

OTTIMIZZAZIONE DELLA POSTURA AL VIDEOTERMINALE MEDIANTE MANICHINI VIRTUALI

DI GIRONIMO, Giuseppe; PATALANO, Stanislao

Università degli Studi di Napoli Federico II, Facoltà di Ingegneria,
Dipartimento di Progettazione e Gestione Industriale,
giuseppe.digironimo@unina.it, stanislao.patalano@unina.it

SOMMARIO

Il lavoro presenta abachi di ausilio alla regolazione di postazioni al videoterminale per migliorare la postura assunta dagli operatori. La metodologia prevede l'utilizzo di manichini virtuali costruiti mediante il software *Classic Jack* della UGS, ed in particolare degli strumenti di analisi della postura in esso implementati. Infatti, a partire da precedenti studi sui criteri di valutazione degli indici misurabili mediante Jack, è stata condotta una serie di prove, mediante manichini virtuali, per individuare la postura ottimale di operatori al VDT. Durante tali prove sono stati fatti variare il percentile ed il sesso attribuiti ai manichini digitali, nonché le dimensioni caratteristiche e le condizioni geometriche imposte dalla normativa vigente sulle postazioni fisiche destinate al lavoro al VDT. Il lavoro si concretizza in una serie di abachi che consentono di determinare, in base al percentile ed al sesso dell'operatore al VDT, i valori ottimali dei fattori che condizionano la postura.

Palabras clave: ergonomia, postazioni di lavoro al videoterminale, manichini digitali

ABSTRACT

This paper presents some abacuses for regulation of a working seat to Visual Display Terminal (VDT) in order to improve the posture assumed by operators. The proposed approach is based on the use of digital human models and some posture and task analysis toolkits implemented in a software for ergonomic simulations (Jack by UGS). In fact, starting from previous studies on indexes valuation methods measurable through Jack, a structured sequence of tests has been carried out, using digital human models, in order to individualize the optimal posture of VDT operators. During the tests both percentile and sex of digital human were changed, still less characteristic dimensions and geometric conditions imposed by law in force on working seat to VDT. The paper's results are some abacuses that allow to determine the optimal value of the factors affecting human posture, tacking into account the percentile and the sex of the VDT operator.

Key words: ergonomics, working seat to Visual Display Terminal, digital human models.

1. Introduzione

Tra gli strumenti oggi disponibili per svolgere analisi ergonomiche si annoverano software che consentono di effettuare simulazioni di attività lavorative in ambiente virtuale [DI GIRONIMO 2002], [KARWOWSKI 1990]. Tali software consentono di effettuare analisi specifiche che valutano oggettivamente singoli aspetti legati al *comfort* posturale [DI GIRONIMO 2001]. Tra queste analisi si ritiene efficace quella dei carichi sulla colonna vertebrale, la valutazione degli angoli posturali oppure la valutazione dell'esposizione dei lavoratori al rischio di fastidi e/o danni agli arti superiori, tenendo conto di parametri biomeccanici, posturali e dei carichi [CHAFFIN 1999], [BRIDGER 1995], [PHEASANT 2002]. Ulteriori esempi di applicazione della Progettazione Robusta nella sperimentazione virtuale sono riportati in [BARONE 2002], [BARONE 2003].

È lecito ritenere vantaggiose, da un punto di vista progettuale, le metodologie di valutazione che, a partire dai risultati ottenuti mediante analisi specifiche, consentano di formulare un giudizio complessivo sulla postura assunta durante un'attività lavorativa [DI GIRONIMO 2003], [DI GIRONIMO 2004], [CAPUTO 2004]. Tali metodologie, infatti, possono concorrere al conseguimento del risultato finale di una ricerca ergonomica che consiste nel miglioramento di tutti i parametri ambientali e nella conservazione di essi all'interno di precisi limiti di benessere.

Principali riferimenti legislativi e normativi sull'uso del videoterminale (VDT) sono il DL 626/1994 e numerosi Decreti Ministeriali, tra i quali, il DM 2 ottobre 2000, il DM 16 gennaio 1997 ed il DM 195 del 23 giugno 2003. Tali decreti precisano le caratteristiche generali delle attrezzature, ovvero, lo schermo, la tastiera, il sedile di lavoro, il piano di lavoro, nonché le caratteristiche generali dell'ambiente, tra le quali gli spazi, l'illuminazione, i riflessi e gli abbagliamenti, il rumore, il calore, le radiazioni e l'umidità. Inoltre essi impongono l'adozione di una linea guida nell'uso dei videoterminali, fissando le caratteristiche dimensionali dell'arredo di una postazione al VDT ed individuando una posizione relativa di riferimento tra l'operatore e lo schermo. Tuttavia, malgrado le vigenti prescrizioni normative vincolino la ricerca della postura da adottare, esse non forniscono indicazioni sull'effettiva combinazione ottima dei valori delle caratteristiche dimensionali degli arredi e su eventuali effetti ad essa associati.

2. L'ottimizzazione della postura al VDT

Lo studio svolto, per individuare la postura ottimale di un operatore al VDT, si articola in cinque fasi principali:

- progettazione e modellazione CAD della postazione VDT;
- posizionamento del manichino virtuale;
- progettazione degli esperimenti, condotti in ambiente virtuale;
- valutazione della postura;
- costruzione degli abachi per l'individuazione della postura ottimale.

La metodologia, pertanto, si basa sull'integrazione di conoscenze relative alla modellazione CAD, all'impiego dei manichini virtuali per analisi ergonomiche, all'applicazione di metodi statistici all'ingegneria, all'utilizzo di un indice di valutazione complessiva della postura [DI GIRONIMO 2004], nonché alla sintesi dei risultati ottenuti composti in forma di abachi operativi.

2.1. Progettazione e modellazione CAD della postazione VDT

La progettazione e modellazione CAD della postazione VDT è stata eseguita mediante sistema CAD parametrico¹. Le caratteristiche morfologiche della scrivania e della pedana poggiapiedi sono conformi, rispettivamente, alla UNI EN527 ed alla UNI 10916.

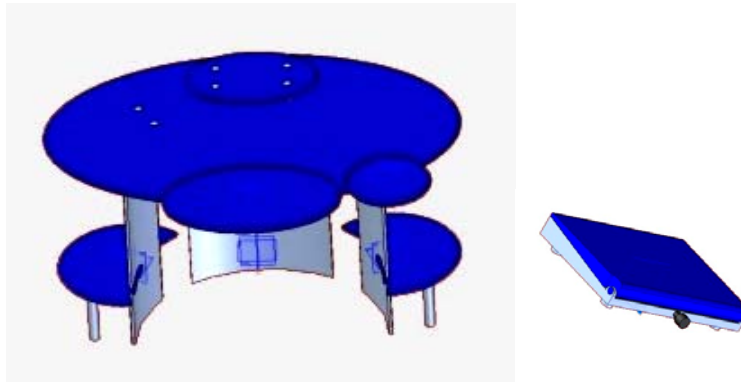


Figura 1. Modello CAD della scrivania e della pedana.

La scrivania e la pedana prevedono una serie di regolazioni. La scrivania presenta un piano destinato al monitor regolabile in altezza grazie alla presenza di cilindretti modulari; la distanza del piano scrivania e del piano mouse dall'operatore sono regolabili grazie alla presenza di barre di scorrimento e manopole di arresto (Figura 2). La pedana poggiapiedi ha un'altezza dal pavimento regolabile grazie ad un analogo set di cilindretti, mentre la sua inclinazione è controllata mediante un perno filettato. I dispositivi di regolazione della scrivania e della pedana poggiapiedi sono stati sviluppati in maniera coerente con la scelta dei parametri di progetto scelti per l'individuazione di una postura ottima al VDT (cfr par. 4). Il modello CAD della postazione è stato quindi utilizzato per lo svolgimento delle prove effettuate mediante manichini virtuali.

2.2. Posizionamento del manichino virtuale

L'analisi ergonomica è stata condotta mediante manichini digitali². Il loro posizionamento all'interno della postazione virtuale di lavoro è stato effettuato mediante l'assegnazione di opportune condizioni di vincolo: la coincidenza del punto H del manichino con il punto H della sedia e tangenza della zona lombare con lo schienale della sedia (condizione (α) in Figura 3); l'affondamento del manichino nella seduta e nello schienale per simulare la deformazione elastica dei materiali che rivestono la sedia; la tangenza dei polsi, rispettivamente, con il piano tastiera ed il piano mouse (condizione (β) in Figura 3); la tangenza dei piedi sulla pedana (condizione (γ) in Figura 3); lo sguardo e la testa del manichino vincolati a seguire il bordo superiore del monitor.

2.3. Progettazione degli esperimenti, condotti in simulazione

Nella fase di progettazione degli esperimenti, da condurre in simulazione, mediante l'uso dei manichini virtuali, è stato proposto un adeguato piano fattoriale 3^6 ridotto, in accordo con i criteri della progettazione robusta. I fattori di progetto fissati sono stati: l'altezza del sedile (A), l'altezza dello schermo (B), l'altezza della pedana poggiapiedi (C), l'inclinazione della pedana poggiapiedi (D), l'inclinazione dello schienale del sedile (E) e la distanza della sedia dalla scrivania (F). I fattori di progetto ed i corrispondenti livelli sono riportati, rispettivamente nella Figura 3 e nella Tabella 1). I

¹ Il sistema CAD utilizzato per sviluppare il presente lavoro è *Solid Edge* (UGS).

² Il software utilizzato per le analisi ergonomiche è *Classic Jack* (EAI).

fattori di disturbo sono stati collegati alla variazione antropometrica della popolazione dei potenziali utenti di una postazione al VDT. Sono stati scelti, pertanto, i percentili 5°, 50° e 95° della popolazione sia maschile, sia femminile.

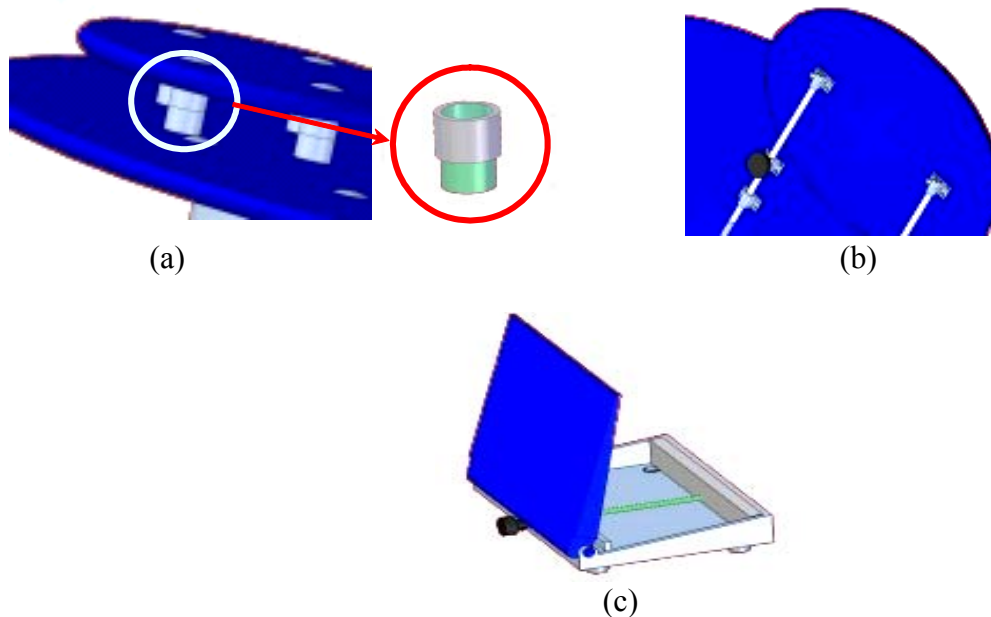


Figura 2. Regolazione del piano monitor (a), dei piani tastiera e mouse (b) e della pedana (c).

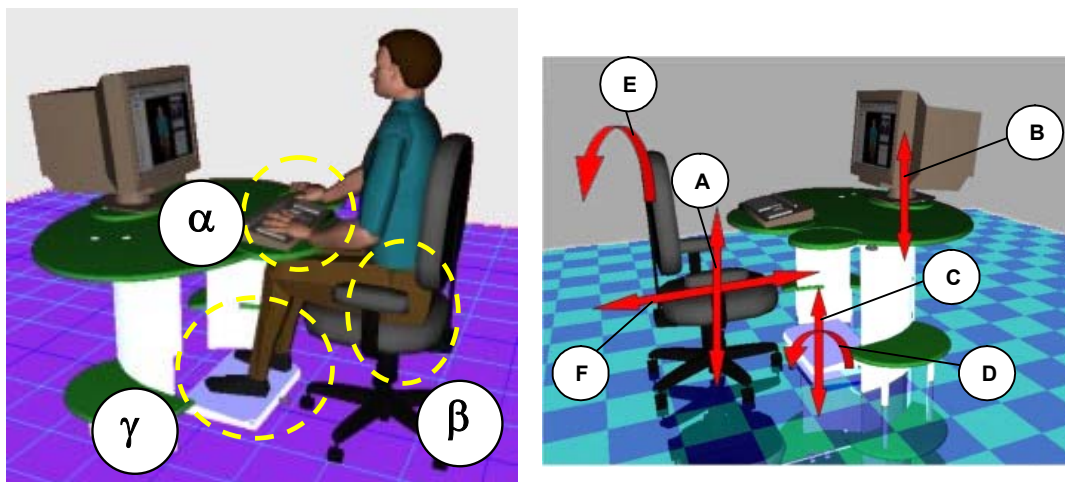


Figura 3. Posizionamento del manichino digitale (a sinistra);
 direzioni di variazione dei fattori di progetto (a destra)

Successivamente, per ciascuna delle prove stabilite dal piano fattoriale (Tabella 2), è stato effettuato il calcolo, mediante manichini digitali, degli indici per la valutazione della postura. In particolare sono stati misurati i valori degli indici: *Lower Back Compression Analysis* (LBA), *Owako Working Analysis System* (OWAS) e *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Il primo di essi valuta il carico di compressione, misurato in Newton, sul quarto e sul quinto disco intervertebrale del manichino (indicati con L4 e L5) in funzione della postura assunta durante l'attività lavorativa; il secondo fornisce una valutazione del grado di *discomfort* in una scala da 1 a 4; il terzo fornisce un punteggio da 1 a 7 in funzione dello stato di affaticamento degli arti superiori. Per valutare, poi, l'ergonomia della postura complessiva assunta dall'operatore al VDT è stato utilizzato un indice composto, l'*Indice di Valutazione della Postura* (IVP), già utilizzato in [DI GIRONIMO 2004]. L'IVP è dato dalla somma

pesata di tre variabili adimensionali: I1, I2 e I3. La variabile I1 è pari al valore fornito dalla *Lower Back Compression Analysis*, normalizzato rispetto al valore critico raccomandato dalle direttive NIOSH per la forza di compressione sul basso dorso, che è pari a 3400 Newton. La variabile I2 è calcolata normalizzando l'indice fornito dall'OWAS rispetto al suo valore critico, pari a 3; invece la variabile I3 è ottenuta normalizzando l'indice RULA rispetto al suo valore critico, pari a 5.

Tabella 1: Fattori di progetto e corrispondenti *range* di variazione

	FATTORI DI PROGETTO	MIN (livello1)	MED (livello 2)	MAX (livello 3)
A	Altezza sedile (mm)	420	490	560
B	Altezza schermo (mm)	750	790	830
C	Altezza poggiatesta (mm)	0	110	190
D	Inclinazione poggiatesta (°)	0	12,5	25
E	Inclinazione schienale (°)	90	99	108
F	Distanza sedile – tavolo (mm)	550	650	750

Tabella 2: Piano di prove condotte in ambiente virtuale e corrispondenti valori misurati per l'indice IVP

Num. prova	A	B	C	D	E	F	IVP					
							maschile			femminile		
							5°	50°	95°	5°	50°	95°
1	1	1	1	1	1	1	0,99	1,01	1,40	*	0,99	1,01
2	1	1	2	2	2	2	1,84	1,83	1,61	*	2,03	1,60
3	1	1	3	3	3	3	2,28	2,20		2,24	1,88	2,20
4	1	2	1	2	2	3	2,57	2,15	1,99	*	*	2,16
5	1	2	2	3	3	1	1,74	1,74	1,49	1,78	*	1,76
6	1	2	3	1	1	2	1,77	*	*	1,24	1,25	1,25
7	1	3	1	3	3	2	*	1,88	1,95	*	*	1,87
8	1	3	2	1	1	3	1,87	1,68	1,76	2,19	1,88	1,70
9	1	3	3	2	2	1	1,72	*	*	1,54	1,52	*
10	2	1	1	2	3	2	*	2,81	1,95	*	*	*
11	2	1	2	3	1	3	1,88	2,17	1,99	*	2,12	1,93
12	2	1	3	1	2	1	1,74	*	*	*	1,77	1,78
13	2	2	1	3	1	1	*	1,00	1,02	*	*	1,01
14	2	2	2	1	2	2	2,53	1,87	1,90	*	*	2,08
15	2	2	3	2	3	3	2,66	*	*	*	*	*
16	2	3	1	1	2	3	1,92	*	2,29	*	*	2,17
17	2	3	2	2	3	1	*	1,85	1,85	*	*	1,77
18	2	3	3	3	1	2	*	*	*	1,60	1,62	*
19	2	1	1	3	2	3	*	2,19	*	*	*	*
20	3	1	2	1	3	1	*	*	*	*	*	*
21	3	1	3	2	1	2	1,81	*	*	*	*	*
22	3	2	1	1	3	2	*	2,14	*	*	*	*
23	3	2	2	2	1	3	2,31	2,21	*	*	*	1,99
24	3	2	3	3	2	1	*	*	*	*	*	*
25	3	3	1	2	1	1	*	*	*	*	*	*
26	3	3	2	3	2	2	2,57	1,92	*	*	*	1,95
27	3	3	3	1	3	3	3,07	2,81	*	*	*	*

La personalizzazione dei parametri caratteristici previsti dal software di analisi ergonomiche, in particolare quelli riguardanti l'indice OWAS, consente di simulare al meglio le effettive condizioni di utilizzo della postazione di lavoro al VDT. L'*Indice di Valutazione della Postura* può variare dal valore minimo di 0,53 (corrispondente al valore nullo per I1 e a i valori minimi di I2 e I3) al valore massimo di 3,73 (sancito dal raggiungimento della condizione di carico sui dischi intervertebrali, prevista dal NIOSH, di 3400N, la quale comporta grave rischio per la salute del lavoratore).

Poiché all'aumentare del grado di *discomfort* aumenta il valore degli indici LBA, OWAS e RULA, allora valori alti dell'IVP sanciscono condizioni, dal punto di vista ergonomico, sfavorevoli per l'espletamento dell'attività lavorativa. Pertanto la postura ottimale, per ciascun percentile e per un prefissato sesso dell'operatore, è quella corrispondente al valore più basso misurato, in ambiente virtuale, per l'indice IVP.

I valori dell'indice IVP, ottenuti in corrispondenza di ciascuna delle prove previste dal piano fattoriale e per ciascun percentile, sono riportati in Tabella 2.

3. Criticità nell'applicazione della metodologia

Durante l'esecuzione delle prove, mediante i manichini digitali, sono state riscontrate posture non accettabili che sono state escluse prima della valutazione dell'IVP.

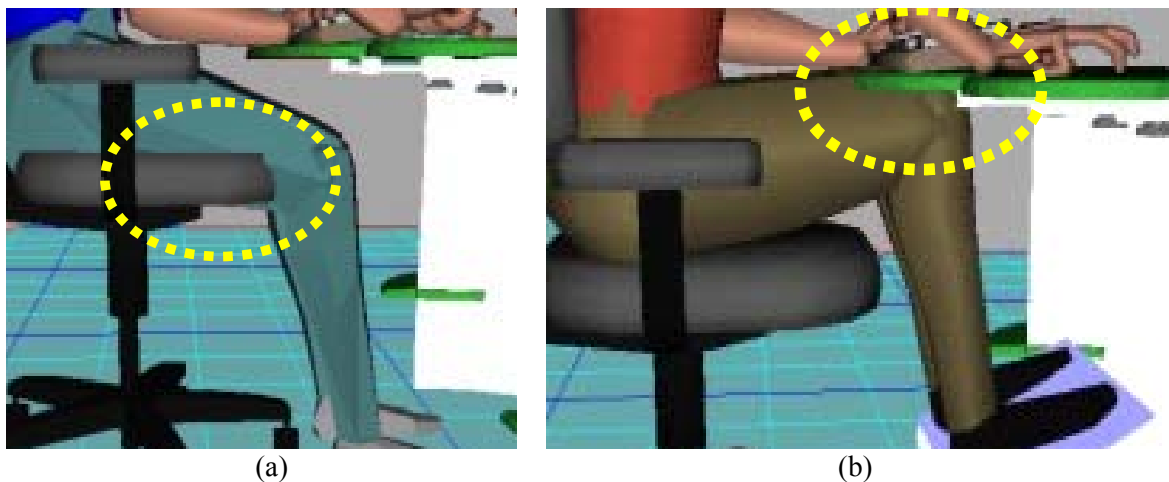


Figura 4. Esempi di condizioni di posture inaccettabili

Tali posture sono non accettabili in quanto i manichini, per soddisfare i vincoli di posizionamento e di tangenza con le superfici caratteristiche della postazione (cfr. paragrafo precedente) interferiscono visibilmente con gli elementi della postazione. È il caso, ad esempio, riscontrato in alcune prove del 95° percentile maschile per le quali si determina l'attraversamento della seduta della sedia (Figura 4a). Oppure per le prove del 95° percentile femminile per le quali si determina l'attraversamento del piano della scrivania (Figura 4b). Ulteriori condizioni di compenetrazione della seduta della sedia si sono riscontrate anche per il 5° ed 50° percentile femminile.

4. Risultati

Le prove condotte in ambiente virtuale hanno fornito due risultati principali. Il primo risultato riguarda il valore dell'IVP in corrispondenza di una postura ottimale. Per ciascun percentile considerato, infatti, le prove a cui corrispondono valori minimi dell'IVP, sono caratterizzate da un valore di questo indice – ad eccezione di quello individuato per il 5°percentile femminile – all'incirca pari ad 1 (Tabella 3).

Il secondo risultato riguarda la possibilità di utilizzo sistematico delle prove condotte in ambiente virtuale. Infatti, i valori dei fattori di progetto, in corrispondenza dei quali si determinano i valori più bassi dell'IVP, sono stati sintetizzati in abachi. Questi abachi, pertanto, consentono di individuare il valore ottimale del fattore di progetto in base al percentile ed al sesso dell'operatore (figure 4 e 5).

Tabella 3: Valori minimi registrati per l'IVP e corrispondenti valori dei parametri di progetto

		Num prova	A	B	C	D	E	F	IVP min
maschile	5°	1	420	750	0	0	90	550	0,99
	50°	13	490	790	0	25	90	550	1,00
	95°	13	490	790	0	25	90	550	1,02
femminile	5°	6	420	790	190	0	90	650	1,24
	50°	1	420	750	0	0	90	550	0,99
	1	420	750	0	0	90	550	1,01	
	95°	13	490	790	0	25	90	550	1,01

E' significativo mettere in evidenza che, dalle simulazioni condotte con i manichini di sesso maschile, tre dei fattori di progetto presi in considerazione, l'altezza del poggiatesta (C), l'inclinazione dello schienale (E) e la distanza sedile-tavolo (F), sono risultati indifferenti rispetto ai fattori di disturbo, ovvero rispetto alle dimensioni antropometriche dell'operatore, in quanto il loro livello ottimo è costante per i tre percentili presi in considerazione. Tali valori di ottimo sono: "0 mm" per l'altezza del poggiatesta, "90°" per l'inclinazione dello schienale e "550 mm" per la distanza sedile-tavolo. Analogamente, per le donne, il fattore di progetto E, inclinazione dello schienale, è risultato indipendente dalle variazioni percentiliche presentando un valore ottimo costante pari anche in questo caso a "90°".

Gli altri tre fattori di progetto per gli uomini e gli altri cinque per le donne, invece, sono risultati sensibili ai fattori di disturbo, come evidenziato dagli abachi di figura 4 e di figura 5.

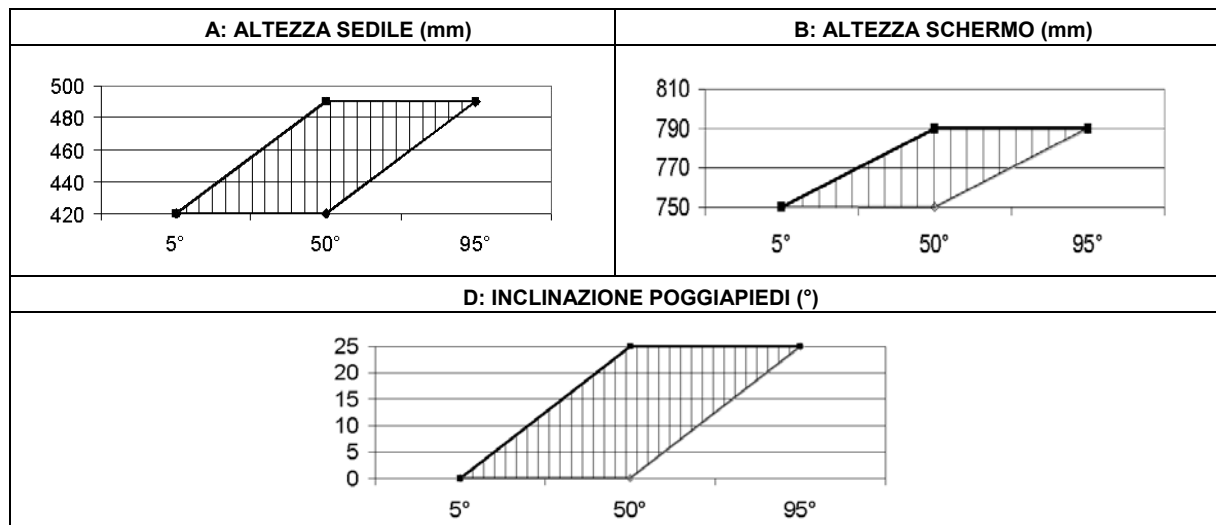


Figura 4. Abachi per l'individuazione dei valori ottimali dei fattori di progetto: percentili uomo

Gli abachi relativi ai fattori di progetto A, B e D per gli uomini (figura 4) e B per le donne (figura 5) presentano anziché un'unica curva di ottimo, due curve che delimitano una superficie di ottimo.

Un operatore maschio del 50° percentile, ad esempio, può mantenere un *comfort* posturale costante facendo variare l'altezza del sedile (A) tra i valori 420 mm e 490 mm, l'altezza dello schermo (B) tra i 750 ed i 790 mm e l'altezza del poggiatesta tra i 0° e i 25°.

Analogamente un operatore maschio del 75° percentile può mantenere un *comfort* posturale costante facendo variare l'altezza del sedile (A) tra i valori 459 mm e 490 mm, l'altezza dello schermo (B) tra i 772 ed i 790 mm e l'altezza del poggiatesta tra i 14° e i 25°.

Una operatrice donna del 25° percentile, invece, raggiunge il miglior *comfort* posturale in corrispondenza dei seguenti valori dei fattori di progetto: A = 420 mm; B = 772 mm; C = 111 mm; D = 0°; F = 494 mm.

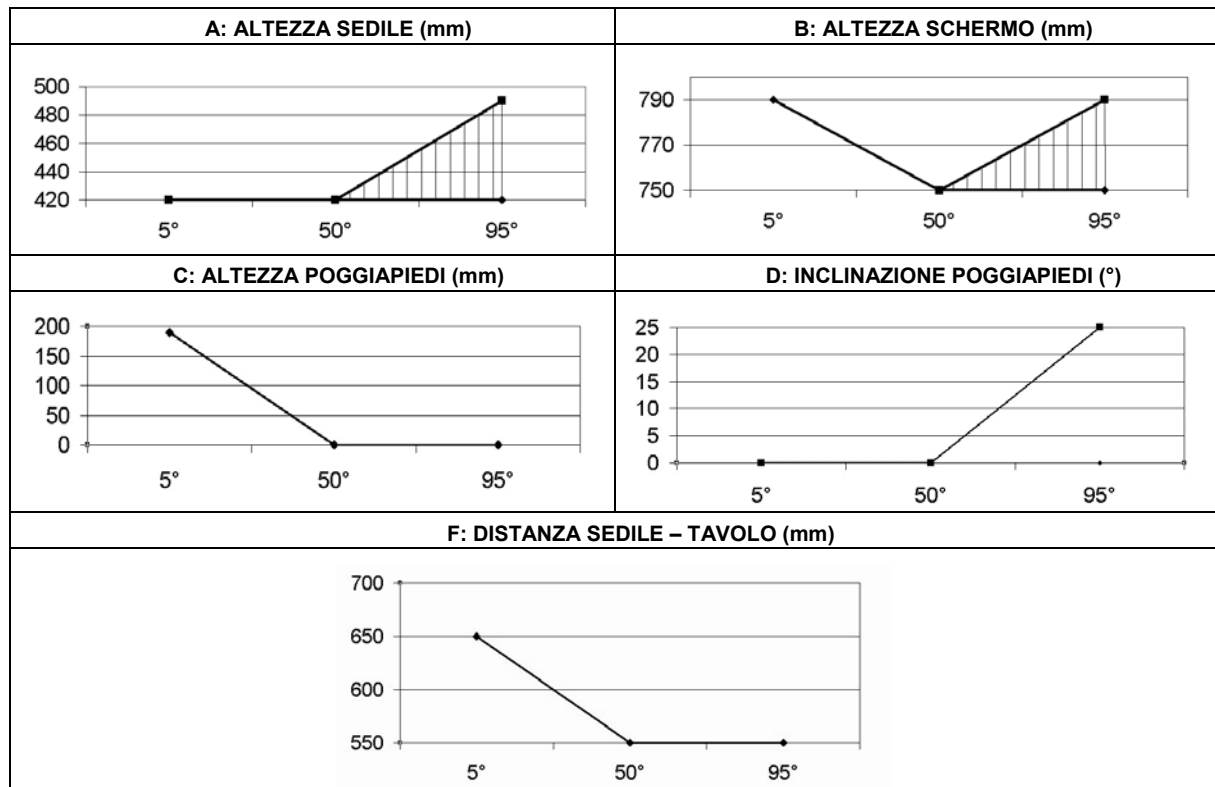


Figura 5. Abachi per l'individuazione dei valori ottimali dei fattori di progetto: percentili donna

5. Conclusioni

Il presente lavoro riassume la procedura seguita ed i risultati ottenuti mediante una serie di prove, condotte con l'ausilio di manichini virtuali, finalizzata all'individuazione della postura ottimale per operatori al VDT. Al variare del percentile e del sesso attribuiti ai manichini digitali, nonché delle dimensioni caratteristiche e delle condizioni geometriche imposte dalla normativa vigente sulle postazioni fisiche destinate al lavoro al VDT (fattori di progetto), sono state individuate le condizioni a cui corrispondono valori minimi assunti da un indice complessivo di valutazione della postura. I risultati sono stati raccolti in una serie di abachi che consentono di determinare, in base al percentile ed al sesso dell'operatore al VDT, i valori ottimali dei fattori di progetto che condizionano la postura.

Attualmente è in corso una attività di ricerca in collaborazione con l'Istituto di Medicina del Lavoro della Seconda Università di Napoli, volta alla valutazione dei possibili benefici fisici derivanti dall'applicazione dei risultati del presente lavoro su un campione rappresentativo della popolazione di operatori al VDT. In primo luogo si intende conseguire una maggiore capacità di discriminazione tra le posture assunte dagli operatori al VDT. In secondo luogo si intende valutare i benefici fisici, a valle di un lungo periodo di osservazione, mediante la diagnosi dei danni, minori o maggiori, provocati dall'assunzione di una nuova postura basata sulle regolazioni della postazione di lavoro proposte nel presente lavoro. Tali danni saranno poi confrontati con quelli provocati dall'assunzione di una postura scelta in maniera soggettiva dall'operatore.

Ringraziamenti

Gli autori, che hanno svolto il presente lavoro con paritetico contributo, ringraziano il Prof. Antonio Lanzotti per il prezioso contributo scientifico e l'ing. Valerio Penza per il supporto tecnico.

Riferimenti Bibliografici

BARONE, Stefano e LANZOTTI, Antonio. Quality Engineering approach to improve comfort of a new vehicle in virtual environment, 2002 Proceedings of the American Statistical Association, Statistical Computing Section [CD-ROM], Alexandria, VA: American Statistical Association, 2002.

BARONE, Stefano et al. Progettazione del posto guida di una *minicar* basata su esperienza del designer e sperimentazione virtuale, XVII Ingegraf-XV ADM, Siviglia, giu 2005.

BRIDGER, R. S. Introduction to Ergonomics, McGraw-Hill, ISBN 0-07-113294-5, 1995.

CAPUTO Francesco et al. Verifiche di manutenzione e di ergonomia nella progettazione di una locomotiva di manovra mediante l'impiego di modelli virtuali, Atti del Convegno Nazionale XIV ADM e XXXIII AIAS "Innovazione nella Progettazione Industriale", Bari, 31 Agosto - 2 Settembre 2004.

CHAFFIN, DON B. et al. Occupational Biomechanics. Third edition, Wiley-Interscience, ISBN 0-471-24697-2, 1999.

DI GIRONIMO Giuseppe et al. A New Approach to the Evaluation of the Risk Due to Manual Material Handling through Digital Human Modelling, Proc. of ISCS 2003 - Italian Society for Computer Simulation, Cefalù, 28-29 Novembre 2003.

DI GIRONIMO, Giuseppe et al. A Design Methodology for Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment, Proc. of International Design Conference – Design 2004, Dubrovnik, May 18 – 21, 2004, Vol II, ISBN 953 – 6313 – 61 – 8, pp. 723-734.

DI GIRONIMO, Giuseppe et al. Use of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design, Proc. of 7th International Conference on “The role of experimentation in the automotive product development process” – ATA 2001, Florence, 23-24 May 2001.

DI GIRONIMO, Giuseppe et al. Valutazione comparativa del rischio da movimentazione manuale dei carichi mediante protocolli di analisi e l'impiego di modelli umani digitali, Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia, 2005, 27:1, pp.124-128.

DI GIRONIMO, Giuseppe. Studio e sviluppo di metodologie di progettazione ergonomica in ambiente virtuale, Ph. D. Dissertation, University of Naples Federico II, 2002.

KARWOWSKI Waldemar et al. Computer-Aided Ergonomics: A Researcher's Guide, Taylor & Francis, ISBN 0-85066-753-4, 1990.

PHEASANT, Stephen. Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, Taylor & Francis, ISBN 0-7484-0326-4, 2002.