

6° INCONTRI MEDITERRANEI DI IGIENE INDUSTRIALE

MONITORAGGIO IN TEMPO REALE DEL RISCHIO ERGONOMICO POSTURALE DEL LAVORATORE.

UN TOOL SOFTWARE BASATO SU SENSORI LOW COST.

Antonio E. Uva*, Michele Fiorentino, Vito M. Manghisi, Michele Gattullo,
Antonio Boccaccio, Giuseppe Monno

*DMMM, Politecnico di Bari

Politecnico di Bari, Viale Japigia 182, 70126, Bari. Tel. 080 5962737

{antonio.uva, michele.fiorentino, vitomodesto.manghisi, michele.gattullo, antonio.boccaccio,
giuseppe.monno}@poliba.it

Introduzione

Gli esperti nel campo dell'igiene industriale sono chiamati ad affrontare la valutazione dei rischi negli ambienti di lavoro e di vita, attraverso un approccio multifattoriale che richiede una analisi basata su un know-how ampio e specialistico. L'impegno necessario in tale analisi può indubbiamente trovare beneficio nella disponibilità di strumenti in grado di agevolare le operazioni di misurazione e valutazione dei fattori indagati. Uno dei fattori che sicuramente va tenuto in considerazione è rappresentato dall'analisi del rischio da sovraccarico posturale.

Secondo il Sesto Rapporto Europeo sulle Condizioni di Lavoro (Eurofound, 2015), l'esposizione al rischio di disturbo muscolo scheletrico, derivante dall'assunzione di posture incongrue risulta ancora molto comune. Tale rischio è strettamente correlato al concetto di patologie da sovraccarico biomeccanico dovuto alla movimentazione manuale dei carichi. Questo concetto, assieme alla relativa valutazione di rischio, è stato introdotto dal D. Lgs. n° 81/2008. Le operazioni comportanti movimenti ripetitivi degli arti superiori, sebbene non direttamente menzionate, possono essere ricondotte al Titolo VI del suddetto decreto. La prevenzione delle tecnopatie associate al sovraccarico biomeccanico, consiste nella valutazione dell'esposizione a fattori di rischio e nella applicazione di interventi correttivi. Lo standard ISO 11228-3:2007(E), espressamente citato dal D. Lgs. 81/2008, prevede come primo passo preventivo l'applicazione di una metodologia semplificata al fine di realizzare uno screening di alto livello atto alla individuazione di situazioni potenzialmente rischiose sotto il punto di vista ergonomico.

Le varie metodologie di valutazione possono essere classificate in tre macro-categorie: i) i metodi di autovalutazione, ii) le misurazioni dirette, iii) ed i metodi osservazionali.

I metodi di autovalutazione sono affetti dai limiti intrinseci di una valutazione soggettiva che può essere inficiata da elementi non oggettivi quali ad esempio condizioni psicofisiche temporanee del lavoratore che si autovaluta (Balogh et al., 2004; David, 2005).

I metodi diretti sono spesso relegati ad applicazioni di carattere sperimentale in laboratorio. Essi infatti utilizzano parametri ottenuti da sensori applicati direttamente sul corpo del lavoratore, sono particolarmente intrusivi rispetto lo svolgimento normale delle mansioni lavorative e, tipicamente,

sono più costosi in quanto richiedono tecnologie adeguate, personale specializzato ed un maggior tempo di preparazione ed esecuzione (Xu, McGorry, Chou, Lin, & Chang, 2015).

I metodi che hanno trovato il più ampio utilizzo pratico, sono i metodi osservazionali basati sull'operato di un esperto che opera una analisi delle posture e dei carichi che interessano le mansioni svolte dal lavoratore e che, con l'ausilio di metriche dedicate, determina un punteggio di rischio e propone adeguati interventi correttivi. Tra di essi vanno sicuramente ricordati i metodi OWAS, NIOSH, RULA, OCRA, REBA, LUBA, ed EAWS, di cui è possibile trovare una rassegna ed un confronto nel lavoro di Roman-Liu (2014). I limiti di questi strumenti risiedono nella necessità di una adeguata specializzazione e nei non trascurabili tempi di esecuzione dovuti alla manualità delle analisi svolte sulla postura, sulla frequenza di ripetizione e sulle forze coinvolte. Le misurazioni sono inoltre effettuate sulla base di stime visive e non strumentali che possono ridurre l'accuratezza della valutazione.

Velocizzare ed automatizzare la valutazione del rischio, garantendo l'accuratezza dello strumento utilizzato, addurrebbe innegabili vantaggi all'impegno dell'esperto sul campo.

L'introduzione di sensori di profondità a basso costo, che consentono la raccolta automatica di dati posturali, come il Microsoft Kinect™, suggerisce un approccio semi-automatico ai metodi osservazionali. Gli studi sull'accuratezza e la robustezza delle posizioni dei giunti articolari ottenute (tracciamento scheletrico), dimostrano l'utilizzabilità di questi strumenti per applicazioni che richiedono di compilare una griglia di valutazione ergonomica (Plantard, Auvinet, Pierres, & Multon, 2015). In particolare uno studio condotto sull'utilizzo dell'ultima versione del Kinect, la V2, ne dimostra l'utilizzabilità nei metodi osservazionali le cui metriche sono basate su soglie angolari (Plantard, Shum, Le Pierres, & Multon, 2016).

Tra i metodi osservazionali, il RULA, acronimo di Rapid Upper Limb Assessment (McAtamney & Nigel Corlett, 1993), è uno dei più largamente utilizzati. Questo metodo di stima è espressamente citato dallo standard ISO 11228-3:2007(E) tra quelli applicabili per una rapida valutazione del rischio ergonomico posturale a carico delle articolazioni degli arti superiori e della schiena per compiti prevalentemente statici e ripetitivi. Per la sua struttura, basata su soglie angolari, esso si presta ad una implementazione di tipo semi-automatico con l'ausilio dei suddetti dispositivi.

Il caso di studio trattato di seguito affronta lo sviluppo prototipale di un software in grado di effettuare il monitoraggio in tempo reale del rischio ergonomico posturale del lavoratore, grazie all'utilizzo di sensori di profondità a basso costo.

Metodi

Il prototipo software implementato attorno al Kinect™ v2, al momento, restituisce la stima del rischio ergonomico di posture statiche acquisite su istantanee di tempo secondo la metrica RULA.

La metrica RULA

Il metodo RULA permette di ottenere dei punteggi di stima del rischio ergonomico posturale attraverso la compilazione di una griglia di valutazione. In questa griglia il corpo umano viene suddiviso in due sezioni principali (la Sezione A: braccio, avambraccio e polso; e la sezione B: collo, tronco e gambe). Il punteggio corrispondente al livello di rischio viene calcolato utilizzando tre tabelle. Le prime due restituiscono due punteggi posturali parziali relativi alle due sezioni del corpo trattate. Ognuno dei punteggi viene in seguito corretto sulla base della frequenza delle operazioni compiute e del carico sugli arti interessati. La terza tabella utilizza come input i due punteggi parziali e restituisce un punteggio finale, il grand-score, variabile in un range da 1 a 7.

Va sottolineato che il metodo effettua una analisi sia per il lato sinistro che per il lato destro del corpo umano. Ai valori del grand-score sono associati dei livelli di azione che indicano la tipologia di interventi da intraprendere per ridurre i rischi di infortunio al lavoratore:

- grand-score 1-2: la postura è accettabile se non è necessario mantenerla o ripeterla per lunghi periodi;
- grand-score 3-4: è necessario compiere una analisi secondo metodi più approfonditi in quanto potrebbe essere richiesto apportare degli interventi correttivi;
- grand-score 5-6: è richiesto intervenire rapidamente con una analisi e delle correzioni;
- grand-score 7: è richiesto intervenire immediatamente con una analisi e delle correzioni.

Validazione sperimentale

Gli algoritmi sviluppati sono stati validati attraverso il confronto con il golden standard di riferimento, ovvero la valutazione del punteggio con un sistema di tracking ottico. In particolare è stata valutata la significatività statistica dell'ipotesi che i grand-score restituiti dagli algoritmi implementati fossero in accordo con le stime del sistema ottico.

Sono state selezionate 15 posture statiche (figura 1): di cui 9 scelte dal modello di valutazione del metodo EWAS (IAD, 2012) ed altre 6 estratte da un manuale per la campagna europea contro i disturbi muscoloscheletrici rappresentative delle posture incongrue più comuni, l'ultima di queste al contrario è stata scelta come postura di riferimento di una posizione di semplice valutazione (Colombini, Colombini, & Occhipinti, 2012). Le stime sono state effettuate utilizzando un volontario (sesso maschile, 26 anni, altezza 180 cm, peso 80 kg) che ha simulato l'esecuzione delle posture statiche. Al fine di effettuare la valutazione attraverso il tracking ottico è stato necessario individuare idonei landmark anatomici (Wu et al., 2005) per il posizionamento di 18 marker ottici (sfere riflettenti del diametro di 1.0 cm).

L'acquisizione dei dati posturali è stata compiuta posizionando il sensore di fronte il volontario, ad una distanza di 240 cm ed ad una altezza di 180 cm dal pavimento. L'attore era al centro dell'area inquadrata dal sistema di tracking ottico installato in laboratorio con un livello di illuminazione controllato di 400 Lux. I dati sono stati raccolti in simultanea con i due sistemi di acquisizione e l'analisi è stata sincronizzata utilizzando una procedura basata su eventi come in (Xu et al., 2015).

Le coordinate dei landmark anatomici, acquisite attraverso il sistema di tracking ottico sono state importate in un modello parametrico di un CAD tridimensionale (Autodesk Inventor professional 2017) al fine di misurare gli angoli necessari al calcolo del punteggio RULA che è stato quindi calcolato con l'ausilio del foglio elettronico RULA Employee Assessment Worksheet (Hedge, 2000).

La valutazione dell'accordo (agreement) tra i metodi di stima è stata compiuta utilizzando tabelle di contingenza bidimensionali (Fleiss, Levin, & Paik, 2004). L'agreement è stato calcolato stimando il *proportion agreement index* (p_0), mentre la significatività dello stesso è stata valutata con la *kappa di Cohen* pesata linearmente.

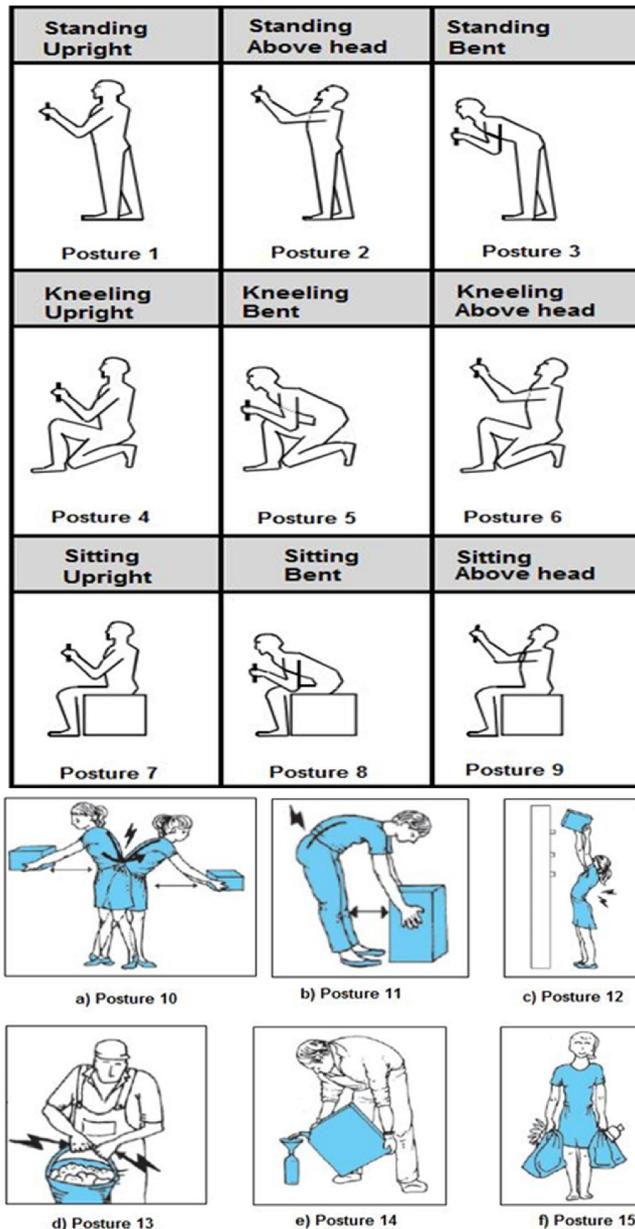


Figura 1: Le posture da 1 a 9 dal form EAWS e le posture da 10 a 15 tratte dal manuale Colombini, Colombini e Occhipinti (fonte http://www.inail.it/internet_web/wcm/idc/groups/internet/documents/document/ucm_portstg_093067.pdf)

Risultati

In Figura 2 e 3 si possono osservare i grand-score stimati dai due metodi per la parte destra e la parte sinistra del corpo.

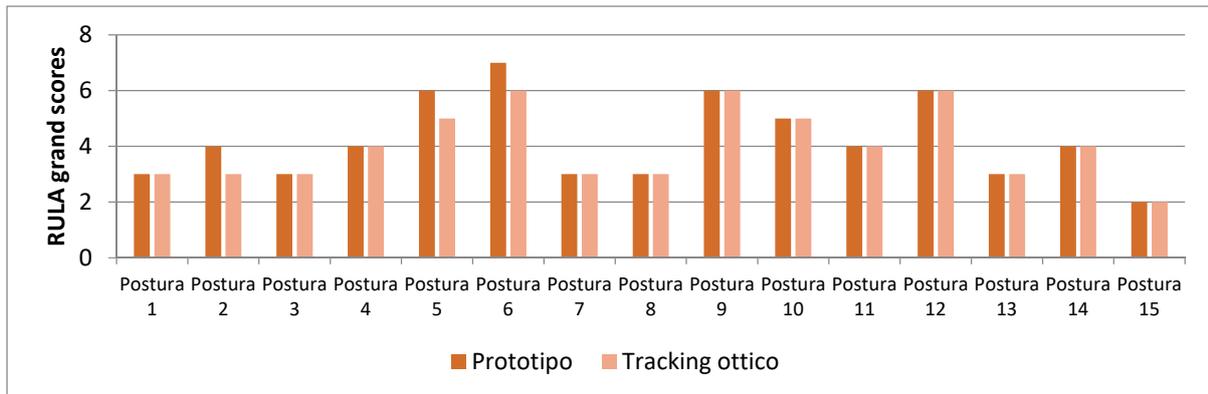


Figura 2: Grand-scores lato sinistro del corpo ottenuti dai due metodi di stima

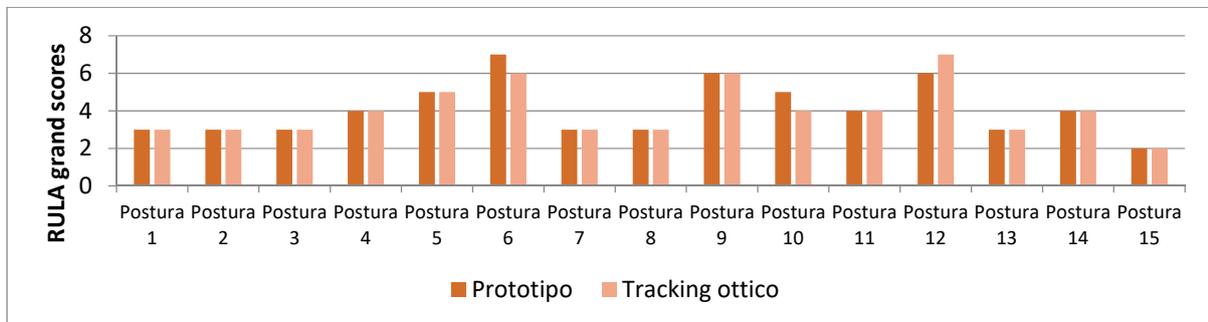


Figura 3: Grand-scores lato destro del corpo ottenuti dai due metodi di stima

I punteggi ottenuti, analizzati secondo la scala di Landis and Koch scale (Landis & Koch, 1977) indicano un agreement perfetto tra i due metodi (

Tabella 1).

Tabella 1: Agreement osservati tra il prototipo ed il metodo di tracking ottico

Lato	Po	kappa di Cohen	Agreement (scala di Landis and Koch)	z (k/sqrt(var))	p value	Ipotesi nulla
Sinistro	0.97	0.87	Perfetto	4.38	<0.001	Rifiutata
Destro	0.97	0.87	Perfetto	4.78	<0.001	Rifiutata

La significatività statistica del risultato è valutata testando l'ipotesi nulla che l'agreement osservato sia accidentale. In entrambi i casi, lato destro e sinistro del corpo, l'ipotesi viene rigettata ($p < 0.001$). Confermando l'ipotesi iniziale che le stime del prototipo e del sistema di tracking ottico sono in accordo tra di loro.

Discussione e conclusioni

Il prototipo ha il vantaggio di non essere soggetto ai limiti legati a valutazioni visive non strumentali oltre che consentire l'analisi immediata di una postura con un click. Lo sviluppo finale del prototipo consentirà anche l'analisi in tempo continuo sia in real-time che off-line, consentendo di superare un limite dei lunghi tempi di esecuzione dei metodi osservazionali. La funzionalità in

real-time consentirà l'uso nel di training posturale per il rilevamento e la correzione immediata di posture scorrette. Il software potrà essere utilizzato anche da personale non esperto agevolando i processi di formazione e sorveglianza sanitaria aziendale, costituendo uno strumento di supporto alla redazione del Documento di Valutazione dei Rischi aziendale.

Bibliografia

- Balogh, I., Ørbæk, P., Ohlsson, K., Nordander, C., Unge, J., Winkel, J., Hansson, G.-Å., et al. (2004). Self-assessed and directly measured occupational physical activities—influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Applied ergonomics*, 35(1), 49–56.
- Colombini, D., Colombini, C., & Occhipinti, E. (2012, April). I disturbi muscolo-scheletrici lavorativi. *Milano, Ed. INAIL*. Retrieved from http://www.inail.it/internet_web/wcm/idc/groups/internet/documents/document/ucm_port_stg_093067.pdf
- David, G. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational medicine*, 55(3), 190–199.
- Eurofound. (2015). First findings: Sixth European Working Conditions Survey. Eurofound. doi:10.2806/59106
- Fleiss, J. L., Levin, B., & Paik, M. C. (2004). The Measurement of Interrater Agreement. *Statistical Methods for Rates and Proportions* (pp. 598–626). John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/0471445428.ch18
- Hedge, A. (2000). RULA Employee Assessment Worksheet. *Ithaca, NY: Cornell University*.
- IAD. (2012). EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet - section 4) last accessed 10 september 2015. (I. M. Directorate, Ed.). Retrieved from <http://ergo-mtm.it/wp-content/uploads/2013/09/EAWS-form-v1.3.4-EN.pdf>
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Li, G., & Buckle, P. (1999). Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics*, 42(5), 674–695.
- McAtamney, L., & Nigel Corlett, E. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied ergonomics*, 24(2), 91–99.
- Plantard, P., Auvinet, E., Pierres, A.-S. L., & Multon, F. (2015). Pose estimation with a kinect for ergonomic studies: Evaluation of the accuracy using a virtual mannequin. *Sensors*, 15(1), 1785–1803.
- Plantard, P., Shum, H., Le Pierres, A.-S., & Multon, F. (2016). Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions. *Applied Ergonomics*, 30, 1e8.
- Roman-Liu, D. (2014). Comparison of concepts in easy-to-use methods for MSD risk assessment. *Applied ergonomics*, 45(3), 420–427.
- Wu, G., Helm, F. C. T. van der, Veeger, H. E. J. (DirkJan), Makhsous, M., Roy, P. V., Anglin, C., Nagels, J., et al. (2005). {ISB} recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 981–992.
- Xu, X., McGorry, R. W., Chou, L.-S., Lin, J., & Chang, C. (2015). Accuracy of the Microsoft Kinect™ for measuring gait parameters during treadmill walking. *Gait & Posture*, 42(2), 145–151. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.05.002>