

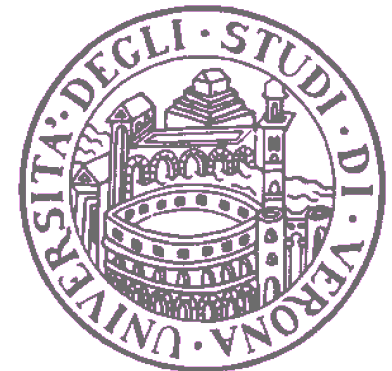
“Elettromiografia di superficie per l'analisi del movimento”

Davide Conte

*Dipartimento di Scienze Neurologiche, Neuropsicologiche, Morfologiche e Motorie
 Università degli Studi di Verona*

davide.conte@univr.it

<http://dvdconte.jimdo.com/lessons/>

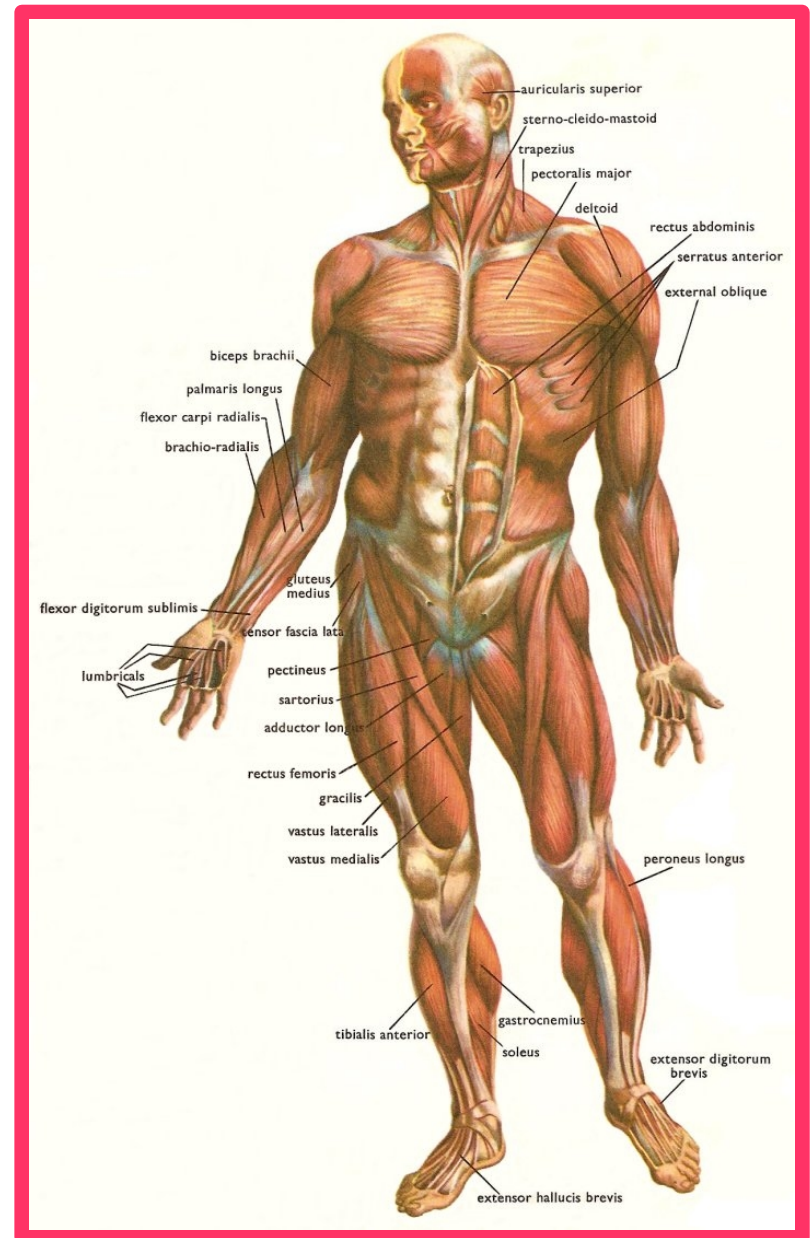


Elettromiografia

Elettromiografia: tecnica per misurare ed analizzare l'attività elettrica prodotta dai muscoli scheletrici

Elettromiografo: strumento utilizzato per la misura del *potenziale elettrico* generato dalle cellule muscolari quando vengono attivate

Elettromiogramma: grafico del segnale misurato



Elettrofisiologia: cenni storici

1780, Luigi Galvani
contrazione muscolare indotta
da stimolazione elettrica

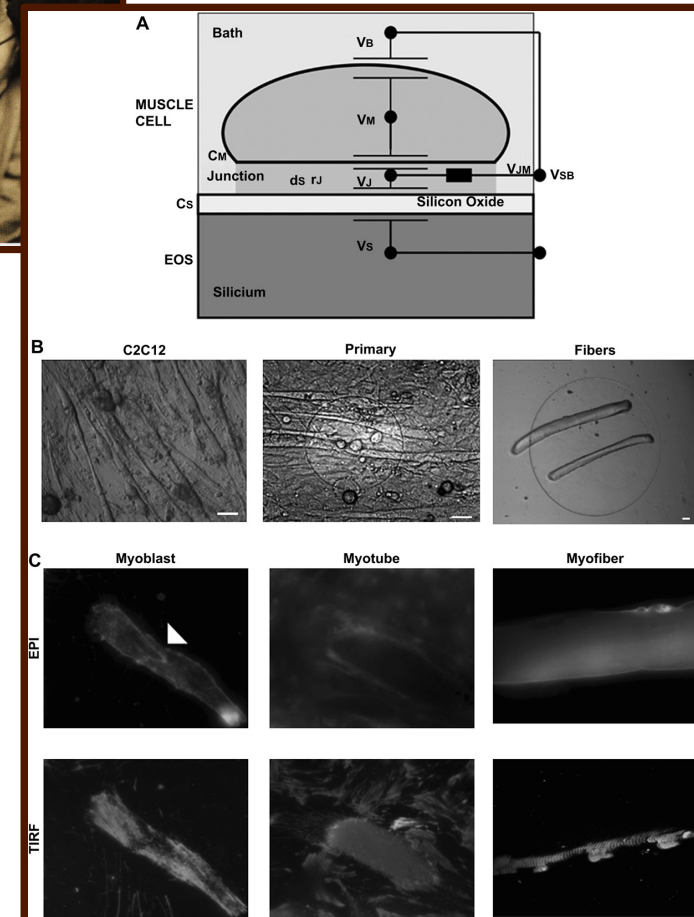
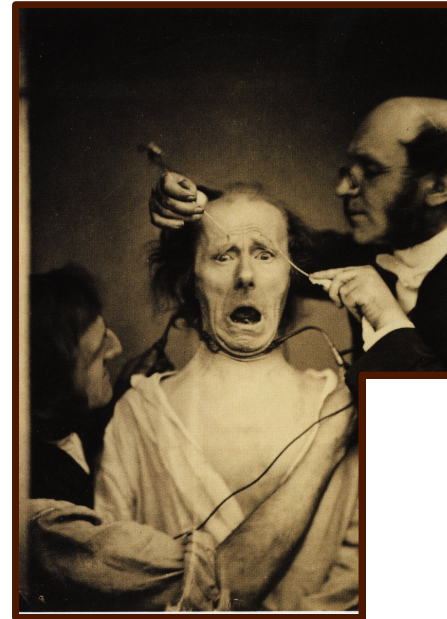
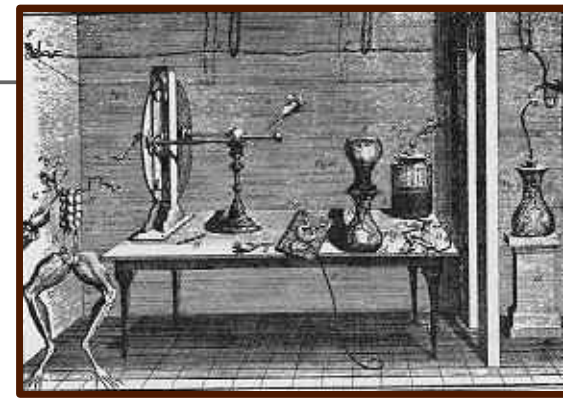
1840, Carlo Matteucci
registrazione di attività elettrica
prodotta da muscolo di rana

1862, Duchenne de Boulogne
stimolazione elettrica dei
muscoli facciali

1951, J. B. Inman
applicazioni all'analisi del
cammino in clinica

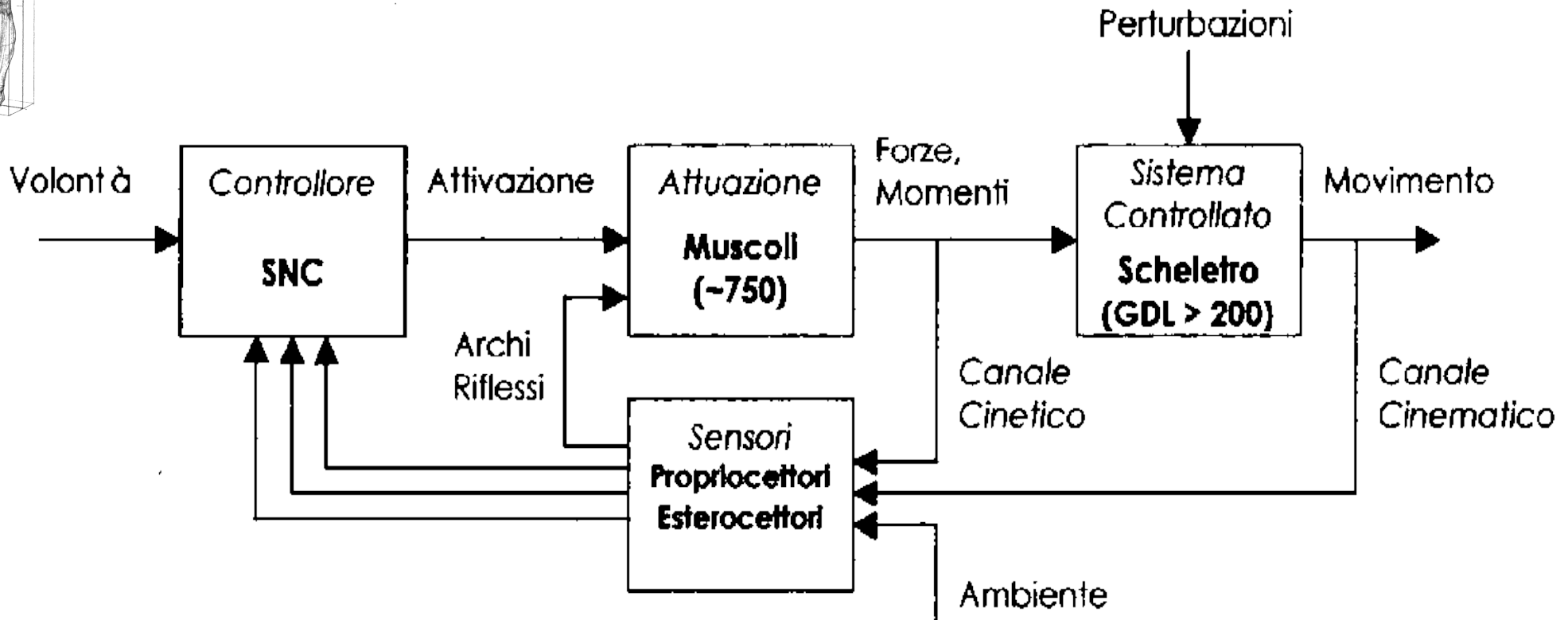
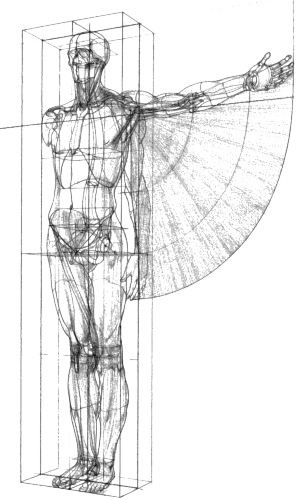
1962, J. Basmajian
“*Muscles Alive: their function
revealed by electromyography*”

2000s... modulazione
differenziazione cellulare
mediante stimoli elettrici



(Quarta et al, 2011)

Sistema nervoso, muscoli e movimento



Sistema nervoso: funzione sensoriale, integrativa, motoria

Sistema Nervoso Centrale

(cervelletto, cervello, midollo spinale)

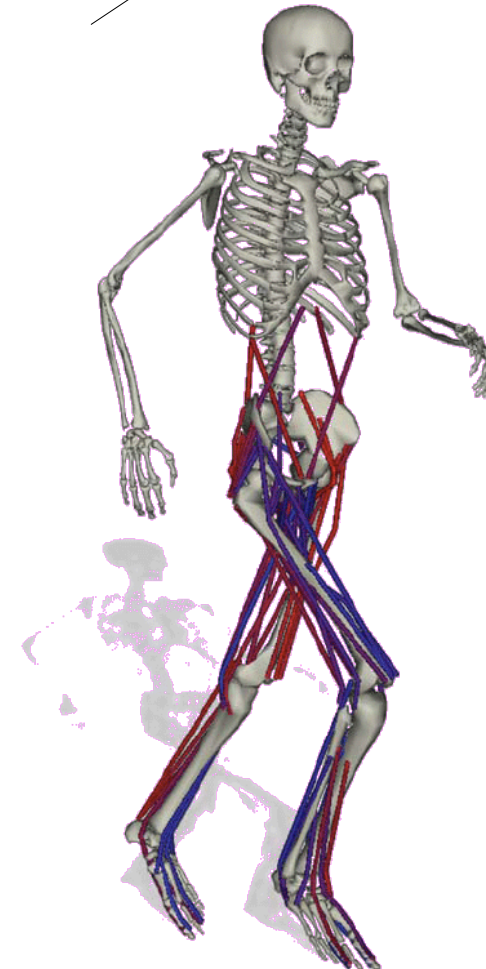
Controllo volontario, pianificazione motoria

Sistema Nervoso Periferico

(nervi motori afferenti/efferenti, organi sensoriali)

Azione motoria, controllo riflesso, controreazione sensoriale

Eccitazione/
contrazione
muscolare



Nervi **efferenti** (funzione motoria)

Nervi **afferenti** (funzione sensoriale)

archi riflessi (muscolo)

Fusi neuromuscolari
(*sensibili a stiramento e velocità*)

Organi di Golgi
(*sensori di forza a livello tendineo*)

Motoneuroni (*neuroni motori*): neuroni appartenenti al SNC che controllano direttamente o indirettamente i muscoli



Unità motoria: motoneurone e il gruppo di fibre muscolari che innerva

Muscoli rapidi e controllo fine → poche fibre per unità motoria

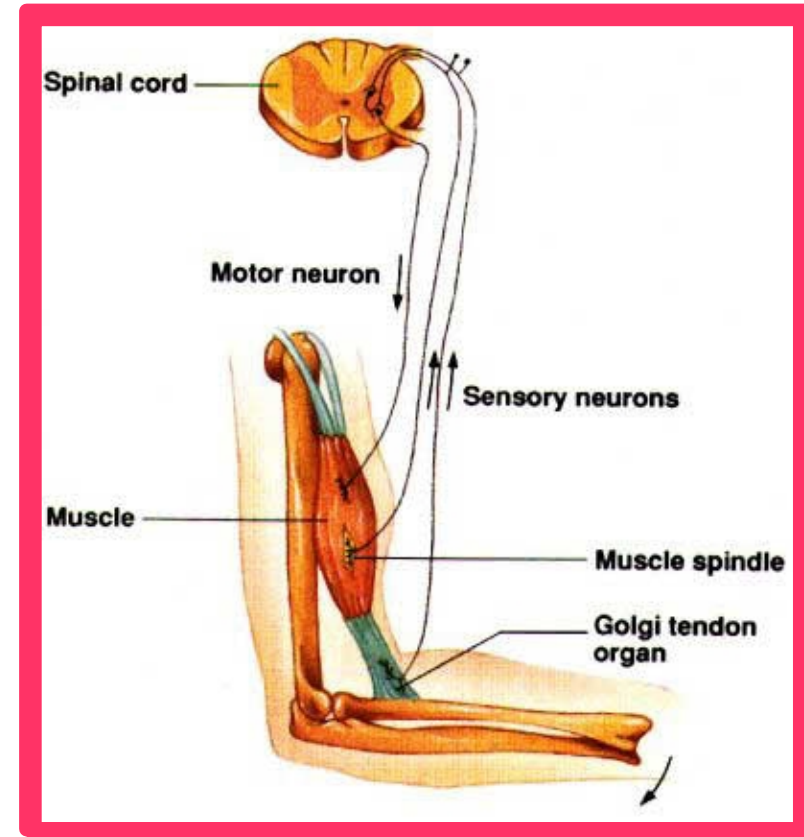
Muscoli grandi → molte fibre per unità motoria

Reclutamento e sommazione

Sommazione *spaziale*: aumenta # di u.m. reclutate simultaneamente

Sommazione *temporale*: aumenta la frequenza di reclutamento fino al “tetano”

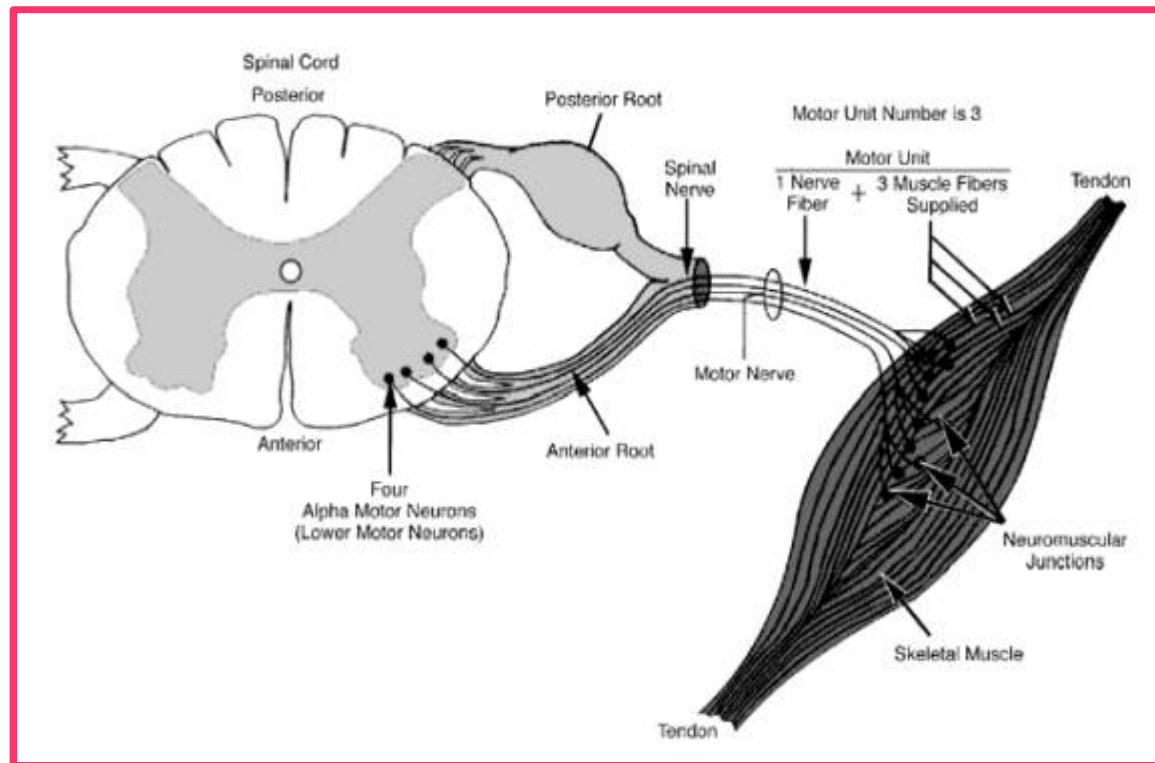
“*Henneman's size principle*” → prima piccole u.m., poi grandi



Unità motorie

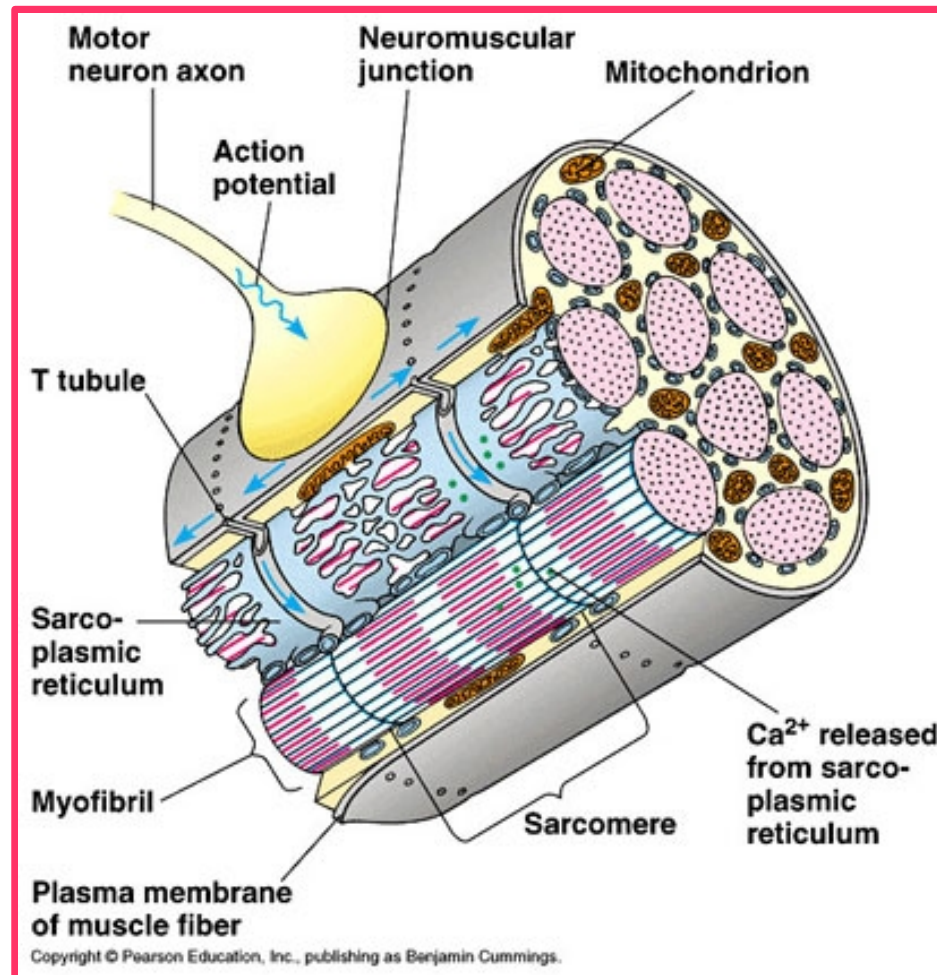
Principio “uno-o-nessuno”: quando un motoneurone “spara”, tutte le fibre che innerva rispondono

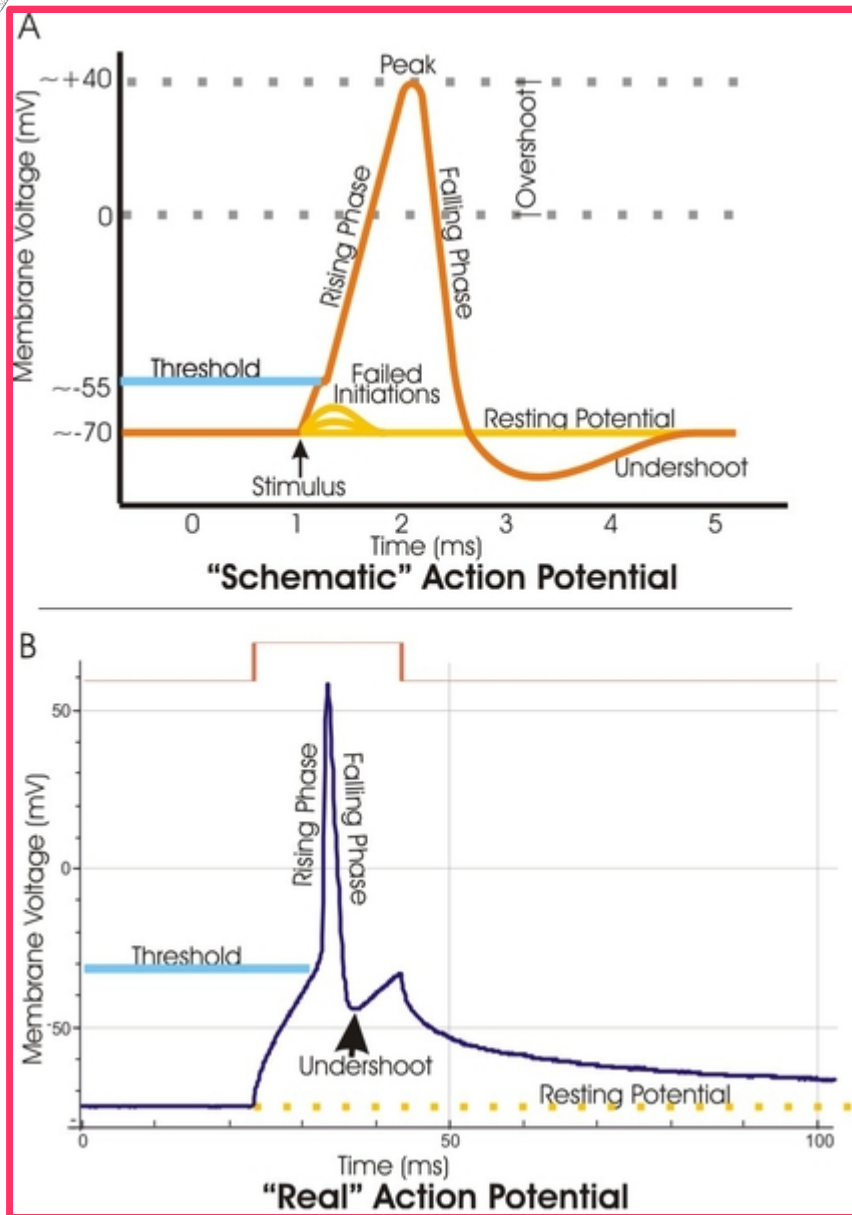
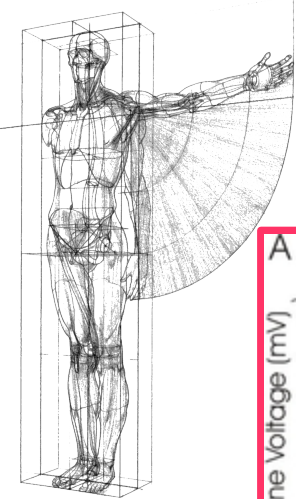
Risposta graduale del muscolo: prima agiscono le u.m. con soglia di eccitazione più bassa e poi via via quelle con soglia più alta



Potenziale d'Azione

- Giunzione Neuro-Muscolare
- Potenziale d'azione propagato lungo il reticolo sarcoplasmico e il sistema a tubuli-T





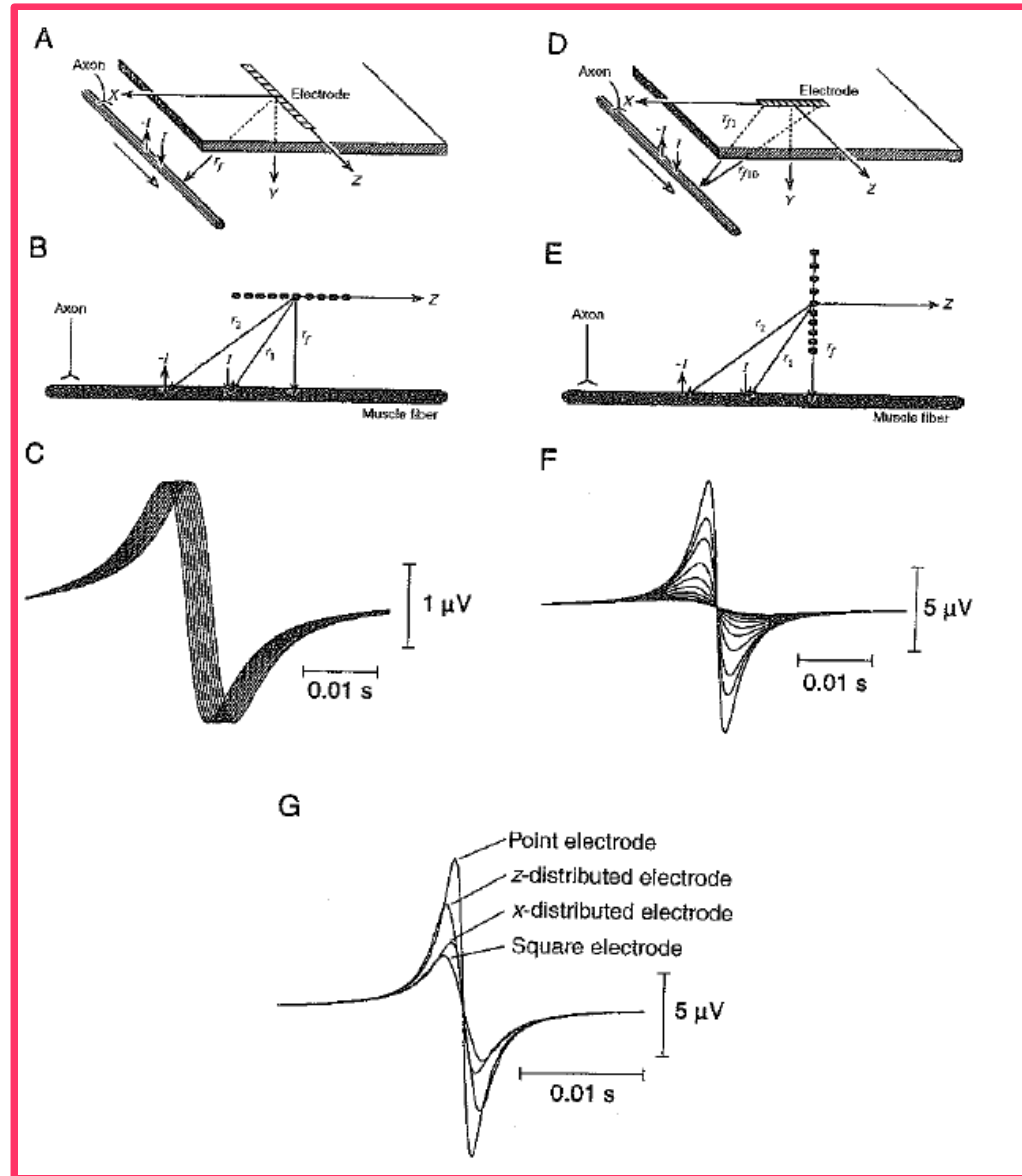
Potenziale d'Azione

rapida onda elettrochimica di depolarizzazione / ri-polarizzazione che viaggia dal punto motore lungo la fibra

Variazione di potenziale elettrico che può essere misurata con un elettrodo posizionato vicino alla fibra → **elettromiogramma (EMG)**

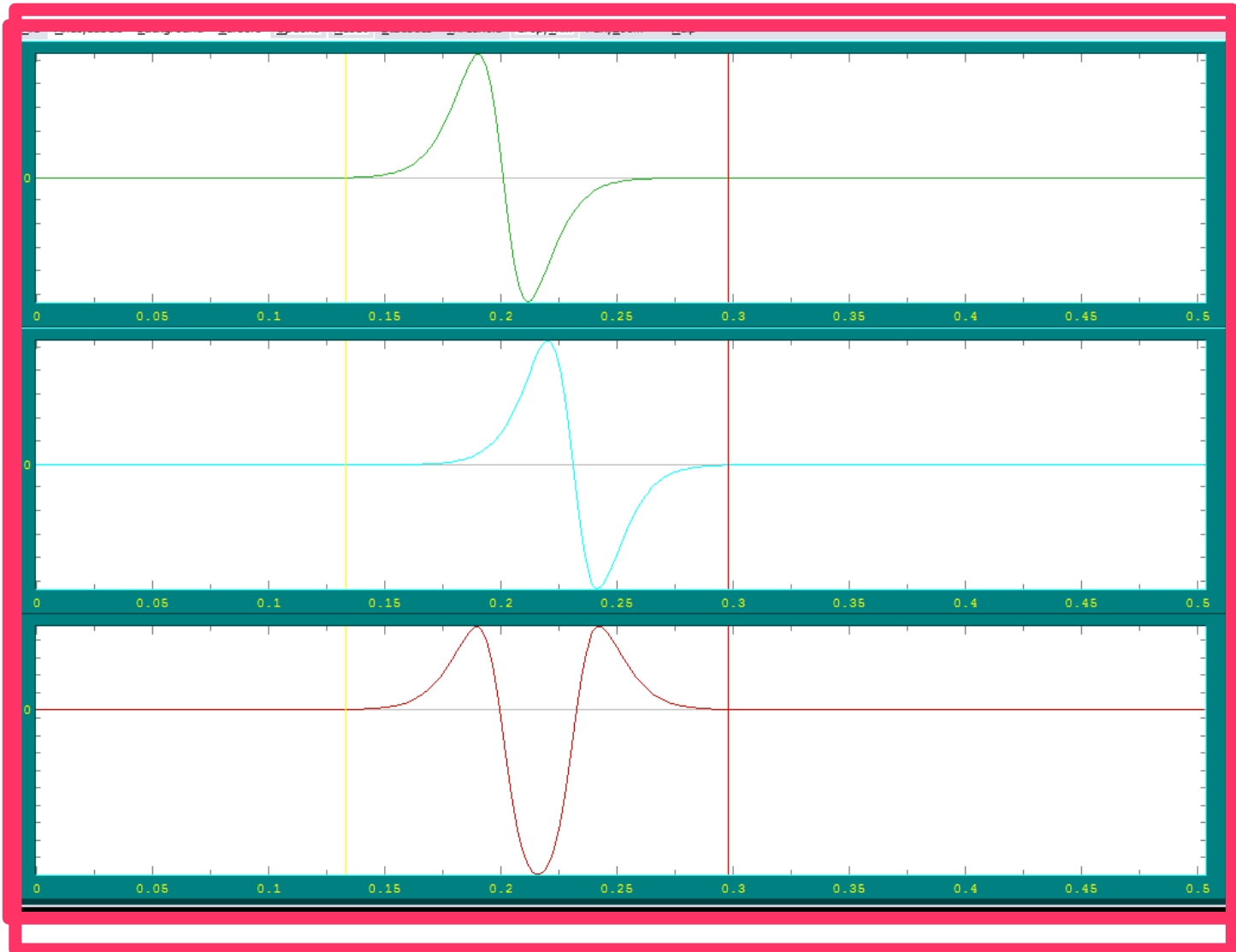
Potenziale d'Azione

- Un elettrodo vicino alla superficie della fibra percepisce il “passaggio” dell'onda di depolarizzazione come segnale *bifasico*



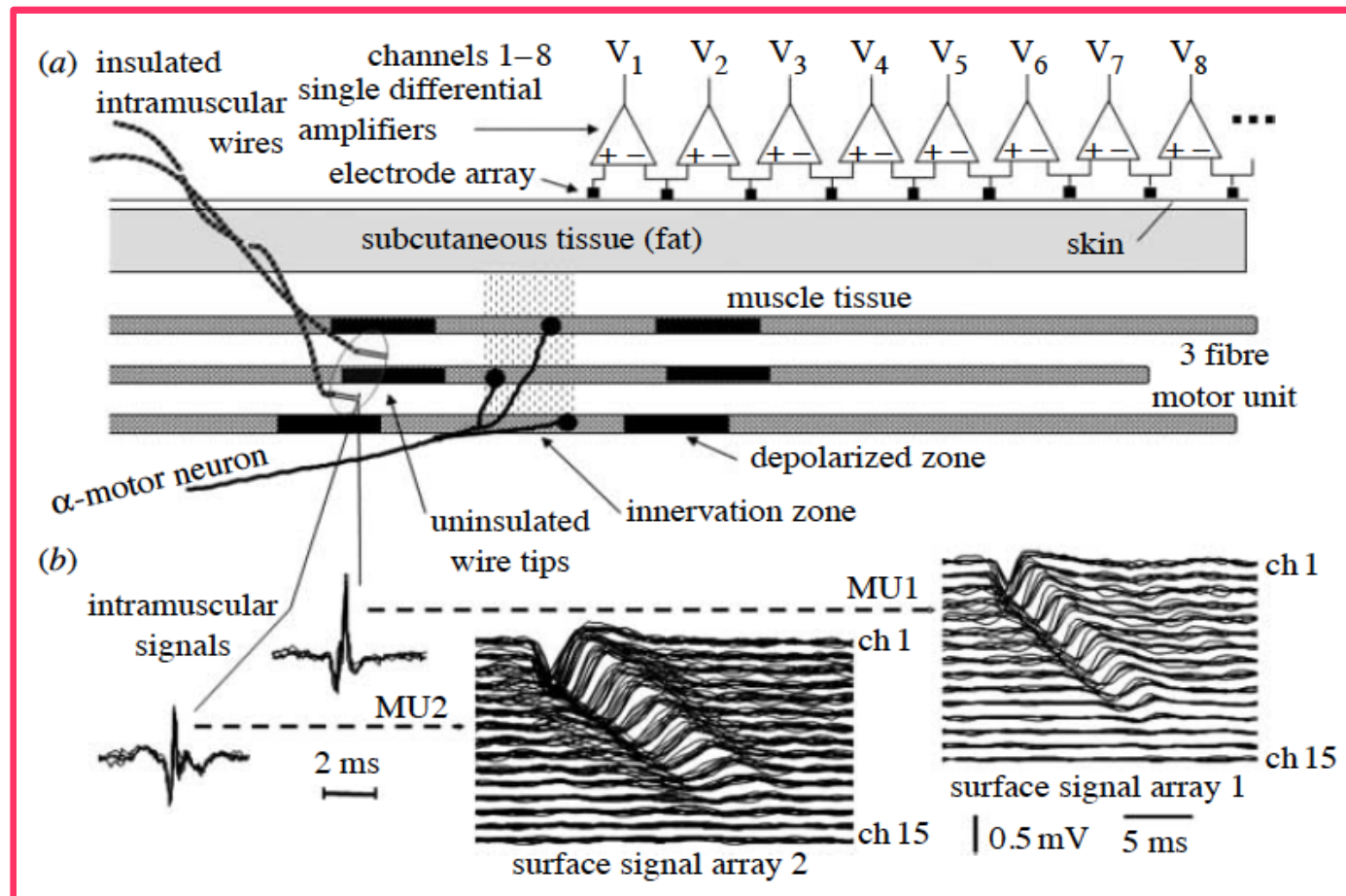
Propagazione del segnale

- Problema: interferenza data da altri segnali elettrici
- Soluzione: misura differenziale con 2 elettrodi in serie



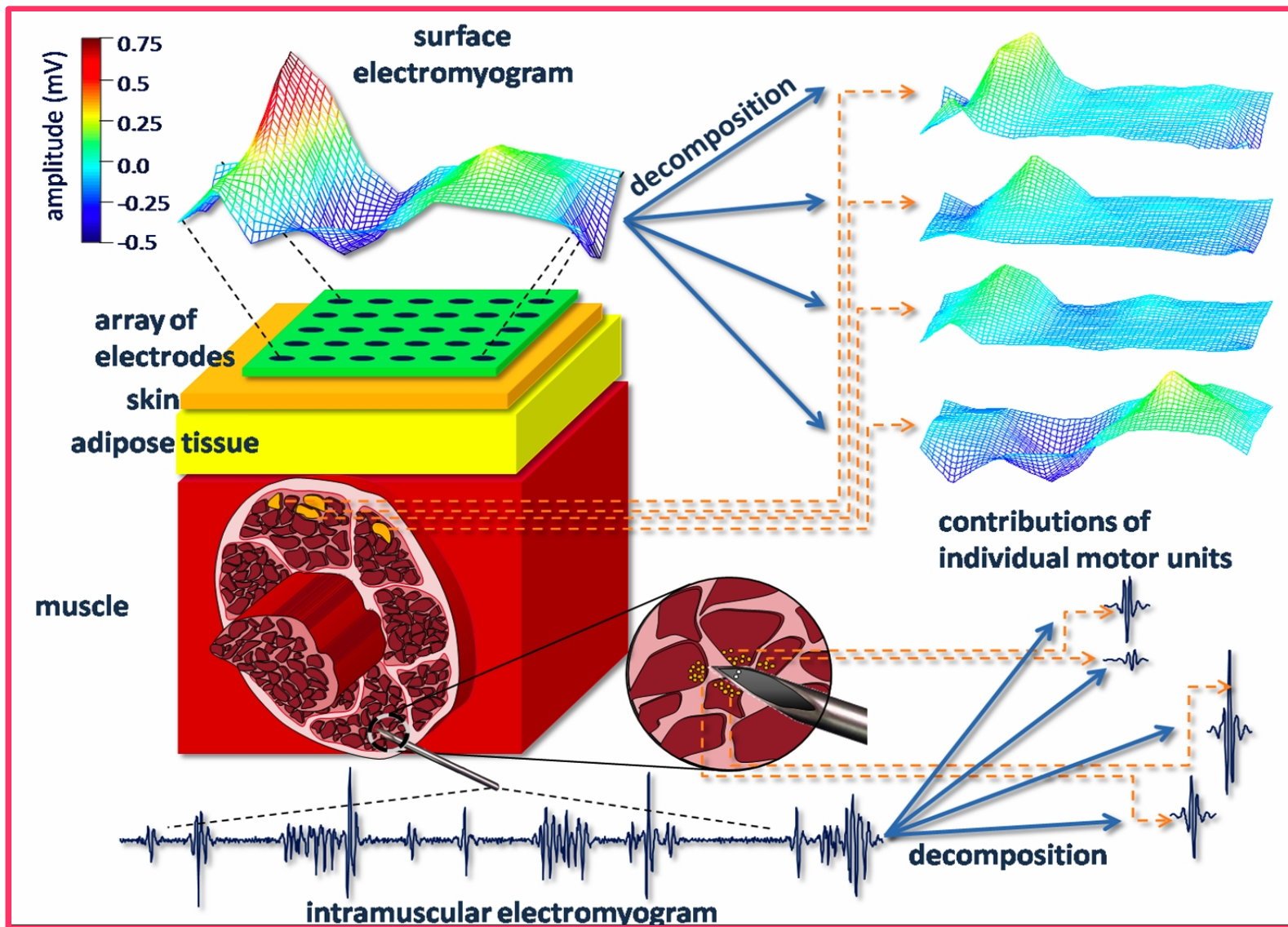
Reclutamento delle unità motorie ed elettromiogramma

- L'onda di depolarizzazione di ogni u.m. può essere misurata dalla coppia di elettrodi, e se la loro posizione non cambia rispetto alle fibre, è idealmente possibile misurare l'attività anche di 1 sola u.m.
- La misura dipende però dal posizionamento degli elettrodi
- In ogni caso abbiamo informazione sul livello di reclutamento e sul *timing* della contrazione muscolare



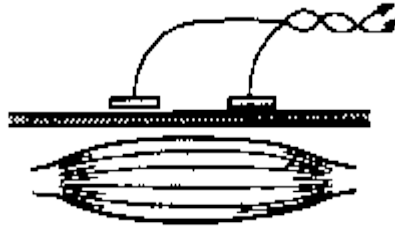
Verona, 9 Maggio 2011

EMG di superficie e EMG intramuscolare

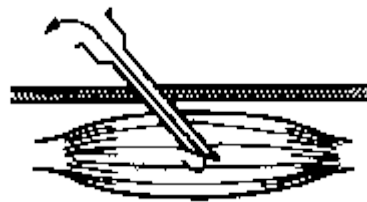


Registrazione del segnale: tipologie di elettrodi

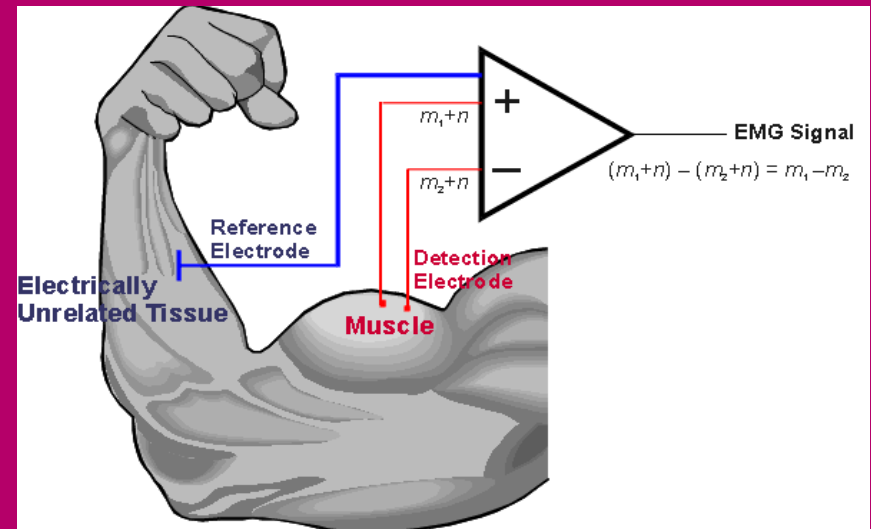
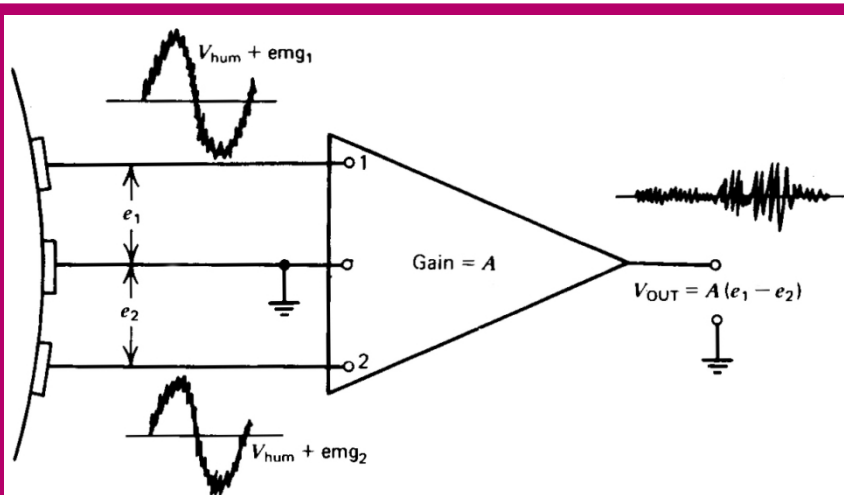
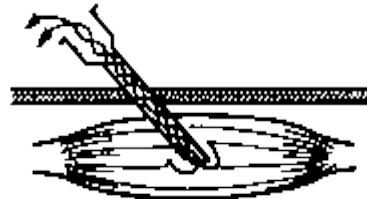
Bipolar surface



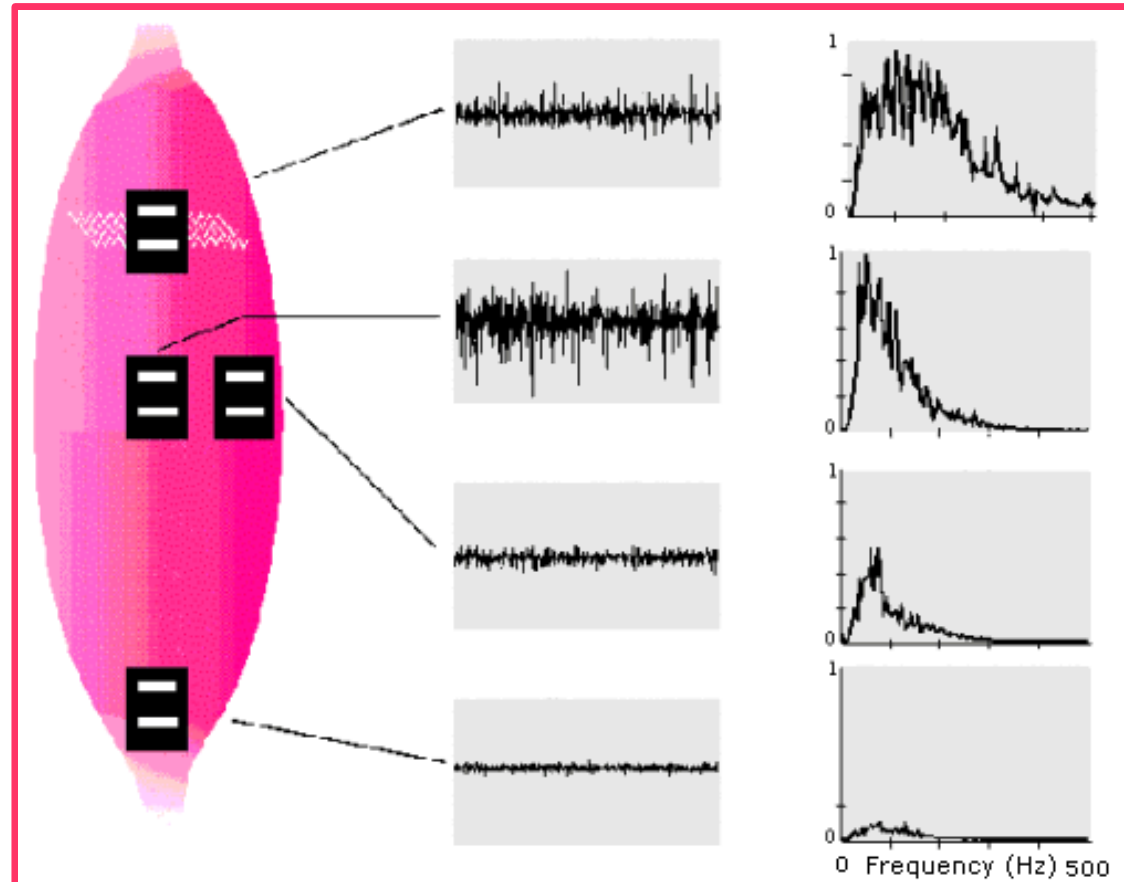
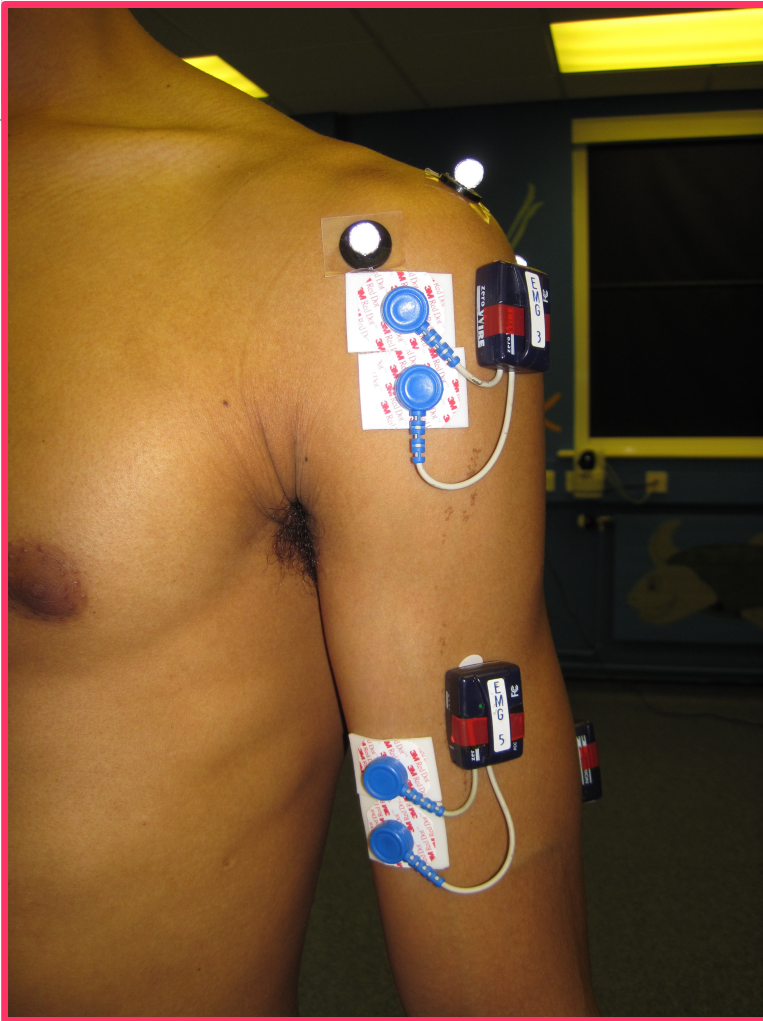
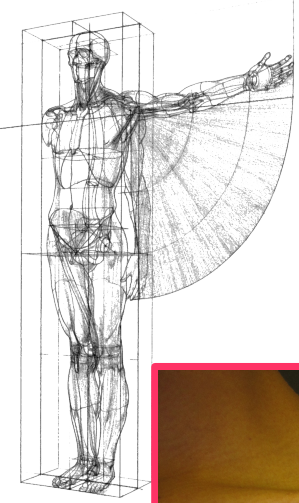
Needle



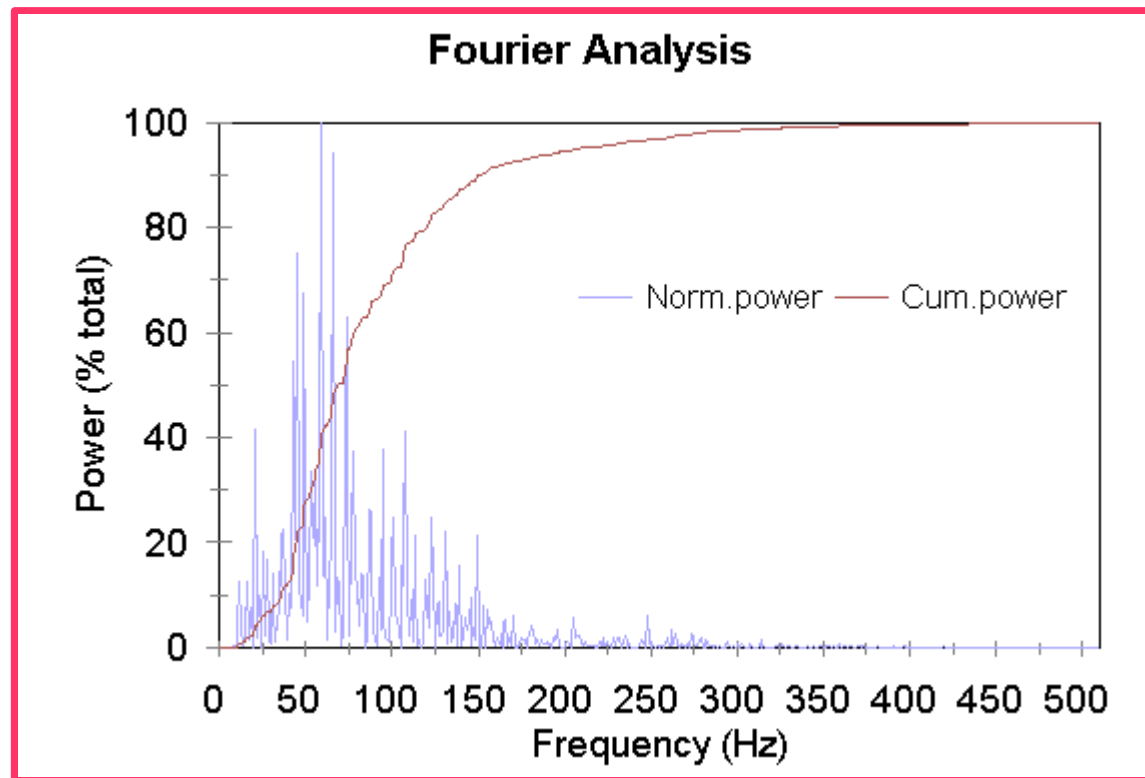
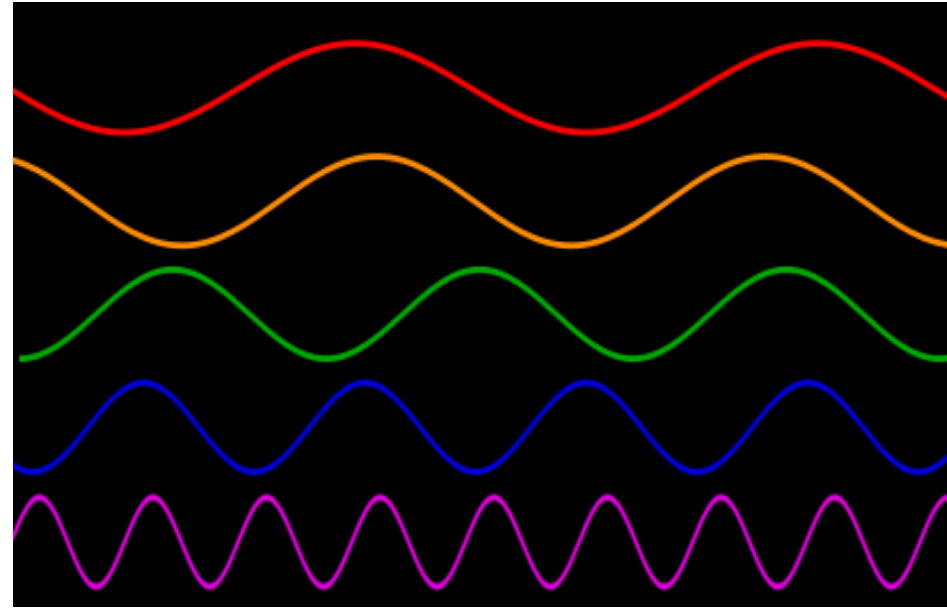
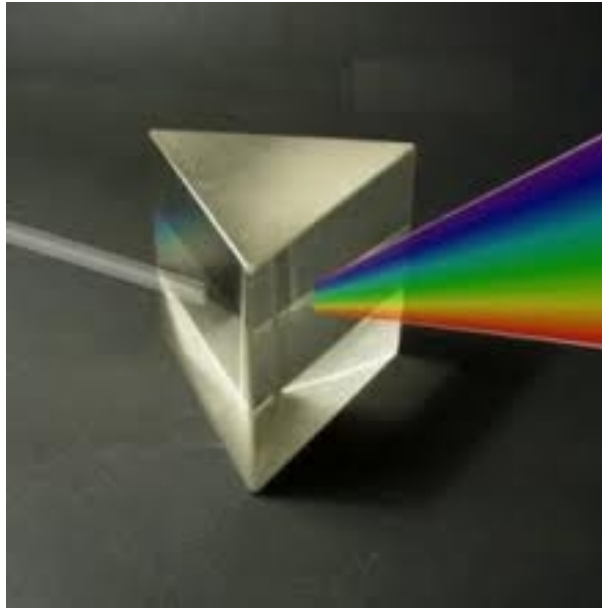
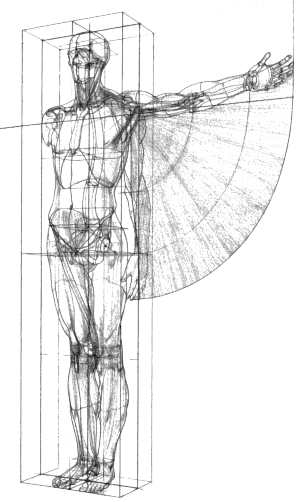
Fine-wire

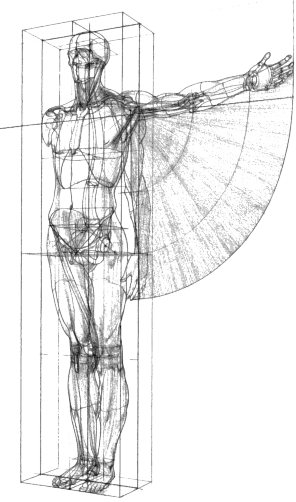


Registrazione del segnale: posizionamento degli elettrodi

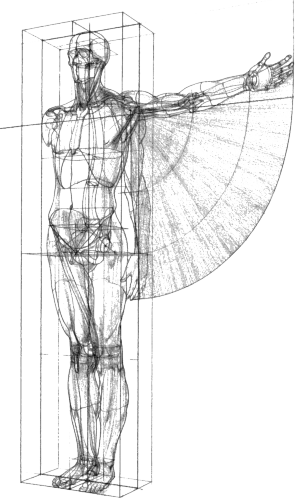


Analisi in frequenza del segnale EMG

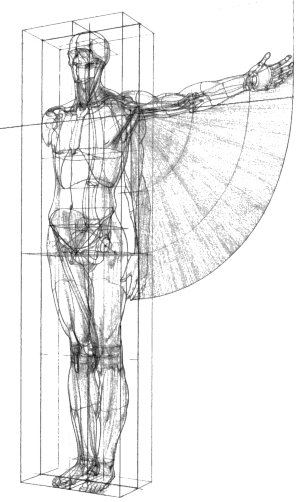




- Componenti in frequenza: 20 – 500 Hz
(fino a 1000 Hz per segnale intramuscolare)
- Ampiezza: $1\mu\text{V}$ - 1mV
- Non invasivo e relativamente facile da eseguire
- Necessaria preparazione della pelle
- Accesso a soli muscoli superficiali
- Segnale relativo all'intero muscolo
- Possibile diafonia (*cross-talk*) tra muscoli adiacenti

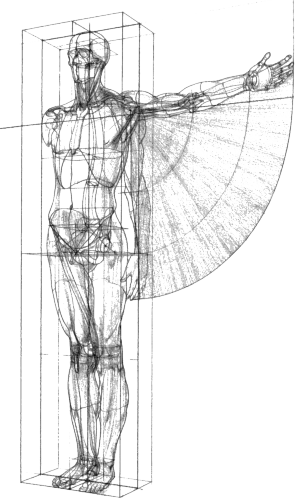


- EMG \neq forza generata dal muscolo !
- Ampiezza segnale dipende da molti fattori
→ normalizzazione...
- Impedenza tessuti (pelle secca, adipe...)
- Diafonia muscolare (*cross-talk*) dipende dalle caratteristiche degli elettrodi e dal posizionamento, dalla cute/grasso sottocutaneo
- Diafonia causata da ECG
- Rumore
- Artefatti da movimento



- Posizionamento elettrodi
- Amplificatore (ampiezza $< 5\text{mV}$)
- Common Mode Rejection Ratio (CMRR), $> 100\text{ dB}$
- Dinamica del segnale
- Impedenza d'ingresso amplificatore elevata, $10\text{ M}\Omega$
- Impedenza pelle
- Risposta in frequenza dell'amplificatore
- Sistemi a filo o in telemetria

Larghezza di banda di tipici segnali biologici

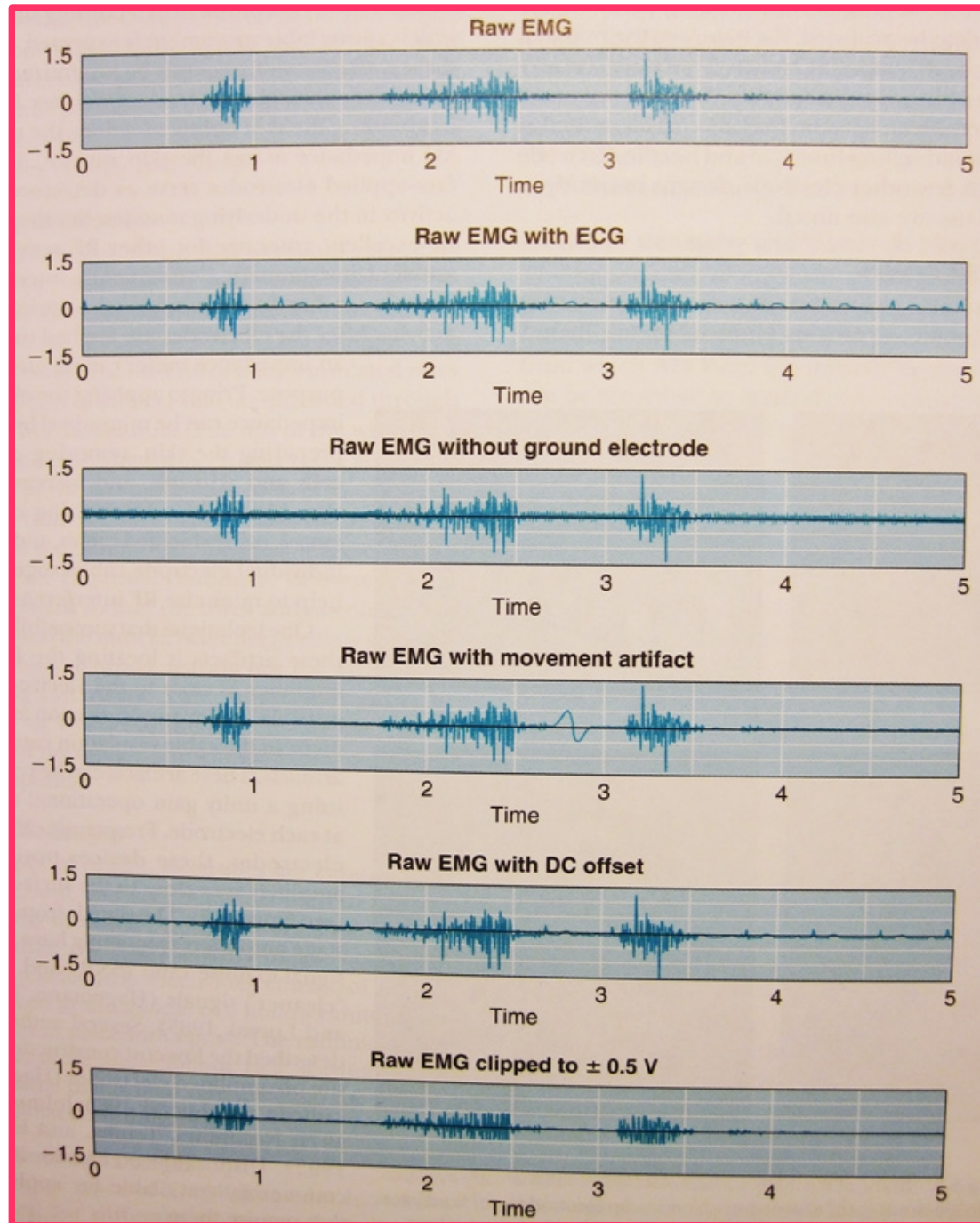
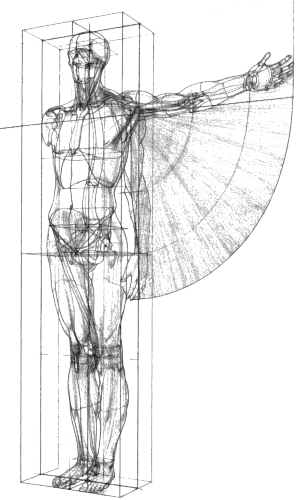


EMG	20-500 Hz 10-1000 Hz	surface indwelling
ECG	0.05-30 Hz 0.05-100 Hz	standard diagnostic
EEG	1-3 Hz 4-7 Hz 8-12 Hz 12-30 Hz 30-100 Hz	delta waves theta waves alpha waves beta waves gamma waves
muscle forces, human movements	DC-10 Hz	
audio	20-8000 Hz 20-15 000 Hz 20-20 000 Hz	voice tape CD

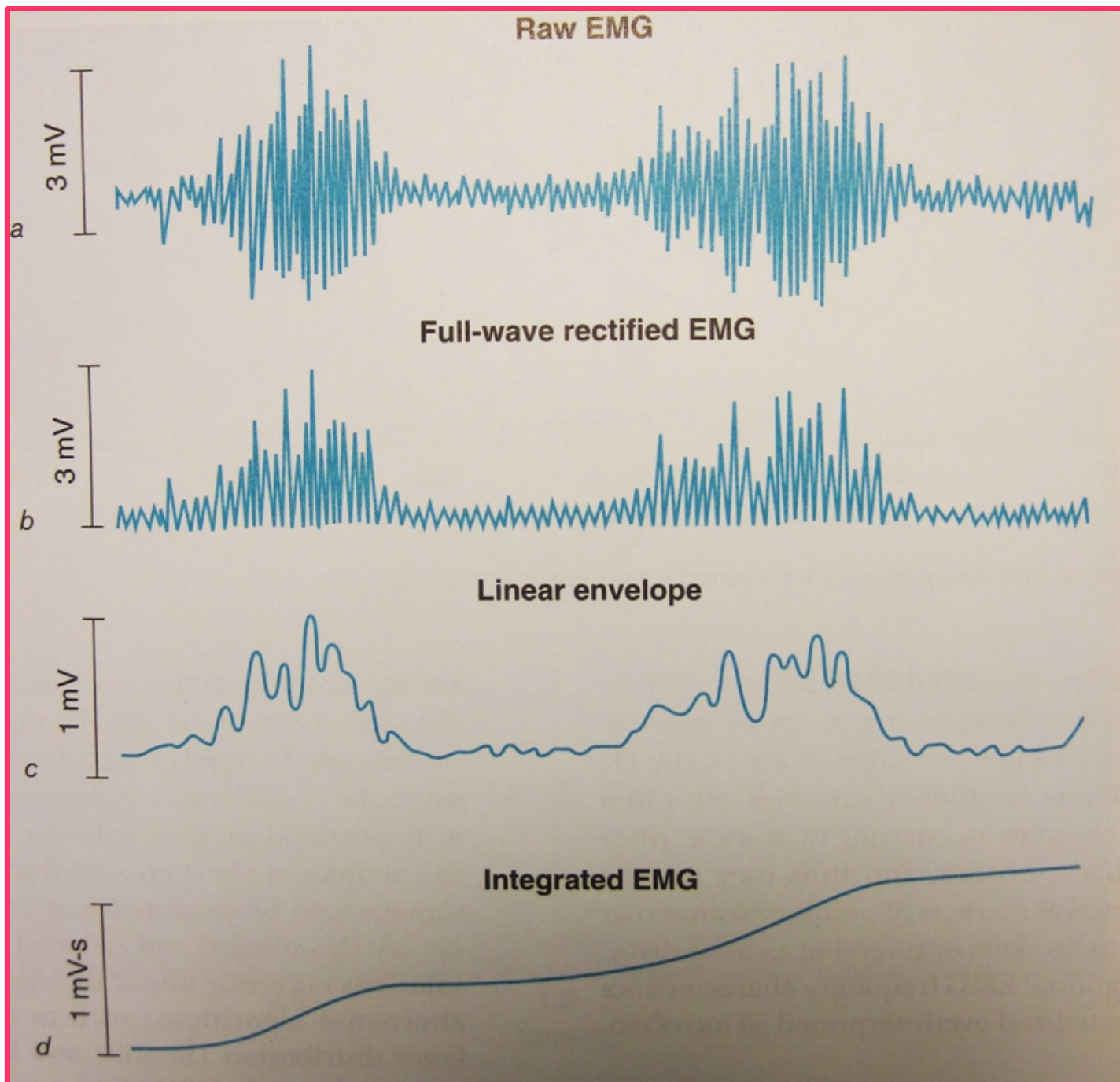
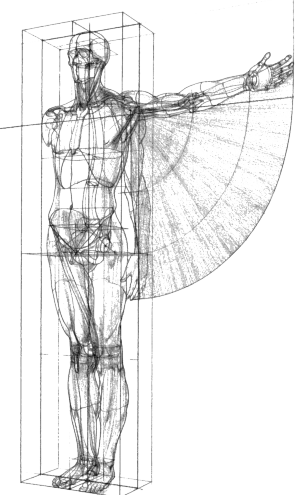
Operazioni di elaborazione:

- sottrazione del valor medio ($emg(t) - mean(emg(t))$)
- filtraggio passabanda 20-500 Hz
- rettificazione ($|emg(t)|$)
- media RMS (root-mean-square)
- inviluppo
- integrazione (iEMG)
- analisi spettrale (trasformata di Fourier)
- comportamento a fatica
- velocità di conduzione delle fibre

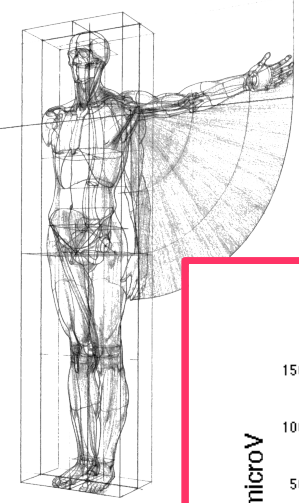
Artefatti, rumore e filtraggio



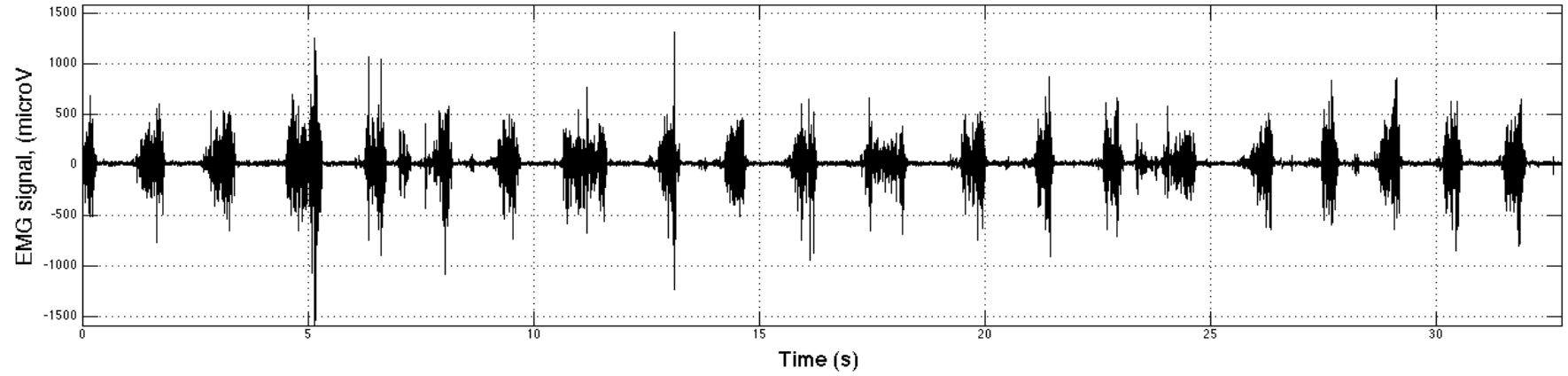
Analisi del segnale



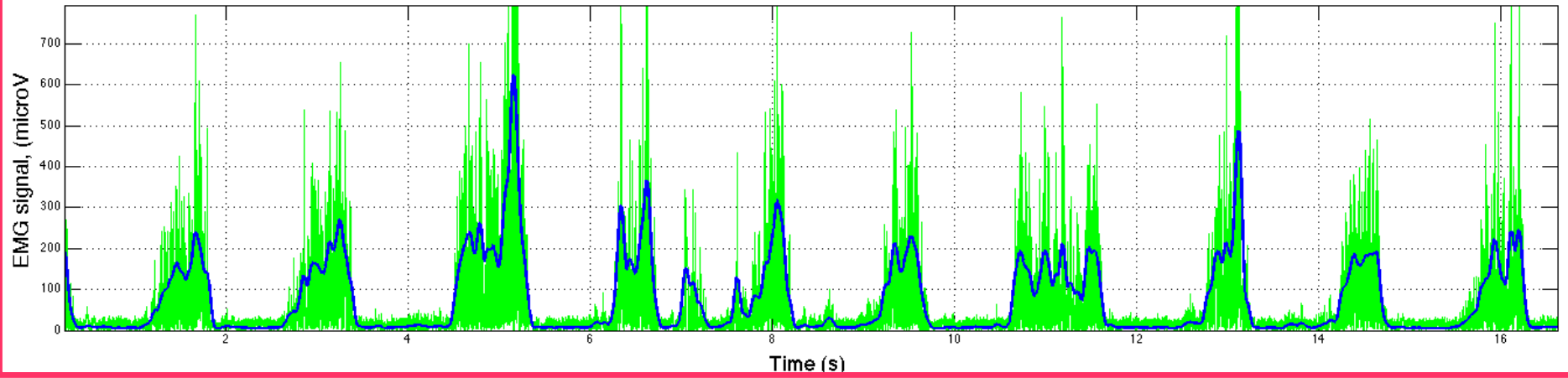
Elaborazione del segnale



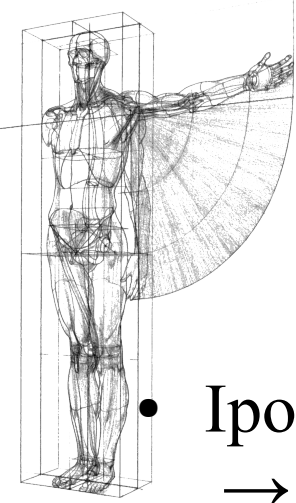
Raw EMG signal



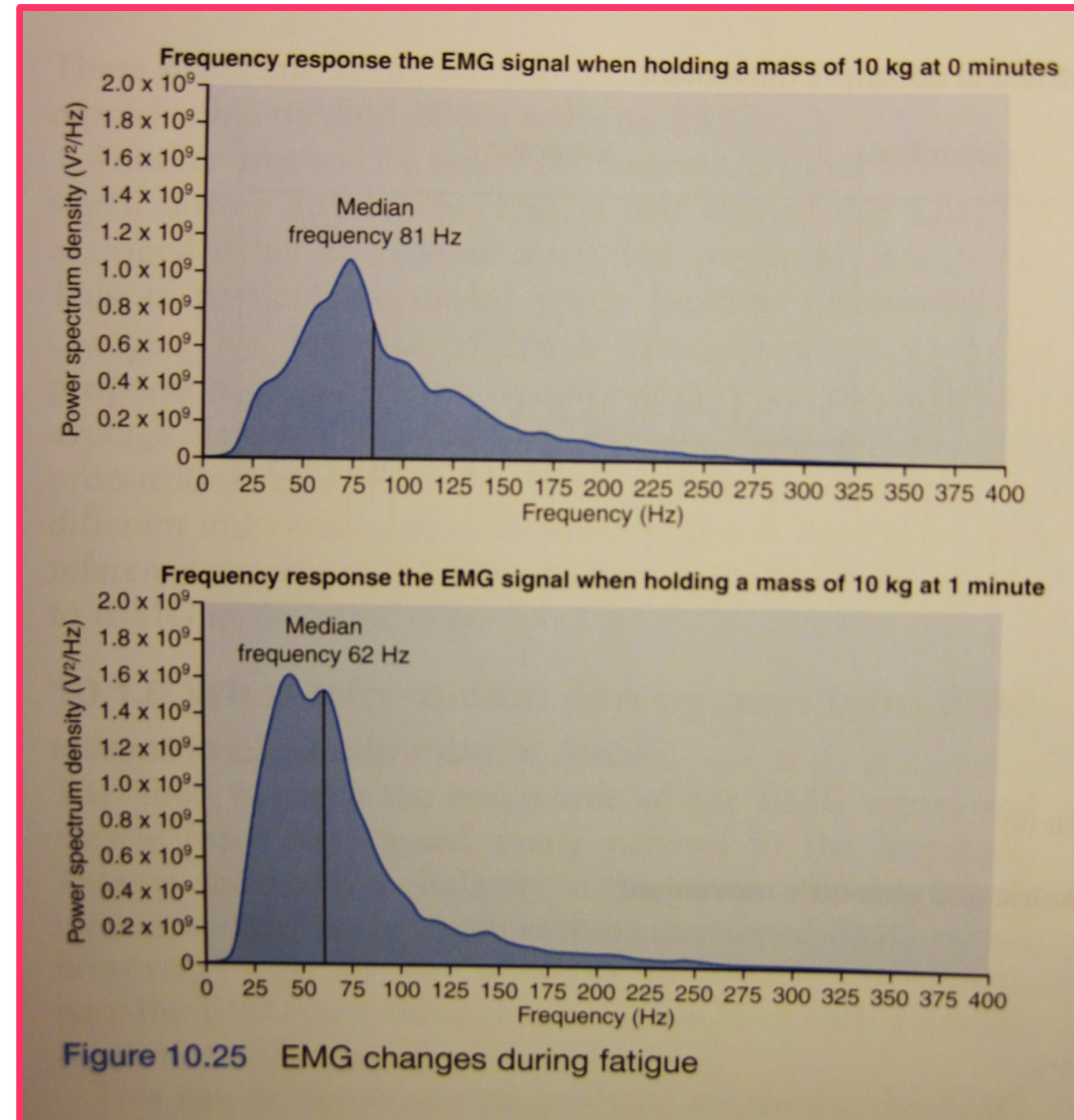
EMG envelope

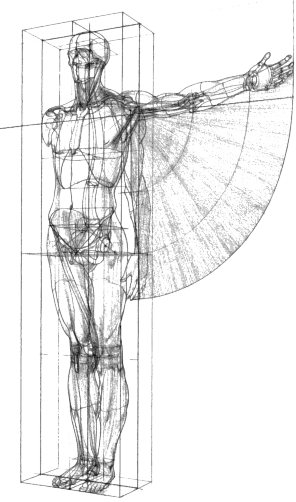


- **Ampiezza picco-picco:** misura dell'intensità dell'attivazione muscolare
- **Media del segnale rettificato e Root Mean Square (RMS):** valore medio del segnale in un intervallo di tempo
- **Inviluppo:** stima del volume di attività mediante segnale “smussato”
- **Integrazione:** somma cumulativa dell'attività lungo il tempo
- **Normalizzazione dell'ampiezza:** prova MVC, massimo dell'inviluppo durante l'esercizio, ...



- Ipotesi: segnale stazionario
→ contrazioni isometriche
- Grafico della Densità Spettrale di Potenza (PSD)
- Frequenza mediana: divide il grafico in 2 parti di area equivalente
- La freq. mediana diminuisce se il muscolo si affatica





Relazione EMG - forza prodotta

- Involuppo EMG proporzionale alla forza in contrazioni isometriche, ma relazione non valida in condizioni dinamiche

EMG in contrazioni concentriche ed eccentriche

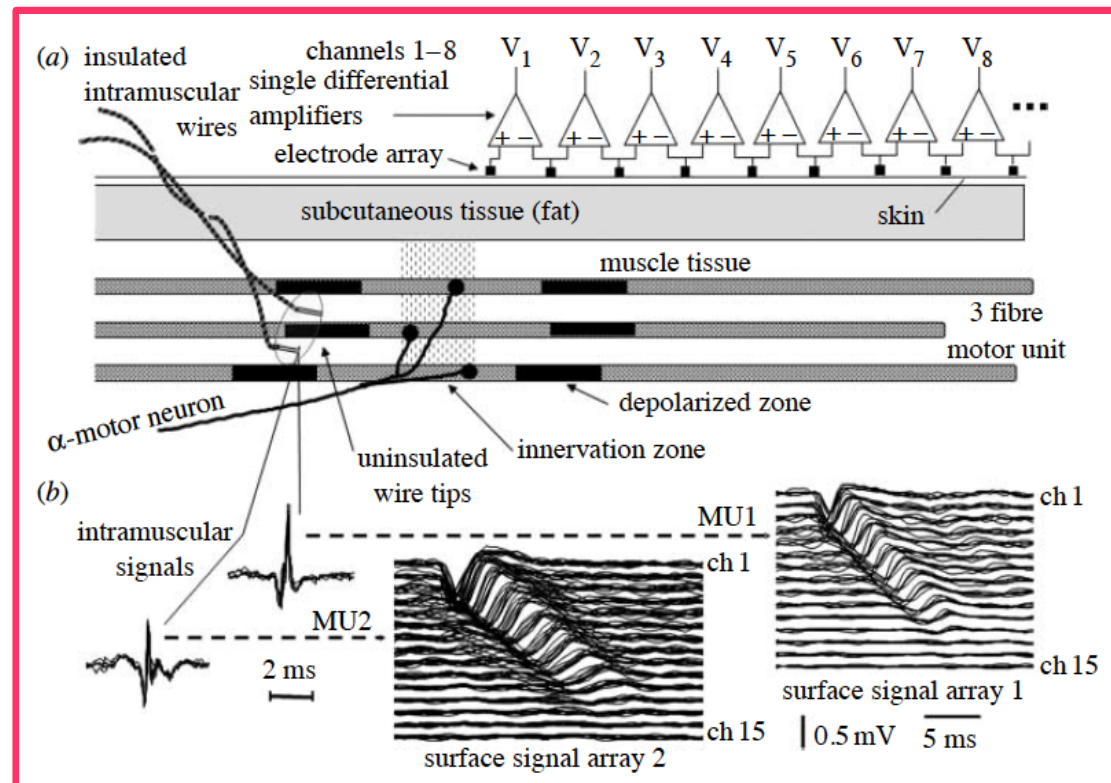
- Attività delle u.m. maggiore durante contrazioni concentriche → aumentata ampiezza EMG

Attivazione (timing)

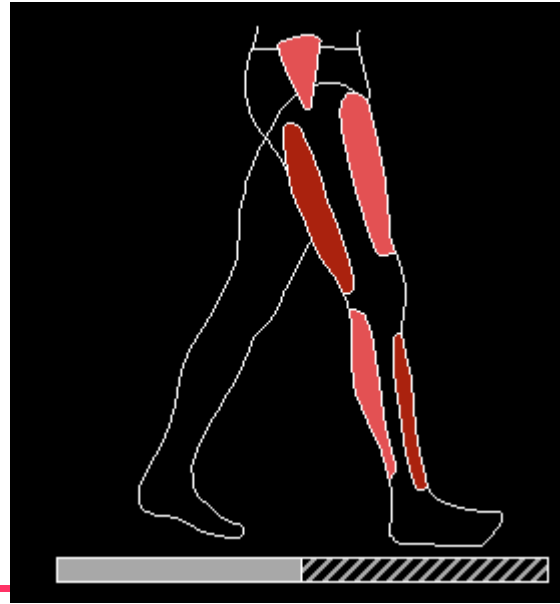
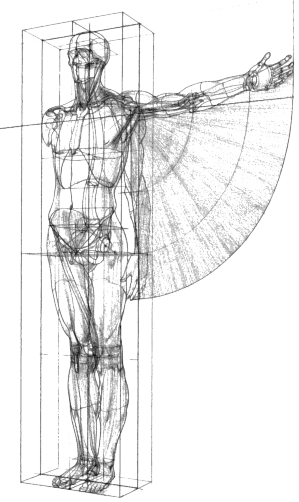
- Stabilisco una soglia di ampiezza
- Individuo tempi di attivazione/deattivazione del muscolo

Velocità di conduzione

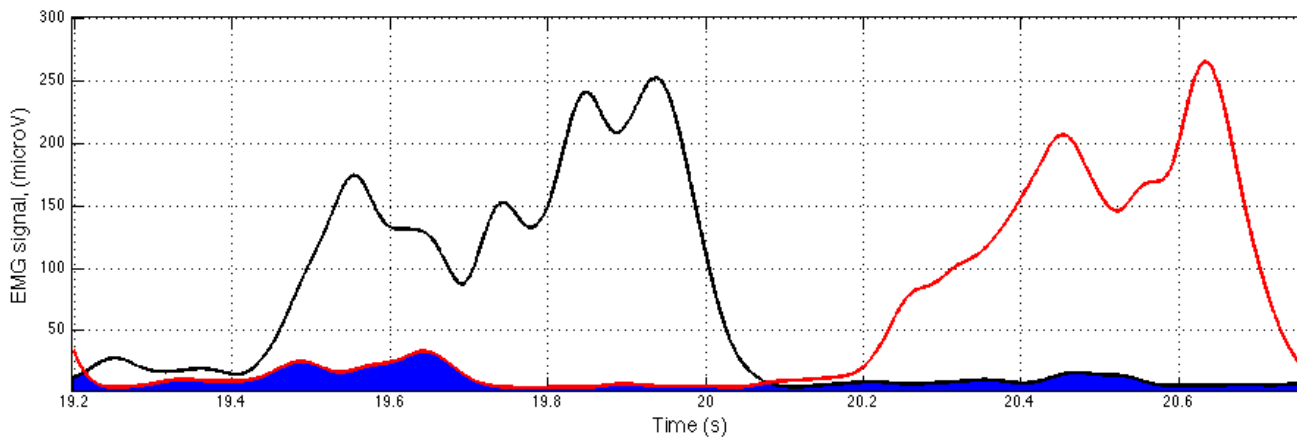
- Più elettrodi in sequenza
- Correlando i segnali di diversi elettrodi ricavo il ritardo di propagazione del segnale



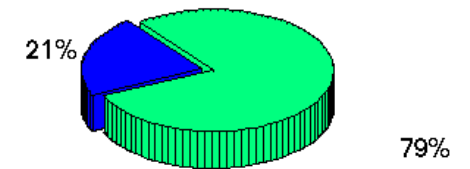
Applicazioni: analisi del cammino



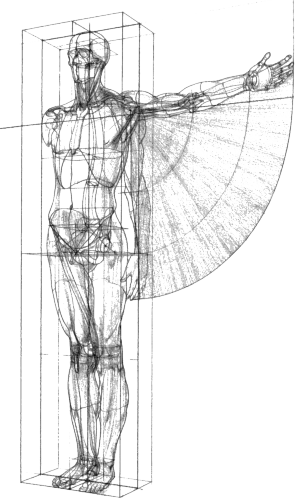
Agonist-antagonist muscles plus co-activation area



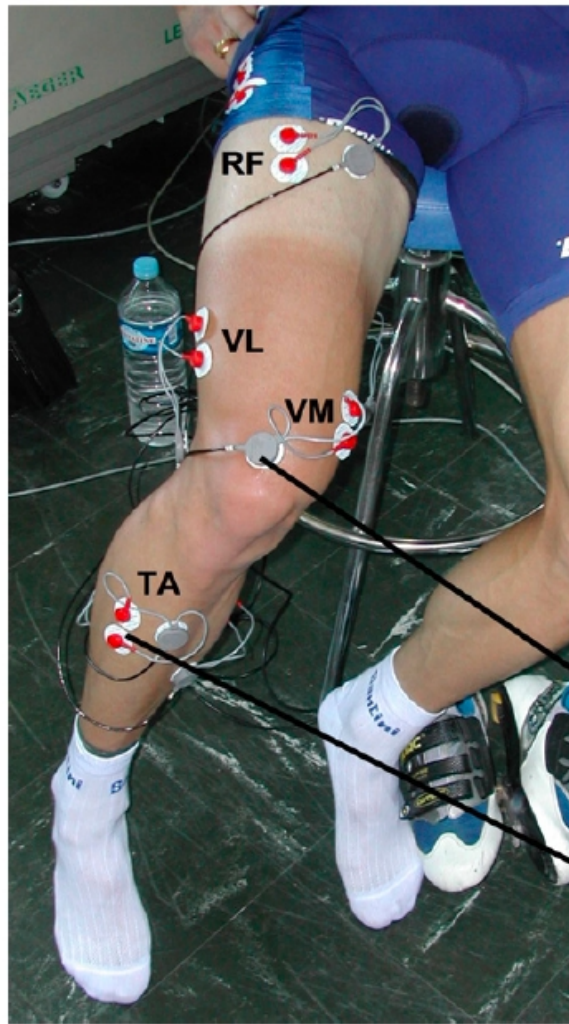
Percentage of co-activation (mean)



Applicazioni: studio del gesto sportivo



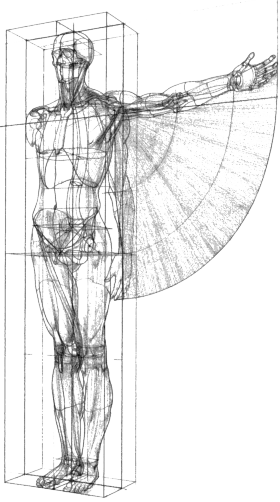
Verona, 9 Maggio 2011



pré-amplifier

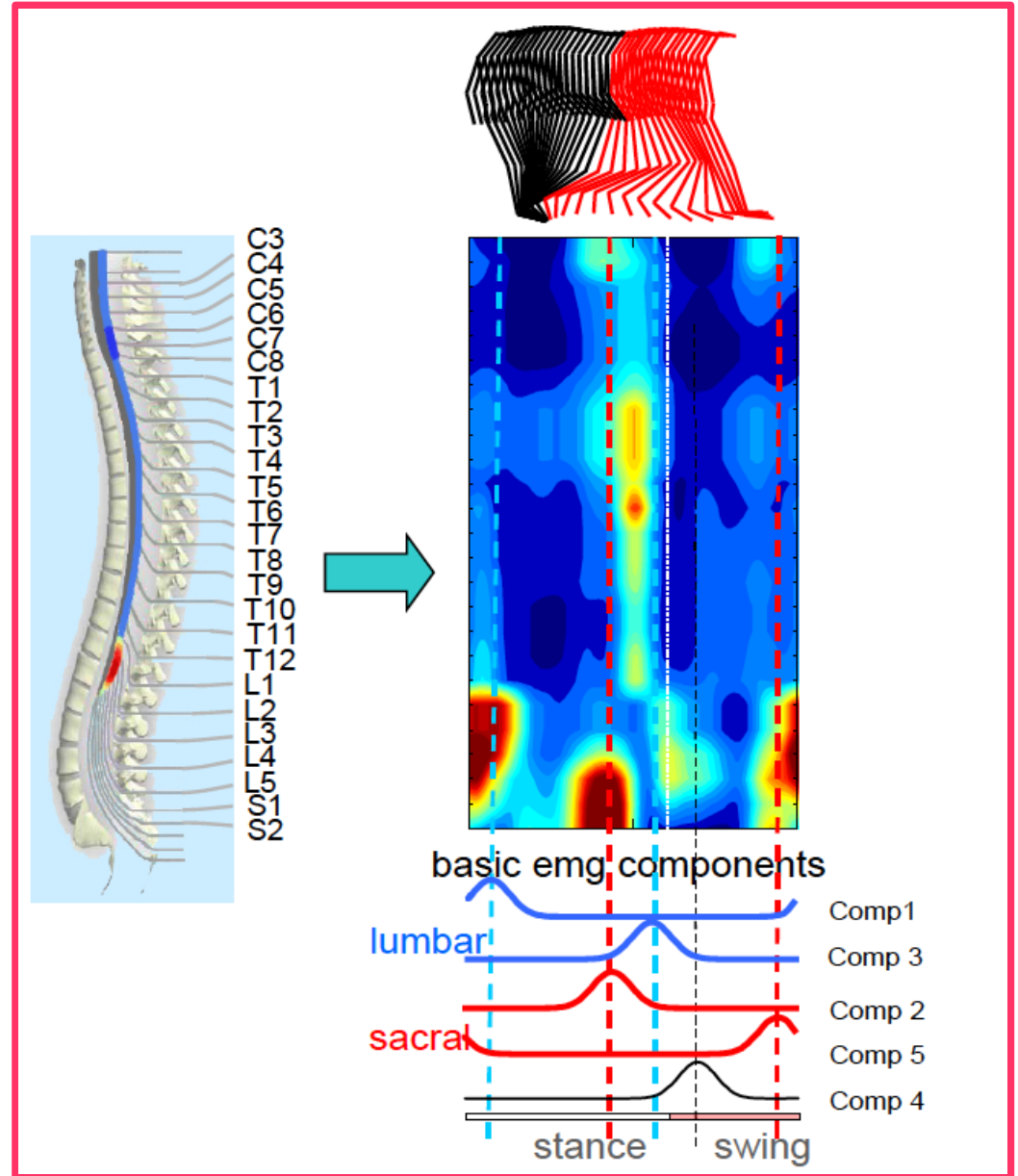
surface electrodes
(bipolar configuration)

(Hug&Dorel, 2007)



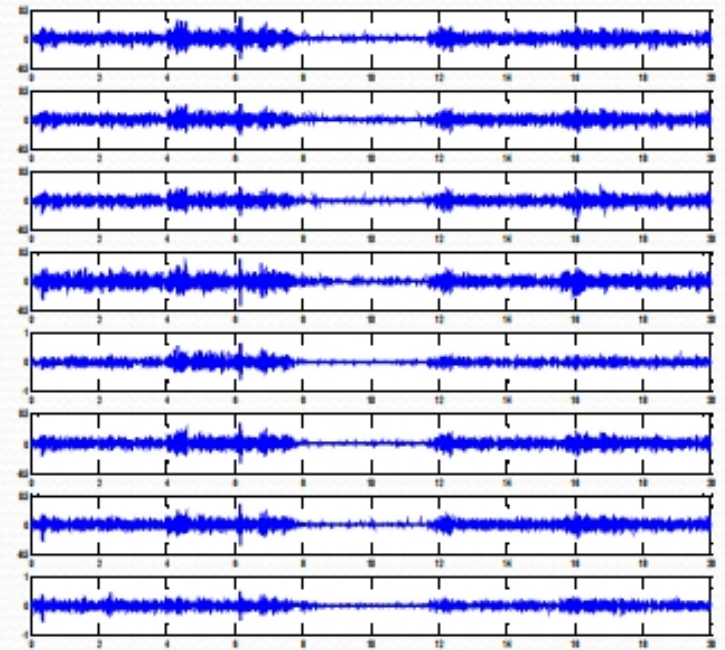
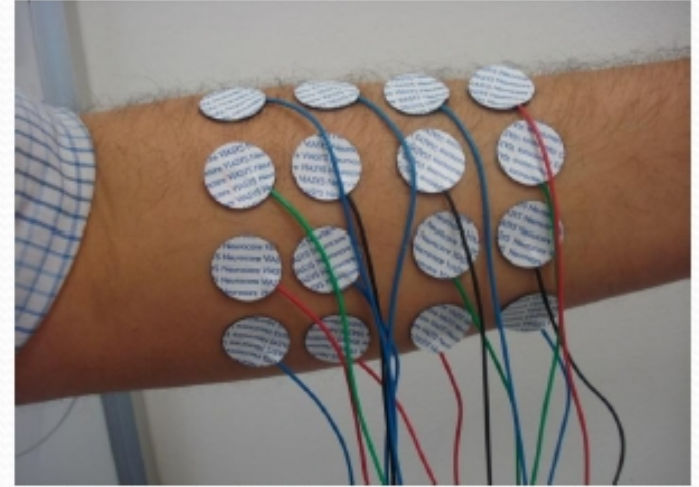
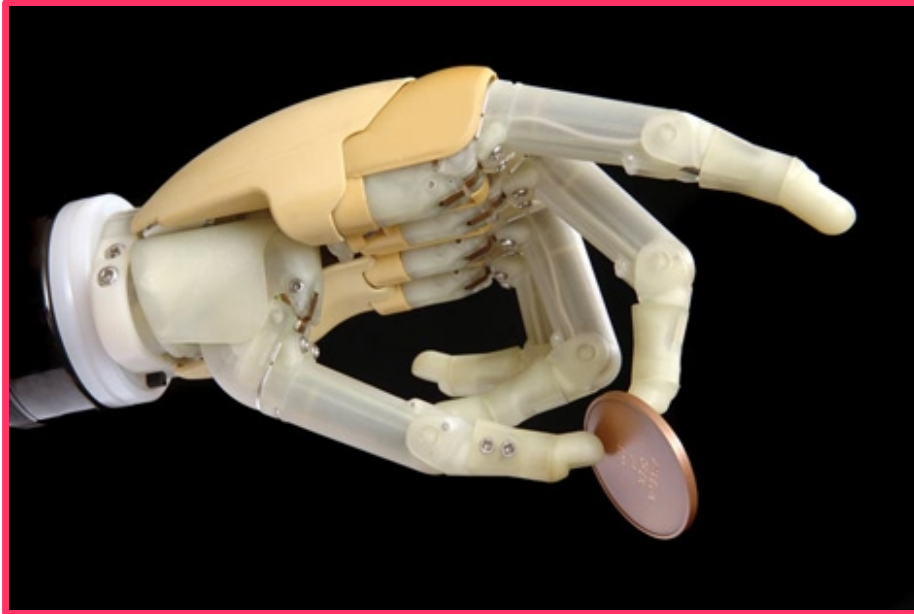
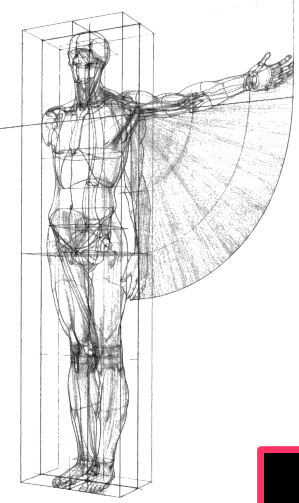
Mappatura spinale dell'attività EMG durante la locomozione

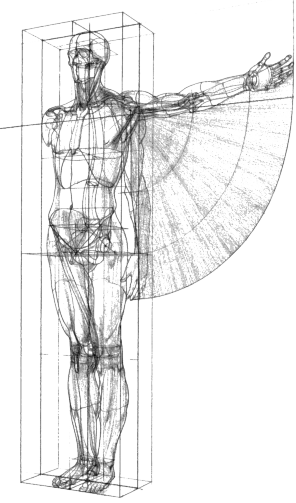
Verona, 9 Maggio 2011



(Ivanenko et al, 2006)

Applicazioni: protesi di mano



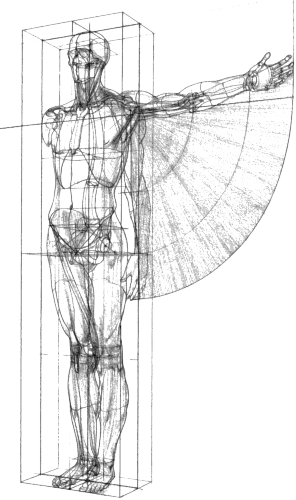


SENIAM: <http://www.seniam.org/>

J. Richards, “Biomechanics in clinic and research”,
Elsevier, 2008

G. Robertson et al, “Research methods in biomechanics”,
Human Kinetics, 2004

Materiale prof. G. Robertson:
<http://www.health.uottawa.ca/biomech/courses/>



*Grazie per l'attenzione
e ...
domande ?!?*

Verona, 9 Maggio 2011

