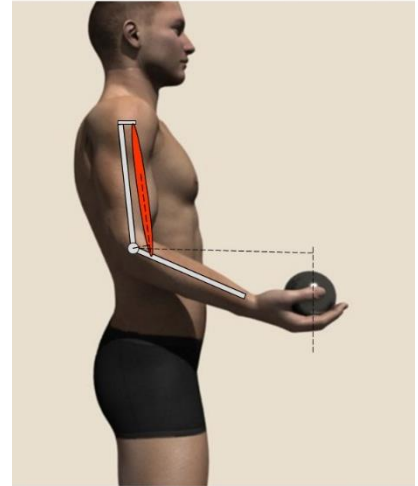


# Controllo motorio ed elettromiografia di superficie: sviluppo di modelli e strumenti didattici (CoMES)

## 1. Introduzione al materiale didattico CoMES Un lavoro in corso

La tecnologia e l'ingegneria della riabilitazione stanno subendo un'importante rivoluzione che influenzerà profondamente sia la pratica clinica, sia la formazione del fisioterapista.



Questa rivoluzione include temi di strumentazione di misura, robotica e ingegneria della riabilitazione e sta procedendo più rapidamente in alcuni Paesi e meno in altri, in funzione del livello e della qualità delle scuole e degli operatori del settore (fisioterapisti, terapisti occupazionali, kinesiologi, esperti di scienze motorie, ecc). Gli aspetti di misura dei risultati e la valutazione strumentale dell' "outcome" hanno crescente rilevanza in Riabilitazione Basata sull'Evidenza (EBR).

Un aspetto fondamentale di tale trasformazione riguarda l'apprendimento e l'applicazione di tecniche di biomeccanica, di analisi del movimento ed elettromiografia non invasiva (sEMG). Il progresso è stato particolarmente rapido in tali aree anche grazie alla attività della International Society of Biomechanics (ISB), della International Society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK) e di numerose altre istituzioni e società scientifiche internazionali impegnate nelle scienze riabilitative e nella robotica. Il Progetto CoMES mira a limitare il crescente "gap" tra progresso tecnologico e formazione clinica rendendo disponibile materiale formativo progettato per gli operatori clinici.

## 2. Obiettivi

La biomeccanica e l'elettrofisiologia muscolare sono due colonne fondamentali delle tecniche di prevenzione e di riabilitazione. Il potenziale clinico di queste scienze risiede nel coinvolgimento di figure che abbiano, nel settore, una competenza solida, approfondita e uniforme nei vari Paesi. Tale condizione è necessaria per il trasferimento delle competenze acquisite nei laboratori di ricerca alle applicazioni cliniche ottenendo quel feedback indispensabile per ulteriori miglioramenti e per un approfondimento delle conoscenze del sistema nervoso e muscolo-scheletrico in condizioni patologiche.

Obiettivo del Progetto CoMES è la preparazione di materiale didattico on-line sviluppato in collaborazione con fisioterapisti e kinesiologi. Il materiale presentato si basa largamente, ma non esclusivamente, sui risultati delle ricerche condotte presso il Laboratorio di Ingegneria del Sistema Neuromuscolare (LISiN, Politecnico di Torino) sia nell'ambito di Progetti Europei sia con il sostegno delle Fondazioni Bancarie torinesi.

**Il primo obiettivo** consiste nel rendere disponibili 10 moduli su temi fondamentali di biomeccanica ed elettrofisiologia muscolare, temporaneamente realizzati in Power Point, liberamente accessibili e scaricabili da alcuni siti web al fine di acquisire commenti e suggerimenti da studenti e docenti di fisioterapia. La versione corrente è primariamente mirata ai docenti delle scuole di fisioterapia.

**Il secondo obiettivo** consiste nell'aggiungere spiegazioni verbali e rendere il materiale direttamente utilizzabile in modo interattivo, tramite internet, come strumento di e-learning e di formazione permanente per studenti, docenti e professionisti del settore.

**Il terzo obiettivo** prevede approfondimenti e argomenti specifici quali il meccanomiogramma, le contrazioni indotte elettricamente, la decomposizione del segnale EMG nei costituenti treni di potenziali di unità motorie, la analisi del movimento e ulteriori esempi di applicazioni cliniche.

Segue la lista dei 10 moduli realizzati nel primo obiettivo.

### **3. Organizzazione del materiale didattico.**

**Ogni modulo contiene 30-70 immagini o animazioni in Power Point, al momento senza audio.**

- 1. Fisica dei fenomeni meccanici elementari.**  
Richiami dei concetti di base di fisica appesi nelle scuole medie e relativi a forze e movimento.
- 2. Elementi di biomeccanica.**  
Concetti fondamentali di biomeccanica e misure biomeccaniche.
- 3. Fisica dei fenomeni elettrici elementari rilevanti per la comprensione dell'EMG di superficie.**  
Richiami dei concetti di base di fisica dei fenomeni elettrici appesi nelle scuole medie.
- 4. Elementi di analisi dei segnali bioelettrici.**  
Concetto di segnale mono- e bi-dimensionale e sue caratteristiche di ampiezza e frequenza; concetto di campionamento e conversione analogico/digitale.
- 5. Elementi di neurofisiologia e meccanismi di generazione del segnale EMG di superficie.**  
Elettrofisiologia della singola fibra, della unità motoria e generazione del segnale sEMG.
- 6. Il prelievo del segnale EMG: modalità, criteri, errori comuni.**  
Prelievo del segnale, filtri spaziali, amplificazione, filtraggio, rimozione di disturbi.
- 7. Parametri e variabili del segnale EMG.**  
Stima di ampiezza e dei parametri spettrali e loro significato fisiologico.
- 8. Le raccomandazioni europee e il loro aggiornamento.**  
Il Progetto Europeo "Surface Electromyography for Non Invasive Assessment of Muscles (SENIAM)" e le successive iniziative di standardizzazione, applicazione e formazione.
- 9. Modelli matematici e simulazioni didattiche su computer di segnali EMG.**  
Il concetto di modello matematico per la simulazione, la interpretazione e l'insegnamento.
- 10. Esempi di registrazioni e interpretazioni di segnale EMG.**  
Modalità pratiche di acquisizione, analisi e interpretazione dei segnali sEMG.

I primi tre moduli riguardano richiami a concetti fondamentali oggetto di formazione a livello di scuola media e hanno lo scopo di uniformare le conoscenze di base di persone provenienti da percorsi formativi diversi.

#### **4. La sfida**

Tra le numerose branche della medicina la riabilitazione è tra quelle aventi la massima interazione con la fisica e l'ingegneria. Le scienze riabilitative includono aspetti e temi appartenenti alla meccanica, alla elettronica, alla robotica, alla informatica, alle scienze dei materiali, alla analisi dei segnali e a molti altri settori della ingegneria. Nuove professioni stanno emergendo con forte caratterizzazione ingegneristica e le precedenti stanno radicalmente cambiando sotto la spinta di moderne tecniche di elaborazione e visualizzazione dei processi neurofisiologici.

L'elettromiografia è per il fisioterapista che si occupa di muscoli quello che l'elettrocardiografia è per il cuore e il cardiologo, o quello che l'elettroencefalografia è per il cervello e il neurologo. Mentre le applicazioni del ECG e del EEG risalgono a alle prime decadi del 1900, quelle del EMG risalgono a poco dopo la metà del 1900 e sono tuttora in una fase di transizione da ricerca a clinica e di formazione degli operatori, con notevoli differenze da Paese a Paese.

Le informazioni contenute nei segnali e nelle immagini di sEMG sono molto estese e relative sia al muscolo, sia al sistema nervoso centrale, sia alle strategie di controllo del movimento. L'interpretazione di tali informazioni, estratte dai segnali e dalle immagini di sEMG, è più complessa che nel caso del segnale ECG e simile a quella del segnale EEG. Essa è fondamentale per la comprensione dei meccanismi di (ri-)apprendimento motorio in neuroripabilitazione.

Nonostante molti problemi siano stati risolti e la disponibilità di prodotti commerciali esista da anni, questa tecnica non è ancora oggetto di insegnamento in molti Paesi. La tecnica è vulnerabile a interpretazioni errate e il suo utilizzo richiede considerevole addestramento e competenza da parte dell'operatore. Nonostante i numerosi testi didattici sull'argomento, tale competenza non è ancora largamente disponibile.

**La sfida del Progetto CoMES è rendere la parte teorica di tale competenza acquisibile tramite corsi on-line da parte di operatori e studenti di varie scuole e Paesi.**

A tal fine, nuovi e specifici approcci didattici sono necessari, come è dimostrato dalle scuole australiane, canadesi, e nord-europee. Sono comunque necessarie le conoscenze di base di matematica, fisica ed elettrofisiologia fornite dalla scuola media superiore, che sono soltanto richiamate in questo materiale. Le persone prive di nozioni di elettrofisiologia sono invitate a leggere "Che cos'è?" in questo sito e il testo di Barbero M., Rainoldi A, Merletti R. "Atlas of muscle innervation zones: understanding surface EMG and its applications", Springer, Italy 2012.

#### **5. Applicazioni**

Come nel caso di ECG e EEG, anche le tecniche di sEMG (con qualche eccezione) non costituiscono una terapia. Le principali applicazioni riguardano la prevenzione dei disordini neuromuscolari e la valutazione di efficacia di trattamenti, farmaci, allenamenti, e il controllo di protesi ed esoscheletri. L'utilizzo combinato di sEMG e dell'analisi del movimento tramite stereofotogrammetria e piattaforme inerziali (IMU) ha grandemente esteso le applicazioni di ciascuna delle due tecniche in medicina occupazionale, dello sport e della riabilitazione. Applicazioni relativamente recenti riguardano la medicina dello spazio e la prevenzione di lesioni ostetriche.

La visualizzazione e la misura congiunte di variabili cinematiche ed elettrofisiologiche forniscono al clinico strumenti potenti per la comprensione e l'analisi dei disordini del movimento e per la documentazione dell' "outcome", specialmente nei casi di trattamenti controversi o di Evidence Based Rehabilitation. La percezione approfondita delle fonti di errore, delle limitazioni e degli usi scorretti delle tecniche sEMG e IMU è una esigenza assoluta da parte dei fisioterapisti, kinesiologi, esperti di scienze motorie. Le tecnologie e l'ingegneria della riabilitazione avranno un impatto crescente sui protocolli e sulle procedure cliniche, sulla loro valutazione e sul futuro delle figure professionali che vengono formate oggi.

Gli algoritmi di decomposizione dei segnali sEMG nei costituenti treni di potenziali d'azione di unità motorie (MUAP Trains) aprono una finestra importante per l'indagine delle strategie motorie adottate dal SNC. La misura della velocità di conduzione dei MUAP e delle loro caratteristiche spettrali, d'altra parte, forniscono informazioni sul sistema periferico.

Le tecniche di sEMG per immagini permetteranno lo sviluppo di biofeedback e "giochi" riabilitativi per riapprendere abilità alterate. La soluzione al problema del crosstalk migliorerà il monitoraggio del coordinamento muscolare. Questi strumenti, già oggi applicabili in prevenzione, riabilitazione e medicina sportiva, forniranno un approccio rigoroso per valutare l'efficacia dei trattamenti: la formazione del personale in grado di usarli correttamente è in corso in molti Paesi.

## 6. Esempi di applicazioni

Alcuni esempi applicativi sono presentati nel seguito con lo scopo di promuovere curiosità e di dimostrare l'utilità della tecnica. Alcuni sono certamente di difficile comprensione per il neofita privo di conoscenze sufficienti. Questo non deve sorprendere ne' scoraggiare. Lo scopo qui è di fornire un breve "demo" di alcune fra le numerose applicazioni possibili. Questi esempi sono ripresi e spiegati nei 10 moduli didattici disponibili su questo sito.

Eversione del piede

Dorsiflessione del piede

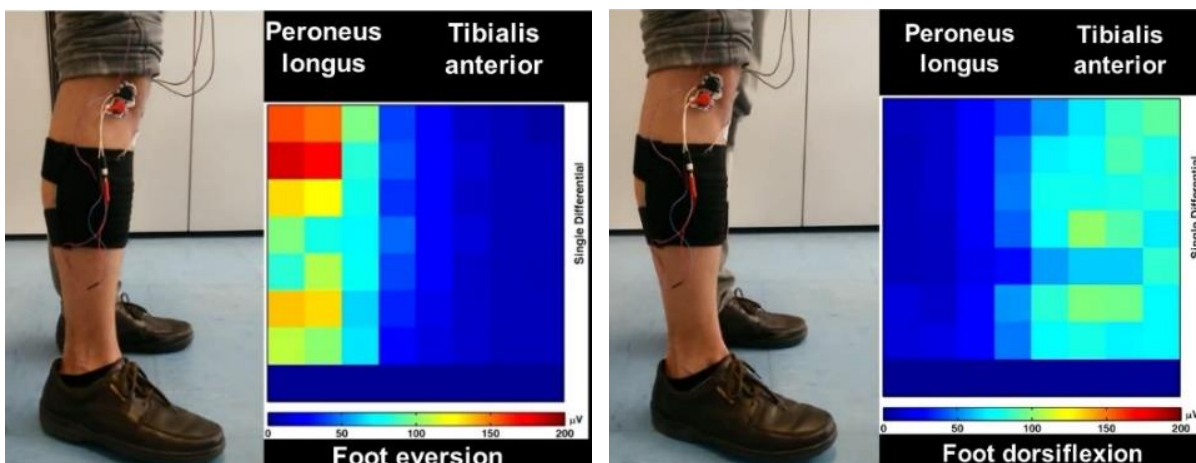
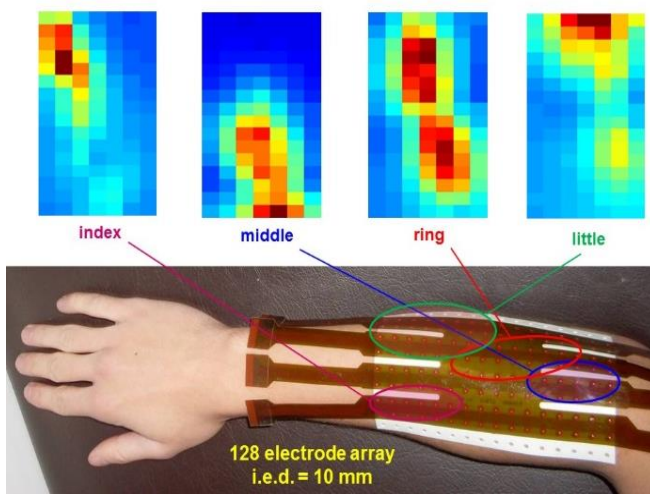


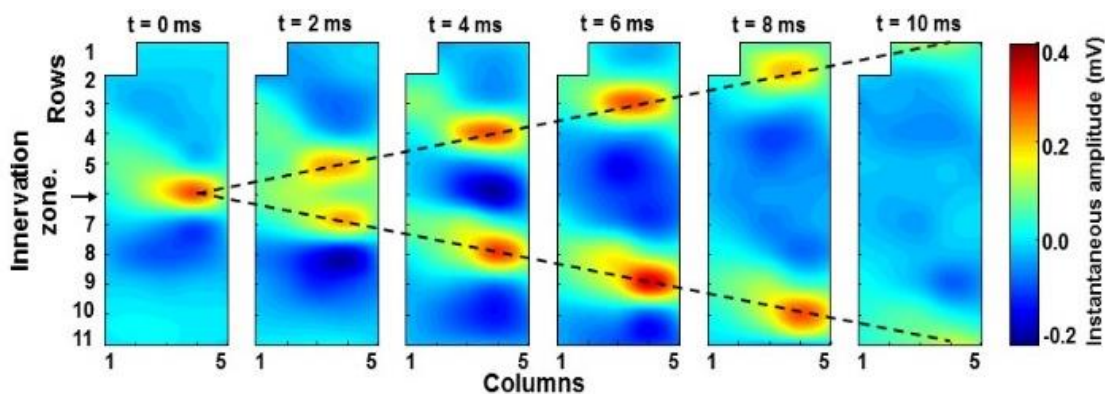
Fig. 1. Mappe di attività elettrica muscolare (RMS) associate alla eversione e alla flessione dorsale del piede. Rilevazione differenziale nella direzione longitudinale. Visualizzazione di mappe RMS calcolate su 0.125 s. Griglia di 8x8 elettrodi con distanza interelettrodo = 10 mm. L'ampiezza del segnale EMG è codificata usando i colori: rosso per ampiezza grande e blu per ampiezza piccola o nulla. Vedere anche il video: [www.robertomerletti.it](http://www.robertomerletti.it) -> Materiale didattico(clinico) -> Filmati -> N.14.



**Fig. 2.** Attivazione del bicipite brachiale durante una contrazione concentrica. Visualizzazione di mappe RMS calcolate su 0.125 s. E' possibile distinguere le attività del capo lungo e del capo breve del bicipite. Rilevazione differenziale nella direzione longitudinale. Griglia di 8x8 elettrodi. Distanza interelettrodoica = 10 mm. L'ampiezza del segnale EMG è codificata usando i colori: rosso per ampiezza grande e blu per ampiezza piccola o nulla. Vedere anche il video: [www.robetomerletti.it](http://www.robetomerletti.it) -> Materiale didattico (clinico) -> Filmati -> N.21



**Fig. 3.** Mappe di EMG di superficie (RMS su epoche di 0.125 s) associate alla estensione delle singole dita. Rilevazione differenziale longitudinale. Griglia di 16x8 elettrodi. Distanza interelettrodoica = 10 mm. L'ampiezza del segnale EMG è codificata usando i colori: rosso per ampiezza grande e blu per ampiezza piccola o nulla. Vedere anche il video: [www.robetomerletti.it](http://www.robetomerletti.it) -> Materiale didattico (clinico) -> Filmati -> N.11.



**Fig. 4.** Propagazione di un potenziale di unità motoria sotto una griglia di elettrodi (12 righe x 8 colonne) applicata al bicipite brachiale. Rilevazione doppio differenziale longitudinale. Distanza interelettrodoica = 8 mm. Immagini istantanee interpolate.



Fig. 5. Attività elettromiografica (valore RMS su epoche di 0.125 s) del trapezio destro e degli erettori spinali a livello lombare in una violoncellista che suona la prima e la quarta corda dello strumento. Rilevazione singolo differenziale nella direzione verticale. Griglia di elettrodi di 12 righe x 5 colonne, distanza interelettrodo = 8 mm. Vedere anche i filmati: [www.robetomerletti.it](http://www.robetomerletti.it) -> Materiale didattico(clinico) -> Filmati -> N. 15-19.

Numerosi altri esempi di applicazioni riguardano ergonomia e medicina occupazionale, medicina dello spazio, ostetricia e controllo di dispositivi esterni. Alcuni sono illustrati in: [www.robetomerletti.it](http://www.robetomerletti.it) -> Materiale didattico(clinico) -> Filmati.

## 7. Istituzioni partecipanti al progetto



Laboratorio di  
Ingegneria del  
Sistema  
Neuromuscolare,  
Politecnico di Torino  
marco.gazzoni@polito.it roberto.merletti@polito.it



Associazione Italiana  
Fisioterapisti  
Piemonte e Valle d'Aosta  
info@aifipiemontevalledaosta.it  
<https://piemontevalledaosta.aifi.net/>



Centre of Precision  
Rehabilitation for  
Spinal Pain  
Prof. Deborah Falla, Director and Chair  
in Rehabilitation Science and Physiotherapy  
University of Birmingham, UK  
d.falla@bham.ac.uk

Società Italiana di Fisioterapia  
info@sif-fisioterapia.it  
<http://www.sif-fisioterapia.it>



Department of  
Physical Therapy  
and Human Movement Sciences  
Theresa Sukal-Moulton, PT, DPT, PhD  
Northwestern University Chicago, IL USA  
theresa-moulton@northwestern.edu

## 8. Ringraziamenti

Questo progetto è stato sviluppato grazie ad una borsa di studio assegnata dal Laboratorio di Ingegneria del Sistema Neuromuscolare (LISiN, Politecnico di Torino, [www.lisin.polito.it](http://www.lisin.polito.it)) e al contributo della Associazione Italiana Fisioterapisti (AIFI, <https://piemontevalledaosta.aifi.net/>). Gli autori sono grati alle docenti di fisioterapia Dr. Theresa Sukal-Moulton, PT, Northwestern University Chicago, IL, USA, Prof. Deborah Falla, PT, University of Birmingham, UK , Prof. Heidrun Schewe, Berlino, Germania per il lavoro di consulenza e revisione che hanno gentilmente fornito.

## 9. Autori

Questo lavoro è stato progettato dal **Prof. Roberto Merletti** ([roberto.merletti@formerfaculty.polito.it](mailto:roberto.merletti@formerfaculty.polito.it), [www.robertomerletti.it](http://www.robertomerletti.it), LISiN, Politecnico di Torino) e sviluppato in collaborazione con i fisioterapisti:

**Dr. Riccardo Panero** ([riccardopanero@hotmail.com](mailto:riccardopanero@hotmail.com)),

**Dr. Valter De Vecchi** ([valterdevecchi@gmail.com](mailto:valterdevecchi@gmail.com)),

**Dr. Kamila Leskaj** ([kamila.leskaj@gmail.com](mailto:kamila.leskaj@gmail.com)).