

Il cervello motorio

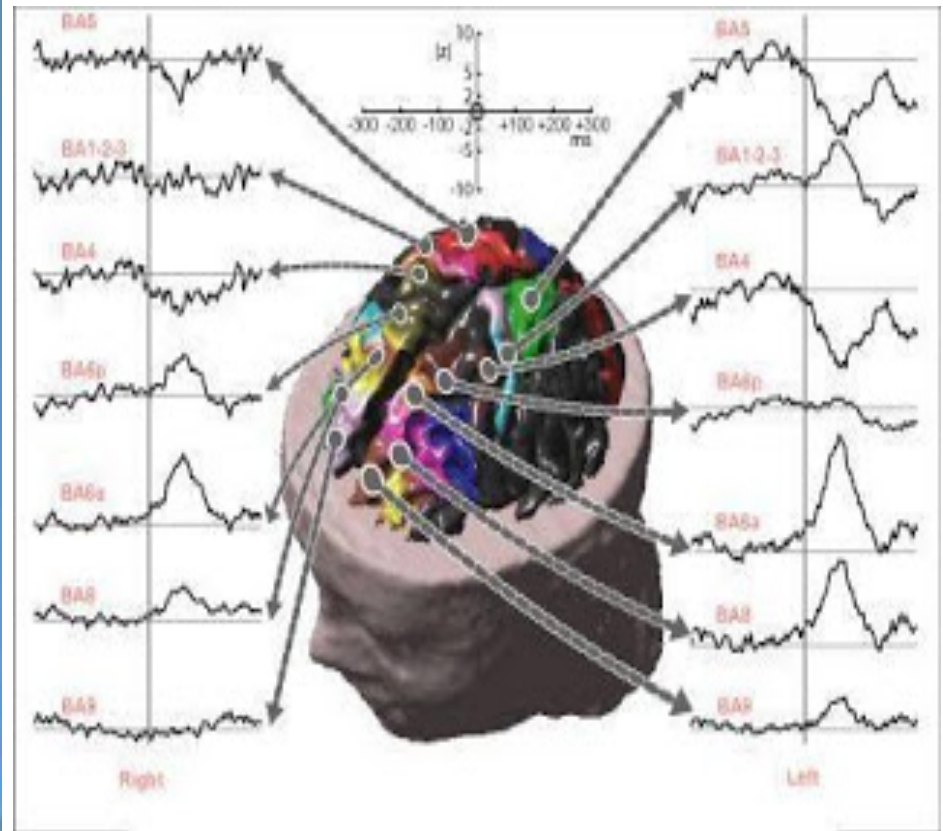
Capitolo 2
Psicologia dello sport

Tecniche per l'analisi funzionale del cervello motorio

Registrazione dell'attività neuronale

- Elettroencefalogramma: EEG
- Tecnica non invasiva, permette di registrare l'attività dei neuroni attraverso elettrodi posizionati sullo scalpo
- Registra onde diverse elettroencefalografiche
 - Potenziali lenti: rappresentano azioni volontarie
 - Se questi potenziali sono rappresentati su di uno schermo i soggetti possono imparare a modularli
 - Questi potenziali sono diventati estremamente importanti per comprendere l'anticipazione motoria

EEG onde diverse



EEG Bambini



Come modulare le onde

- Imparare ad aumentare l'ampiezza delle onde per dire sì
 - Gruppi di lettere divisi in due e poi sistematicamente dividerle in gruppi più piccoli

Microelettrodi

- Simile a EEG ma invasivo
 - Registra da singole cellule neurali
 - Segnale più preciso
 - Poichè la corteccia cerebrale non ha terminazioni dolorifiche le registrazioni sono fatte con il paziente sveglio
 - Esperimenti su animali, o per diagnosticare negli umani attività patologiche (epilessia) o per aiutare il chirurgo a decidere quanto estesa può essere una asportazione cerebrale (tumore)

Esperimenti

- Ci hanno fatto comprendere quali siano le aree cerebrali dedicate ad un determinato movimento
- La definizione del coinvolgimento sistematico delle aree motorie primarie, premotorie e parietali nell'atto di afferramento è stato utilizzato per pilotare un braccio robotico

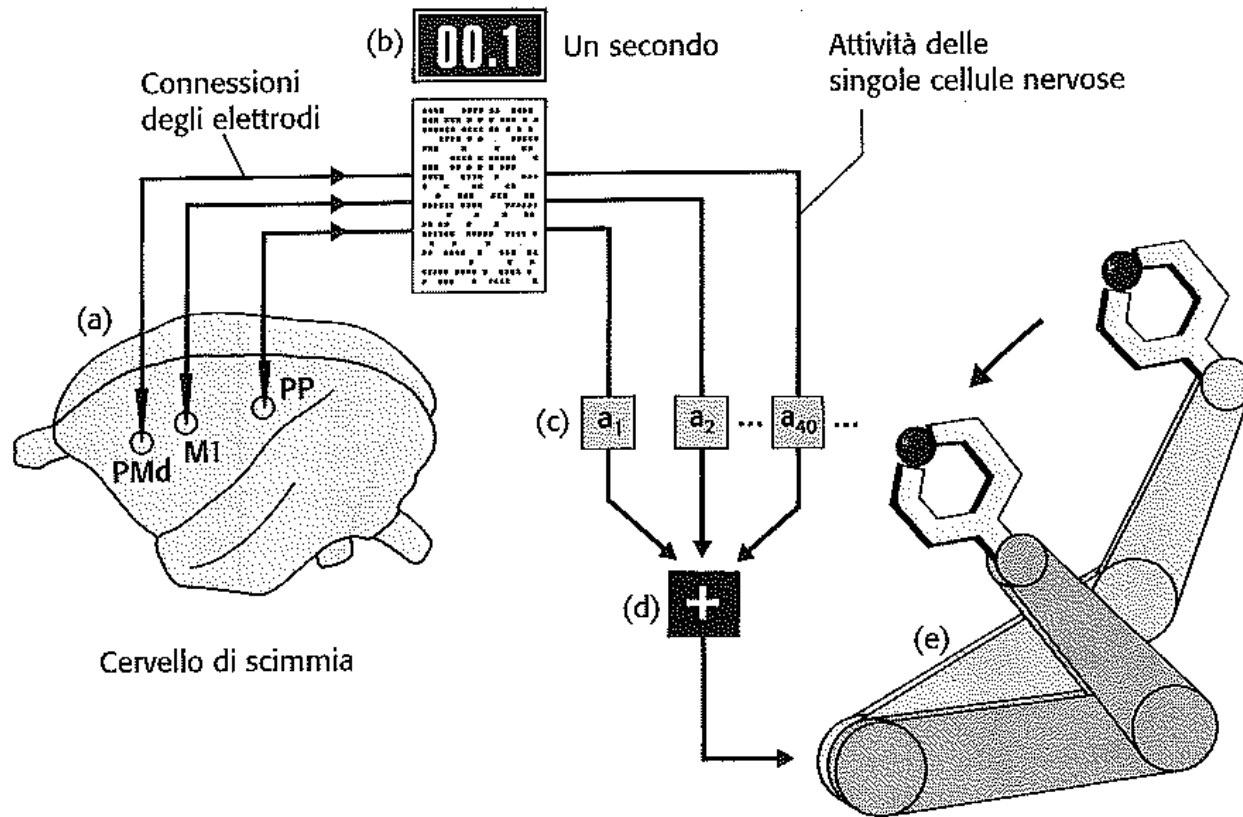


FIGURA 2.6

Il codice di scarica neuronale registrato nelle aree premotorie, motorie primarie e corteccie parietali posteriori (PP) ottenuto mentre la scimmia eseguiva l'atto di afferrare del cibo e portarlo alla bocca è stato tradotto in comandi per due bracci robotici (di cui uno situato a grande distanza dalla scimmia). È risultata una grandissima somiglianza tra il movimento eseguito dalla scimmia e quello eseguito dai dispositivi meccanici azionati dai segnali cerebrali dell'animale.

La figura rappresenta i siti di registrazione e i fili collegati agli elettrodi (a), l'analizzatore del tempo dell'attività e i codici per ciascuna sede di registrazione (c), l'integrato dei codici e gli erogatori di comandi al braccio robotico il movimento del braccio robotico (e). (Modificata, da Mussa-Ivaldi, 2000.)

Legenda: PMd: corteccia premotoria dorsale; M1: corteccia primaria.

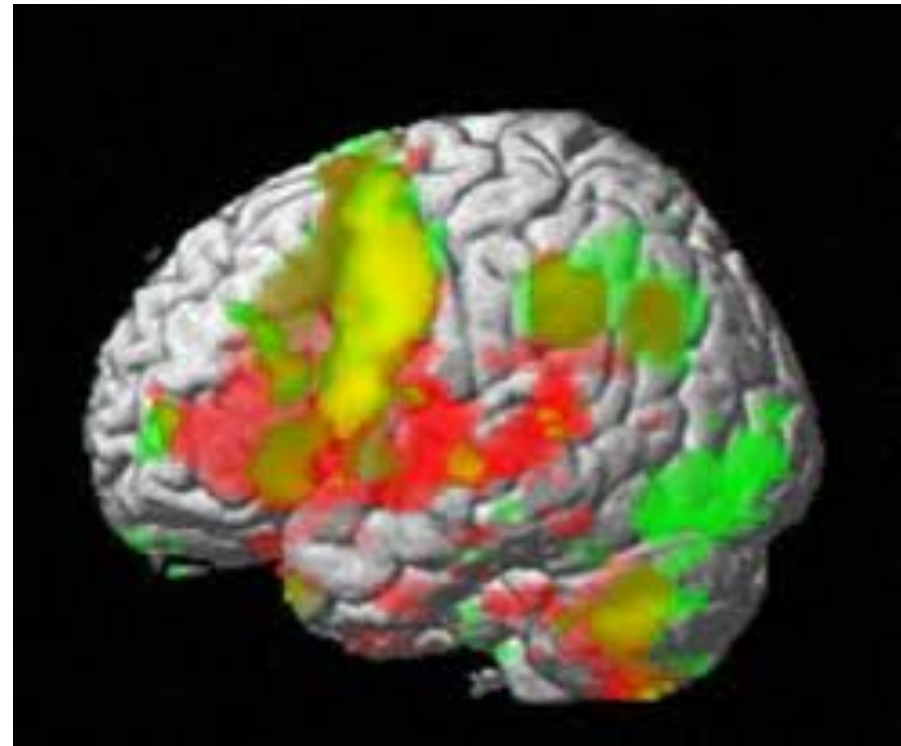
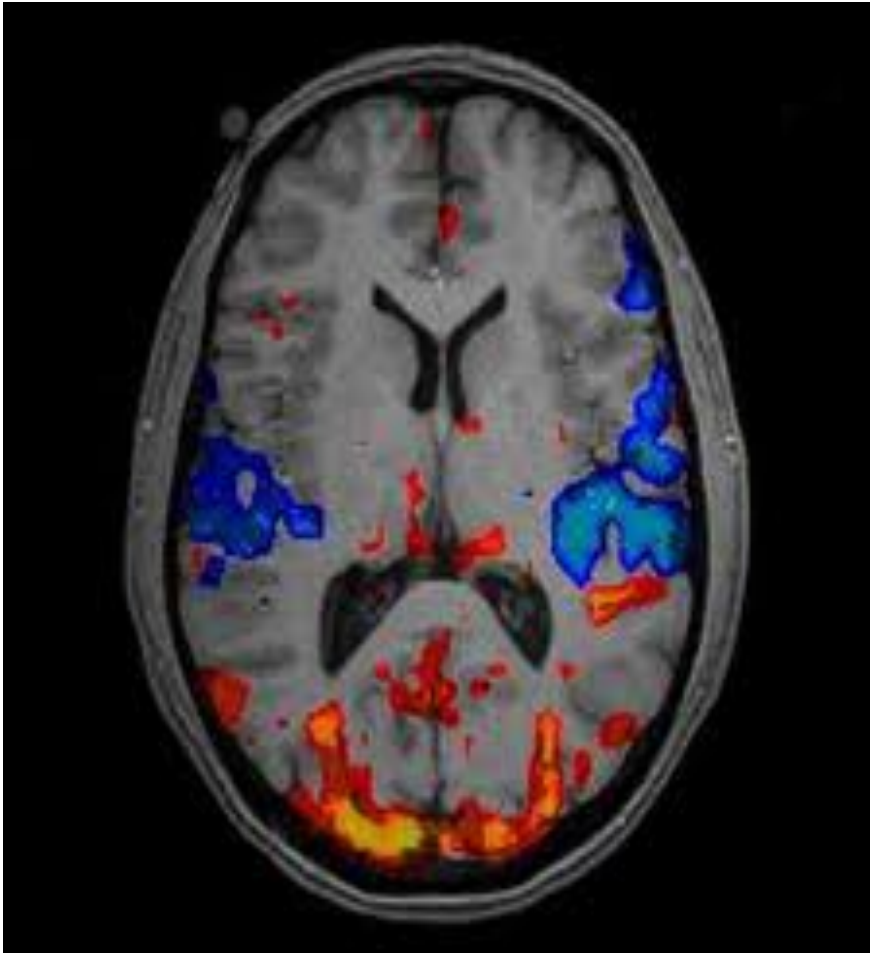
Tecniche di neuroanatomia funzionale

- Tomografia ad emissione di positroni (PET)
- Risonanza magnetica funzionale (fMRI)
- PET: registra la quantità di O^2 concentrato in una certa area cerebrale.
 - L'idea è che dove c'è maggior ossigeno c'è maggior attività
 - Può essere fatta mentre un soggetto esegue un compito (leggere parole) confrontando l'attività del cervello mentre il soggetto legge pseudo-parole

- fMRI
- Alta risoluzione spaziale, bassa risoluzione temporale
- Si basa sul fatto che diversi tessuti hanno diverse densità e quindi diversi campi magnetici
- Tessuti più ricchi di ossigeno e quindi che presentano attività mostrano un tempo di allineamento dei vettori più lento
- Si possono ottenere mappe tridimensionali delle diverse aree del cervello dalle quali si registra



fMRI



fMRI

- Buona rappresentazione topografica di distretti corporei mentre i soggetti eseguono azioni (la lingua, il braccio, la gamba eccetera)

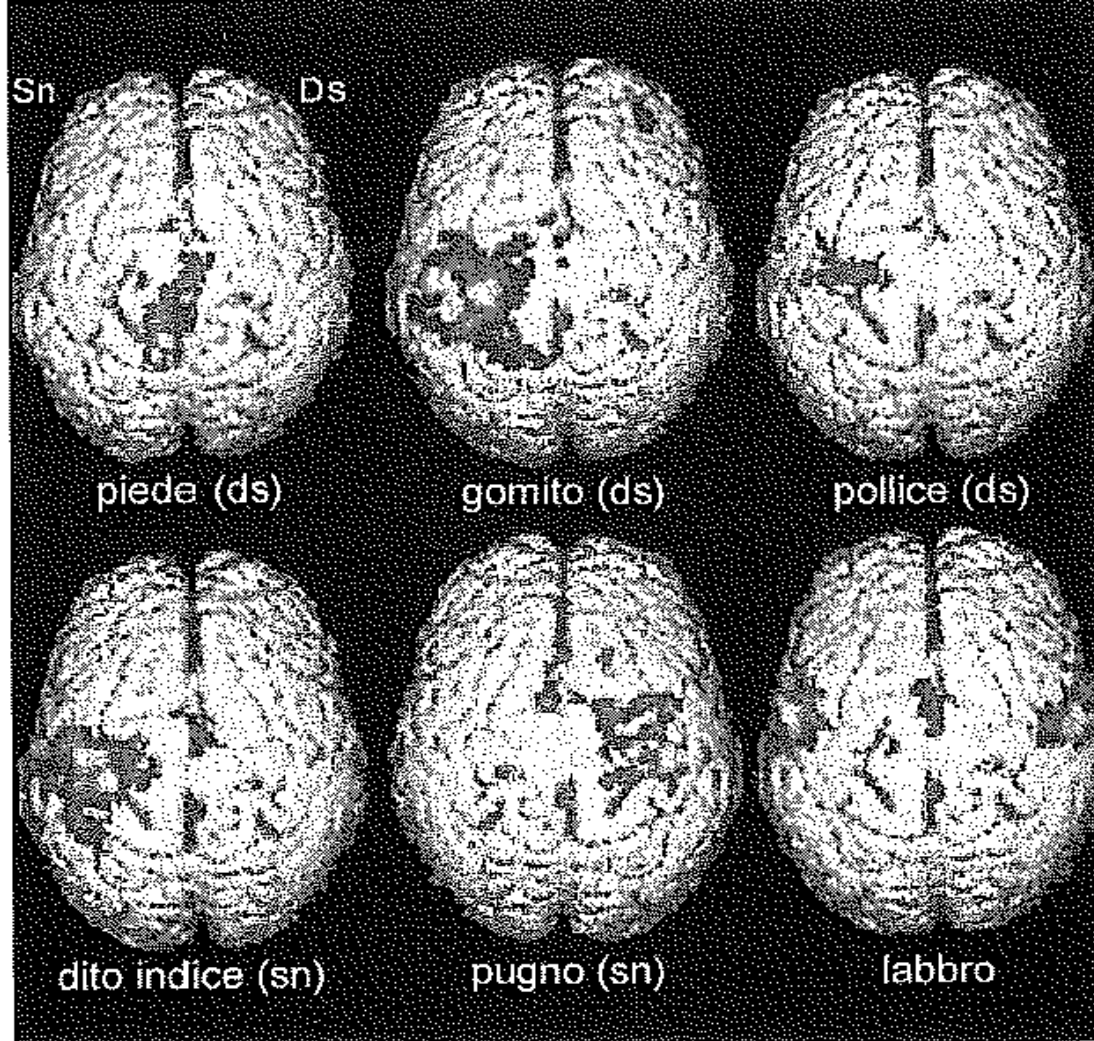


FIGURA 2.7

Esempio di come l'applicazione della risonanza magnetica nucleare abbia fornito evidenze sulla rappresentazione omuncolare nella corteccia motoria. Ciascuna immagine mostra la sede di attività evocata da movimenti dei distretti corporei indicati. Le aree più scure corrispondono alla maggiore attività. (Modificata, da Lotze et al., 2000.)

Magnetoencefalografia

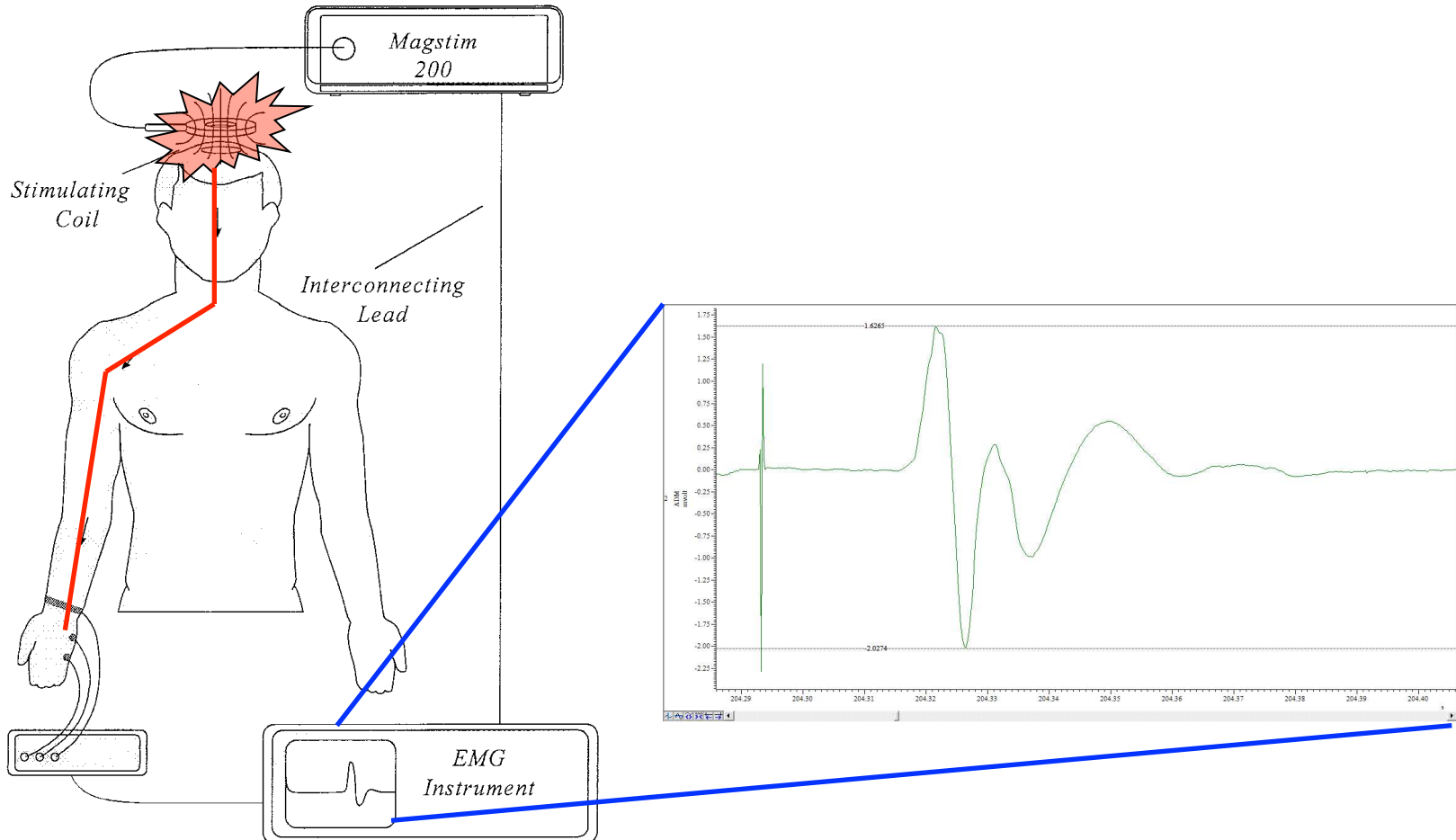


- Maggior risoluzione temporale
- E buona risoluzione spaziale
- Non consente però di registrare l'attività neurale di strutture profonde o sottocorticali

Stimolazione Magnetica Transcranica (TMS)

- Generatore di campi magnetici
- Particolarmente utilizzata per studiare il sistema motorio

La stimolazione magnetica transcranica



Procedura TMS



Punto ottimale di stimolazione per la corteccia motoria: è stato localizzato 5 cm lateralmente e 2 cm anteriormente rispetto a Cz.

Da questa posizione il coil veniva mosso a piccoli spostamenti di mm fino a rilevare un'ampiezza del potenziale del muscolo di almeno 50 microvolt

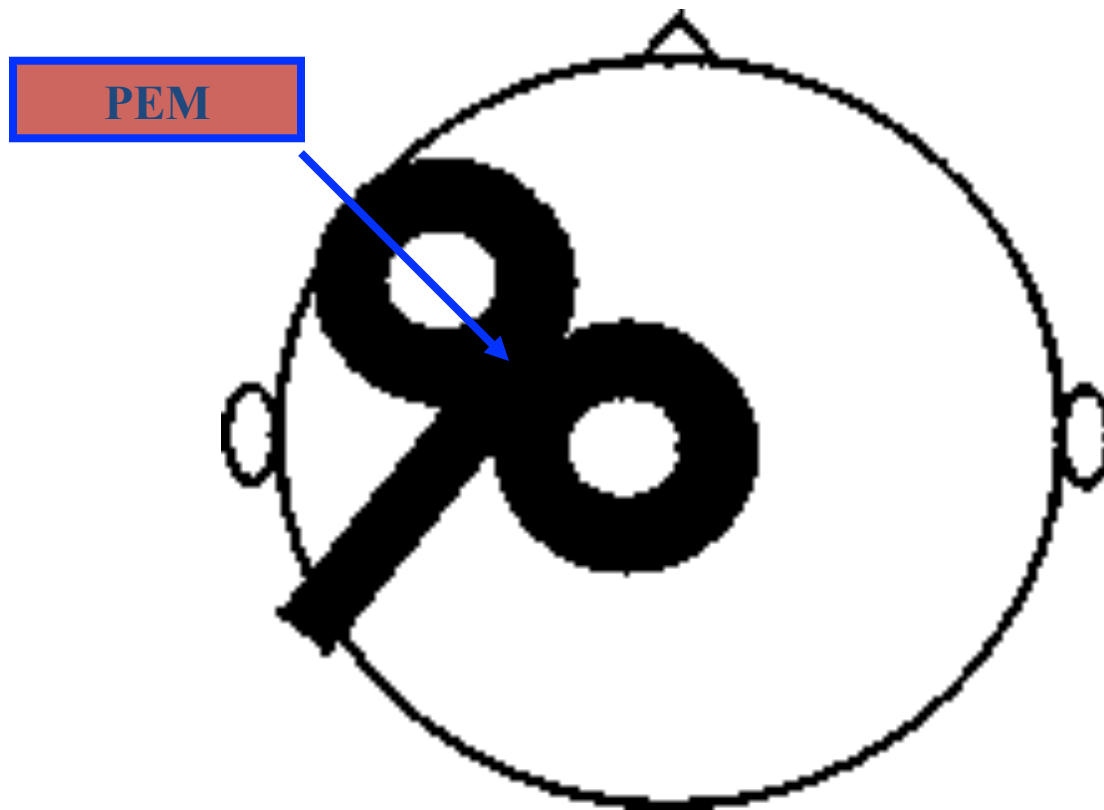
Soglia di stimolazione: intensità della Tms necessaria per evocare almeno 5 potenziali su 10 nei muscoli di interesse.

Durante il compito di osservazione abbiamo stimolato al 120% della soglia motoria.

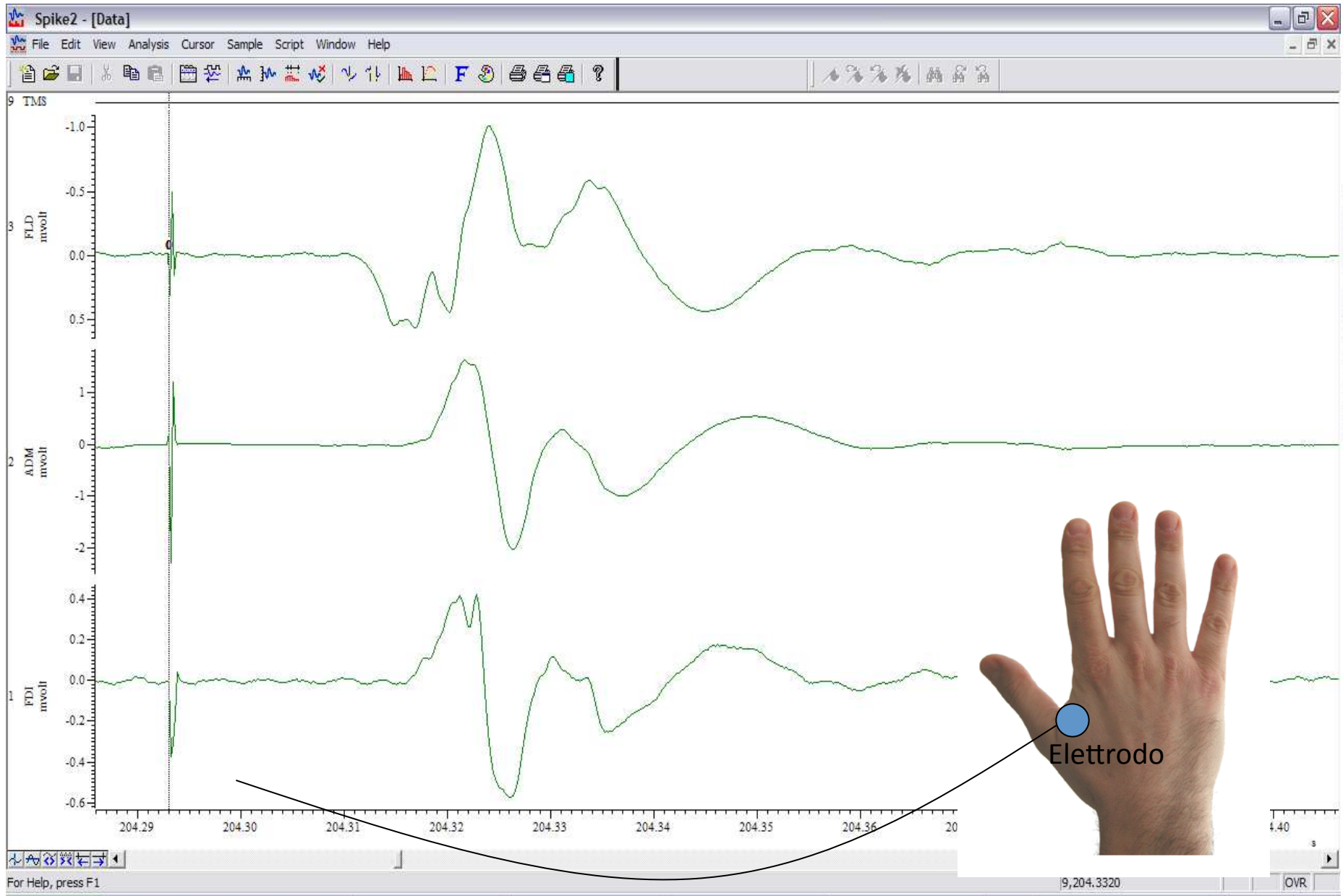
Tecnica

Stimolazione magnetica transcranica dell'area
motoria primaria dell'emisfero sinistro

Potenziali Evocati Motori

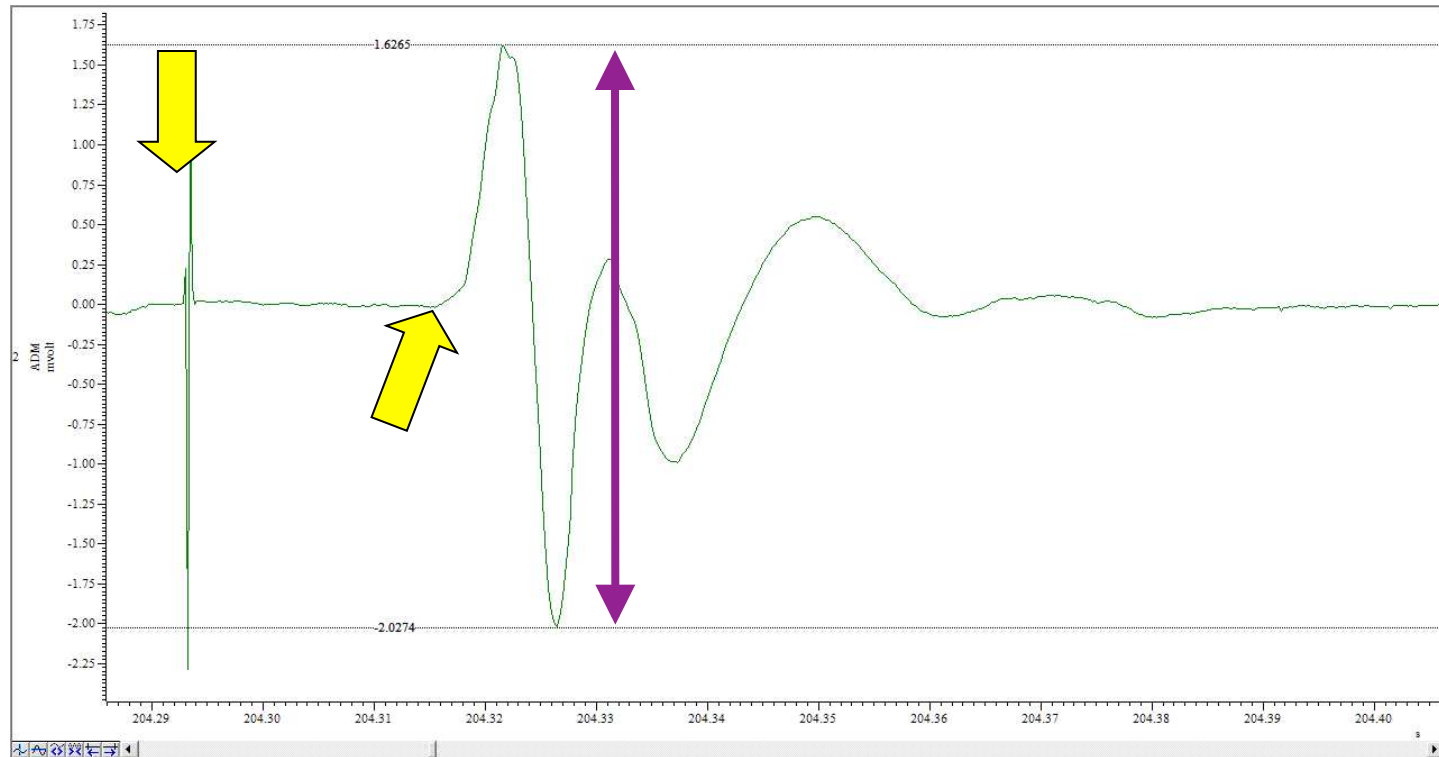


TMS (Stimolazione magnetica Transcranica)



TMS

- ▶ Viene rilevata l'ampiezza dei potenziali elettrici



Apprendimento e cervello

Abilità e capacità cognitivo-motorie

- Capacità: (predisposizione ad apprendere uno specifico compito) insieme di tratti stabili di ciascun individuo
 - In gran parte determinati geneticamente
 - Scarsamente influenzati dalla pratica e dall'esperienza
 - Supportano vari tipi di funzioni cognitivo-motorie
 - Esempi sono: destrezza manuale, sensibilità cinestesica, stabilità braccio-mano

- Abilità: la particolare competenza raggiunta in un determinato compito cognitivo-motorio
 - Esempi sono tutte le abilità acquisite ad esempio nello sport
 - Le abilità possono quindi essere modificate dalla pratica
 - Forniscono un indice di efficacia ed efficienza del gesto acquisito
 - Sono tante quanti sono i movimenti possibili
(differente in numero delle capacità: molto più basso)

Relazione abilità capacità

- Interazione complessa:
 - La mancanza di capacità potrebbe compromettere il raggiungimento di abilità eccezionali
 - Statura, configurazione corporea (vedi analisi dimensionale e capacità)
 - Avere una buona capacità non implica necessariamente la possibilità di sviluppare elevate abilità
 - Avere una elevata stabilità braccio-mano non implica diventare necessariamente abili fiorettilisti
- L'eccellenza nello sport deriva dalla combinazione ottimale fra capacità e abilità

Esiste un fattore g motorio?

- Fattore g motorio: esiste una abilità motoria generale in grado di mostrare un elevato transfer da una capacità all'altra?
- Correlazione fra individui che mostrano elevate capacità motorie diverse
- oppure
- Abilità motorie sono specifiche e basso è il transfer fra un tipo di abilità e un'altra

Forme di apprendimento e sistemi multipli di memoria

- Memoria dichiarativa: ricordo di parole, storie scene e nomi
 - Memoria per i fatti (memoria semantica)(sapere che roma è la capitale d'Italia)
 - Memorie per eventi (memoria episodica) (ricordarsi che cosa si è mangiato a cena)
- Memoria procedurale: apprendimenti percettivo-motori, apprendimenti associativi ed emozionali
 - Percettivi-motori corteccia motoria, gangli della base e cervelletto
 - Emozionali ippocampo amigdala (sottocorticali)

Memoria esplicita(dichiarativa)

Memoria implicita (non-dichiarativa/ procedurale)

- Memoria esplicita
 - Implica che quello che si è memorizzato sia rappresentato e verbalizzato
- Memoria implicita
 - La conoscenza non è comunicabile in modo verbale ma attraverso la sua esecuzione

Apprendimenti e memorie implicite hanno luogo in epoche dello sviluppo diverse da quelle nelle quali hanno luogo apprendimenti e memorie esplicite

- Bambini fra i 5 e 10 anni:
 - Buone prestazioni di memoria implicita a tutte le età
 - Miglioramento della memoria dichiarativa con l'età con il raggiungimento di una totale maturità a 10 anni
 - Maturazione delle conoscenze implicite precedono quelle esplicite

Invecchiamento normale e patologico influenzano in modo diverso apprendimenti (e memorie) impliciti ed espliciti

- La memoria esplicita si deteriora con l'età
- Quella implicita no

- Dichiarativa e
Procedurale

Feedback: KR (conoscenza del risultato)

- Esperimento Trowbridge Cason (1932)
 - Feedback: casuale, assente, qualitativo quantitativo (migliore prestazione feedback assente rispetto a qualitativo)
- KR (Newell, 1974) : produrre un movimento di una data lunghezza in 150 ms
 - KR e' importante all'inizio dell'apprendimento
 - Deve essere resa disponibile con una certa quantita'
 - Ha effetti di memoria

KR: dove è utile e dove no?

- KR deve essere relativa al compito motorio
- KR deve essere precisa
- KR se non e' rilevante e' negativa
- KR deve essere applicata con una certa quantita'

Problemi della KR

- La KR funziona prevalentemente per movimenti molto semplici (1DoF, puntamento e/o raggiungimento di un bersaglio)
- Aumentando la KR dopo un certo livello di apprendimento non aumenta la performance

Apprendimenti motori e condizioni di pratica diversificata

- Eseguire lo stesso movimento ma in condizioni di pratica diverse migliora l'apprendimento ed il suo mantenimento
- (Shea, Morgan 1979)

Lancio di pesi (Carson & Wiegand, 1979)

- Bambini 2 gruppi
 - Gruppo A: lancio di un peso
 - Gruppo B: lancio di diversi pesi
- Performance: lancio di un peso nuovo:
 - migliore gruppo B

Perche' una pratica piu' variegata funziona meglio?

- La KR come conoscenza dichiarata (che cosa si e' fatto) contiene poca informazione utile
- KP come conoscenza di procedura (come lo si e' fatto) funziona meglio
- differenza fra sapere che cosa e sapere come

KR e KP

- Wrisberg & Schmith (1975)
 - apprendimento motorio in assenza di KR:
ritrovare la posizione di un arto nello spazio
 - qui avviene una conoscenza del risultato a livello propriocettivo
- KP conoscenza procedurale
 - Newell et al. (1983)

KP: **Conoscenza Procedurale**

- L'informazione, per movimenti a molti gradi di libertà, deve essere specifica sulla modalita' di esecuzione del compito motorio

Lancio della palla (Kernodle, Carlton,1992):

– 4 tipi di informazione: KR, KP, KP+A, KP+E

Esperimento

- 48 soggetti (10-40 anni)
- Lancio di una palla (30g) il + distante possibile lungo una linea, mano non dominante
- Videocamera 4 sett. 12 sess. 12 prove (tot 600)
- KR → Distanza misura
- KP → Videotape del movimento
- KP+F → Focalizzare dove (video)
- KP+C → Cosa cambiare (video)

KP+A, KP+E

- KP+F → “Focalizza”:
 - Diverse Posture,
 - Diverse parti dell’arto superiore
 - Diverse fasi del movimento
- KP+C → “Cambia”:
 - Diversi allineamenti corporei,
 - rotazioni, posizione iniziale, ritarda e/o anticipa parti del movimento

Risultati

- Migliori:
 - KP+F (focalizzare)
 - KP+C (cosa correggere)

KP: Simulatore per lo sci

- **Cinque condizioni:**
 - veloce, lento, preferito, incrementato, controllo
- **Tre Variabili osservate**
 - Ampiezza, frequenza, armonia
- Risultati in ordine di performance:
 - Frequenza preferita
 - Controllo
 - Frequenza incrementata
 - Alta frequenza
 - Bassa frequenza



Apprendimento

- L'apprendimento per “scoperta autonoma” (Controllo) risulta essere migliore di almeno tre tipi di KP
- Il tempo preferito è il migliore in assoluto il che ci porta a tener conto dei “vincoli” dati dai parametri corporei
- Si apre l'ipotesi della costruzione dei movimenti appresi come ricerca individuale per l'apprendimento motorio fra vincoli e gradi di liberta'

Apprendimenti motori

- Aspetti fondamentali degli apprendimenti motori sono:
 - Accuratezza
 - Precisione
 - Velocità
 - Flessibilità
 - Eleganza
 - Controllo
 - Adattamento

Apprendimento motorio

- Una serie di processi associati con la pratica (o esperienza) e che conduce a cambiamenti permanenti nella capacità di effettuare determinati compiti
- Durante l'apprendimento motorio il cervello impara a fare una stima anticipata del grado di correzione richiesto per l'esecuzione ottimale
- Le previsioni sono fatte sulla base delle informazioni ottenute sul momento piuttosto che su quelle memorizzate

Ricordati che

- I movimenti controllati con retroazione sensoriale (feedback a circuito chiuso) possono essere corretti durante l'esecuzione
- I movimenti controllati direttamente (circuito aperto) possono essere migliorati solo tramite ripetizioni successive

- Attraverso la pratica i movimenti diventano:
 - Più veloci
 - Meno variabili
 - Più precisi
 - Più fluidi
 - Meno energia è richiesta per “comprendere” l’esecuzione
- Definizione di Fitts su stadi di apprendimento motorio:
 - Cognitivo
 - Associativo
 - Autonomo

Fitts

- Cognitivo: è utilizzata la conoscenza dichiarativa per apprendere regole e tradurle in atti (spesso chi apprende parla fra se e se)
- Associativo: il soggetto familiarizza con il compito e seleziona le informazioni rilevanti scartando quelle meno rilevanti
- Autonomo: attraverso la ripetizione il soggetto cambia il movimento rendendolo più fluido
- Quindi si inizia utilizzando conoscenze dichiarative e si finisce utilizzando conoscenze procedurali

Fasi dell'apprendimento

- Inizio apprendimento : dichiarativa
- Apprendimento avanzato: automatizzazione
 - la fase dichiarativa non è più utilizzata ma al contrario può essere anche negativa
 - esempio: spiegare quello che si fa mentre lo si fa!

Basi nervose degli apprendimenti motori

- Registrazione dell'attività neuronale in animali
 - Invasivi, microelettrodi, quindi registrazione precisa ma molto localizzata.
 - Struttura più studiata: area motoria primaria
 - Con apprendimento aumenta l'area corticale che rappresenta i segmenti corporei coinvolti nel compito motorio
 - L'aumento di aree corticali segmenti distali (dita) va a scapito delle aree corticali segmenti prossimali (braccio)
- Gangli della base
 - Con apprendimento più attive queste aree
 - Sembra siano coinvolte per facilitare un apprendimento automatizzato

Studi tramite potenziali evento-correlati e neuroanatomia funzionale nell'uomo

- Queste tecniche permettono di misurare l'attività di diverse aree corticali
 - Fattore importante per studiare l'apprendimento in quanto diverse aree sono coinvolte
 - EEG : 1 s prima dell'inizio del movimento a livello dell'area supplementare motoria si registra un potenziale negativo BP.
 - Questo potenziale è massimo quando i movimenti sono autogenerati rispetto a quelli che vengono eseguiti in risposta ad uno stimolo (sonoro ad esempio)

Movimenti imparati e non

- Durante apprendimento
 - Corteccia prefrontale
 - Corteccia premotoria
 - Corteccia parietale superiore
- Sequenze apprese
 - Corteccia supplementare premotoria
 - Cervelletto

Apprendimento osservazionale

- Avviene quando in virtù di una osservazione il comportamento cambia
 - Il cambiamento può essere sia positivo che negativo
 - In ogni caso sembra che l'osservazione di un gesto abbia una influenza sull'apprendimento
 - Affinchè l'apprendimento si instauri l'osservazione deve includere attenzione e memoria

Cervelli motori esperti

- Apprendimenti di particolari capacità
 - Musicisti
 - Lettori di braille
 - Badminton

- Tutti mostrano aree motorie specifiche più grandi!!!

Il limite del cervello motorio esperto

- Crampo dello scrivano
 - Mappatura delle dita caotica
 - Patologia che prende chi scrive a computer, musicisti

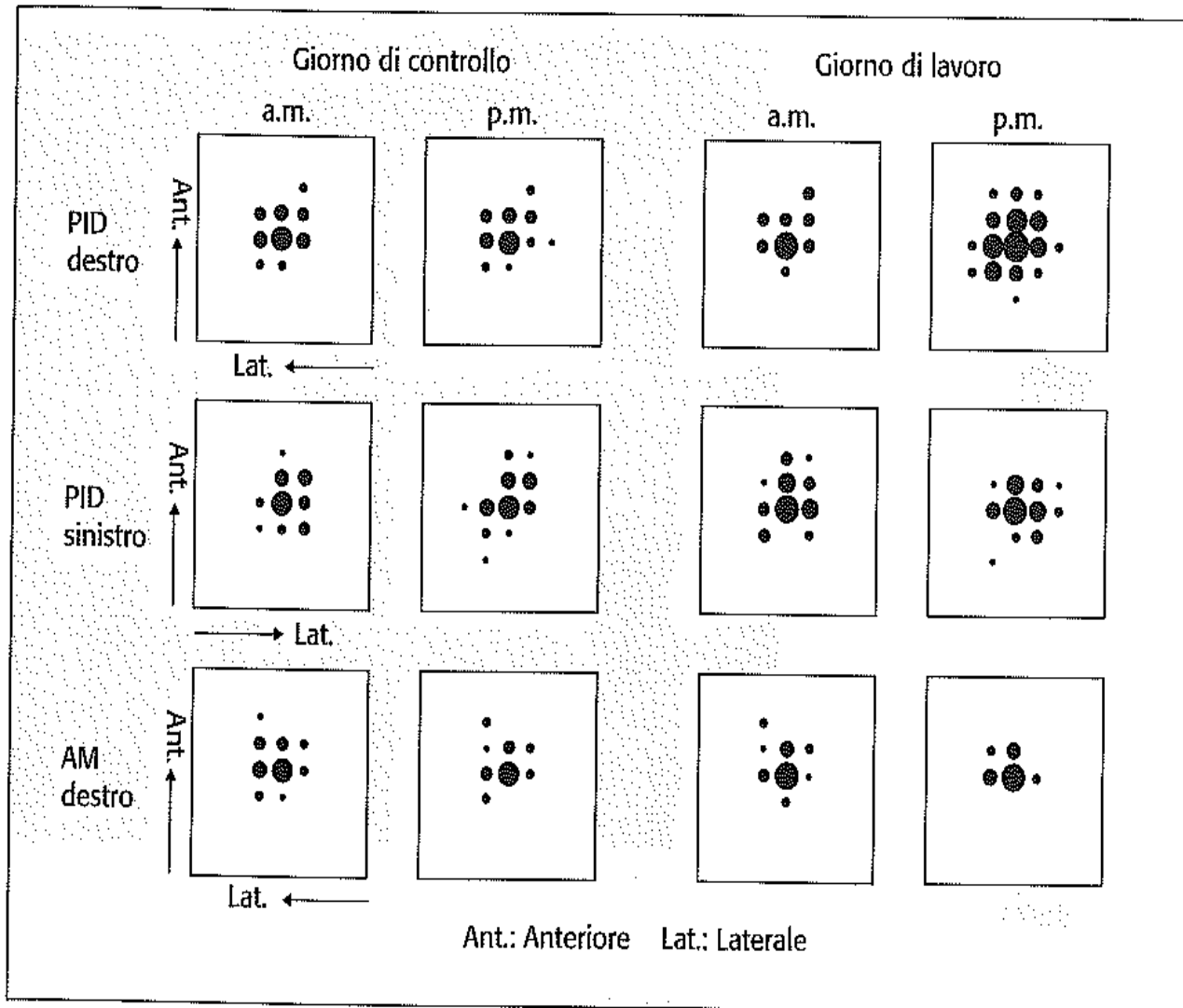


FIGURA 2.10

L'ampiezza dello spazio cerebrale (nella corteccia motoria primaria) dedicato al dito usato da interpreti di Braille (PID destro) è maggiore di quello dedicato alle dita che non lavorano (PID sinistro e AM destro). Inoltre, la rappresentazione aumenta dopo alcune ore di lavoro e torna alle dimensioni normali dopo alcune ore di inattività, suggerendo così che l'organizzazione del cervello è molto dinamica. *Legenda:* PID: primo interosseo dorsale; AM: abduttore del mignolo. (Modificata, da Pascual-Leone et al., 1995b.)

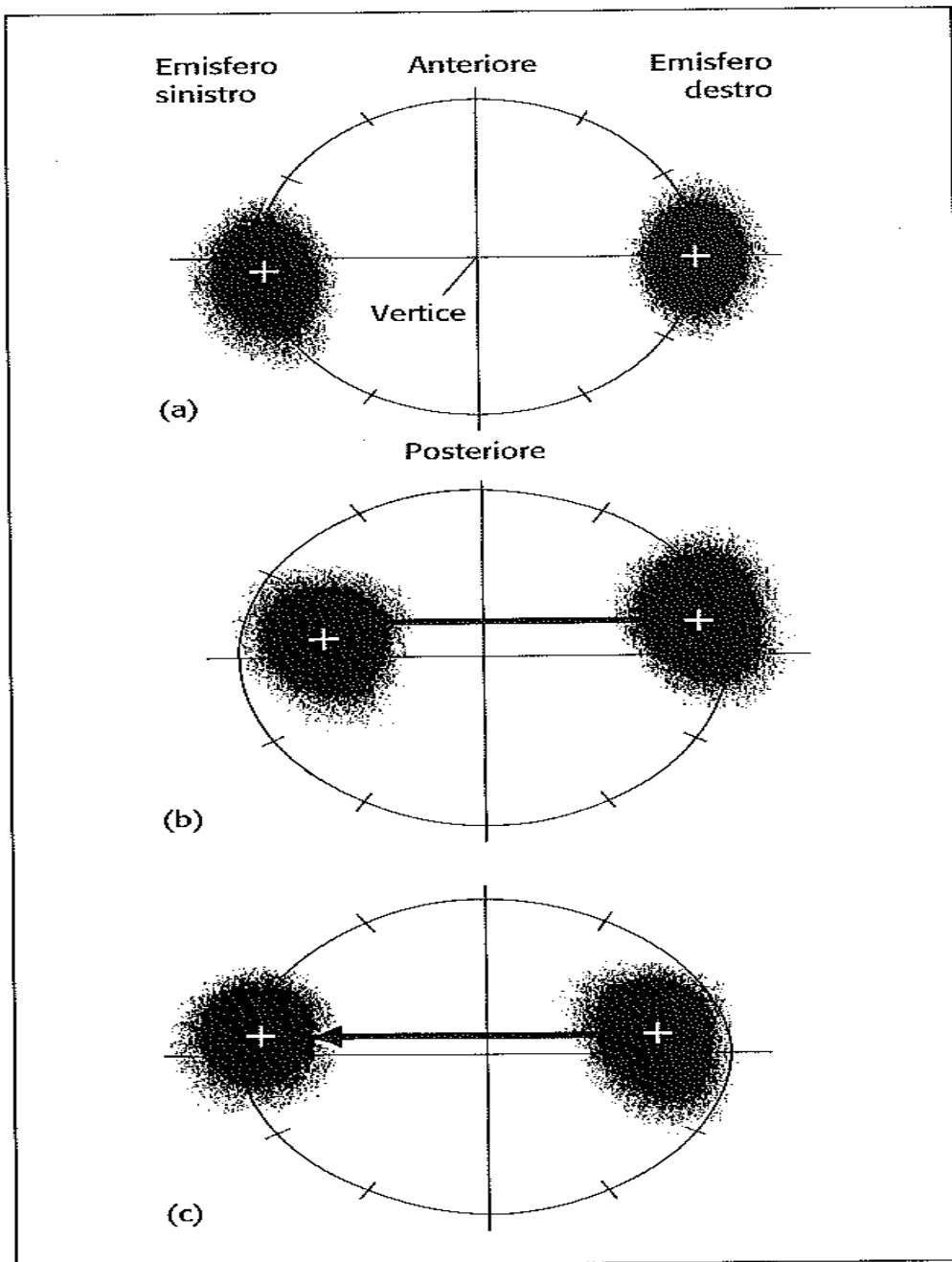


FIGURA 2.11

La tecnica della stimolazione magnetica transcranica ha consentito di evidenziare in giocatori esperti di badminton che la rappresentazione dei muscoli distali dell'arto superiore era maggiore nella corteccia controlaterale alla mano usata per tenere la racchetta. Questa asimmetria, assente in giocatori principianti (a), è molto evidente in due soggetti esperti, (b) e (c). Siccome entrambi gli atleti di cui sono mostrate le mappe motorie corticali sono mancini, lo spostamento areale si vede a carico dell'emisfero destro. (Modificata, da Pearce et al., 2000.)

Fattori in grado di influenzare apprendimento ed esecuzione motoria

- Trasferimento di apprendimenti: saper trasferire capacità affini una rispetto all'altra
 - Allenarsi a palleggiare solo con il piede aumenta anche la capacità di palleggiare con le ginocchia
- Trasferimento può essere:
 - Retroattivo- migliora compiti già appresi
 - Proattivo- influenza i ritmi di apprendimento di compiti che verranno appresi in futuro

trasferimento

- Si potrebbe pensare ad un miglior transfer per sport affini
 - A tennisti è sconsigliato giocare a ping pong prima di competizioni importanti
 - Apprendimenti sono molto legati al contesto
 - Persone allenate ad afferrare una palla ad occhi chiusi quando hanno fatto la stessa cosa ad occhi aperti la performance peggiorava
 - Quindi il transfer può essere considerato sia un guadagno ma anche una perdita

Trasferimenti percettivo-motori

- Esempio: Persone allenate a discriminare intervalli temporali definiti da stimoli acustici
- Prima e dopo allenamento percettivo i soggetti seguivano un allenamento motorio di tapping delle dita a intervalli temporali sia uguali che non a quelli percettivi
- Apprendimento percettivo migliorava la produzione motoria
- Fondamentale x allenamento sportivo in particolare quando l'atleta è infortunato

Immaginazione motoria

- Immaginazione esterna
- Immaginazione interna

- In terza persona
- In prima persona

- Visiva
- Cinestesica

Cervello motorio, controllo motorio e immaginazione del movimento

- Immaginare un tapping delle dita : + attiva l'area supplementare motoria (fondamentale per la pianificazione del movimento)
- Immaginare ed eseguire condividono in parte le stesse aree motorie

Immaginazione motoria

Proiezioni corticali

sagittale coronale



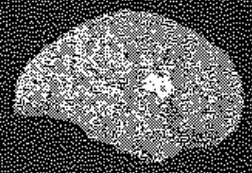
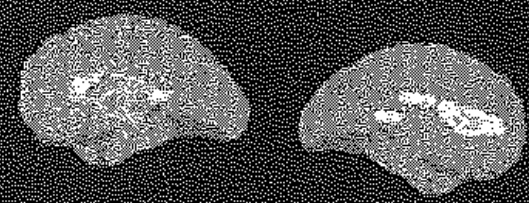
trasversale

sagittale coronale



trasversale

"Rendering" corticale

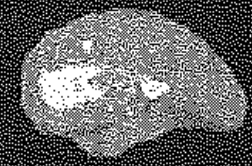


destro



sinistro

$p < 0,01$



destro



sinistro

$p < 0,05$

Immaginare che...

- Aumentare la forza
 - Aumentare la mobilità articolare
 - Aumentare lo sforzo
-
- Innesca processi fisiologici reali spesso subliminali ma efficaci nel cambiare il movimento

Immaginazione del movimento e delle prestazioni motorie

- Sia a livello comportamentale che a livello di imaging
- Pratica e immaginazione della pratica portano a cambiamenti reciproci

Disturbi nell'immaginazione

- Pazienti con lesioni alla corteccia parietale e parkinsoniani: immaginazione lenta tanto quanto il movimento realmente eseguito
- Sonno come trasferimento delle abilità motorie in percettive
- Sonno legato quindi anche all'apprendimento

Immaginare il tempo di esecuzione

- Atleti
- Alta riproduzione temporale
- Non atleti
- Più errori

Article

Duration of Mentally Simulated Movement: A Review

A. Guillot

C. Collet

Centre de Recherche et d'Innovation sur le Sport

Université Claude Bernard Lyon I

Villeurbanne, France

Cronometria mentale

- ▶ Il termine cronometria mentale si riferisce all'elaborazione dell'informazione del tempo trascorso processato a livello del sistema nervoso
 - (Posner, 1978).
- ▶ Esperimenti di cronometria mentale hanno mostrato che l'equivalenza temporale tra movimenti immaginati ed eseguiti non è sistematica ma dipende da diversi fattori
 - (A. Guillot, C. Collet 2005)

Questi fattori sono

- ▶ Movimenti ritmici e discreti
- ▶ Intensità dell'attenzione richiesta
- ▶ Difficoltà del compito
- ▶ Livello di esperienza

Durata simile

TABLE 8. Simulated Movement Duration

Study	Task	Findings
<i>Similar actual and imagined movement durations</i>		
Bart & Hall (1992) Borham et al. (1998) Dwyer et al. (1999, Experiment 1) Dwyer & Michal (1999) McInerney & Moran (1996a, 1996b) Mousavi (2002) Oishi et al. (2000) Papadimitriou, Papan, et al. (2002) Ullrich (1982) Waters & Rubin (1998)	Bowling Walking Darning Rolling Canoe, Kayak Paddle Skating Rolling, Darning Sking Darning	<p><i>Motor imagery preserved the temporal characteristics of movement. Durations of simulated movements were similar to those recorded during actual performance. The timing of execution and mental simulation of highly automatic and cyclical movements was found to involve mechanisms.</i></p>
Bartholomew (1999) Duchesneau-Melanson et al. (1999, 1992)	Cycling Skating	<p><i>Although simulated movement was underestimated when compared with actual performance, the best subjects simulated the action mentally at a tempo very close to the actual time.</i></p>
Reed (2002)	Springboard diving	<p><i>Elite divers' timing of mentally simulated movements closely approximated actual performance.</i></p>

Sottostima

Underestimation of actual movement duration during motor imagery

Verilley et al. (1996)	Climbing	<u>Simulated movement duration was underestimated because athletes represented only dynamic phases of the task.</u>
Mathotakis (1998) Boyd (2002)	Skyskiing Springboard diving	<u>In accordance with results of previous studies by Denis et al. (1989) and Isaac (1992), the less experienced athletes had more difficulty in representing the movement accurately. They simulated the series of figures faster.</u>
Collet et al. (1999) Dechenne-Molinais et al. (1991, 1992)	Weightlifting Shooting	<u>Participants were required to mentally simulate preparation, concentration, and execution phases. Preparation and concentration phases were underestimated. Participants imagined finding optimal conditions of preparation more rapidly during motor imagery than during actual performance.</u>
Cibulka & Fournier (2011) Munoz et al. (2008)	Gymnastics Cliff Softball Swimming Tennis Track Volley-ball Wrestling	<u>Because participants often used motor imagery just before the competition, simulated movement duration was underestimated when compared with actual duration. That time constraint was the main cause involved by participants to justify accelerating the rhythm of imagery.</u>

Sovrastima

Overestimation of actual movement duration during motor imagery

Calmels & Fournier (2001)	Gymnastics	Participants did not reproduce the close time estimation that they experienced during actual performance. Simulated movement duration increased with task difficulty.
Ceritelli et al. (2000)	Pointing	
Decety & Boisson (1990)	Walking	
Decety & Jeannerod (1996)	Walking	
Decety & Lindgren (1991)	Writing, Drawing	
Decety et al. (1989), Experiment 2	Walking	
Decety et al. (1988)	Drawing	
<hr/>		
Coello & Orliaguet (1992)	Golf putting	Mental representation duration of rapid and complex attention-demanding movements was overestimated when compared with actual performance.
Collet et al. (1999)	Weightlifting	
Guillot & Collet (2004; present results)	Tennis, Gymnastics	

Riflessioni

- ▶ La natura del compito influenza il tempo stimato
- ▶ Il livello delle abilità motorie influenza il tempo stimato
 - Sia la sottostima che la sovrastima possono essere aggiustate dall'apprendimento (allenamento delle capacità cognitive e motorie)

Applicazioni

- Patologie neuromotorie
- Atleti

Strutture neurali coinvolte:

- Corteccia motoria
- Corteccia pre-motoria
- Gangli della base
- Cervelletto

Esperimento

Visual Imagery

Motor Imagery

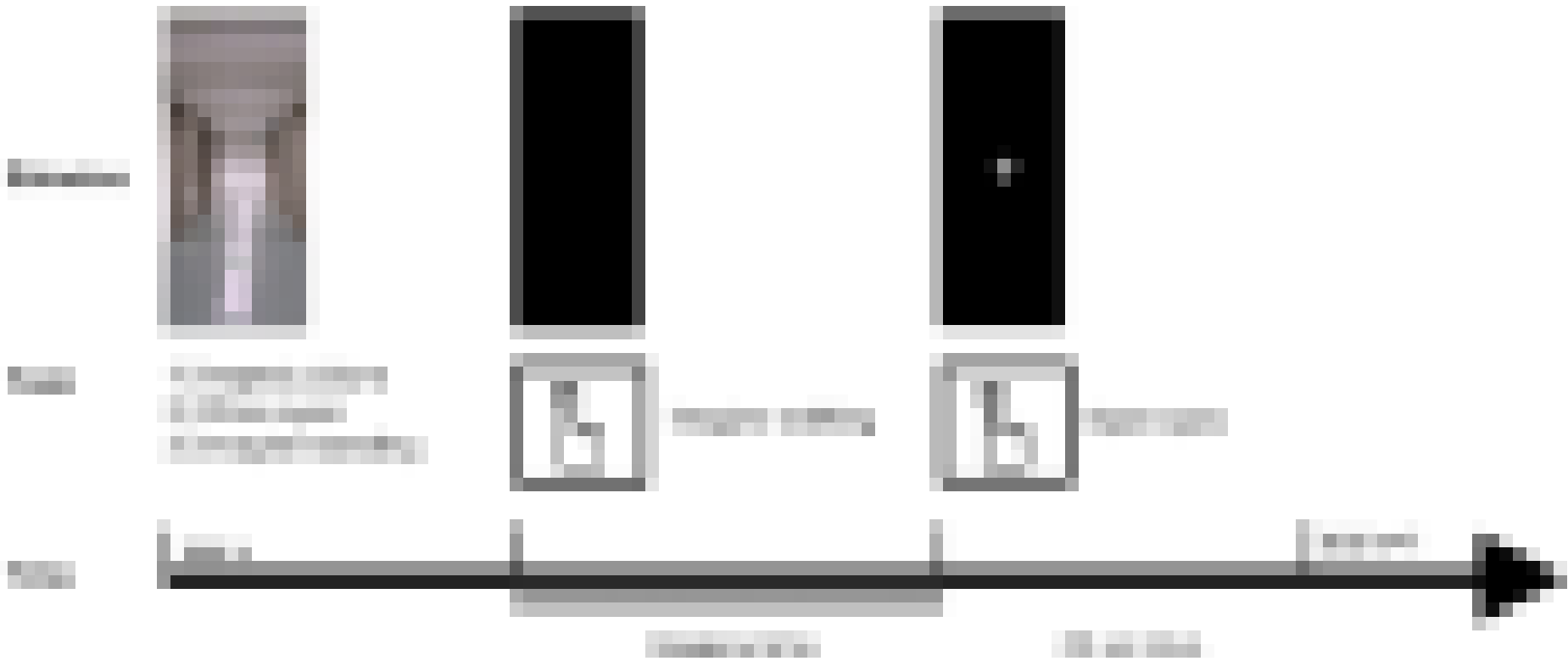
Broad
27 cm



Narrow
9 cm

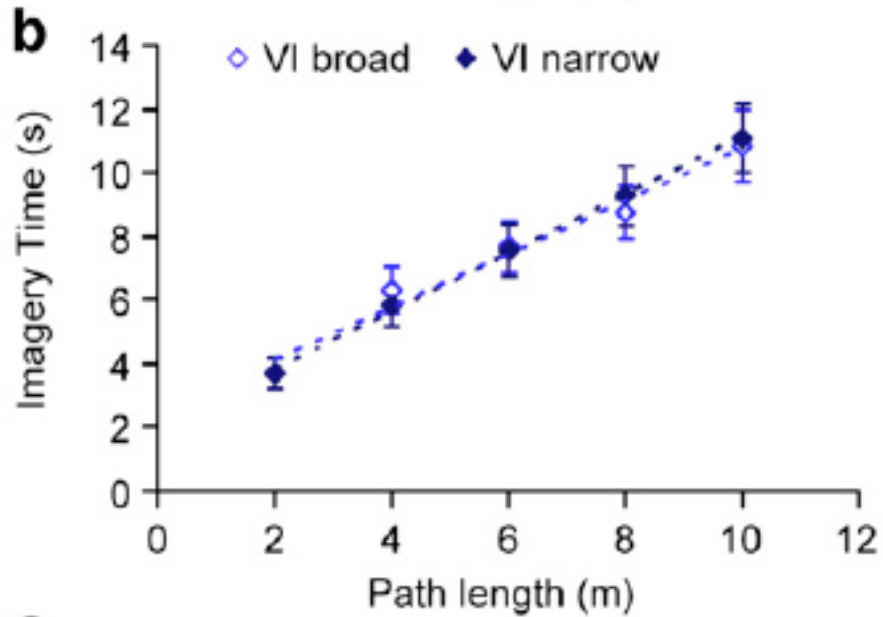


Compito

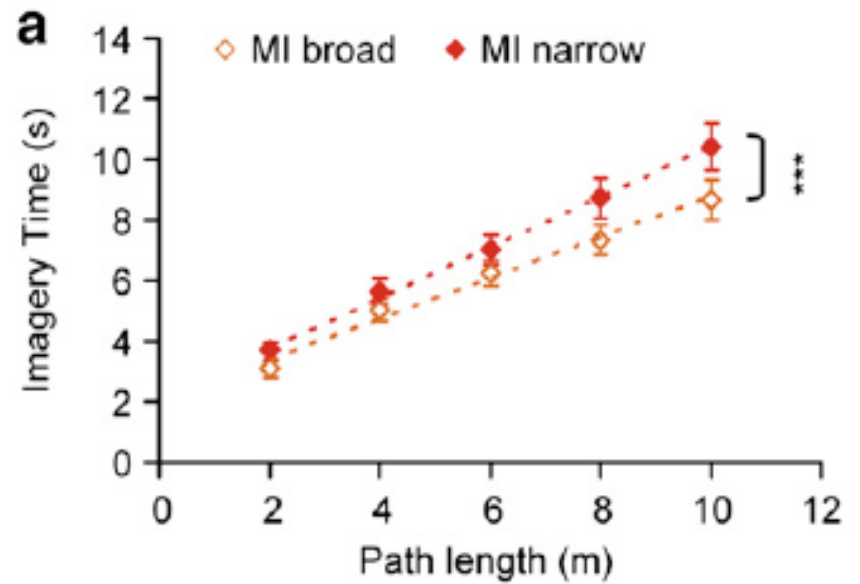


Risultati

Visiva

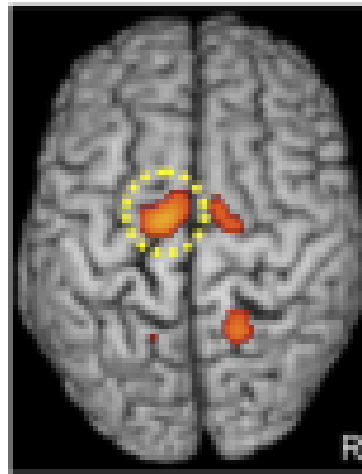
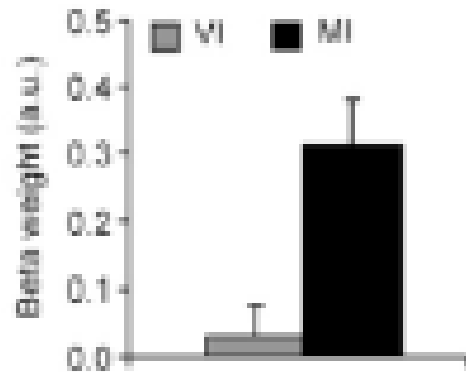


Motoria Imagery



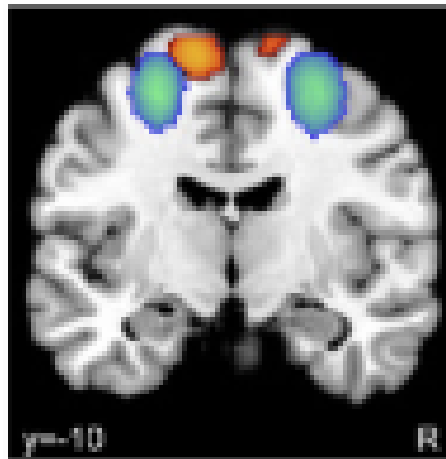
Attività cerebrale

a Left dorsal premotor cortex

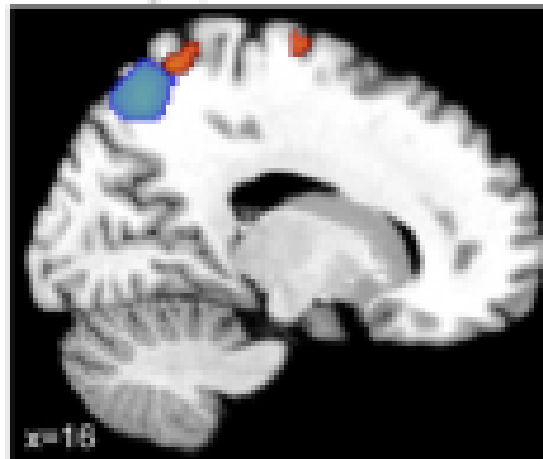


b

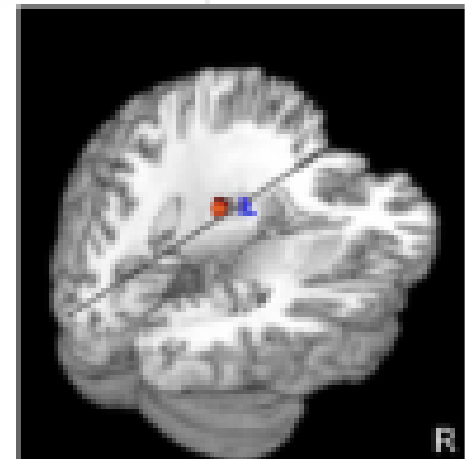
Premotor cortex



Right posterior parietal



Left putamen



MI > VI (current study)

MI of hand rotations (de Looze et al. 2006)