

Definizione e validazione del metodo di calcolo di un Indice di comfort delle sedie da ufficio

P. TABOGA^{*,**}, F. MARCOLIN^{**}, M. BORDIGNON^{**}, G. ANTONUTTO^{*,**}

* Dipartimento di Scienze Mediche e Biologiche, Università di Udine, Udine

** ErgoCert – Ente di Certificazione per l'Ergonomia, Spin-off accademico dell'Università di Udine, Udine

KEY WORDS

Seats ergonomics; seats comfort index; pressure contours

PAROLE CHIAVE

Ergonomia delle sedie; indice di comfort delle sedie; mappe di pressione

SUMMARY

«Definition and validation of a comfort index calculation method for office seats». Background: Among its other required features, a highly comfortable chair should adapt its contact surfaces, namely the seat and the back rest, to the shape of the body of the person sitting on it. However, "comfort" is not usually perceived as an absolute value, but is derived from a subjective comparison between two or more chairs. Objectives: The purpose of this research was the definition of an objective comfort index (IC), i.e., derived from instrumental measurements, and which would also represent an absolute comfort value. Methods: Analytical evaluation of the distribution of body weight, by means of a barometric matrix, shows that a comfortable chair tends to minimize peak and average values of pressure at the level of the contact areas located between the body and the seat and the back of the chair. To define a comparison parameter for determining an absolute comfort value, a reference chair (SDR) was developed. The seat and the back of this chair are rigid, with poor compliance. A comfort value of zero was, by definition, assigned to this chair. Therefore, the Comfort index (IC) was obtained by the mathematical calculation of the ratios of averages, peaks and gradients of pressure, appropriately weighted, and the corresponding values measured on the tested chair and on the SDR. Results: It is shown that the anthropometric characteristics of each subject are irrelevant to the assessment of the IC, which depends only on the compliance characteristics of the seat and back surfaces of the tested chair. Conclusions: IC can be improved through analysis of a larger number of seats, which would thus constitute the basis for the use of an objective evaluation of seating comfort.

RIASSUNTO

Introduzione: Una sedia con un elevato grado di comfort avrà, tra le altre caratteristiche, la capacità di assecondare la forma delle superfici del corpo del soggetto che entrano in contatto con essa. Il comfort, tuttavia, non risulta una misura assoluta, ma un confronto soggettivo tra due o più sedili. **Obiettivi:** Scopo della ricerca è la definizione di un indice di comfort obiettivo, ossia derivato da misure strumentali, e assoluto. **Metodi:** La valutazione analitica della distribuzione del peso corporeo tramite tappetini barometrici ha evidenziato come un sedile confortevole tenda a

Pervenuto il 16.12.2010 - Accettato il 22.9.2011

Corrispondenza: Prof. Guglielmo Antonutto, Dipartimento di Scienze Mediche e Biologiche, Università degli Studi di Udine, P.le M. Kolbe 4, Udine - Tel. 0432 494334 - Fax 0432 494301 - guglielmo.antonutto@uniud.it

minimizzare le pressioni medie, i picchi e i gradienti di pressione. Per poter definire un parametro di confronto assoluto del comfort si è definito un sedile di riferimento (SDR), rigido e scarsamente deformabile, a cui si è assegnato comfort nullo. L'indice di comfort (IC) definito dai rapporti tra le rispettive medie, picchi e gradienti di pressione, opportunamente pesati, sul piano di seduta e sullo schienale di sedile probando e SDR. Risultati: Si è evidenziato come le caratteristiche antropometriche dei singoli soggetti siano ininfluenti per la valutazione dell'IC, quest'ultimo essendo legato alle sole caratteristiche di compliance del sedile analizzato. Conclusioni: un affinamento dell'IC potrà venire soltanto dall'ampliamento del numero di sedute esaminate, costituendo quindi la premessa per un utilizzo ai fini della valutazione oggettiva del comfort dei sedili.

PREMESSA E SCOPO

Molta dell'attività giornaliera compiuta dall'uomo si svolge mediamente in posizione seduta. Dal punto di vista fisiologico ciò comporta un notevole risparmio del dispendio energetico giornaliero, dato che in posizione seduta un essere umano consuma il 40% di energia in meno rispetto a quanta ne consumerebbe per il solo fatto di rimanere in piedi. Inoltre, mentre il lavoro manuale può richiedere dispendi energetici che possono raggiungere anche 10 volte o più il consumo energetico a riposo, il lavoro cosiddetto "intellettuale", svolto quindi con il cervello, ammonta a circa il 15% del consumo energetico a riposo indipendentemente, in buona sostanza, dalla difficoltà o dall'intensità del lavoro mentale. Pertanto, la fatica che il lavoratore accusa alla fine della giornata non può essere attribuita in modo esclusivo o preponderante al lavoro mentale in sé, ma vi contribuiscono ulteriori elementi indagabili più con i metodi della c.d. Fisiologia d'organo, tra i quali gioca un ruolo indiscutibilmente centrale la postura assisa mantenuta per lunghi periodi. La postura assisa non corretta dà luogo a compressioni localizzate dei tessuti delle regioni glutee e delle cosce, con conseguente impedimento di una efficiente circolazione locale del sangue, a compressioni delle radici nervose il cui decorso avvenga in tali regioni dando luogo a parestesie. L'evoluzione di queste ultime in franco dolore provoca, a sua volta, continui cambiamenti di posizione nel tentativo di porre fine ad una chiara situazione di "discomfort".

La comparsa di norme quali quelle dettate agli art. 3 e 52 del D.Lgs. 626/94, riprese in tempi più

recenti agli articoli 15 e 174 del D.Lgs. 81/08, e di direttive emanate sia a livello nazionale che europeo (UNI EN 1335) ha stimolato la ricerca di metodi obiettivi per dimostrare il possesso da parte del prodotto "sedile da lavoro" di caratteristiche, anche in termini di "comfort", tali da renderlo rispondente al dettato di Legge.

Un approccio alla ricerca di un indice obiettivo, scevro quindi da derive soggettive, per quantificare il grado di comfort di un sedile è stato quello di valutare, in modo analitico, come il peso corporeo si distribuisca sul piano orizzontale della seduta e sul piano verticale del sostegno dorso lombare. Curve isobare di distribuzione delle pressioni esercitate da un soggetto seduto su un piano orizzontale si possono ritrovare nel lavoro di Schoberth (9) e, in tempi più recenti, di Pheasant (8) e di Gross et al (5). Tuttavia, come pone giustamente in rilievo Silvestro (10), usare la mappatura delle pressioni per valutare il design di una sedia non è un processo corretto, in quanto persone diverse che siedono sulla stessa sedia possono esibire mappe di pressioni molto diverse tra loro. Chi voglia pertanto affrontare la definizione di un indice di comfort, che si basi sul rilievo delle mappature pressorie sul piano di seduta e sullo schienale di una sedia, deve tenere in considerazione tre aspetti fondamentali di questo tipo di misure:

1) il potere di risoluzione della matrice di sensori;

2) il confronto dei dati ottenuti dalle sedute in esame con quelli derivati dalle misure effettuate su un sedile di riferimento (SDR), con caratteristiche che saranno dettagliate nella sezione Materiali e Metodi;

3) l'identificazione di un criterio di normalizzazione delle misure effettuate, per renderle tra loro confrontabili a prescindere dalle caratteristiche antropometriche dell'utilizzatore.

Con questi limiti ben presenti ci siamo posti l'obiettivo di definire un indice di comfort (IC) per sedute d'ufficio, derivante dal confronto di matrici pressorie, ad alta risoluzione, registrate sia sul sedile in esame che sul SDR e normalizzato applicando un algoritmo di calcolo che tenesse in considerazione anche le caratteristiche antropometriche dei soggetti utilizzatori la sedia e rendesse quindi possibile il confronto tra prodotti diversi del mercato.

Sia per il piano di seduta che per lo schienale, le componenti più elevate delle forze che si sviluppano tra il sedile e il soggetto sono quelle dirette normalmente alle rispettive superfici di contatto. Poiché tali forze non sono puntuali, ma sono distribuite su un'area, si ha:

$$\bar{P}_{sed} = \frac{F_{sed}}{A_{sed}} \quad (1)$$

dove F_{sed} è la forza complessiva sviluppata dal piano di seduta diretta secondo la normale alla sua superficie, A_{sed} è l'area di contatto tra piano di seduta e soggetto, \bar{P}_{sed} sarà la pressione media che si sviluppa sul piano di seduta.

Similmente, relativamente allo schienale si avrà:

$$\bar{P}_{sc} = \frac{F_{sc}}{A_{sc}} \quad (2)$$

dove F_{sc} è la forza complessiva sviluppata dallo schienale diretta secondo la normale alla sua superficie, A_{sc} è l'area di contatto tra schienale e soggetto e \bar{P}_{sc} sarà la pressione media che si sviluppa sullo schienale.

La misura delle pressioni è possibile attraverso l'utilizzo di tappetini barometrici composti da sensori resistivi.

Essendo $P(n)$ la pressione misurata dal sensore n-esimo e Δs la superficie occupata da ciascun sensore, le forze che si sviluppano associate ad ognuno di essi saranno:

$$\bar{F}_{sed}(n) = P_{sed}(n)\Delta s \quad (3)$$

$$\bar{F}_{sc}(n) = P_{sc}(n)\Delta s \quad (4)$$

le aree di contatto saranno:

$$A_{sed} = N_{sed}\Delta s \quad (5)$$

$$A_{sc} = N_{sc}\Delta s \quad (6)$$

dove N_{sed} e N_{sc} sono il numero di sensori attivati dal contatto del soggetto con il piano di seduta e con lo schienale.

Le equazioni (1), (2), diventano:

$$\bar{P}_{sed} = \frac{\sum P_{sed}(n)\Delta s}{N_{sed}\Delta s} = \frac{\sum P_{sed}(n)}{N_{sed}} \quad (7)$$

$$\bar{P}_{sc} = \frac{\sum P_{sc}(n)\Delta s}{N_{sc}\Delta s} = \frac{\sum P_{sc}(n)}{N_{sc}} \quad (8)$$

Una sedia con un elevato grado di comfort avrà, tra le altre caratteristiche, la capacità di assecondare la forma delle superfici del corpo del soggetto che entrano in contatto con essa: in altre parole tenderà a massimizzare le aree A_{sed} e A_{sc} .

La somma delle componenti verticali di F_{sed} e F_{sc} con le componenti verticali delle forze F_{br} ed F_r , esercitate dal soggetto rispettivamente sui braccioli e direttamente con i piedi sul terreno, deve essere equivalente alla forza peso del soggetto stesso.

Le componenti orizzontali di tutte queste forze si devono annullare a vicenda, non essendo presenti altre forze esterne orizzontali che agiscono sul soggetto.

Poiché F_{br} e F_r dipendono unicamente dalla massa e dalla posizione assunta dal soggetto rispetto al sedile e al terreno sottostante, e non dal tipo di sedile, anche forze complessive F_{sed} e F_{sc} dipendono unicamente da questi due fattori. Mantenendo invariata la posizione del soggetto sul sedile, ossia verificando che gli angoli articolari non varino tra un sedile e l'altro e che l'altezza del piano di seduta sia la stessa, si ha che F_{sed} e F_{sc} rimangono costanti per un dato soggetto.

Dalle equazioni (1) e (2) risulta evidente che un sedile confortevole causerà quindi una diminuzione delle pressioni medie esercitate sul sedile e sullo schienale.

Il secondo fattore preso in considerazione nella valutazione del comfort è dato dai picchi di pressione, che dovranno risultare ridotti nel caso di un

sedile confortevole. Sia per il piano di seduta che per lo schienale, si ricerca la massima pressione misurata tra i sensori attivati:

$$P_{sed}^{max} = \max \{P_{sed}(n)\} \quad (9)$$

$$P_{sc}^{max} = \max \{P_{sc}(n)\} \quad (10)$$

Un sedile confortevole, infine, tenderà ad avere una distribuzione il più possibile uniforme di pressione, si è quindi calcolato il modulo del gradiente discreto della distribuzione di pressioni sul piano di seduta e sullo schienale, individuandone il valore massimo:

$$G_{sed}^{max} = \max \{grad(P_{sed}(n))\} \quad (11)$$

$$G_{sc}^{max} = \max \{grad(P_{sc}(n))\} \quad (12)$$

Da quanto appena esposto, il comfort non risulta una misura assoluta, ma un confronto tra due o più sedili: il più confortevole tenderà ad avere le pressioni medie e i picchi di pressione sviluppati sul piano di seduta e sullo schienale inferiori rispetto ai corrispondenti valori di un sedile meno confortevole. Per poter giungere ad una valutazione assoluta del comfort, quindi, è stato necessario definire un sedile di riferimento (SDR) che facesse da parametro di confronto tra i vari sedili analizzati.

Al sedile di riferimento viene associato un comfort nullo, mentre il comfort del sedile analizzato viene calcolato confrontando le pressioni esercitate sul piano di seduta e sullo schienale separatamente, secondo le equazioni:

$$IC_{sed} = k_1 \left(\frac{\bar{P}_{sed}^{SDR}}{\bar{P}_{sed}} - 1 \right) + k_2 \left(\frac{P_{sed}^{max SDR}}{P_{sed}^{max}} - 1 \right) + k_3 \left(\frac{G_{sed}^{max SDR}}{G_{sed}^{max}} - 1 \right) \quad (13)$$

$$IC_{sc} = k_4 \left(\frac{\bar{P}_{sc}^{SDR}}{\bar{P}_{sc}} - 1 \right) + k_5 \left(\frac{P_{sc}^{max SDR}}{P_{sc}^{max}} - 1 \right) + k_6 \left(\frac{G_{sc}^{max SDR}}{G_{sc}^{max}} - 1 \right) \quad (14)$$

in cui le costanti k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 e k_6 sono dei pesi arbitrari che tengono conto della diversa importanza che si intende attribuire alla minimizzazione delle pressioni medie, ai picchi e ai gradienti di pressione. Per come sono state definite le equazioni (13) e (14), appare evidente come non siano i valori assoluti delle costanti k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 e k_6 bensì il loro rapporto a determinare i pesi relativi dei vari fattori presi in considerazione nella valutazione del comfort. Si sono individuati in particolare i seguenti valori: $k_1=k_2=k_3=k_4=3,5$, mentre $k_5=k_6=0,35$, ossia le medie e i picchi di pressione avevano peso identico, mentre si è deciso di dare un peso pari a un decimo dei valori precedenti ai gradienti di pressione, in quanto questi ultimi assumono valori più grandi di un ordine di grandezza rispetto alle pressioni medie e ai valori di picco.

Gli indici di comfort del piano di seduta e dello schienale vengono poi sommati, ottenendo così un indice di comfort complessivo:

$$IC_{TOT} = K_{sed} IC_{sed} + K_{sc} IC_{sc} \quad (15)$$

in cui K_{sed} e K_{sc} tengono conto di come il soggetto distribuisce le forze di contatto tra piano di seduta e schienale sul sedile di riferimento:

$$K_{sed} = \frac{F_{sed}^{SDR}}{F_{sed}^{SDR} + F_{sc}^{SDR}} \quad (16)$$

$$K_{sc} = \frac{F_{sc}^{SDR}}{F_{sed}^{SDR} + F_{sc}^{SDR}} \quad (17)$$

MATERIALI E METODI

Lo studio è stato condotto su 20 sedie d'ufficio, tutte dotate di braccioli e delle quali era possibile regolare l'altezza del piano di seduta e l'inclinazione dello schienale. Come già accennato in precedenza si è fatto uso di un "sedile di riferimento" (SDR), sul quale venivano registrate le mappe pressorie poi confrontate, sullo stesso soggetto, con quelle rilevate sulle sedie d'ufficio e d'attesa in esame.

Il SDR (figura 1) è composto da 4 superfici piane: una per il piano di seduta, una per lo schienale



Figura 1 - Sedile di riferimento (SDR), rigido e minimamente deformabile, regolabile nei tre assi spaziali in funzione delle caratteristiche antropometriche dei soggetti, utilizzato come riferimento (“comfort nullo”) per valutare i corrispondenti valori barometrici delle sedie probande

Figure 1 - Reference chair (SDR), hard and minimally deformable, adjustable on 3 spatial axes according to the anthropometric characteristics of the subjects, used as reference (“zero comfort”) to evaluate the corresponding barometric values of the tested chairs

e due per i braccioli, montate su un telaio rigido. Ogni superficie è regolabile nei tre assi spaziali, in modo tale da riprodurre la configurazione del piano di seduta, dello schienale e dei braccioli del sedile da analizzare. Pertanto risultano regolabili in funzione delle caratteristiche antropometriche del soggetto e geometriche della sedia probanda l'altezza da terra e la profondità del piano di seduta, dei braccioli e l'inclinazione dello schienale. In particolare si è deciso di posizionare l'altezza della seduta in modo tale che il soggetto avesse entrambe le piante dei piedi appoggiate a terra e l'angolo al ginocchio fosse di 90° , lo schienale fosse perpendicolare al terreno e la schiena fosse ben appoggiata ad esso, inoltre i braccioli erano posizionati in modo tale che l'avambraccio fosse completamente appoggiato ad essi e l'angolo al gomito fosse di 90° .

Ciò ha consentito di attribuire la differenza tra le distribuzioni delle pressioni registrate sul SDR e sui corrispondenti piani del sedile analizzato, unicamente alla compliance delle superfici d'appoggio della sedia in esame, sollecitate dal soggetto posizionato su di esse e non ad un'eventuale diversa posizione assunta dal soggetto nell'uso dei 2 sedili. Ogni superficie del SDR è stata realizzata in acciaio, per esser minimamente deformabile.

Per il rilievo della mappa delle pressioni esercitate dal soggetto seduto sono stati utilizzati tappetini barometrici (*Boscosystemdiagnostics*[®]), la cui flessibilità ne consentiva un ottimo adattamento agli spazi virtuali che si venivano a creare all'interfaccia tra soggetto e piano di seduta e tra soggetto e schienale del sedile. Ogni tappetino, la cui superficie è di 50×50 cm, è composto da una matrice di 48×48 sensori resistivi ciascuno di area $\Delta s = 1$ cm², ed aventi un range di misura da 0 a 100 kPa. Per l'acquisizione delle mappe di pressione è stato utilizzato il software dedicato “StabyloPro” (*Boscosystemdiagnostics*[®]). In tal modo è stato possibile costruire delle matrici numeriche “ 48×48 ”, ciascun elemento delle quali coincideva con il valore letto dal corrispondente sensore di pressione. La mappatura delle pressioni era anche visualizzata mediante falsi colori, rappresentanti aree isobariche mutanti dal rosso al blu per pressioni di valore decrescente (figura 2, A, B, C, D).

Allo studio hanno partecipato 26 soggetti, 13 maschi e 13 femmine, le cui caratteristiche fisiche ed antropometriche medie sono riassunte nella tabella 1.

Ciascun soggetto si è seduto sul SDR e su ciascuna sedia probanda, rendendo in tal modo possibile il confronto tra la risposta in termini di compliance del sedile in esame rispetto a quello di riferimento. Per rendere i dati confrontabili tra loro, indipendentemente dalle caratteristiche antropometriche del soggetto, si è scelto di utilizzarne l'indice di massa corporea (IMC), definito dall'equazione 18, come criterio di normalizzazione.

$$\text{IMC} = M / \text{stat}^2 \quad (\text{kg}/\text{m}^2) \quad (18)$$

nella quale M indica la massa corporea, espressa in kg, del soggetto e “stat” la statura espressa in m.

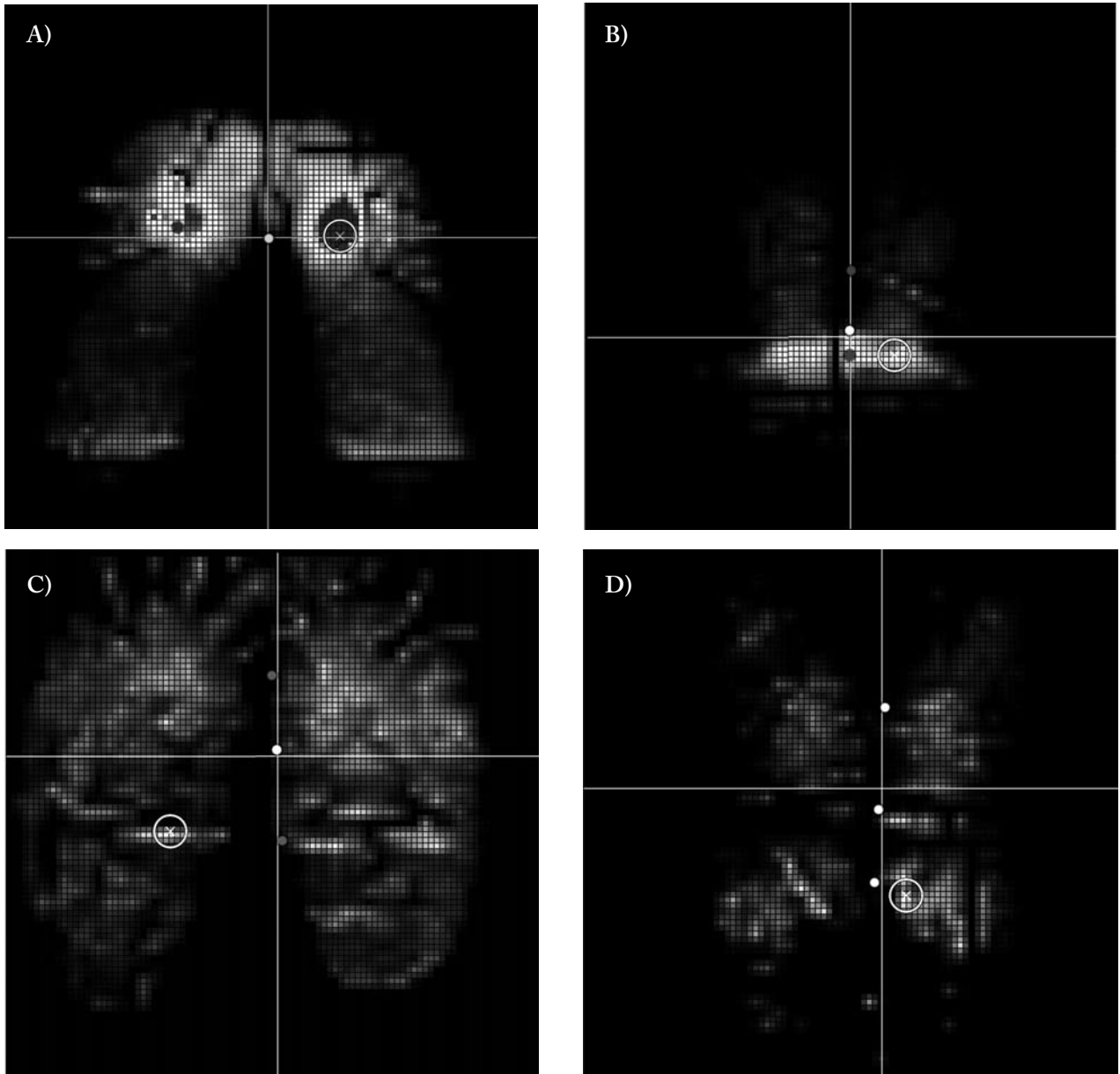


Figura 2 - Mappe barometriche registrate rispettivamente sul piano di seduta del SDR (A), sul piano di seduta di un sedile probando (C) e sullo schienale del SDR (B) e del sedile probando (D). Nella realtà, la scala colorimetrica evidenzia in rosso i picchi di pressione

Figure 2 - Barometric maps registered respectively on the sitting plane of the reference chair (A), on the sitting plane of a tested chair (C), on the back plane of the reference chair (B) and on the back plane of the tested chair (D). In the actual recordings, the pressure peaks appear colored in red

Gli IC_{TOT} individuali e riferiti a ciascun sedile (v. Eq. 15) sono stati normalizzati tenendo conto degli IMC individuali, calcolati secondo l'equazione 18, dal rapporto:

$$IC_{NORM} = (IC_{TOT} / IMC) \times 10 \quad (19)$$

Per ciascun sedile si é poi calcolato il valor medio degli IC_{NORM} ottenuti dai 26 soggetti.

Tabella 1 - Caratteristiche fisiche ed antropometriche dei 26 soggetti (13 maschi e 13 femmine) partecipanti alla ricerca. I valori sono riportati come medie (\pm le relative deviazioni standard)

Table 1 - Physical and anthropometric characteristics of the 26 subjects (13 males and 13 females) participating in the research. All values are presented as mean (\pm standard deviation)

| | Media (\pm D.S.) |
|-----------------------------|---------------------|
| Età [anni] | 31,8 (\pm 12,9) |
| Statura [m] | 1,71 (\pm 0,12) |
| Massa corporea [kg] | 67,1 (\pm 15,1) |
| I.M.C. [kg/m ²] | 22,7 (\pm 3,8) |

ANALISI STATISTICA

La significatività delle differenze tra i valori medi degli IC rilevati sulle diverse sedute è stata verificata mediante analisi della varianza (ANOVA), fissando il valore di significatività per $p < 0,05$.

L'esistenza di un'eventuale associazione tra IC_{NORM} e IC_{TOT} è stata valutata calcolando il coefficiente "r" di Pearson ed applicando in seguito un test t di Student, con soglia di significatività fissata per $p < 0,05$.

RISULTATI

Gli IC_{TOT} medi non normalizzati e relativi a ciascuna delle 20 sedute d'ufficio esaminate sono ri-

portati in figura 3. La figura 4 riporta gli istogrammi degli IC_{NORM} medi dei 26 soggetti che hanno partecipato allo studio. La figura 5 illustra la correlazione tra IC_{NORM} e IC_{TOT} .

La tabella 2 riporta, per ciascun sedile, un quadro riassuntivo degli IC_{TOT} e IC_{NORM} medi (\pm deviazioni standard).

La significatività delle differenze tra i valori medi degli IC_{NORM} dei vari sedili sono state valutate mediante analisi della Varianza (ANOVA, tabella 3).

Confrontando le figure 3 e 4 si osserva come l' IC_{TOT} , compreso tra 3,8 e 7,2, e l' IC_{NORM} , compreso tra 1,7 e 3,4, non differiscano tra loro in modo sostanziale se non per una costante e ciò è reso ben evidente dalla figura 5.

A commento della figura 3, va detto che lo scarto tra l' IC_{TOT} medio della sedia "più confortevole" (S15: 7,2) e quella "meno confortevole" (S4: 3,8) è del 47,2%, fatto che ne giustifica anche la significatività statistica ($p < 0,001$). Tuttavia, si coglie una differenza meno marcata tra l' IC_{TOT} di un dato sedile rispetto a quello dei sedili precedente e successivo, per lo meno per quanto riguarda gli IC_{TOT} relativi ai sedili da S7 in poi. Infatti, la differenza di IC_{TOT} medio tra S2 e S7 è risultata statisticamente significativa ($t=2,16$, $p < 0,05$). Ciò consente pertanto di identificare un sottogruppo di 4 sedili (S4, S9, S10 e S2) aventi un IC_{TOT} medio di 4,22 ($\pm 0,29$) rispetto alla media dei 16 sedili rimanenti

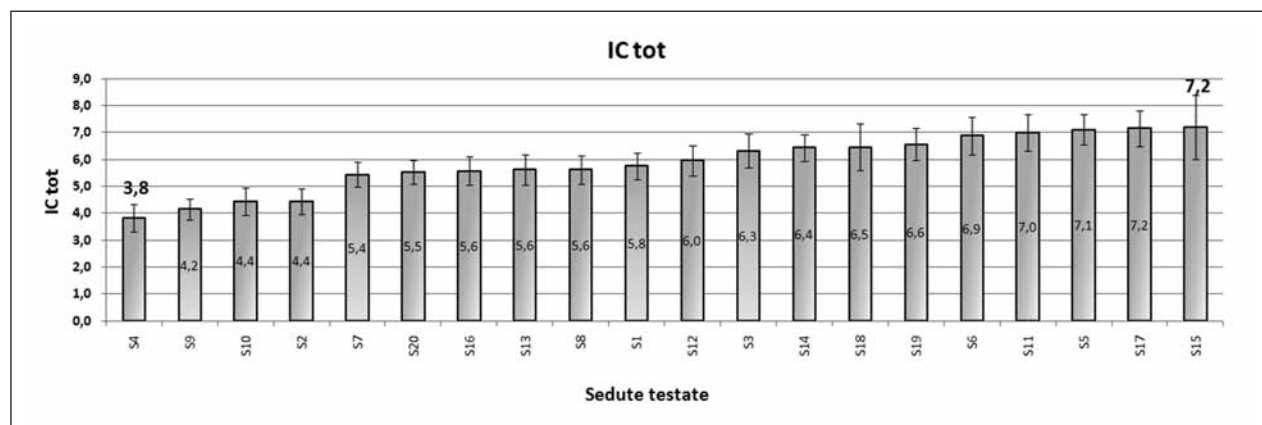


Figura 3 - IC_{TOT} medi ($n=26$) calcolati applicando l'equazione 15. Le barre di errore indicano l'errore standard

Figure 3 - Mean IC_{TOT} ($No.= 26$) calculated applying equation 15. Error bars indicate standard error

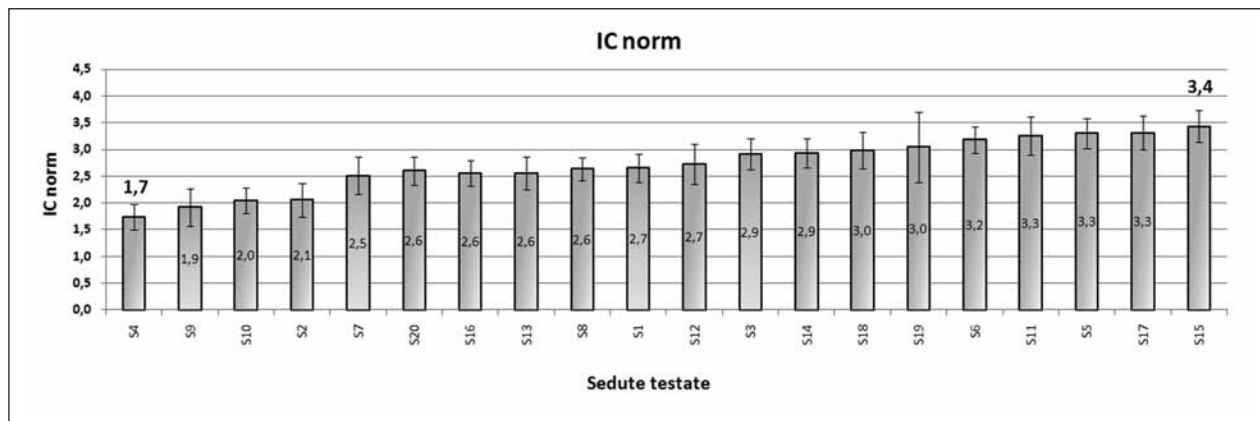


Figura 4 - IC_{NORM} medi (n=26) calcolati applicando l'equazione 19. Le barre di errore indicano l'errore standard
 Figure 4 - Mean IC_{TOT} (No=26) are reported, calculated applying equation 19. Error bars indicate the standard error

Tabella 2 - Valori medi di IC_{TOT} (± d.s.), per ciascun sedile, calcolati applicando l'equazione 15 e valori medi di IC_{NORM} (± d.s.) calcolati secondo l'equazione 19. Le medie sono state calcolate per n=26 soggetti.

Table 2 - For each seat the mean value of IC_{TOT} (± s.d), calculated applying equation 15 and the mean value of IC_{NORM} (± s.d) calculated with equation 19 are given. Mean values are calculated for 26 subjects

| Sedile | IC _{TOT} | IC _{NORM} |
|--------|-------------------|--------------------|
| S1 | 5,76 (± 2,05) | 2,65 (± 1,08) |
| S2 | 4,45 (± 1,96) | 2,05 (± 0,97) |
| S3 | 6,46 (± 3,53) | 2,92 (± 1,44) |
| S4 | 3,84 (± 2,08) | 1,74 (± 0,99) |
| S5 | 7,11 (± 2,36) | 3,30 (± 1,27) |
| S6 | 6,88 (± 2,85) | 3,18 (± 1,44) |
| S7 | 5,44 (± 1,85) | 2,51 (± 0,97) |
| S8 | 5,63 (± 2,18) | 2,63 (± 1,25) |
| S9 | 4,16 (± 1,63) | 1,92 (± 0,86) |
| S10 | 4,44 (± 2,10) | 2,04 (± 1,08) |
| S11 | 6,99 (± 2,79) | 3,26 (± 1,52) |
| S12 | 5,96 (± 2,36) | 2,73 (± 1,18) |
| S13 | 5,58 (± 2,19) | 2,56 (± 1,11) |
| S14 | 6,32 (± 2,60) | 2,93 (± 1,40) |
| S15 | 7,21 (± 4,88) | 3,43 (± 2,70) |
| S16 | 5,54 (± 1,82) | 2,55 (± 1,00) |
| S17 | 7,15 (± 2,79) | 3,31 (± 1,47) |
| S18 | 6,44 (± 2,00) | 2,98 (± 1,16) |
| S19 | 6,57 (± 2,43) | 3,05 (± 1,29) |
| S20 | 5,62 (± 2,24) | 2,60 (± 1,21) |

Tabella 3 - Risultato dell'analisi di varianza condotta, con relativa significatività della stessa per il fattore sedile: gli IC_{TOT} delle diverse sedute, pertanto, differiscono significativamente

Table 3 - Results of analysis of variance, along with significance for the factor "seat": IC_{TOT} of different seats therefore, differ significantly

ANOVA: Design 1 Between Subject Factor

Sedile F(19,500) = 4,33 p < 0,001

(6,29±0,65). Tale fatto è ovviamente del tutto casuale e dipendente dal campione esaminato, ma è giustificato dalla sostanziale omogeneità dello stesso in termini di qualità elevata, per lo meno dal sedile S7 in poi.

Va comunque sottolineato che la differenza in termini di IC_{TOT} medi tra le 16 sedie risultate più "confortevoli" e le 4 che lo sono risultate di meno, appare comunque di entità rilevante (32,9%).

In figura 5 è riportato il confronto tra IC_{NORM} e IC_{TOT}: l'equazione interpolante i punti è una retta il cui coefficiente angolare (β=0,474).

DISCUSSIONE

Le difficoltà insite nella definizione quantitativa ed obiettiva del comfort risiedono già nello stesso

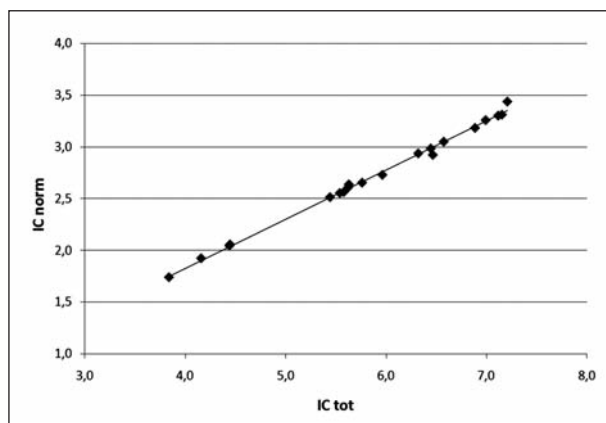


Figura 5 - Confronto tra IC_{TOT} e IC_{NORM} . L'equazione " $y=0,474x-0,0677$ " ($R^2 =0,9962$, $n=20$) descrive la retta di correlazione tra i due parametri la cui pendenza è uguale al reciproco dell'IMC medio moltiplicato per 10 (vedi equazione 19)

Figure 5 - Comparison between IC_{TOT} and IC_{NORM} . Equation " $y=0,474x-0,0677$ " ($R^2 =0,9962$, $No.=20$) describes the correlation line between the two parameters and its slope is equal to the inverse of mean body mass index multiplied by a factor of 10 (see equation 19)

significato comunemente attribuito a tale termine. Il comfort è infatti definibile, in modo "circolare", come l'assenza di "discomfort" (8), ossia l'assenza di tutte quelle sensazioni di fastidio che possono essere percepite dall'essere umano per interazioni del suo corpo con oggetti situati in prossimità o a diretto contatto con esso. E' evidente come tale definizione poggia su basi fortemente soggettive, dipendenti sia dal soggetto passivo che le riferisce che dall'eventuale osservatore che le debba descrivere. Di norma, per quanto attiene alle sedute, il comfort soggettivo consiste nell'escludere la presenza di sgradevoli sensazioni, quali parestesie formicolii e dolore, riferite dal soggetto seduto e riconducibili a disturbi neurologici e/o circolatori causati dalla pressione esercitata dalla parte superiore del corpo sulla regione glutea, ischiatica e sulle cosce soggette, a loro volta, alla reazione vincolare del piano di seduta (11).

L'approccio quantitativo alla soluzione dei problemi scientifici è da sempre ritenuto una procedura corretta al fine di rendere il più possibile obiettive le conclusioni tratte dai dati sperimentali ottenuti. Lo studio del comfort delle sedute non ha fatto eccezione a tale modo di procedere e molti

sono i contributi scientifici in materia che sono stati pubblicati fin dalla metà del secolo scorso (7). L'idea che il comfort delle sedute potesse essere in qualche modo quantificato, attraverso l'analisi delle mappe delle pressioni esercitate sullo schienale del sedile, e sul piano di seduta dalle regioni dorso-lombare, glutea e ischiatica del soggetto seduto, data ormai da decenni (3, 4, 6, 10). Anche tentativi più recenti hanno cercato di definire indici di comfort, basandosi sempre sull'analisi di matrici di pressione, tuttavia con scarso successo pratico (1, 5). Recentemente, de Looze et al. (2) hanno evidenziato come, tra le 21 ricerche analizzate nel loro lavoro, la distribuzione delle pressioni fosse l'unica misura oggettiva con una netta correlazione col comfort percepito, mentre altre rilevazioni quali elettromiografia, analisi posturale, carichi sulla colonna vertebrale, o altro, portavano a risultati contrastanti. Le critiche all'utilizzo di tale metodo si basano essenzialmente sul fatto che l'interazione fisica, che s'instaura tra soggetto seduto e sedile, è un rapporto fortemente condizionato dalla variabilità antropometrica esistente tra soggetti diversi. La conseguenza di ciò è l'impossibilità di ottenere un indice di comfort di valore "assoluto" riferito allo stesso sedile, ma calcolato su soggetti diversi. A nostro parere tale fattore, come si vedrà in seguito, non è risultato essere così determinante.

Lo scopo di questo lavoro è stato pertanto quello di identificare e valutare la validità di un criterio di normalizzazione, l'utilizzo di un Sedile di Riferimento (SDR), da applicare all'indice di comfort, da noi ottenuto, in modo tale da renderne possibile il confronto qualora venisse calcolato su sedute diverse.

Le matrici di pressione, registrate con il soggetto seduto sul SDR, descrivono pertanto la risposta statica più sfavorevole in termini di "comfort", data la compliance pari a zero delle rigide superfici di appoggio. La combinazione dei dati forniti dalle matrici pressorie registrate sul SDR con quelli ricavati dalle corrispondenti matrici di pressione registrate con lo stesso soggetto seduto sul sedile probando, attuata applicando l'equazione 15, ha fornito l' IC_{TOT} , non normalizzato.

In seguito si è attuata la normalizzazione dell'indice di comfort, prendendo in considerazione l'indice di massa corporea di ciascun soggetto (v.

Eq. 15 e 19). Ciò ci ha consentito di confrontare sedute diverse, minimizzando quello che avrebbe potuto essere il “bias” indotto dalle diverse caratteristiche antropometriche dei soggetti che hanno partecipato allo studio.

In realtà i risultati ottenuti hanno dimostrato che non è stata tanto l’antropometria a costituire il fattore limitante nel tentativo di definire un “indice di comfort”, quanto la possibilità di confrontare la compliance pressoria delle sedute in esame con un sedile comune di riferimento, le cui caratteristiche dimensionali possano essere rese, mediante opportune regolazioni, il più possibile simili a quelle delle sedute in esame, caso per caso.

Esaminando la figura 5, il coefficiente angolare della retta interpolante è praticamente pari al reciproco dell’IMC medio (22, 31), moltiplicato per 10 (v. Eq. 19) dei soggetti che hanno partecipato allo studio: i valori di IC_{NORM} e IC_{TOT} sono legati da un coefficiente di proporzionalità costante.

A conclusione di questo lavoro, appare evidente potersi affermare che un affinamento dell’ IC_{TOT} potrà venire soltanto dall’ampliamento del numero di sedute esaminate nel tempo, costituendo quindi la premessa per un utilizzo, una volta che il metodo sia validato, ai fini della valutazione oggettiva del comfort dei sedili da lavoro.

NO POTENTIAL CONFLICT OF INTEREST RELEVANT TO THIS ARTICLE WAS REPORTED

BIBLIOGRAFIA

1. Cohen D: An Objective Measure of Seat Comfort. *Aviat Space Environ Med* 1998, 69: 410-414
2. De Looze MP, Kujit-Evers L, Van Dieën J: Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics* 2003; 46: 985-997
3. Dempsey CA: The design of body restraint system. In Bennet E, Degan J, Spiegel J (eds): *Human Factors in Technology*. New York: McGraw-Hill, 1963: 170-189
4. Grandjean E, Burandt V: Das Sitzverhalten von Büroangestellten. *Indust Org* 1962; 8: 1-8
5. Gross CM, Goonettilleke RS, Menon KK, et al: The biomechanical assessment and prediction of seat comfort. In Lueder R, Noro K (eds): *Hard Facts About Soft Machines*. London: Taylor & Francis, London, 1994: 231-253
6. Hertzberger HTE: The human buttock in sitting: pressure patterns and palliatives. *Proc of the Automotive Engineering Congress*. Society of Automotive Engineers, N.Y., SAE Report 520005, 1972: 39-47
7. Lueder R, Noro K, EDS: *Hard Facts About Soft Machines: The Ergonomics of Seating*. London: Taylor & Francis, 1994
8. Pheasant S: *Ergonomics, Work and Health*. London: Macmillan, 1991: 212-230
9. Schoberth H: *Sitzhaltung, Sitzschaden*. Berlin: Sitzmöbel Springer, 1962
10. Silvestro M: *La progettazione di una sedia. Il design tra scienza e creatività*. Roma: Editrice Librerie Dedalo, 2004
11. Tichauer ER: *The biomedical basis of Ergonomics*. New York: John Wiley, 1978