

Segnali elettrici dai muscoli: prevenzione delle patologie di lavoratori e musicisti

Roberto Merletti, LISiN, Politecnico di Torino, roberto.merletti@polito.it



Da sapere

Le tecniche di elettromiografia non invasiva, per immagini, consentono il monitoraggio e la presentazione dell'attività muscolare in numerose applicazioni di medicina del lavoro e dello sport. Il loro utilizzo in tempo reale, consente sia la quantificazione immediata dell'attività muscolare da parte di un operatore sanitario, sia la percezione visiva immediata e la conseguente correzione, da parte del soggetto, della distribuzione spaziale della sua attività muscolare. Quest'ultima tecnica correttiva va sotto il nome di biofeedback.

Introduzione.

L'elettromiogramma (EMG) e' il segnale elettrico prodotto dalle fibre muscolari quando queste ricevono dai motoneuroni gli impulsi elettrici che ne causano la contrazione. Tradizionalmente tale segnale e' rilevato con aghi intramuscolari (ago di Adrian) che leggono, a scopo diagnostico, i potenziali d'azione prodotti dalle fibre muscolari nelle immediate vicinanze della punta dell'ago (< 1mm). Negli ultimi 30 anni sono state sviluppate tecniche di elettromiografia non invasiva basate su elettrodi cutanei che rilevano i segnali prodotti da molte unita' motorie muscolari appartenenti a piu' muscoli. Negli ultimi 15-20 anni, nei laboratori di ricerca di tutto il mondo e grazie a contributi della Comunita' Europea e di Fondazioni bancarie, sono state valutate griglie (matrici) di elettrodi che consentono di visualizzare, con falsi colori, immagini del potenziale superficiale e della sua evoluzione nel tempo, ottenendo un filmato. Tali immagini consistono di 32, 64, 128 o 256 pixels, pari al numero di elettrodi della griglia applicata sulla cute. Gli elettrodi hanno diametro di circa 3mm e una distanza da centro a centro di 5-10 mm. Ogni elettrodo raccoglie il segnale presente nel punto in cui e' applicato la cui intensita' viene codificata con un colore, dal blu scuro per intensita' nulla al rosso vivo per intensita' elevata. La griglia di elettrodi e' applicata sulla cute come un cerotto oppure e' incorporata in una guaina elastica indossata su un braccio o una gamba. I segnali sono (per ora) quelli generati dai muscoli piu' superficiali, fino a circa 20 mm di profondita'. La tecnica non e' molto diversa da quella utilizzata per l'elettroencefalogramma (EEG) e si puo' dire che l'EMG sta al fisiatra e al fisioterapista come l'EEG sta al neurologo e come l'ECG sta al cardiologo.

Le applicazioni delle tecniche di EMG di superficie sono numerose ma ancora poco note in Italia per una carenza di informazione e formazione degli operatori del settore. Esse sono oggetto di circa 700 articoli scientifici /anno e di numerosi libri di testo internazionali [1, 9, 10] i primi dei quali risalgono al secolo scorso. I settori di applicazione riguardano:

1. La ricerca in fisiopatologia neuromuscolare, dell'invecchiamento e dell'esercizio fisico
2. La ricerca in ergonomia
3. La prevenzione di patologie occupazionali di lavoratori dell'industria e di musicisti
4. La medicina dello sport e della riabilitazione motoria
5. La prevenzione di patologie causate dall'intervento di episiotomia durante il parto

e altre applicazioni minori tra cui il monitoraggio del sistema neuromuscolare degli astronauti in condizioni di microgravita'. In questi settori la ricerca italiana ha raggiunto riconosciuti livelli di eccellenza ma le applicazioni in prevenzione e nella pratica clinica sono ancora modeste e limitano fortemente l'interesse dell'industria.

Questa nota e' focalizzata sugli aspetti di prevenzione di patologie occupazionali di lavoratori dell'industria e di musicisti e sui risultati dei progetti di ricerca nel settore.

La prevenzione di patologie occupazionali di lavoratori dell'industria e di musicisti.

Le patologie da lavoro (dolori a schiena, spalle, collo, braccia, sindrome del tunnel carpale, ecc), spesso definite come Repetitive Strain Injuries (RSI) o Cumulative Trauma Disorders (CTD), sono la principale causa di perdita di giornate lavorative e hanno un altissimo costo sociale/economico [1,2].

Nel caso di musicisti si aggiunge un costo personale associato alla difficoltà di suonare il proprio strumento, cosa che per un musicista rappresenta la vita stessa.

I musicisti rappresentano una piccola classe professionale, ma con un'alta prevalenza di patologie occupazionali (Playing Related Musculoskeletal Disorders, PRMDs). I PRMDs sono patologie disabilitanti che coinvolgono la persona nella sua interezza e colpiscono prevalentemente i musicisti di musica classica e in particolare gli archi (la prevalenza varia dal 73,4% al 87,7% a seconda degli studi) [6,7,8]. La analisi e la interpretazione fisiologica dei segnali EMG e' complessa ed esula da questa trattazione ma e' disponibile nei testi indicati in bibliografia [9, 10].

Si intende invece qui illustrare un aspetto di rilevanza concreta e immediata consistente nell'uso dei filmati EMG come forma di biofeedback. Un esempio e' fornito in Fig 1 e 2.

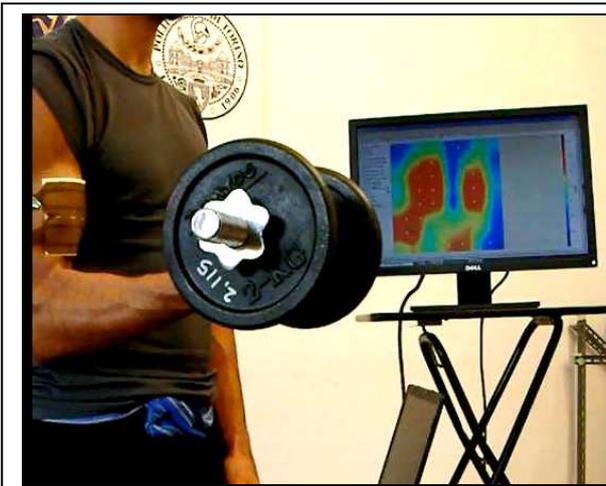


Fig. 1. Applicazioni in fisiologia dell'esercizio fisico, del lavoro e dello sport. Lo schermo mostra la mappa della attività elettrica del bicipite destro su cui è applicata una griglia di 8x8 elettrodi. Il grado di attivazione dei due capi del bicipite è osservabile e controllabile in tempo reale dal soggetto. Il soggetto solleva (contrazione concentrica dei flessori) e abbassa il peso (contrazione eccentrica dei flessori). Vedi anche Fig. 2.

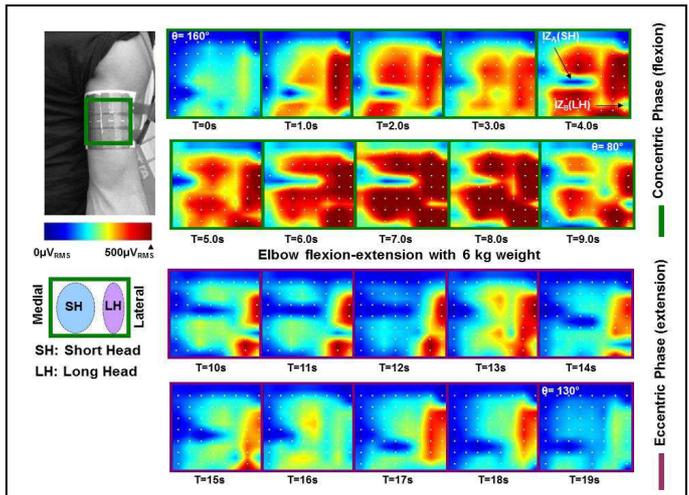


Fig. 2. Esempio di fotogrammi di mappe EMG prodotte dai capi lungo e breve del bicipite brachiale durante la contrazione concentrica (0-9s) ed eccentrica (10-19s) indicata in Fig. 1. Mentre entrambi i capi contribuiscono alla contrazione concentrica, solo il capo lungo contribuisce, in questo soggetto, a quella eccentrica (discesa del peso), probabilmente insieme agli altri flessori del gomito.

Le applicazioni in biofeedback per insegnare al soggetto come bilanciare/equilibrare l'attivazione di muscoli diversi sono ovvie e potrebbero dare origine a forme innovative di didattica, di allenamento sportivo, di riabilitazione e di educazione ad assumere posture corrette. Questo tipo di presentazione in tempo reale consente al soggetto di apprendere, verificare e correggere le modalità e le strategie di contrazione muscolare ottimali. Un esempio e' fornito in Fig. 3 in relazione ad uno studio sugli operatori di videoterminali. L'attività elettrica del trapezio superiore e medio e' presentata all'operatore per mostrare come l'appoggio degli avambracci sul tavolo "spenga" il trapezio riducendo le conseguenze causate dalla iperattività prolungata, e non percepita dall'operatore, di tale muscolo.

La Fig. 4 mostra l'attività di diversi gruppi muscolari di un lavoratore che opera una saldatrice elettrica per punti. I segnali sono acquisiti con schiere lineari di elettrodi al fine di poter stimare la velocità di propagazione dei potenziali d'azione muscolari che costituisce la principale manifestazione mioelettrica di fatica. Nella figura i segnali sono mostrati su una finestra temporale di 1 s corrispondente alla immagine di destra. Questa tecnica, che mostra patterns di attivazione muscolare (e di affaticamento) molto diversi nel lavoratore esperto e nell'apprendista, dovrebbe far parte del bagaglio culturale e di tecniche valutative del medico competente insieme a quelle basate sulla cinematica, sui filmati o sulle scale di valutazione oggi in uso (prevalentemente qualitative).



Le immagini in b) e c) hanno la stessa scala di colori.

Fig. 3.a) Posizionamento di due griglie di 13x5 elettrodi sul trapezio superiore e medio. b) Mappa di attivita' elettrica sotto le griglie quando il soggetto scrive senza appoggiare gli avambracci sul tavolo. c) Mappa di attivita' elettrica sotto le griglie quando il soggetto scrive appoggiando gli avambracci sul tavolo. Il soggetto non ha percezione dei diversi livelli di attivazione del trapezio superiore nelle due condizioni.

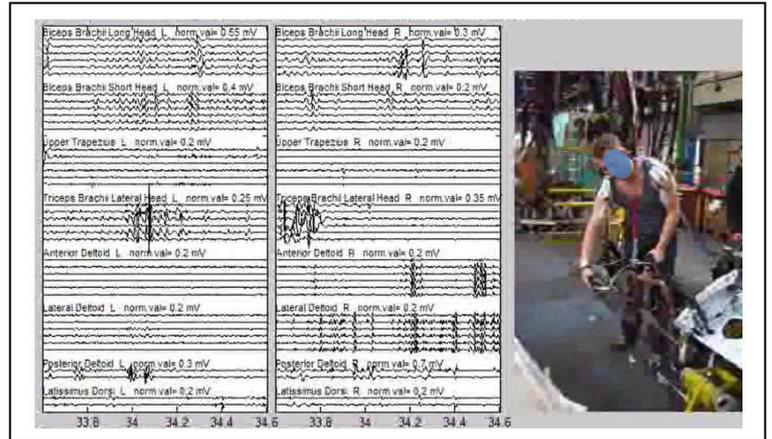


Fig. 4. Attivita' elettrica (6 canali differenziali) del capo lungo e breve del bicipite, del trapezio, del tricipite, dei capi anteriore, laterale e posteriore del deltoide e del gran dorsale di un soggetto che opera una saldatrice elettrica per punti. Le posture corrispondenti ad attivita' muscolari minime possono essere facilmente identificate e sono diverse nell'apprendista e nell'operatore esperto. L: lato sinistro, R: lato destro.

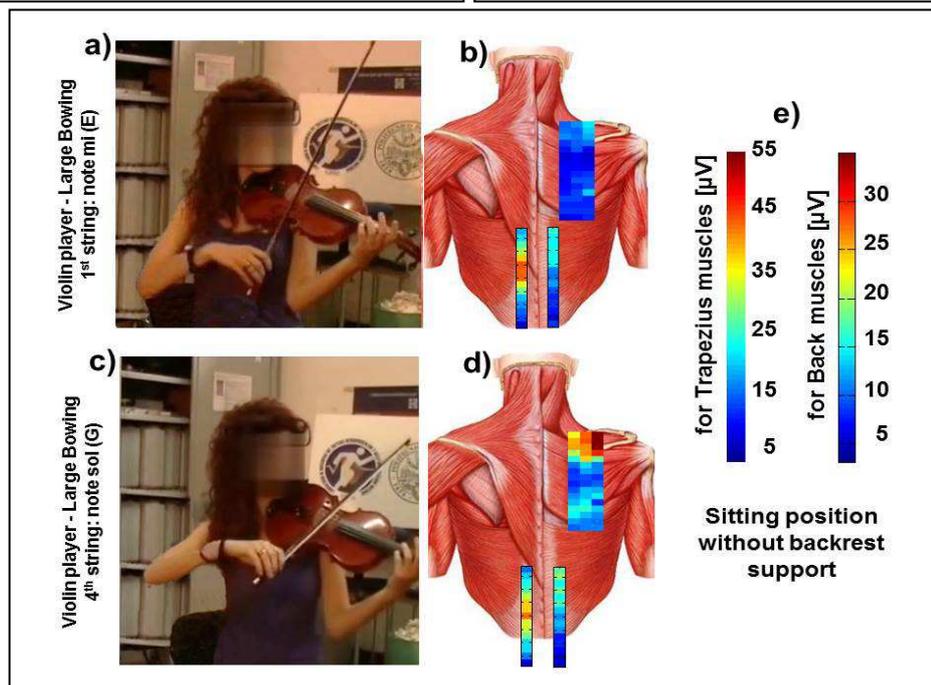


Fig.5. Attivita' elettrica del trapezio destro e della zona lombare degli erettori spinali in una violinista che suona la prima e la quarta corda del violino. a) e b) mostrano le due posture, c) e d) mostrano le griglie di elettrodi e le sottostanti attivita', e) mostra le scale dei colori per trapezio ed erettori spinali.

La Fig. 5 illustra la sensibilita' della tecnica nel distinguere tra l'attivita' del trapezio destro e degli erettori spinali in una violinista che suona la prima e la quarta corda del violino. Le applicazioni delle tecniche di EMG di superficie per immagini vanno ben oltre quanto illustrato sopra e includono, per esempio, anche giochi riabilitativi in cui il successo o meno del gioco dipende dalla corretta attivazione, in termini di intensita' e distribuzione spaziale del segnale EMG di certi gruppi muscolari su cui sono applicati gli elettrodi.

Indicazioni per la pratica

Il Nat. Inst. for Safety and Health (NIOSH) ha pubblicato le prime raccomandazioni circa l'uso del EMG di superficie nel 1992 [3]. Nel 1996 vi ha fatto seguito il primo testo sull'argomento [1] e nel 1999-2000 il primo Progetto Europeo [4,5]. La Comunità Europea ha dedicato attenzione e fondi a questo settore che a Torino è stato sviluppato dal Laboratorio di Ingegneria del Sistema Neuro-muscolare (LISiN) del Politecnico. I Progetti Europei e ministeriali e i Progetti Lagrange a cui il LISiN ha partecipato sono:

1. **Surface electromyography for non-invasive assessment of muscles (SENIAM), 1997-2000.**

Obiettivo: standardizzazione delle metodiche di lettura e interpretazione dei segnali elettrici prodotti dai muscoli durante la loro contrazione. Sono state pubblicate le Raccomandazioni Europee per l'Elettromiografia di superficie, sia in lingua inglese sia in lingua italiana [4,5].

2. **Prevention of muscle disorders in operation of computer input devices (PROCID), 1999-2001.**

Obiettivo: studio delle alterazioni muscolari nei "videoterminalisti" causate dalla ripetitività del lavoro (uso prolungato di tastiera e mouse, problemi posturali, stress, ecc) e all'origine di patologie neuromuscolari.

3. **Neuromuscular assessment of elderly workers (NEW), 2001-2004.**

Obiettivo: studio delle patologie da lavoro e della loro prevenzione o correzione precoce in lavoratori anziani in cui le alterazioni dovute all'invecchiamento si aggiungono a quelle dovute alla ripetitività del lavoro.

4. **Cybernetic manufacturing systems (CyberMans), 2006-2009.**

Obiettivo: sviluppo di ausili per l'assistenza al lavoratore che svolge attività pesanti o ripetitive.

5. **Biomarkers for objective assessment and early detection of work-related upper extremity musculoskeletal disorders (Ministero della salute) 2011-2015.**

Obiettivo: studio di marker biochimici ed elettrofisiologici associati all'attività dell'arto superiore.

6. **Studio della suddivisione del carico tra muscoli soggetti a patologie occupazionali. Progetto Lagrange 2013**

7. **What a painful melody: assessment of the left forearm muscles in violin players. Progetto Lagrange 2014**

8. **How should you sit? EMG based ergonomics of the sitting posture for the prevention of musculo-skeletal disorders in musicians. Part 1 and Part II. Progetto Lagrange 2015-2016**

Conclusioni e limiti

Le tecniche illustrate sono note da oltre 20 anni [1,2,3,13] e largamente usate nei laboratori di ricerca italiani e stranieri. Le carenze formative degli operatori sanitari ne hanno purtroppo fino ad oggi impedito, in Italia, l'utilizzo clinico e quindi anche lo sviluppo industriale. La promozione della didattica nel settore clinico è fortemente auspicabile.

Bibliografia

1. Kumar S. Mital A., Electromyography in Ergonomics, Taylor and Frances 1996 ISBN 074840130X.
2. Lam S.J. Repetitive strain injury or cumulative trauma disorder as legal and clinical entities. The need for a total reappraisal of this concept as being occupationally caused and therefore compensatable. Med Sci Law. 1995; 35: 279-86. Review.
3. Autori vari. Selected topics in Surface EMG for use in occupational settings: expert perspective. US Dept of Health and Human Services, NIOSH, Pub N. 91-100, 1992.
4. Hermens H., Freriks B, Merletti R., Stegeman D., Blok J., Rau G., Disselhorst-Klug C., Hagg G., European Recommendations for Surface Electromyography, RRD publish. ISBN 90-75452-15-2, 1999. Vedere anche www.seniam.org.

5. Hermens H., Freriks B, Merletti R., Stegeman D., Blok J., Rau G., Disselhorst-Klug C., Hagg G., *Raccomandazioni Europee per l'Elettromiografia di Superficie*, Edizione italiana a cura di R. Merletti, Coop. Lib. Univ. Torinese (CLUT), ISBN 88-7992-1525, 2000.
6. Zaza C. "Playing-related musculoskeletal disorders in musicians: a systematic review of incidence and prevalence". *Can. Med. Ass. J.* 1998; 158:1019-1025.
7. Lee HS, Park HY, Yoon JO, Kim JS, Chun JM, Aminata IW, Cho WJ, Jeon IH. "Musicians' medicine: musculoskeletal problems in string players". *Clinics in orthopedic surgery* 2013; 5:155-160.
8. Lederman RJ. "Neuromuscular and musculoskeletal problems in instrumental musicians". *Muscle & Nerve* 2003; 27: 549-561.
9. Gazzoni M., Afsharipour B., Merletti R., *Surface EMG in ergonomics and occupational medicine*, Ch 13 of Merletti R. , Farina D. (edts) *Surface Electromyography: physiology, engineering and applications*, IEEE Press / J Wiley, USA, 2016 pg 361-391.
10. Barbero R., Rainoldi A, Merletti R. *Atlas of muscle innervation zones: understanding surface EMG and its applications*, Springer, Italy 2012.
11. Gazzoni M., *Multichannel Surface Electromyography in Ergonomics: Potentialities and Limits* *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 2010; 20: 255-271.
12. Hagg G., Luttmann A., Jager M., *Methodologies for evaluating electromyographic field data in ergonomics* *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2000; 10: 301–312.
13. <https://www.nap.edu/catalog/6431/work-related-musculoskeletal-disorders-report-workshop-summary-and-workshop-papers> (1999).