In particolare:

- Distanza tra il punto di vista e l'H point : 0.82m
- Distanza tra l'estremo superiore del capo e l'H-point : 0.932m
- Distanza tra l'acromion e l' H-point: 0.62 m

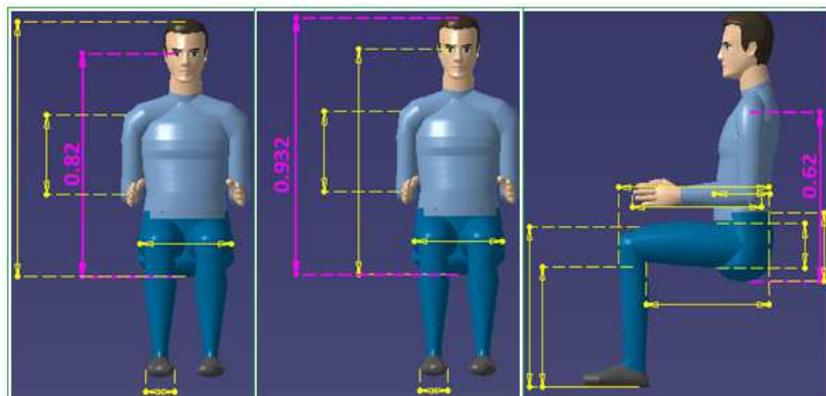


Figura 4.18²⁹ Misure caratteristiche del modello antropometrico scelto al cinquantesimo percentile

In conseguenza di ciò ne deriva che i punti O e O' sopra definiti, variabili per ogni posto a sedere di ogni fila e per ogni posto uguale di file diverse, sono posti ad una distanza verticale (parallela all'asse Z) di 1,18 m dal corrispondente punto del pavimento (figura 5.2). Tale valore numerico è dato dalla somma dell'altezza da terra dell'H-point (0,36 m) più la distanza tra il punto di vista e H-point (0,82 m). I calcoli delle distanze e degli angoli (rotazione/flessione) sono stati effettuati da un'altezza di 1,18 m dal corrispondente punto del pavimento, perché questo valore coincide con l'altezza da terra del punto di vista.

Una volta individuati questi parametri sono state calcolate le distanze in metri e gli angoli (rotazione/flessione frontale) dei vari posti a sedere rispetto al centro geometrico S del telo come misure di segmenti definiti dai punti geometrici appena descritti.

Partendo dalle distanze tra i posti a sedere e il centro del telo, queste sono individuate dai segmenti OS. Si può dunque affermare con maggiore chiarezza che il punto O è quel punto sito ad un'altezza di 1,18 m dal corrispondente punto del pavimento e coincidente col punto di vista del modello antropometrico corrispondente al cinquantesimo percentile. Quindi scrivendo $\overline{OS}_{(F11)}$ si vuole indicare la distanza tra il punto di vista dell'osservatore, seduto alla poltrona 11 della fila F, e il centro del telo corrispondente al punto S. Allo stesso modo si è proceduto per il calcolo delle distanze corrispondenti agli altri posti a sedere.

Per quanto riguarda gli angoli, l'angolo di rotazione laterale (R) è individuato, nel piano XY, come misura dell'angolo al vertice dei segmenti OS e OS''. Scrivendo $R=\widehat{OSS''}_{(F11)}$ si vuole indicare l'angolo di rotazione del collo del modello antropometrico scelto al cinquantesimo percentile collocato nel posto a sedere 11 della fila F. Allo stesso modo sono definiti gli angoli di rotazione di tutti gli altri posti a sedere della sala.

L'angolo di flessione frontale (Ff) è individuato, nel piano YZ, come misura dell'angolo al vertice dei segmenti OS e OS'''. Scrivendo $Ff=\widehat{OSS'''_{(F11)}}$ si vuole indicare l'angolo di flessione del collo del modello antropometrico scelto al cinquantesimo percentile collocato nel posto a

²⁹ Software Delmia V5R 15, sviluppato da Dassault Systèmes.

sedere 11 della fila F. Allo stesso modo sono definiti gli angoli di flessione frontale di tutti gli altri posti a sedere della sala.

Impostazione della valutazione del comfort

											S											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
A	63	61	58	55	51	47	41	35	27	18		-18	-27	-35	-41	-47	-51	-55	-58	-61	-63	-65
B	57	54	51	48	44	39	34	28	21	14		-14	-21	-28	-34	-39	-44	-48	-51	-54	-57	-59
C	51	48	45	41	38	33	28	23	17	11		-11	-17	-23	-28	-33	-38	-41	-45	-48	-51	-53
D	46	43	40	37	33	29	24	19	15	9		-9	-15	-19	-24	-29	-33	-37	-40	-43	-46	-48
E	42	39	36	33	29	25	21	17	13	8		-8	-13	-17	-21	-25	-29	-33	-36	-39	-42	-44
F	35	32	29	26	23	20	17	13	10	6		-6	-10	-13	-17	-20	-23	-26	-29	-32	-35	-37
G	32	29	27	24	21	18	15	12	9	6		-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27	-29	-32	-34
H	30	27	25	22	20	17	14	11	8	5		-5	-8	-11	-14	-17	-20	-22	-25	-27	-30	-32
I	28	25	23	21	18	16	13	10	8	5		-5	-8	-10	-13	-16	-18	-20	-23	-25	-28	-30
L	26	24	21	19	17	14	12	10	7	4		-4	-7	-10	-12	-14	-17	-19	-21	-24	-26	-28
M	24	22	20	18	16	13	11	9	6	4		-4	-6	-9	-11	-13	-16	-18	-20	-22	-24	-26
N	23	21	19	17	15	13	10	8	6	4		-4	-6	-8	-10	-13	-15	-17	-19	-21	-23	-25

Figura 4.19 Angoli di rotazione laterale del collo.

										S												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
A	13	13	15	16	17	19	21	22	24	26		26	24	22	21	19	17	16	15	13	13	12
B	11	12	13	14	15	16	17	18	19	19		19	19	18	17	16	15	14	13	12	11	11
C	10	10	11	11	12	13	13	14	15	15		15	15	14	13	13	12	11	11	10	10	9
D	8	9	9	10	10	11	11	11	12	12		12	12	11	11	11	10	10	9	9	8	8
E	7	7	8	8	8	9	9	9	9	9		9	9	9	9	9	8	8	8	7	7	7
F	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5
G	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
H	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
I	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
L	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
M	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
N	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2		2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1

Figura 4.19 Angoli di flessione frontale del collo.

Individuati gli angoli, si interroga la superficie di interpolazione per rilevare gli indici di comfort. Il grafico che segue riporta i risultati dell'applicazione del metodo.

La tabella 4.8 riporta un indice di comfort per ogni posto a sedere.

Si precisa che tale indice di comfort è stato approssimato alla prima cifra decimale e che non sono stati presi in esame i posti a sedere caratterizzati da angoli della rotazione laterale superiori ai 45° , sia verso destra, che verso sinistra. Infatti tali posti a sedere, che sono raccolti nelle estremità superiori destre e sinistre della pianta della sala cinematografica, non possono rientrare nel modello proposto essendo stato quest'ultimo limitato, per tutta la trattazione, ad angoli della rotazione laterale compresi in un ventaglio inferiore. A tali posti verrà dunque assegnato un giudizio di default pari al minimo possibile, ovvero 1/10.

	S	
--	---	--

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
A	1	1	1	1	1	1	3, 5	3, 9	4, 5	5, 3	5, 4	4, 5	3, 9	3, 4	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	4, 1	4, 4	4, 8	5, 4	6, 1	6, 9	6, 9	6, 1	5, 3	4, 7	4, 2	3, 7	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	5, 0	5, 1	5, 6	6, 2	6, 7	7, 2	7, 8	7, 7	7, 1	6, 6	6, 1	5, 4	5, 9	4, 7	1	1	1	1	1
D	1	5, 1	5, 4	5, 6	6, 1	6, 4	7, 0	7, 5	7, 8	8, 2	8, 1	7, 6	7, 4	6, 9	6, 3	5, 9	5, 4	5, 1	4, 7	1	1	1
E	5, 6	5, 9	6, 1	6, 4	6, 9	7, 2	7, 6	7, 9	8, 2	8, 5	8, 4	8, 1	7, 8	7, 4	7, 0	6, 7	6, 2	5, 8	5, 6	5, 2	4, 9	4, 9
F	6, 7	7, 2	7, 5	7, 5	7, 8	8, 0	8, 2	8, 5	8, 6	8, 9	8, 7	8, 4	8, 3	8, 0	7, 8	7, 6	7, 3	7, 1	6, 8	6, 4	6, 1	6, 1
G	7, 2	7, 5	7, 7	7, 8	8, 0	8, 2	8, 4	8, 6	8, 8	9, 1	8, 8	8, 5	8, 4	8, 2	8, 0	8, 6	7, 4	7, 2	7, 6	6, 2	6, 9	6, 7
H	7, 4	7, 7	7, 8	8, 1	8, 2	8, 4	8, 6	8, 7	8, 9	9, 2	8, 9	8, 6	8, 5	8, 4	8, 2	8, 0	7, 8	7, 6	7, 4	7, 1	7, 0	7, 0
I	7, 7	7, 9	8, 1	8, 2	8, 4	8, 5	8, 7	8, 8	9, 0	9, 3	9, 0	8, 7	8, 6	8, 5	8, 3	8, 2	8, 1	7, 9	7, 7	7, 4	7, 2	7, 2
L	8, 0	8, 1	8, 3	8, 4	8, 5	8, 6	8, 7	8, 8	9, 1	9, 4	9, 1	8, 8	8, 6	8, 5	8, 4	8, 3	8, 2	8, 1	7, 9	7, 7	7, 5	7, 5
M	8, 1	8, 3	8, 4	8, 5	8, 6	8, 7	8, 8	8, 9	9, 2	9, 4	9, 1	8, 9	8, 6	8, 6	8, 5	8, 4	8, 3	8, 1	8, 0	7, 9	7, 7	7, 7
N	8, 3	8, 4	8, 5	8, 6	8, 7	8, 8	8, 8	8, 0	9, 2	9, 4	9, 1	8, 9	8, 7	8, 6	8, 6	8, 5	8, 4	8, 3	8, 2	8, 0	8, 7	8, 9

Tabella 4.8 Variazione dell'indice di comfort nella sala cinematografica

Legenda per valori della RL assoluti:

	fino a 14°
	da 15° a 24°
	da 25° a 34°
	da 35° a 44°
	da 45°

Tabella 4.9 Legenda

Sono state poste in evidenza le distinte zone, in base al valore assoluto dell'angolo di rotazione laterale, come specificato nella legenda: ciò rende possibile, con un solo colpo d'occhio, di intuire le zone lì dove ci

aspettiamo un netto decremento dell'indice di valutazione del comfort. Nel seguito vengono riportati i grafici di variazione dell'indice di comfort lungo le file della sala. Nella seconda figura si può osservare il grafico che rappresenta l'indice di discomfort globale, ottenuto come complemento a dieci dell'indice di comfort globale e ruotato in maniera differente rispetto al primo per renderne la visione più comprensibile.

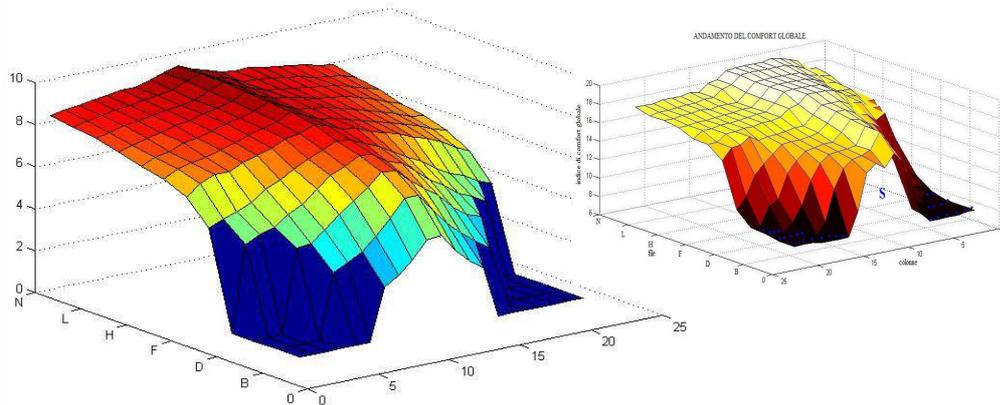


Figura 4.20: grafico 3D - indice di comfort posturale del collo

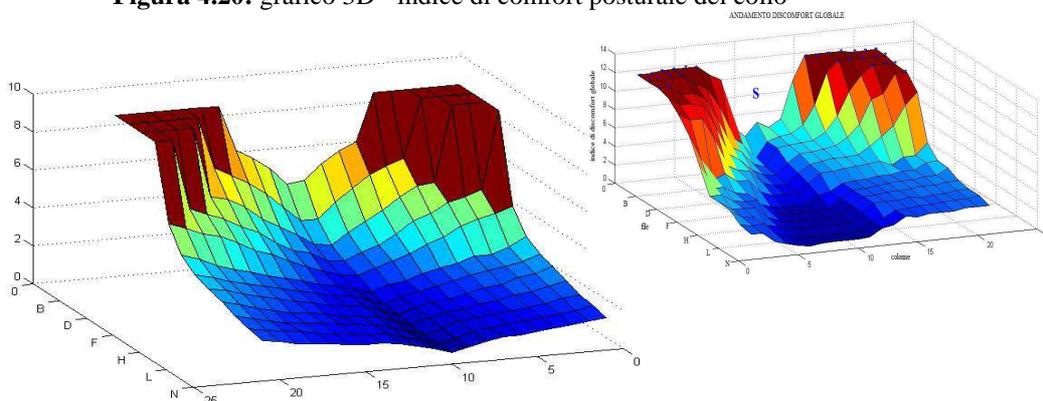


Figura 4.21 Indice di Discomfort globale

I grafici in piccolo sono relativi al comfort/discomfort globale, calcolati considerando gli indici di comfort disaccoppiati. I grafici a sinistra sono relativi all'indice di comfort globale corretto, con flessione e rotazione accoppiate.

In entrambi i casi i risultati danno indicazioni valide e rispondenti a quanto ci aspettiamo anche dalla fisica del problema. Da un'analisi più

dettagliata si nota una sostanziale differenza. Infatti fra lo studio disaccoppiato e quello accoppiato, la differenza nei rispettivi grafici che tratteggiano l'andamento del Comfort globale è indubbiamente decisa. Il modello disaccoppiato evidenzia infatti uno sbalzo netto fra due zone distinte, le quali a loro volta sono caratterizzate da un valore del comfort uniforme per un tratto rilevante dell'area dei posti a sedere. Al contrario con uno studio accoppiato dei movimenti è stato possibile determinare con maggiore accuratezza il medesimo andamento, determinandone uno diverso.

Si nota come nella *Figura 4.20* ad un picco di valori decisamente elevati, in quanto superiori ai 9/10 e riconducibili ai posti centrali, corrisponde un graduale calo sia verso destra che verso sinistra. Osservando l'andamento del grafico a destra, si può notare l'asimmetria della superficie che presenta una zona di comfort elevata in corrispondenza dell'area in cui l'utente ruota il collo verso destra. Il fenomeno del maggiore gradimento delle rotazioni verso destra rispetto a quelle verso sinistra, è stato riscontrato anche in questa seconda fase di sperimentazioni. Ciò non toglie che riscontrare una così marcata differenza di comfort è anomalo, e giustificato dal fatto che il modello disaccoppiato pesava male l'accoppiamento dei valori rilevati dagli indici dei due gradi di libertà. Cosa differente accade nel modello corretto, nel quale la differenza meno marcata ha un maggiore riscontro con quanto ci detta il nostro bagaglio di esperienza, e traduce il maggiore livello di dettaglio del metodo che attualmente è in grado di stimare con un maggiore precisione l'influenza dei moti accoppiati del collo nella percezione finale del comfort.

4.5 Considerazioni generali sul metodo

Gli indici così definiti nascono da considerazioni di carattere fisico, e rispettano le condizioni al contorno imposte al problema. La forma è regolare e non presenta punti di forte discontinuità per cui rappresenta bene la percezione del comfort che varia nel suo dominio in modo regolare e senza grosse variazioni di giudizio.

Alcune curve sono non simmetriche a causa della forza di gravità e dall'interferenza degli arti con il tronco del corpo. Si nota infatti che man mano che ci si sposta dalla condizione di equilibrio (arto a penzoloni) il grado di comfort diminuisce fortemente, come accade anche avvicinandosi ai limiti articolari dove le articolazioni mostrano solitamente minore mobilità.

Il metodo proposto funziona bene, anche se è vincolato da tre condizioni al contorno fondamentali alla definizione del giusto contesto di utilizzo:

- l'operatore deve essere in posizione eretta o da seduto,
- gli arti devono essere liberi da qualsiasi vincolo alla mobilità o piano d'appoggio su cui scaricare il proprio peso,
- le operazioni da valutare non devono comprendere movimentazioni di carichi dal peso non trascurabile.

Ulteriori evoluzioni dello studio potranno in parte ampliare il campo di utilizzo del metodo di valutazione proposto, che comunque può dirsi vasto già in questa sua prima forma. Ciò non toglie che le considerazioni di carattere generale fatte, possono essere riutilizzate in una moltitudine di contesti operativi.

4.6 La valutazione del comfort globale con CA-MAN

Il nostro lavoro, oltre a fornire una guida per l'analisi e la valutazione del comfort posturale, definisce un vero e proprio strumento di valutazione. Va considerato però che la misura deve convergere in un singolo valore di comfort che caratterizza una determinata postura del soggetto, nel compimento di uno specifico task.

E' possibile fare una sintesi della procedura di valutazione attraverso la sequenza di alcuni passi, che sono:

- misurazione degli angoli articolari della postura in analisi;

- attribuzione di un punteggio di comfort per ciascuna articolazione;
- scelta del criterio di combinazione dei punteggi di comfort;

Ogni postura può essere descritta da una collezione di parametri antropometrici, e questi sono gli angoli di ciascuna articolazione. Raccolti tali parametri, occorre associare a ciascuno di questi un punteggio di comfort come può essere ricavato dalle tabelle derivate dal modello, o dalle curve di interpolazione proposte.

I punteggi di comfort così ricavati devono essere combinati tra loro secondo un criterio che sintetizzi in output l'indice di comfort posturale.

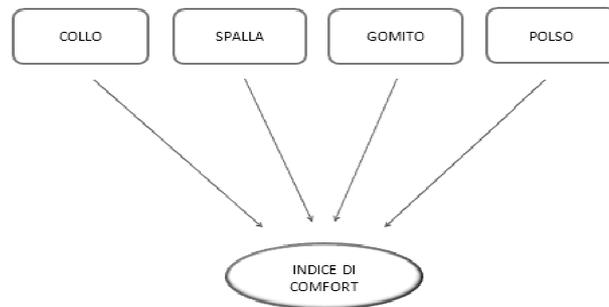


Figura 4.16; Comfort articolari ed indice di comfort.

Per avere un risultato più rilevante è utile confrontare i punteggi di comfort sulla base di più criteri, in particolare si suggeriscono:

- la somma;
- la media;
- la media geometrica.

La somma e la media sono due criteri semplici ma significativi che consentono una prima valutazione dell'indice di comfort. Accanto a questi si può affiancare la media geometrica che, in un'analisi complessiva, fornisce un risultato più cautelativo rispetto alla media, essendo maggiormente influenzata dai bassi punteggi di comfort. Confrontando media e media geometrica, dunque, è possibile stimare il peso dei punteggi di comfort più bassi rispetto a quelli più alti, mettendo in risalto l'entità della differenza che esiste tra questi.

Definito l'indice di comfort posturale, generalmente è utile condurre un'analisi per l'ottimizzazione del comfort. Tale analisi è caratteristica della realtà che si sta valutando, pertanto in questa sede risulta difficile fornire ulteriori strumenti per approfondirne gli aspetti.

Sicuramente, per l’ottimizzazione, è utile considerare in prima istanza le articolazioni a punteggio di comfort minore o, in alternativa, quelle che prospettano un maggior incremento del comfort al termine dell’ottimizzazione.

Si tenga presente, inoltre, che nel processo di ottimizzazione occorre analizzare la postura nell’insieme delle articolazioni. Potrebbe capitare, infatti, che l’ottimizzazione di un singolo parametro posturale comporti l’abbassamento del punteggio di comfort di altre articolazioni, nel qual caso si rende necessaria una valutazione di compromesso, qualora possibile.

A tale riguardo risulterà molto utile avere a disposizione delle curve e superfici di interpolazione continue all’interno dei domini di ROM considerati, in modo da creare agevolmente delle routine di ricerca dell’ottimo. A questo punto la nostra attività di ricerca ha consentito di produrre un ulteriore output, ovvero uno strumento di misura a tutti gli effetti denominato “*Comfortable Assessed – MAN*” (*CA – MAN*³⁰) utilizzabile in modo immediato, una volta acquisiti i parametri posturali. Per dare un aspetto più fruibile al *CA – MAN* ci siamo serviti dell’applicativo GUI di MATLAB[®], accoppiato ad opportune funzioni di valutazione precedentemente sviluppate.

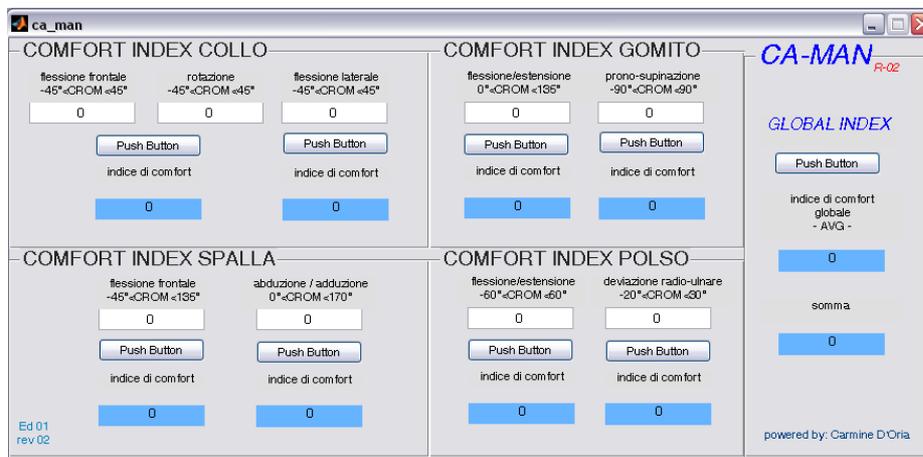


Figura 4.17; l’interfaccia grafica di *CA - MAN*.

³⁰ “*Comfortable Assessed – MAN*”, alias *CA – MAN*: lo strumento di misura del comfort posturale.

4.7 L'ergonomia cognitiva

Nel momento in cui si cerca di dare un giudizio all'interfaccia di una macchina o attrezzatura di lavoro, pur rimanendo valide tutte le considerazioni fin ora effettuate, va preso in considerazione un altro aspetto che influenza fortemente la percezione del comfort.

In questo capitolo ci soffermeremo sul concetto di "ergonomia cognitiva", cercando di estrapolare, attraverso un approccio ingegneristico, un coefficiente che corregga l'indice di comfort posturale globale definito in precedenza.

"L'ergonomia cognitiva ha come oggetto di studio l'interazione tra il sistema cognitivo umano e gli strumenti per l'elaborazione di informazione. La conoscenza prodotta da questo studio è utilizzata per supportare la progettazione di strumenti appropriati per i più svariati usi, dal lavoro, all'educazione, al divertimento³¹".

Per cui la progettazione cognitiva diviene un approccio interdisciplinare per la progettazione di sistemi orientati ad una efficace interazione umana. Essa si basa su alcuni campi delle scienze cognitive quali la Human - Computer Interaction (HCI) ovvero l'interazione uomo-computer, la psicologia, la filosofia, le neuroscienze, l'intelligenza artificiale e l'informatica.

Nella progettazione di tutti quegli oggetti che prevedano una interazione uomo macchina, il centro dell'interesse ergonomico è l'uomo. Infatti, tutto viene studiato e progettato in funzione dei suoi limiti, delle sue caratteristiche, delle sue capacità fisiche e delle esigenze e bisogni che si manifestano in relazione alla tipologia del compito da svolgere ed in relazione ad uno specifico contesto e a precisi obiettivi. Per sua natura, l'ergonomia cognitiva coinvolge diverse aree di studio: dalla psicologia, alla sociologia, fino a giungere alla ingegneria, pertanto è evidente la necessità di conoscere, per quanto possibile, i processi cognitivi coinvolti (percezione, attenzione, memoria, pensiero, linguaggio, emozioni) ed i modelli di interazione dell'uomo con l'ambiente esterno.

L'ergonomia cognitiva conduce ad un modo nuovo di concepire la progettazione. Ed infatti, le problematiche affrontate in questa tesi

³¹ Definizione della Società Europea di Ergonomia Cognitiva (EACE)

mostrano come le discipline tradizionali della progettazione abbiano, nel corso degli ultimi due decenni, subito un radicale cambio di approccio. Da una visione sistema-centrica delle attività e dei processi coinvolti, si è passati a una visione fortemente utente-centrica, per la quale l'oggetto della progettazione non è più la sola funzionalità del sistema, ma anche, e in primo luogo, la modalità di interazione fra il sistema e i suoi utilizzatori, in modo da renderne più semplice ed intuitivo l'utilizzo. Da questo nuovo approccio nasce l'esigenza di sviluppare una adeguata metodologia di progettazione che da orientata ai sistemi, come è tradizionalmente accaduto, si trasformi in progettazione orientata all'uso, per la quale riveste un ruolo fondamentale l'ergonomia cognitiva.

L'usabilità negli standard ISO

Gli standard internazionali definiscono l'usabilità come:

“la capacità del *software* di essere compreso, appreso, usato e gradito dall'utente quando usato in determinate condizioni”³²;

“il grado in cui un prodotto può essere usato da classi di utenti per raggiungere specifici obiettivi con **efficacia**, **efficienza** e **soddisfazione** in un **contesto d'uso determinato**”³³.

In particolare si definisce:

- L'*efficacia* come *la accuratezza e completezza con cui gli utenti raggiungono specificati obiettivi*. Essa considera pertanto il “livello di precisione” con cui l'utente riesce a raggiungere i suoi scopi, misurato in qualche modo numericamente.
- L'*efficienza* è definita come “*la quantità di risorse spese in relazione all'accuratezza e alla completezza con cui gli utenti*

³² Standard ISO/IEC 9126 “*Information technology - Software product evaluation – Quality characteristics and guidelines for their use*”

³³ Standard ISO 9241-11 “*Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - Guidance on usability*”

raggiungono gli obiettivi". Tali risorse potranno essere di natura differente secondo le situazioni, e potranno anch'esse essere quantificate. Per esempio: il tempo impiegato per ottenere un determinato risultato, il numero di tasti da premere per realizzare una certa funzione, il numero di operazioni di un certo tipo da effettuare.

- La *soddisfazione* è definita come "la libertà dal disagio e l'attitudine positiva verso l'uso del prodotto"³⁴.

Metriche e misure³⁵ di valutazione dell'usabilità

La misurazione dell'usabilità si basa sull'analisi dei dati relativi all'interazione utente prodotto. Si presta più facilmente per quelle tecniche di indagine che coinvolgono direttamente l'utente finale, come la *task analysis* o i questionari.

Per ottenere dati statisticamente validi è necessario definire con attenzione sia gli obiettivi di usabilità sia i compiti da eseguire e le relative tecniche di valutazione delle prestazioni.

Le **metriche principali** dell'usabilità sono:

- **Efficacia:** la misura in cui un utente è in grado di raggiungere l'obiettivo di un compito in modo corretto e completo;
- **Efficienza:** la quantità di risorse spese in relazione all'efficacia;

³⁴ Robertson S. A., *Contemporary Ergonomics*, Taylor & Francis, 1995;

³⁵ BAILEY, R., *Usability Testing versus Heuristic Evaluation: A Head-to-Head Comparison*. Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting, 409-413, New York, 1992; DUMAS, J., REDISH, J., *A Practical Guide to Usability Testing*, Intellect, Portland OR, 1993;

LINDGAARD, G., *Usability Testing and System Evaluation: A Guide for Designing Useful Computer Systems*, Chapman and Hall, London, U.K. 1994;

NIELSEN, J., *Usability Engineering*, Academic Press, Boston, 1993;

NIELSEN, J., MACK, R. L., *Usability Inspection Methods*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1994;

RUBIN, J., *Handbook of Usability Testing*, John Wiley and Sons, New York, NY, 1994.

- **Soddisfazione d'uso:** la piacevolezza e il gradimento dell'utilizzo del prodotto;
- **Facilità di apprendimento:** in relazione alla curva di apprendimento dell'utente che indica il tempo necessario per eseguire correttamente i compiti;
- **Facilità di ricordo:** la facilità con cui le procedure di interazione del prodotto vengono memorizzate dall'utente.

Mentre le **misure tipiche** sono le seguenti:

- tempo necessario per eseguire i compiti;
- compiti eseguiti in modo corretto;
- compiti eseguiti completamente entro un tempo prestabilito;
- numero di errori commessi nell'esecuzione dei compiti;
- gravità e ricorrenza degli errori commessi;
- tempo necessario per correggere gli errori commessi;
- tempo speso per l'esplorazione del prodotto;
- volte di utilizzo del *manuale* o dell'*help*;
- tipo di comandi usati dall'utente per l'esecuzione del compito;
- numero e tipo di comandi ignorati dall'utente;
- reazioni dell'utente;

Analisi qualitativa vs misurazione quantitativa³⁶

Compiere un'analisi quantitativa comporta sicuramente dei costi superiori a causa del numero maggiore di utenti coinvolti e della necessità di una fase di analisi più lunga, ma fornisce risultati con rilievo statistico. Un'analisi qualitativa necessita di minori risorse: possono essere sufficienti 5 *usability engineer* o 5 utenti per i test.

Se lo scopo dell'indagine è semplicemente quello di valutare il prodotto per migliorarlo, può bastare un'analisi qualitativa; nel caso in cui volessimo ottenere delle misure di riferimento, effettuare comparazioni tra prodotti diversi o fra versioni diverse del prodotto sarà preferibile un'analisi quantitativa.

³⁶ LINDGAARD, G., *Usability Testing and System Evaluation: A Guide for Designing Useful Computer Systems*, Chapman and Hall, London, U.K. 1994.

4.8 Analisi e valutazione dell'ergonomia cognitiva

Definiti i principi sui quali si fonda l'ergonomia cognitiva viene proposta una modalità di misurazione della stessa attraverso l'utilizzo di questionari rivolti ad utenti ed esperti, e strumenti semplici per la misura delle prestazioni nell'utilizzo.

Modalità di analisi della ergonomia cognitiva

La procedura per una analisi della ergonomia cognitiva caratteristica di un prodotto comprende diverse fasi. Le parti in causa generalmente sono un cliente, che richiede una valutazione della ergonomia cognitiva di un determinato prodotto, un team di valutazione della ergonomia cognitiva ed eventuali tester esterni o interni alla azienda cliente produttrice. Questa procedura è, su grandi linee, quella che viene utilizzata da diverse società di valutazione della usabilità ed è volta a dare una risoluzione “*on fly*” delle problematiche di ergonomia cognitiva riscontrate sul prodotto in oggetto.

Contatto con il cliente

L'incontro serve al coordinatore e ai *test monitor* per conoscere a fondo le esigenze del cliente e soprattutto per capire quali sono i *task* principali e secondari del prodotto che si vuole valutare. Questa conoscenza avverrà attraverso un colloquio con il management del cliente, che illustrerà la storia, le caratteristiche e gli obiettivi del prodotto.

Verrà definito inoltre il target di riferimento e i target secondari, di cui verranno tracciati dei profili e, specialmente nel caso di un target di nicchia, verranno anche forniti dei nominativi e dei contatti. Un altro punto dell'incontro sarà la descrizione del *team* di progetto e del *team* di sviluppo del prodotto, figure con le quali si entrerà in contatto successivamente e che verranno coinvolte nella sperimentazione. Infine verrà illustrata dal responsabile marketing del cliente una breve analisi del mercato e dei *competitor*.

Esplorazione preliminare interfaccia

Si diventa utenti del prodotto: si familiarizzerà con gli strumenti di utilizzo e con il contenuto, si eseguiranno i *task* principali e secondari.

Definizione scenario

Si passa a una fase di definizione delle procedure. Prima di tutto si elaborerà la lista dei *task*, categorizzandoli per frequenza, criticità, importanza e infine raggruppandoli in primari e secondari.

Se possibile, si produrrà un *benchmark* di questi *task* su prodotti *competitor*. Per quanto riguarda la sperimentazione, si dovrà scegliere: il numero dei *test monitor*, generalmente uno per gruppo di sperimentazione; il numero di utenti-test, tipicamente 2 o 3 batterie da 5 utenti; si dovrà poi elaborare il loro profilo tipo, eventualmente scegliendone più di uno. Si definisce e descrive anche il ruolo del *team* di progetto e sviluppo del cliente e le figure professionali chiamate a partecipare in qualità di osservatori.

Dovrà essere anche elaborata l'analisi qualitativa a cura dell'*usability engineer* e del *test monitor*.

Elaborazione offerta

All'interno dell'offerta dovranno essere definite le attività da svolgere, le risorse impegnate e i relativi costi e i tempi necessari per svolgere le attività. Nel caso in cui sarà previsto un rimborso per gli utenti test, si dovrà inserire anche questo. Il costo sarà in funzione del numero di utenti e dei gruppi di sperimentazione, della scelta del design iterativo, del numero di analisi qualitative previste e dei tempi di realizzazione. Si definirà il GANTT di progetto.

Approvazione del cliente

Il cliente sceglierà di accogliere la proposta commerciale ed eventualmente indicherà anche la variante preferita. Indicherà le risorse interne messe a disposizione del progetto e i loro tempi.

Utenti – test

Elenco dei nominativi dei possibili utenti-test; elaborazione scheda profilo da somministrare all'utente e colloquio con utenti-test per confronto con il profilo definito; calendario delle sessioni di test con gli utenti e conferma della loro convocazione.

Preparazione logistica

Si dovrà ricreare la situazione di utilizzo del prodotto quanto più simile a quella reale; ad esempio, se un prodotto per il controllo vocale di un computer è concepito per essere utilizzato in un ufficio affollato, la situazione di test dovrà essere la più realistica possibile, eventualmente facendo partecipare gli osservatori. Quindi si dovrà approntare la logistica necessaria: postazione di lavoro, collegamento in rete, strumenti per l'attività. Si prepareranno le schede di valutazione e gli strumenti di misura delle prestazioni degli utenti, come videocamere e cronometri. Si preparerà la scheda dei *task* da somministrare agli utenti test. Si preparerà la scheda per il briefing degli osservatori.

Briefing osservatori

Si dovrà spiegare il ruolo degli osservatori e le loro competenze.

Briefing utenti test

Si dovrà spiegare il loro ruolo e, cosa fondamentale, si dovrà evitare di far nascere l'ansia da prestazione: dunque si dovranno evitare termini quali misura, prestazione, confronto, analisi, osservazione. E' uno dei punti più delicati, se non il più delicato, perché rischia di falsare le prestazioni dell'utente. Si dovrà evitare di far attendere troppo a lungo, prima e dopo la sessione e in ogni caso si renderà piacevole questa attesa.

Esecuzione test

Nella conduzione del test, fondamentale è il ruolo del *test monitor* che dovrà analizzare il comportamento dell'utente appuntando le

osservazioni; uno dei *test monitor* non impegnato si occuperà della misura delle prestazioni e della registrazione delle stesse. Gli osservatori andranno a integrare i dati raccolti dal *test monitor*.

Analisi esperta

A cura dello *usability engineer* o di uno dei *test monitor* non attivo nella conduzione della sperimentazione, verranno condotte delle analisi esperte sulla base di una *check list* di *task*; le osservazioni raccolte dovranno essere più sistematiche e precise possibili.

Debriefing utenti-test

Si congederà l'utente test; anche in questo caso si dovrà cercare di rendere il comportamento più naturale possibile.

Debriefing osservatori

Gli osservatori del test sono invitati a condividere le loro annotazioni; verrà elaborata una lista di osservazioni categorizzate per frequenza, criticità, importanza e infine, facendo riferimento ai *task*, si raggrupperanno in primarie e secondarie. E' importante esporre tutte le osservazioni, anche quelle che potrebbero sembrare fuori luogo.

Registrazione e analisi dati statistici

Si passa all'analisi dei dati statistici che saranno stati già ordinati; si dovrà notare la loro frequenza, criticità, importanza. Verranno elaborati matrici e grafici per un'immediata evidenza dei dati. In un secondo momento vengono comparati con i risultati qualitativi e viene prodotto un documento da presentare al *team* di progetto e sviluppo. E' importante evidenziare i punti di contatto tra analisi quantitativa e qualitativa. Per le osservazioni a bassa criticità vengono formulate le prime raccomandazioni.

Debriefing con team di progetto e sviluppo

Vengono presentati i risultati delle analisi e si stimola la discussione su quelle che possono essere le soluzioni e le raccomandazioni; si analizza anche la fattibilità degli interventi richiesti. Sono evidenziati anche i lati positivi e le aree di forza del prodotto.

Primo Report

Viene elaborato un primo report sulla base delle analisi dei dati, dei colloqui e delle analisi qualitative. Il report dovrà essere strutturato in questo modo: una prima sezione, sintesi delle aree di forza e di debolezza riscontrate. Poi una parte che indichi i *benchmark* relativi ai *task* primari e secondari comparati con quelli dei *competitor*; la descrizione per esteso di tutte le aree di debolezza con le relative soluzioni o raccomandazioni. La sezione seguente presenterà gli strumenti statistici e i dati relativi agli utenti-test. Fondamentale la cura della struttura del report: la *usabilità* di un report di usabilità è importante. Dovrà quindi avere un aspetto professionale, attraente, esauriente, facile da comprendere e dovrà integrare anche degli screenshot d'esempio. Il report viene consegnato al *team* di progettazione e sviluppo che invia le proprie osservazioni.

Eventuale Seconda release del prodotto (design iterativo)

Il *team* di progetto e sviluppo ridefiniscono il prodotto sulla base delle indicazioni emerse in questa prima parte; successivamente si ripetono i punti dal 6 al 16.

Secondo report

Al report originario si integrano le osservazioni del *team* di progetto e sviluppo sviluppate sulla seconda release.

Meeting con management

Si presenta il secondo report; si ascoltano le osservazioni e le indicazioni del management, soprattutto in merito alla fattibilità delle soluzioni proposte.

Report definitivo

Integrazione secondo report con le informazioni emerse dal colloquio con il management. Formulazione delle raccomandazioni e soluzioni effettivamente implementabili e delle osservazioni di carattere generale. Raccolta delle raccomandazioni e soluzioni proposte non implementate.

Valutazione della ergonomia cognitiva attraverso la sintesi dei parametri caratteristici

Le metodologie di misurazione della ergonomia cognitiva fino ad ora illustrate svolgono prevalentemente un ruolo correttivo di un prodotto in via di progettazione o di restyling di un prodotto già esistente. Il fulcro di questa studio vuole essere, oltre alla determinazione dei parametri caratteristici della ergonomia cognitiva, la determinazione di un misura di sintesi della ergonomia cognitiva di un definito prodotto. Alla luce dello studio effettuato sulla ergonomia cognitiva e sui parametri che la caratterizzano e data la necessità di avere come risultato un valore squisitamente numerico, e considerando la ovvia necessità che qualunque sia il metodo utilizzato è bene che esso non richieda un grande sforzo e che la raccolta e l'analisi dei dati sia quanto più poco dispendiosa, si è scelto di utilizzare i seguenti metodi di valutazione:

- Questionario per esperti
- Questionario per utenti
- Rapporto di scopo
- Rapporto di mapping
- Metodo di misurazione del Periodo Produttivo

I metodi definiti sono di diversa natura e tendono a coprire una vasta gamma dei parametri caratterizzanti l'ergonomia cognitiva, che come precedentemente mostrato risultano essere numerosi, di non semplice definizione e spesso sovrapponibili.

Questionario per esperti

Il questionario per esperti è strutturato sulla base della metodologia della valutazione euristica, attraverso la somministrazione agli esperti di un questionario di valutazione in scala Likert. Essa è basata su una valutazione a scelta forzata in cui si fa una dichiarazione e l'intervistato indica il grado di accordo o disaccordo con tale affermazione su una scala di valutazione da 1 a 5.

Il questionario è costituito da dieci affermazioni per le quali l'esperto dovrà esprimere il suo grado di accordo o disaccordo con una votazione così strutturata:

1. Fortemente in disaccordo
2. Parzialmente in disaccordo
3. Né d'accordo né in disaccordo
4. Abbastanza d'accordo
5. Molto d'accordo

Le affermazioni caratterizzanti il questionario sono le seguenti:

- 1. Visibilità dello stato del sistema:** il sistema informa sempre gli utenti su ciò che sta accadendo, mediante feedback appropriati in un tempo ragionevole.
- 2. Corrispondenza fra il mondo reale e il sistema:** il sistema parla il linguaggio dell'utente, con parole, frasi e concetti familiari all'utente, piuttosto che termini orientati al sistema. Segue le convenzioni del mondo reale, facendo apparire le informazioni secondo un ordine logico e naturale.
- 3. Libertà e controllo da parte degli utenti:** gli utenti se selezionano delle funzioni del sistema per errore, individuano una

“uscita di emergenza” segnalata con chiarezza per uscire da uno stato non desiderato senza dover passare attraverso un lungo dialogo. Il sistema fornisce all’utente le funzioni di undo e redo.

4. **Consistenza e standard:** gli utenti sono costretti a chiedersi se parole, situazioni o azioni differenti hanno lo stesso significato. Il sistema segue le convenzioni della interfaccia di prodotto utilizzata.
5. **Prevenzione degli errori:** il sistema evita l’insorgere di problemi, elimina le situazioni che possono provocare errori da parte dell’utente e chiede conferma prima di eseguire le azioni richieste.
6. **Riconoscere piuttosto che ricordare:** l’interfaccia di prodotto minimizza il ricorso alla memoria dell’utente, rendendo visibili gli oggetti, le azioni e le opzioni. L’utente non ha bisogno di ricordare delle informazioni, nel passare da una fase del dialogo a un’altra. Le istruzioni per l’uso del sistema sono visibili o facilmente recuperabili quando servono.
7. **Flessibilità ed efficienza d’uso:** acceleratori – invisibili all’utente novizio – possono essere utilizzabili dall’utente esperto, in modo che il sistema possa soddisfare sia l’utente esperto sia quello inesperto. Permette all’utente di personalizzare le azioni frequenti.
8. **Design minimalista ed estetico:** i dialoghi non contengono informazioni irrilevanti o necessarie solo di rado.
9. **Aiutare gli utenti a riconoscere gli errori, diagnosticarli e correggerli:** i messaggi di errore sono espressi in linguaggio semplice (senza codici), viene indicato il problema con precisione e suggerita una soluzione in modo costruttivo.
10. **Intuibilità o guida e documentazione:** il sistema è utilizzabile senza guida o documentazione di supporto e se così non è, l’eventuale guida e documentazione è facilmente raggiungibile, focalizzata sul compito dell’utente, ed elenca i passi concreti da fare, senza essere troppo ampia.

		Fortemente in disaccordo	Parzialmente in disaccordo	Né d'accordo né in disaccordo	Abbastanza d'accordo	Molto d'accordo
1	Visibilità dello stato del sistema					
		1	2	3	4	5
2	Corrispondenza fra il mondo reale e il sistema					
		1	2	3	4	5
3	Libertà e controllo da parte degli utenti					
		1	2	3	4	5
4	Consistenza e standard					
		1	2	3	4	5
5	Prevenzione degli errori					
		1	2	3	4	5
6	Riconoscere piuttosto che ricordare					
		1	2	3	4	5
7	Flessibilità ed efficienza d'uso					
		1	2	3	4	5
8	Design minimalista ed estetico					
		1	2	3	4	5
9	Aiutare gli utenti a riconoscere gli errori, diagnosticarli e correggerli					
		1	2	3	4	5
10	Intuibilità o guida e documentazione					
		1	2	3	4	5

Tabella 4.7; questionari per esperti.

Una volta compilato il questionario da parte dell'esperto il metodo per ottenere una valutazione globale è dato attraverso la moltiplicazione del voto ottenuto da ogni affermazione moltiplicato per due e successivamente sommando tutti i dieci valori ottenuti, si avrà in definitiva una valutazione espressa in centesimi.

Ad esempio se la valutazione di accordo data alla prima affermazione da parte del valutatore esperto è 3, tale valore dovrà essere moltiplicato per 2 dando come risultato 6; si procederà in tal modo per tutte le dieci affermazioni caratterizzanti il questionario e si provvede poi alla somma dei valori ottenuti.

La metodologia di svolgimento di tale questionario prevede che il valutatore esperto utilizzi il prodotto da valutare una volta per ogni affermazione da valutare, ovvero dovrà utilizzare il prodotto dieci volte, ed ogni volta dovrà porre particolare attenzione alla euristica da valutare. Il questionario per fornire dati validabili deve essere compilato almeno tre volte da tre distinti esperti che non abbiano scambiato informazioni in merito al prodotto da testare.

Questionario per utenti

Anche il questionario per utenti è sviluppato con le stesse modalità del questionario per esperti ovvero attraverso la scala Likert con dieci affermazioni da valutare, prevedendo in questo caso anche delle domande a polarità invertita per ovviare alla tendenza degli utenti a dare sempre risposte troppo gentili. Il questionario per utenti tende a dare una valutazione della soddisfazione dell'utente nell'utilizzare un determinato prodotto. Il questionario utilizzato è accreditato a livello internazionale ed è definito ***SUS - the System Usability Scale*** esso è stato redatto da John Brooke della Redhatch Consulting Ltd, società di consulenza internazionale che si occupa di valutare la soddisfazione cliente prodotto. Il metodo di valutazione come precedentemente annunciato è lo stesso del questionario per esperti e quindi esso è costituito da dieci affermazioni per le quali l'esperto dovrà esprimere il suo grado di accordo o disaccordo con una votazione strutturata come in precedenza.

Il questionario, pertanto, è così caratterizzato:

		Fortemente in disaccordo	Parzialmente in disaccordo	Né d'accordo né in disaccordo	Abbastanza d'accordo	Molto d'accordo
1	Mi piacerebbe utilizzare questo sistema frequentemente					
		1	2	3	4	5
2	Il sistema è inutilmente complesso					
		1	2	3	4	5
3	Il sistema è semplice da usare					
		1	2	3	4	5
4	Ho bisogno del supporto di un tecnico per poter utilizzare questo sistema					
		1	2	3	4	5
5	Ho trovato varie funzioni ben integrate in questo sistema					
		1	2	3	4	5
6	C'è troppa incoerenza in questo sistema					
		1	2	3	4	5
7	Immagino che la maggior parte delle persone imparino ad usare questo sistema molto rapidamente					
		1	2	3	4	5
8	Ho trovato il sistema molto complicato da usare					
		1	2	3	4	5
9	Mi sento molto sicuro nell'utilizzo di questo sistema					
		1	2	3	4	5
10	Ho avuto bisogno di imparare un sacco di cose prima di poter procedere all'utilizzo di questo sistema					
		1	2	3	4	5

Tabella 4.8; questionari per utenti.

Il metodo che conduce ad avere una valutazione finale attraverso il presente questionario prevede di sottrarre alle domande dispari il valore uno, mentre per le domande pari bisogna sottrarre a cinque la valutazione data alla domanda; successivamente si sommano i risultati ottenuti e si moltiplica per 2,5, in questo modo si ottiene una valutazione in centesimi come nel precedente questionario.

In definitiva si somministra il questionario ad almeno 15 utenti e se ne ricava un valore medio.

Rapporto di mapping

Il rapporto di mapping è un metodo di valutazione che si rifà ad uno dei principi cardini della ergonomia cognitiva rappresentato, per l'appunto, dal mapping. Questo metodo è espresso dal rapporto tra il numero di comandi disponibili e il numero di azioni possibili su un prodotto.

$$RM = \frac{\text{Numero di comandi disponibili}}{\text{Numero di azioni disponibili}}$$

Se questo rapporto è uguale ad uno allora il prodotto è orientato ad una corrispondenza biunivoca tra le scelte ed i comandi quindi presumibilmente più semplice da adoperare da parte di un utente, man mano che questo rapporto diminuisce allontanandosi dal valore unitario si ha un presumibile aumento della complessità funzionale del prodotto e conseguentemente un peggioramento della sua ergonomia cognitiva.

Metodo di misurazione del Periodo produttivo

Questo risulta essere il metodo più elaborato e dispendioso. Ha lo scopo di fornire dati sull'efficacia e l'efficienza di interazione degli utenti con un prodotto, inoltre permette di valutare l'ergonomia cognitiva di un prodotto osservando e analizzando la realizzazione del compito da parte degli utenti.

Esso si svolge cronometrando l'attività svolta da un utente su un prodotto e categorizzandone i tempi di attività, per una misurazione più precisa è preferibile video riprendere la prestazione dell'utente e successivamente misurare i tempi.

Il tempo da cronometrare viene definito:

Durata del compito esso è il tempo totale che l'utente impiega per svolgere il compito da valutare, dal tempo in cui l'utente inizia l'azione fino al completamento del compito stesso. Questo viene suddiviso in:

- **Tempo produttivo:** quanto tempo l'utente impiega in azioni concretamente utili al completamento del compito;
- **Tempo improduttivo:** quanto tempo l'utente impiega per compiere azioni che non contribuiscono attivamente al completamento del compito, tale tempo viene ulteriormente suddiviso in:
 - **Tempo di aiuto:** il tempo speso ricercando informazioni sul sistema in studio;
 - **Tempo di ricerca :** il tempo speso osservando il sistema o suoi comandi senza attivare nulla che porti al compimento della azione
 - **Tempo di inconveniente:** tempo speso per compiere una azione:
 - Negativa: cancella gli avanzamenti ottenuti attraverso tutte le precedenti azioni.
 - Annullata: elimina l'azione errata precedentemente compiuta.
 - Respinta: l'interfaccia del prodotto ignora o respinge l'azione eseguita

Dalle misurazioni si sviluppa ed ottiene il periodo produttivo. Questo parametro esprime la proporzione di tempo che l'utente impiega per raggiungere l'obiettivo.

Esso si calcola attraverso il tempo produttivo (Productive Time) e la durata del compito (Task Time).

Generalmente non si misura direttamente il tempo produttivo ma bensì si misura dapprima il tempo speso in azioni improduttive e questo viene sottratto alla durata del compito (Task Time) ottenendo così il tempo produttivo.

In casi di particolare semplicità ove possa essere considerato un tempo improduttivo non specificando le sue divisioni è possibile effettuare la misurazione utilizzando due cronometri, uno per il cronometrare la durata del compito e l'altro per cronometrare il tempo produttivo.

La formula che caratterizza il periodo produttivo è la seguente:

$$PP = \left(\frac{\text{Durata del compito} - \text{Tempo improduttivo}}{\text{Durata del compito}} \right) * 100\%$$

o, dove sia possibile applicarla direttamente:

$$PP = \left(\frac{\text{Tempo improduttivo}}{\text{Durata del compito}} \right) * 100\%$$

Il parametro ergonomia cognitiva P_{ec}

Dai valori precedentemente calcolati è possibile definire un coefficiente peggiorativo caratterizzante l'ergonomia cognitiva di un prodotto. Tale coefficiente, sottratto al valore della ergonomia tradizionalmente definita, permette di avere una valutazione complessiva della ergonomia, e di non sottovalutare l'importanza che l'ergonomia cognitiva ha nella realizzazione e nella valutazione di un prodotto.

Il coefficiente peggiorativo della ergonomia cognitiva è:

$$P_{ec} = \left(\frac{Q \cdot \text{esperto} + Q \cdot \text{utente} + PP}{300} \right) \times RM$$

Al crescere di questo coefficiente si avrà un miglioramento della ergonomia cognitiva del prodotto in oggetto, esso è definito coefficiente peggiorativo perché moltiplicandolo per il valore della ergonomia tradizionale permette di inglobarvi anche quella cognitiva. Riuscendo così ad ottenere quel che ci eravamo prefissati ovvero la determinazione di un valore di comfort che prendessi in considerazione anche l'ergonomia cognitiva. L'analisi proposta permette di valutare numericamente l'ergonomia cognitiva di un prodotto. Fino ad ora essa è stata oggetto di studio in una forma più discorsiva, data la sua natura che la avvicina quasi indissolubilmente alla psicologia e pertanto non è stato possibile nel corso degli anni passati affrontare uno studio "ingegneristico" di questa problematica; sperando che questo possa fornire un utile strumento per il miglioramento degli ambienti di progettazione ed una maggiore considerazione della ergonomia cognitiva che caratterizza, volenti o nolenti, qualunque oggetto con il quale l'uomo interagisca.

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'attività di ricerca che mi ha coinvolto durante il dottorato è stata mirata, fin dai primi passi, alla risoluzione di un problema ingegneristico proposto nell'ambito di una forte collaborazione con l'industria, e in particolare con il settore dell'automotive.

Come tale, il nostro lavoro si è sviluppato seguendo due direzioni convergenti, l'una mirata allo studio e alla ricerca nell'ambito dell'ergonomia posturale, l'altra, frutto della collaborazione con il mondo del lavoro, mirata alla risoluzione del problema operativo, in risposta all'esigenza di uno strumento pratico, veloce, e facilmente integrabile in ottica di ottimizzazione multi - parametrica.

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

- Nella prima fase di studio si sono definiti dei parametri antropometrici atti a descrivere i gradi di libertà, gli intervalli di movimento articolare e le posture ammissibili dal corpo umano. Sulla base di tale ricerca bibliografica, per ciascuna articolazione, si è suddiviso il range di movimento (Range of Motion, ROM) in intervalli angolari, ognuno con un significato specifico:
 - il CROM (Comfort Range of Motion) come dominio di appartenenza della funzione comfort,
 - il RRP (Range of Rest Position) come intervallo angolare caratteristico delle posizioni di riposo del corpo umano. Nella logica del modello di valutazione sviluppato in questo studio, gli RRP rappresentano l'intervallo angolare caratterizzato dal massimo punteggio di comfort.
- Le informazioni acquisite in merito ai CROM ed agli RRP, completate da una grossa mole di dati sperimentali ricavati nel corso di svariate settimane di test in laboratorio, sono state quindi utilizzate per istruire una rete neurale. Il ricorso alla rete neurale è servito a generalizzare i risultati ottenuti dalle analisi effettuate in laboratorio.

La scelta è stata condizionata dalla necessità di uno strumento che ci consentisse di svincolarci dai risultati direttamente acquisiti dal campione di riferimento, ma che si basasse su tali valori per generarne di nuovi in corrispondenza di angoli differenti da quelli rilevati durante la sperimentazione. È stata quindi utilizzata una rete neurale per ogni articolazione e per ogni movimento indicati nei capitoli precedenti. L'obiettivo della rete neurale era di stabilire il tipo di correlazione tra i valori angolari ed i punteggi di comfort a disposizione.

- I livelli di comfort ricavati sono stati combinati tra loro per esprimere il comfort globale di una postura complessa, vista come combinazione di differenti movimenti elementari. La definizione di una legge di composizione è legata all'utilizzatore dell'indice, e al relativo campo di applicazione. Tra le leggi più generali sono possibili la media dei valori, la media geometrica, la somma e così via.

Il modello di valutazione del comfort così sviluppato rappresenta un'ottima risorsa cui fare riferimento sia in fase di progettazione che di ottimizzazione di interfacce uomo macchina o di ambienti lavorativi. L'accuratezza e la semplicità pratica di tale strumento, in unione con la generalità dei contesti operativi in cui può essere impiegato, lo rendono certamente un valido supporto decisionale.

I risultati presentati in questa trattazione sono rivolti agli arti superiori del corpo, ma la metodologia utilizzata può essere applicata anche al tronco e agli arti inferiori. A partire da queste valutazioni potranno essere introdotti opportuni fattori correttivi che consentano di valutare l'effetto dell'azione gravitazionale (basandosi sull'idea del Gravity Assisted Point del metodo LUBA), il supporto arti (poggiatesta, braccioli e superfici di appoggio in generale), l'equilibrio della postura (distribuzione del peso, condizioni dello spazio operativo), la tipologia di presa, la frequenza delle azioni ripetute, il tempo di mantenimento della postura e la fatica muscolare.

La valutazione dell'ergonomia non può prescindere dall'analisi di fattori più puramente cognitivi. Senza soffermarci troppo sull'aspetto descrittivo e formale, la nostra attività si è incentrata sulla ricerca di un metodo di razionalizzazione del fattore cognitivo, e per fare ciò, attraverso uno

studio bibliografico piuttosto approfondito, si è definita una vera e propria procedura per la stima del Parametro di “Ergonomia Cognitiva” P_{ec} . Definiti i principi sui quali si fonda l’ergonomia cognitiva viene proposta una modalità di misurazione della stessa attraverso una sequenza di test. Attraverso l’utilizzo di questi mezzi si giunge a definire un coefficiente peggiorativo che possa integrare, significativamente, anche il livello di ergonomia cognitiva nella valutazione globale del comfort di un prodotto, sostanzialmente portando ad una estensione del concetto di comfort anche all’aspetto mentale.

Dal punto di vista operativo è degno di nota lo sviluppo che si sta facendo nell’ambito della collaborazione industriale con FIAT. Lo strumento, così come proposto in questa trattazione, sarà confrontato, ed eventualmente tarato, con le risultanze delle prove di giuria per la valutazione del comfort di determinate configurazioni di abitacolo di autoveicolo.

La taratura riguarderà soprattutto la stima di un opportuno fattore di scala che renderà confrontabili i nostri indici con i valori definiti dalla normativa in materia di prove di giuria.

Il tutto rientrerà nell’ottica di sviluppo di uno strumento multi parametrico che snellisca la fase di validazione ergonomica del prodotto, sia in termini di riduzione di costi, che in termini di tempi di ottimizzazione del prodotto.

RINGRAZIAMENTI

Alla conoscenza, arma seducente, misteriosa, imprevedibile. Se la si insegue sa svelare soluzioni e aprire portoni.

Agli obiettivi, c'è chi insegna a vivere bene tra la moltitudine che ci si pone avanti, ma quanto gusto c'è ad assaporare la vittoria!

Al senso del dovere, una delle qualità che ci ha resi forti, che ci completa, che crea spazio al vero genio, che ci rende uomini.

Alla volontà, forza inarrestabile.

Ai nostri limiti, saperli distinguere, ed accettare, ci da un tocco di umanità e può donare la giusta serenità di cui si alimenta la nostra anima.

All'amore, in tutte le sue forme, dalla stima al rispetto, dalla gentilezza gratuita alla gioia incondizionata. Sa cambiare una giornata, sa dare senso ai rapporti umani, sa dare senso ad un'intera vita.

Alla compagna di una vita, all'amore ed all'immensa gioia di saper guardare verso nobili e comuni intenti, con la delicata attenzione di chi ha scelto, di chi crede, di chi ha tutto da difendere.

All'ineluttabile crescita, al miglioramento continuo, e alla bellezza di riuscire a cambiare opinione ... all'immensa gioia di essere ancora in grado di sbagliare.

Carmine D'Oria