

## MOVIMENTO VOLONTARIO

per le lezioni del prof. P. Paolo Battaglini

v 3.1



Principali fonti delle figure:

Purves et al., NEUROSCIENZE, Zanichelli  
Kandel et al., PRINCIPI DI NEUROSCIENZE, Ambrosiana

## QUADRO GENERALE

Tipi di movimenti  
controllo del movimento  
equivalenza motoria  
organizzazione generale dei sistemi motori  
corteccia cerebrale motoria  
sistema piramidale  
sistema fronto-parietale per il movimento  
corteccia premotoria  
memoria di lavoro e neuroni specchio  
canali funzionali per la percezione e per l'azione

## Tipi di movimenti

I sistemi motori generano diversi tipi di movimenti:

riflessi

saccadici

posturali

ritmici

volontari

Movimenti **riflessi**: risposte rapide e stereotipate, in genere graduate dallo stimolo che le evoca

Movimenti **saccadici**: rapidi, tipici degli occhi. L'organizzazione è complessa e sottocorticale

Movimenti **posturali**: richiedono l'attivazione di molti muscoli e dipendono strettamente da informazioni sensitive. L'organizzazione è prevalentemente riflessa

Movimenti **ritmici**: combinazione di movimenti riflessi e volontari. In genere, l'avvio è volontario e la prosecuzione riflessa

Movimenti **volontari**: diretti a uno scopo e appresi. Migliorano con la pratica

Tutti i movimenti subiscono due tipi di controllo:

fasico

tonico

Controllo **fasico**: attivazione temporanea per l'effettuazione di movimenti discreti

Controllo **tonico**: attivazione mantenuta nel tempo, allo scopo di stabilizzare le articolazioni

## Il controllo motorio richiede informazioni sensitive (1)

Tutti i livelli della gerarchia motoria richiedono informazioni sensitive per funzionare adeguatamente.

Le informazioni sensitive sono tanto più vincolanti quanto più è basso il livello gerarchico (attività riflesse).

Esistono almeno tre modelli che illustrano il ruolo delle informazioni sensoriali nel controllo del movimento:

Circuito aperto

Feedback (circuitto chiuso)

Feedforward

## Il controllo motorio richiede informazioni sensitive (2)

Feedback (circuitto chiuso, controllo a tergo, servomeccanismo)



Il comparatore calcola la differenza fra il movimento desiderato e quello prodotto. Se i due valori non sono uguali, genera un segnale che modifica l'attività dell'effettore. Questi sistemi sono accurati ed efficienti. Sono particolarmente utili per mantenere costante una variabile, come è il caso del **controllo della postura**. Hanno il difetto di essere lenti, perché l'efficienza dipende dal ritorno di informazioni dalla periferia (un repentino cambiamento posturale può non essere adeguatamente compensato)

### Il controllo motorio richiede informazioni sensitive (3)

Circuito aperto



In questo caso, l'input sensitivo è completamente ignorato: i comandi motori sono strutturati fin dall'inizio e non tengono conto degli effetti che possono avere. E' un sistema che privilegia la velocità all'efficienza. Si attua nei:

**Movimenti balistici.** Non sono modificabili sulla base delle informazioni sensitive (acchiappare una mosca, parare un calcio di rigore)

### Il controllo motorio richiede informazioni sensitive (4)

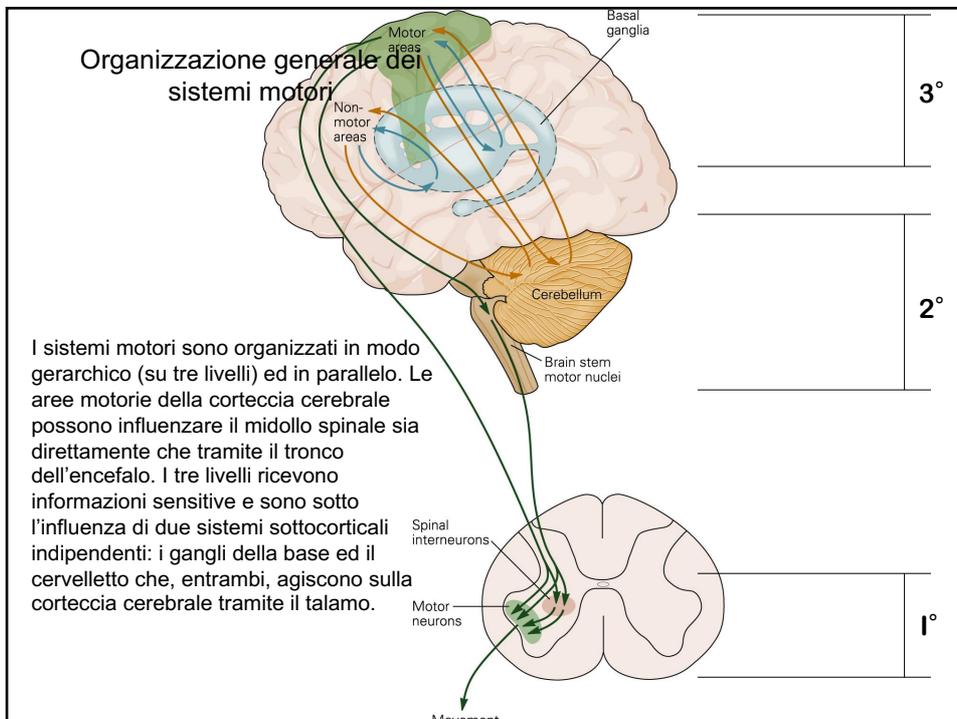
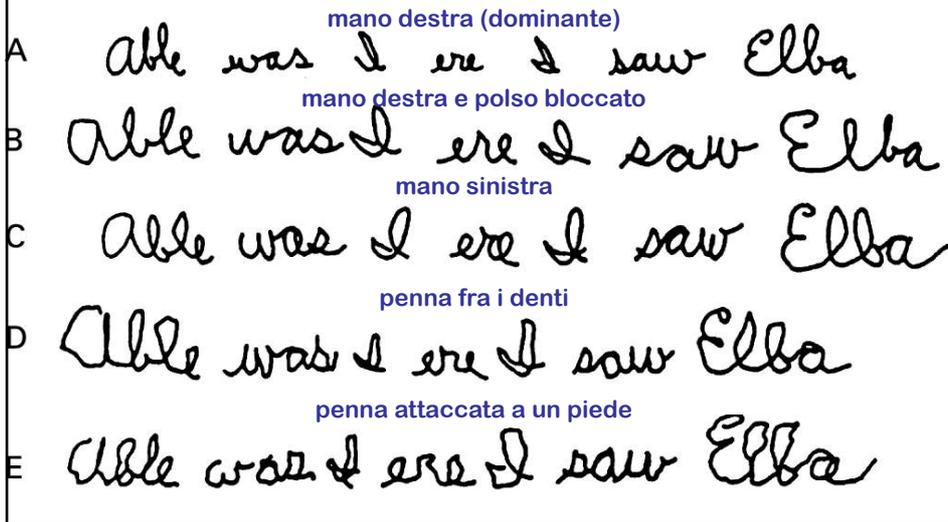
Feedforward (controllo a priori)



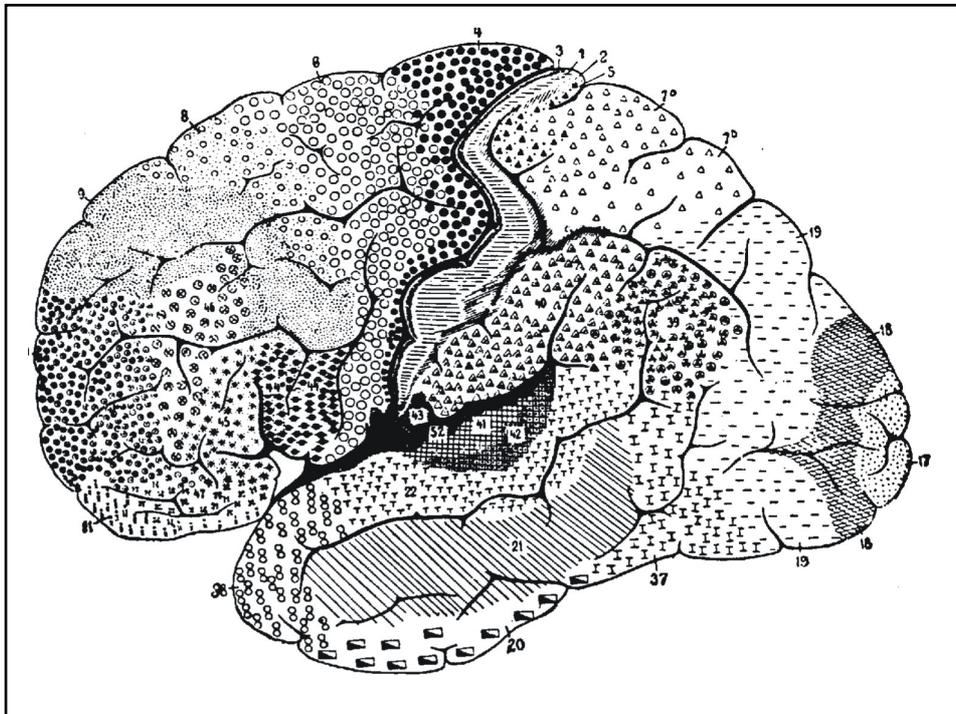
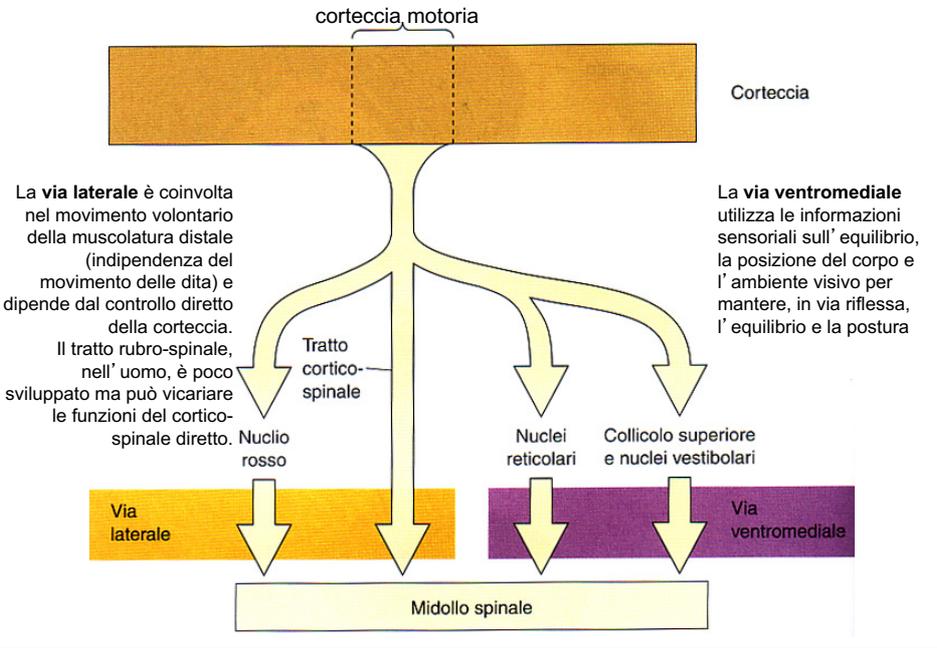
Questo sistema utilizza l'informazione sensitiva prima dell'esecuzione del movimento. E' più veloce del feedback (perché non ha un comparatore e non dipende dalle informazioni sensitive) ma richiede apprendimento per essere efficace: bisogna valutare le informazioni sensitive a disposizione e le conseguenze, su di esse, dei movimenti che si compiranno. (Climbing, prendere una curva ad elevata velocità, anche in un videogioco).

## Equivalenza motoria

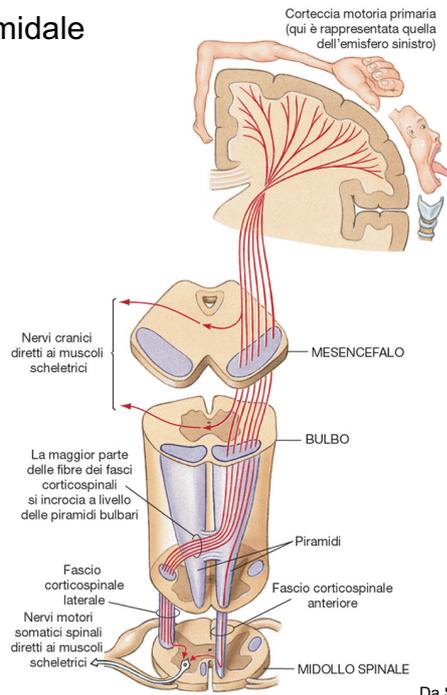
Mentre il prodotto finale dei sistemi sensitivi è quello di generare una rappresentazione interna dello spazio esterno o del proprio corpo, l'attività dei sistemi motori *inizia* con una rappresentazione interna: l'immagine del risultato del movimento che si intende compiere.



All'inizio del movimento volontario, la corteccia motoria attiva i motoneuroni spinali direttamente coinvolti e promuove i necessari cambiamenti del tono posturale mediante un'azione sui nuclei della via ventromediale

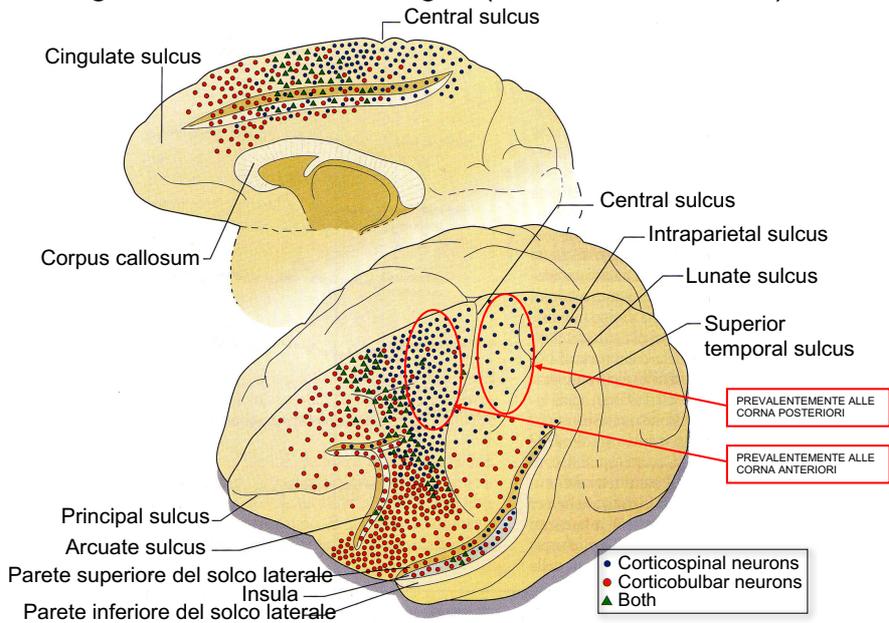


## Sistema piramidale



Da Silverthorn, fisiologia umana, Ambrosiana

## Origine delle fibre corticifughe (Macaca fascicularis)

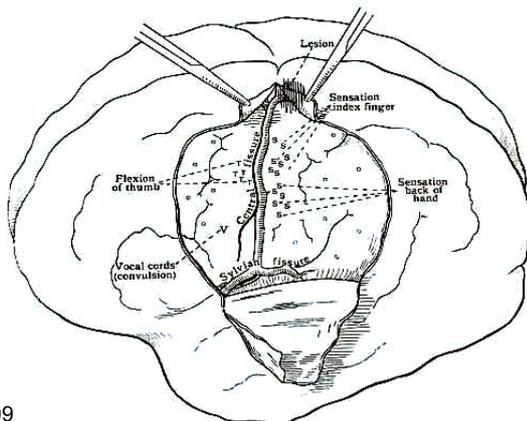


Modificata da Keizer & Kuypers, Exp. Brain Res., 1989

## Organizzazione della corteccia motoria primaria

I programmi motori vengono elaborati nelle aree premotorie sulla base delle proprietà degli oggetti (aree visive) e della loro posizione nello spazio (aree parietali) e sono quindi eseguiti dalla corteccia motoria primaria.

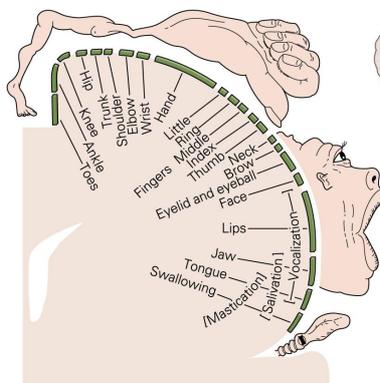
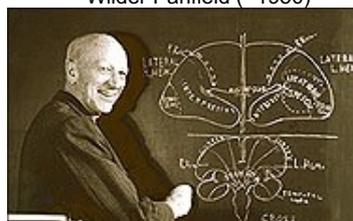
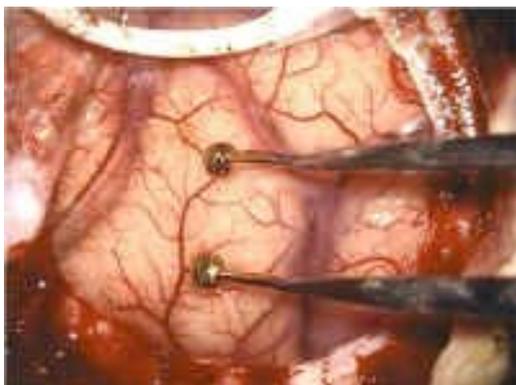
Il movimento di ogni singola parte del corpo dipende dalla attivazione di popolazioni neuronali nella corteccia motoria e, a seconda del contesto, dalle aree premotorie e parietali del sistema parieto-frontale.



H. Cushing, 1909

## Organizzazione della corteccia motoria primaria

Wilder Panfield (~1950)

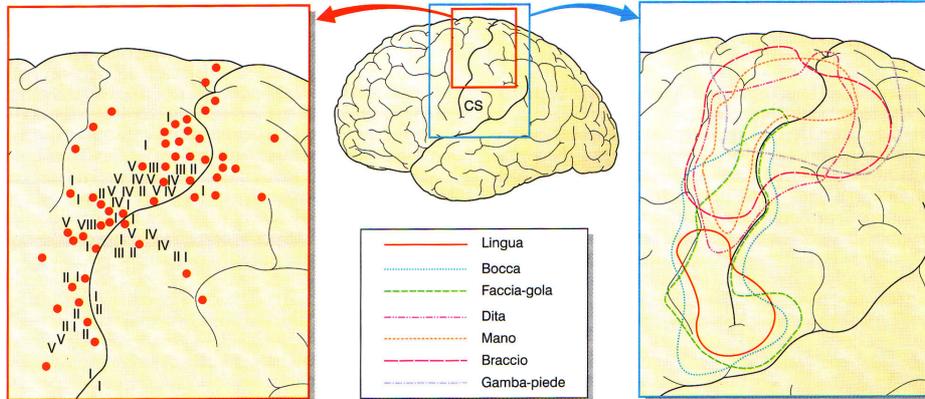


**SOMATOTOPIA MOTORIA:** la stimolazione elettrica della corteccia motoria provoca contrazioni muscolari e le aree responsabili di movimenti fini hanno un'estensione maggiore delle altre. La corteccia motoria primaria è la regione corticale la cui stimolazione evoca movimenti con la più bassa intensità di stimolazione.

Medial

Lateral

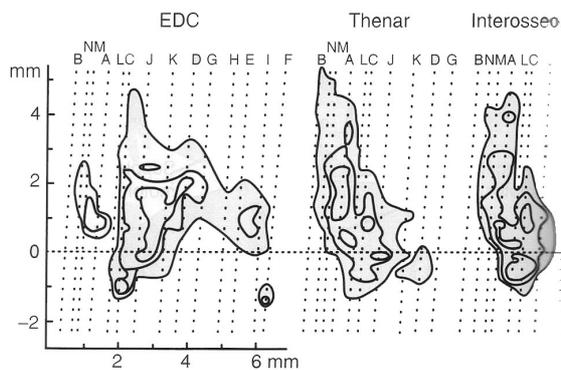
## Organizzazione della corteccia motoria primaria



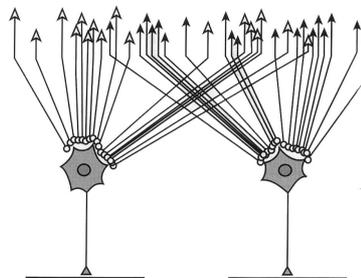
Modified from Panfield & Boldrey, Brain, 1937

Rappresentazioni della periferia motoria sono presenti in numerose aree della corteccia frontale e di quella parietale ed ognuna di esse ha un diverso grado di precisione topografica. Inoltre, le loro rappresentazioni topografiche sono dinamiche, poiché possono essere modificate da diversi fattori, quali l'apprendimento, l'allenamento e le lesioni della periferia motoria.

## Rappresentazioni sovrapposte in M1



Sovrapposizione dei contorni di isoreattività elettromiografica nella stessa regione di M1 per l'attivazione di tre diversi muscoli (estensore comune delle dita - EDC, tenare e primo interosseo dorsale) tramite microstimolazione.

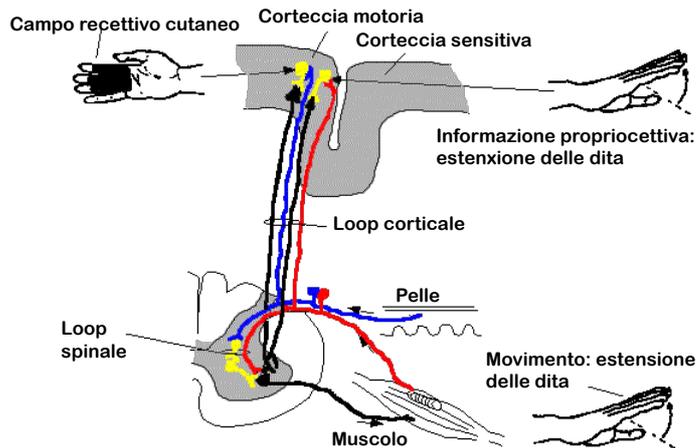


L'input corticale ai motoneuroni di ogni muscolo origina da vasti territori in M1 e i territori corticali che forniscono input ai motoneuroni di muscoli diversi si sovrappongono largamente fra loro. Inoltre, singoli neuroni corticali proiettano a pool di motoneuroni diversi

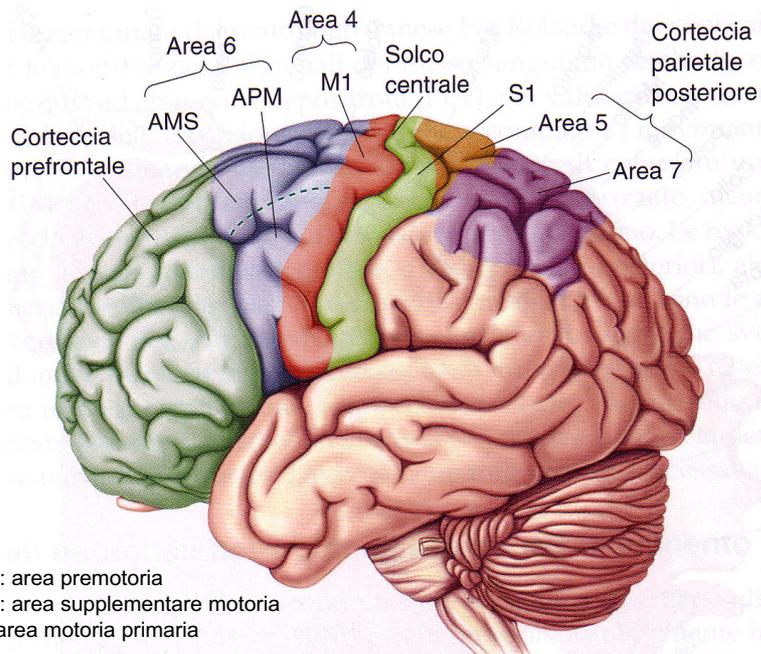
Modificato da Squire et al, Fundamental Neuroscience, Elsevier

## Organizzazione della corteccia motoria primaria (Ms1)

**SOMATOTOPIA SENSITIVA:** alcuni neuroni della corteccia motoria primaria ricevono input propriocettivi dagli stessi muscoli su cui agiscono, mentre altri ricevono informazioni dalle regioni di cute che vengono stimulate dalla contrazione di quegli stessi muscoli. Si ha, quindi, una corticalizzazione della circuiteria spinale.

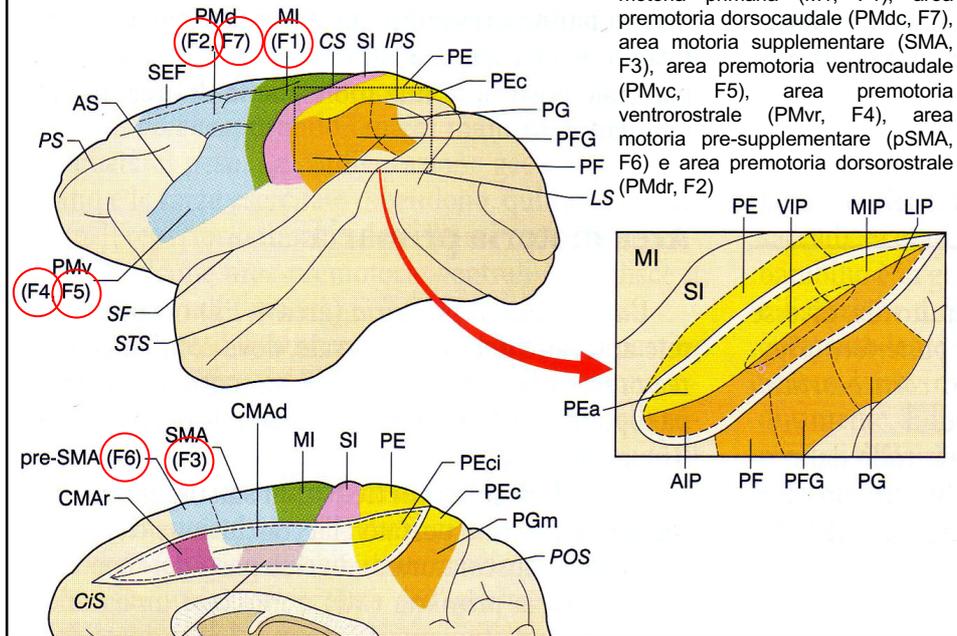


## Aree peri-rolandiche della corteccia cerebrale



## La corteccia motoria e il sistema fronto-parietale

Molti ricercatori suddividono la corteccia motoria in 7 aree: area motoria primaria (M1, F1), area premotoria dorsocaudale (PMdc, F7), area motoria supplementare (SMA, F3), area premotoria ventrocaudale (PMvc, F5), area premotoria ventrorostrale (PMvr, F4), area motoria pre-supplementare (pSMA, F6) e area premotoria dorsorostrale (PMdr, F2)



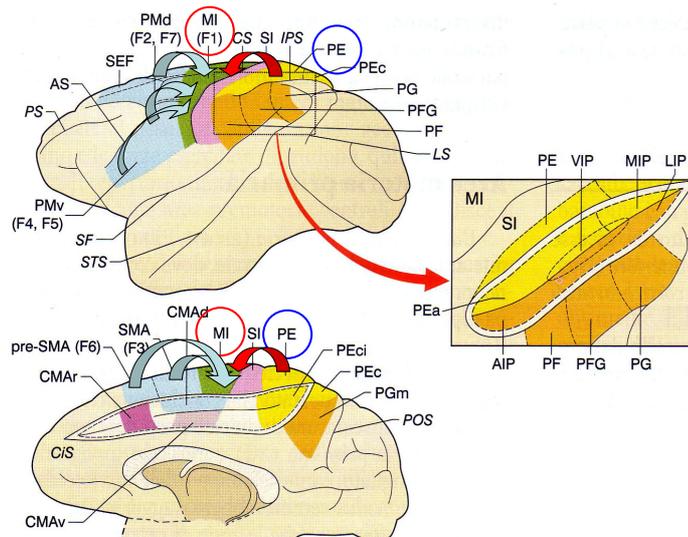
### Area motoria primaria (F1, M1)

SOMATOTOPIA (semplice, movimenti di singole articolazioni)

I movimenti sono codificati da popolazioni di neuroni

principali connessioni parietali: PE

PE: localizzazione degli arti nello spazio, in un sistema di coordinate riferito al corpo



**Area motoria supplementare (SMA, F3) e pre-SMA (F6).**

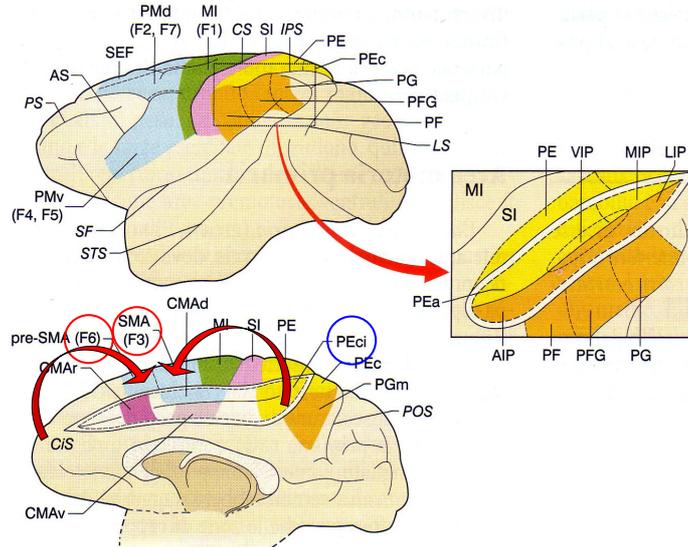
**ORGANIZZAZIONE SOMATOTOPICA**

**F3:** principali connessioni parietali con **PEci** (area sensitiva secondaria)

**PEci:** informazioni posturali

**F6:** scarse connessioni parietali (connessioni prevalenti con la corteccia prefrontale)

**Corteccia prefrontale:** pianificazione degli aspetti spaziotemporali del movimento



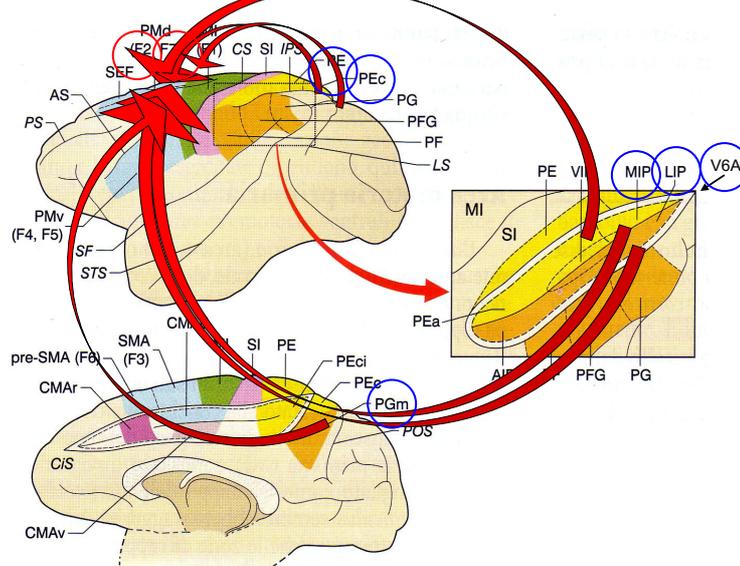
**Area premotoria dorsale (F2 and F7), ulteriormente suddivisa in:**

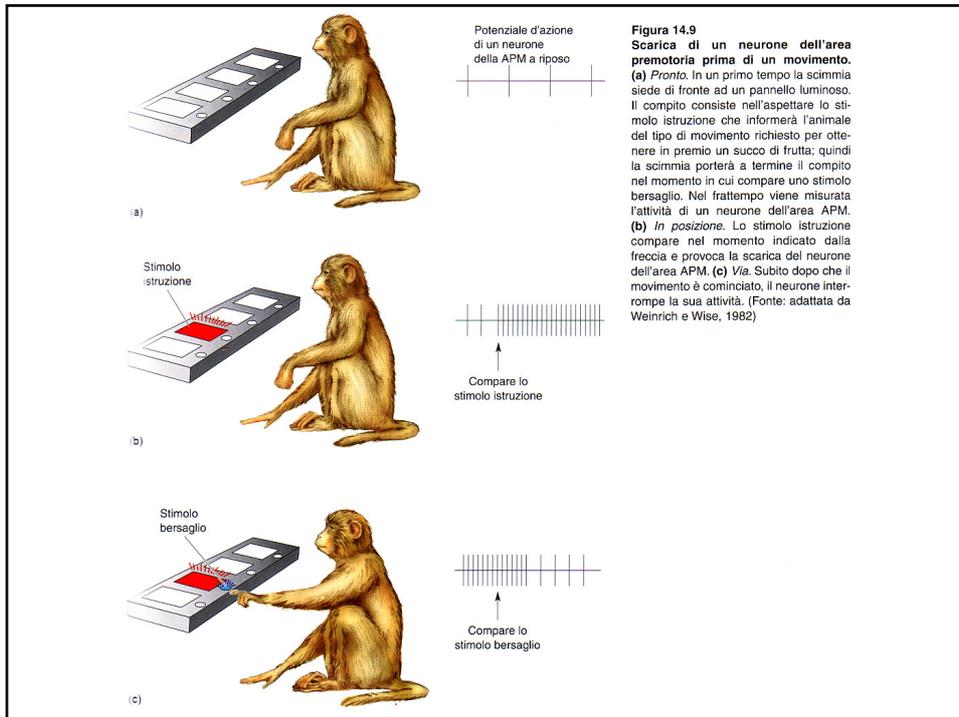
**F2 superiore:** (SOMATOTOPICA): **PEip** e **PEc** per i movimenti degli arti

**F2 ventrolaterale:** **MIP** e **V6A** per la posizione degli arti durante i movimenti di raggiungimento

**F7 mediale:** **PGm** per la localizzazione visiva degli oggetti durante i movimenti di raggiungimento

**F7 laterale:** (campi oculari supplementari) **LIP** per i movimenti oculari esplorativi

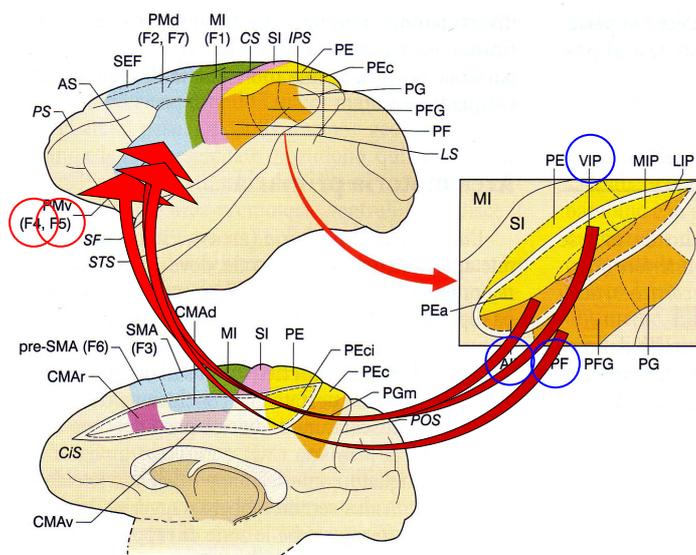


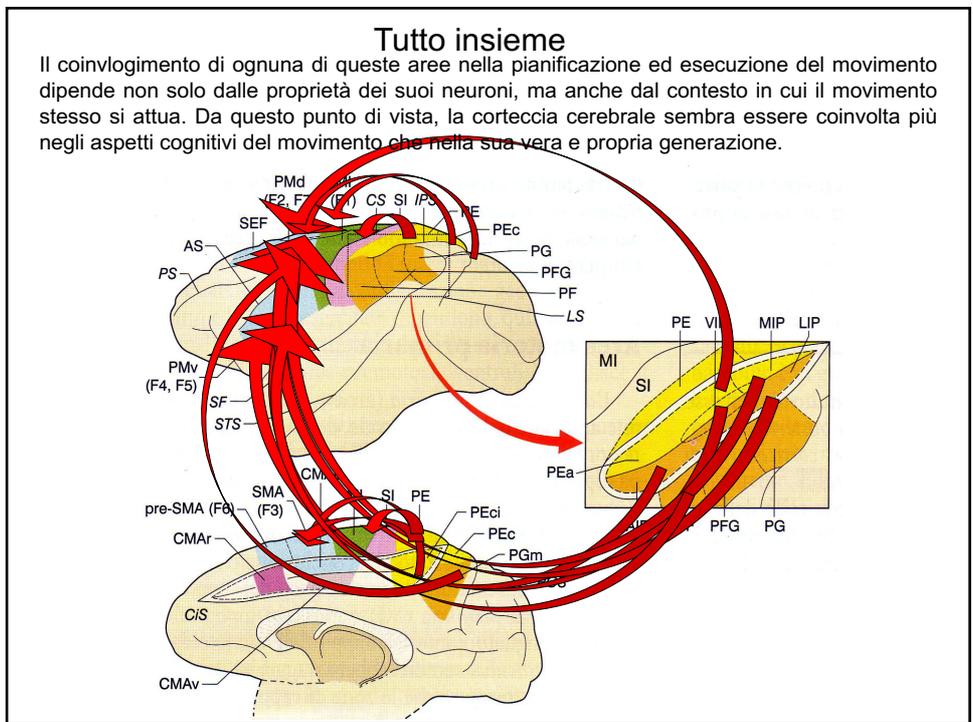
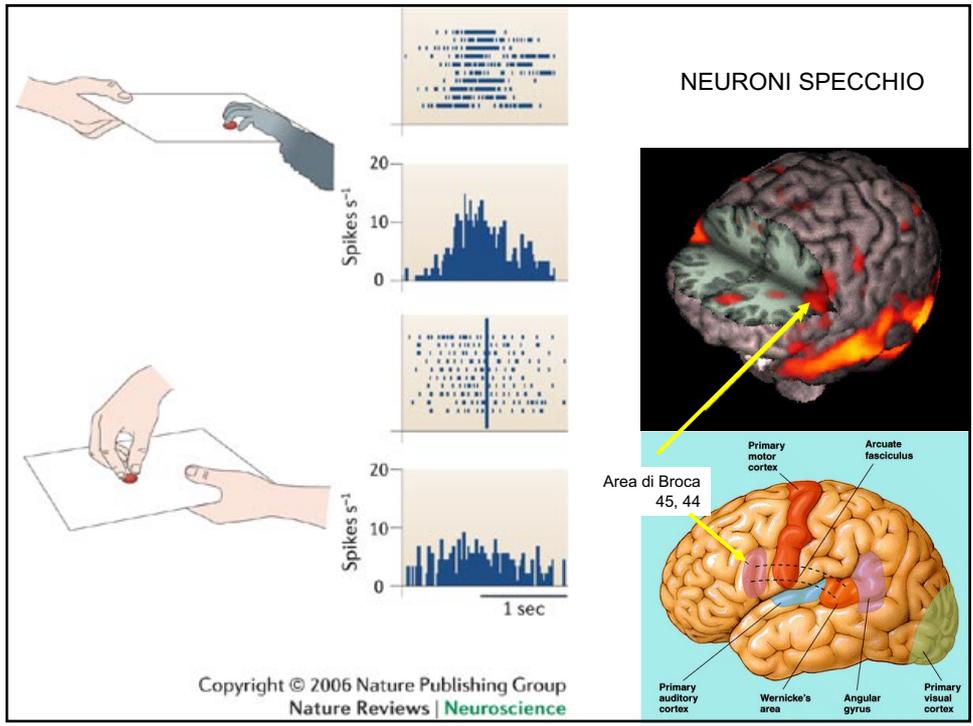


**Area premotoria ventrale (PMv; F4, F5).**

**F4: SOMATOTOPICA.** Movimenti complessi e poliarticolari. **VIP** per la trasformazione della posizione degli oggetti nello spazio in movimenti per raggiungerli.

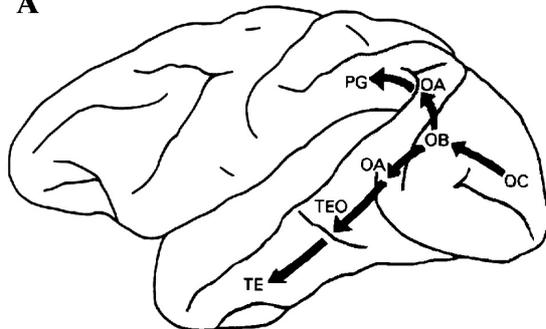
**F5: SOMATOTOPICA.** Neuroni specchio. **AIP** per movimenti finalizzati e **PF** per la rappresentazione interna delle azioni (mimica e riconoscimento).



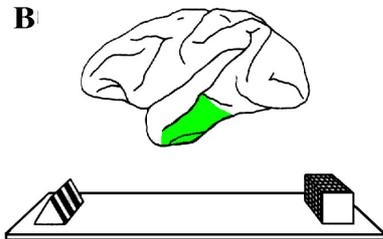


## I canali dorsale e ventrale per l'azione e la percezione

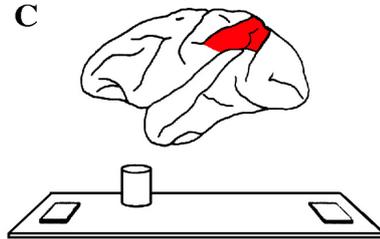
A



B



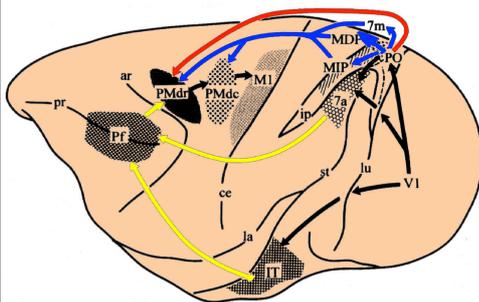
C



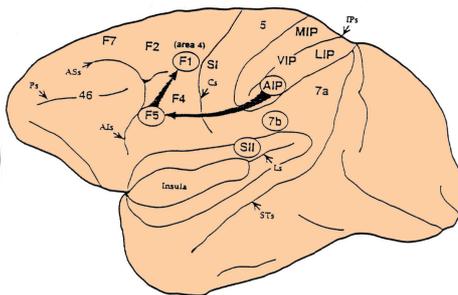
## Canali diversi per movimenti diversi

Il controllo corticale del movimento volontario è basato sull'attività di un sistema di regioni parietali e frontali che sono collegate da connessioni reciproche.

RAGGIUNGIMENTO



PRENSIONE

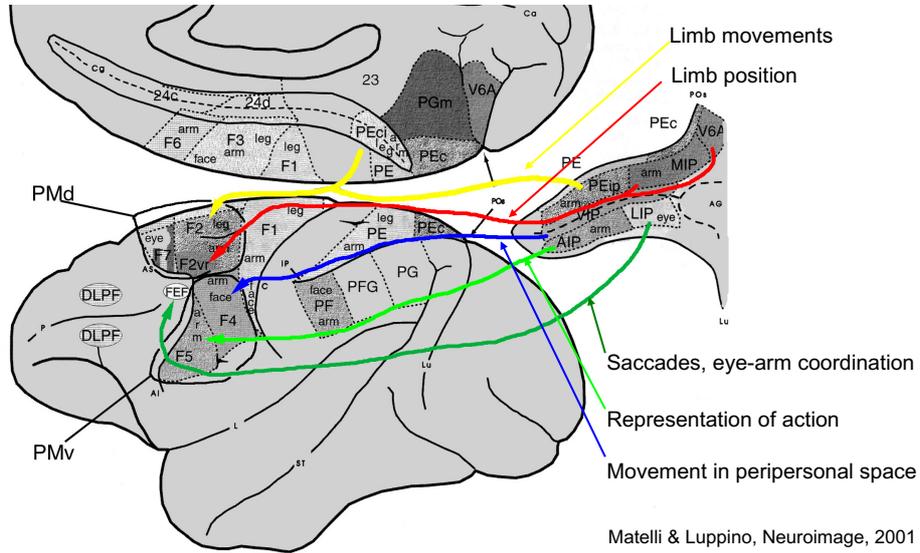


Tannè et al., Neuroreport, 1995

Le regioni corticali coinvolte in questi processi differiscono per le loro connessioni cortico-corticali e per quelle cortico-sottocorticali, come anche per le diverse proprietà funzionali dei loro neuroni.

## The parieto-frontal system (2)

This parieto-frontal system plays a crucial role in the composition of motor commands, in the control of coherence between planning and execution, in the selection of conflicting motor plans and in the change of motor trajectory, when it is requested by the context.



## Parallel distribution to parietal and frontal areas

