



ALLENARE IL CERVELLO? IL CONTRIBUTO DELLE RECENTI SCOPERTE DI NEUROSCIENZE PER L'APPRENDIMENTO MOTORIO

anna m. borghi

Dipartimento di Psicologia, Università di Bologna e
Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione,
Roma

Web-site: <http://laral.istc.cnr.it/borghi>



www.emco.unibo.it, www.rossiproject.eu



SCHEMA DELLA PRESENTAZIONE

1. cognizione embodied
2. apprendimento motorio
3. imitazione e apprendimento



SCHEMA DELLA PRESENTAZIONE

1. **cognizione embodied**
2. apprendimento motorio
3. imitazione e apprendimento



COGNIZIONE EMBODIED

- a. percezione, azione, cognizione.
- b. vedere oggetti e agire: affordances.
- c. vedere altri e agire: simulazione.
- d. simulazione e linguaggio



COGNITIVISMO. S-MENTE-R

STIMOLI

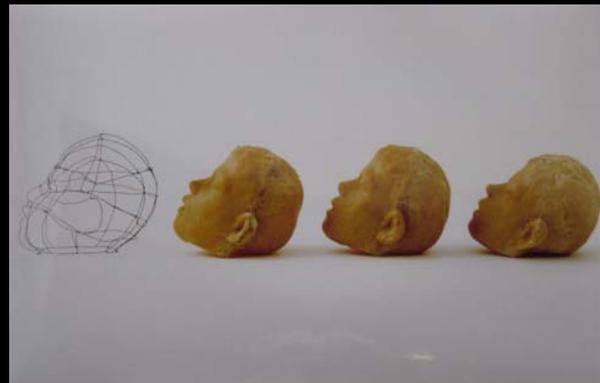
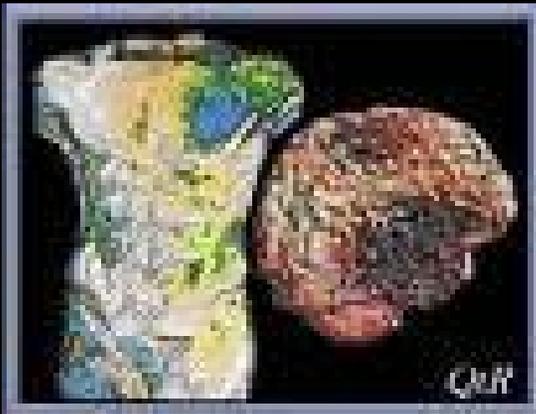


RISPOSTE

Influenze:

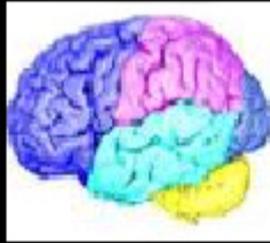
dualismo cartesiano

informatica

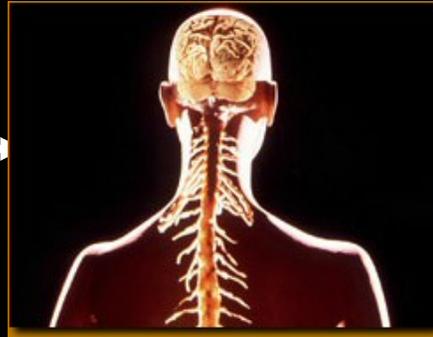


Beatrice Pasquali

COGNIZIONE "EMBODIED". S-cervello/corpo-R



STIMOLI



RISPOSTE



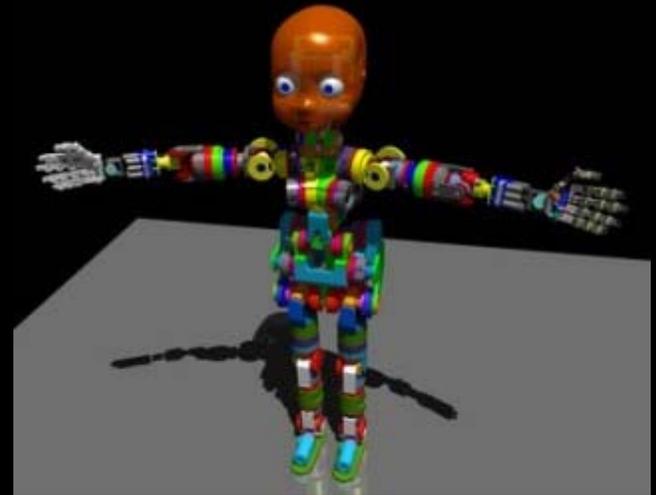
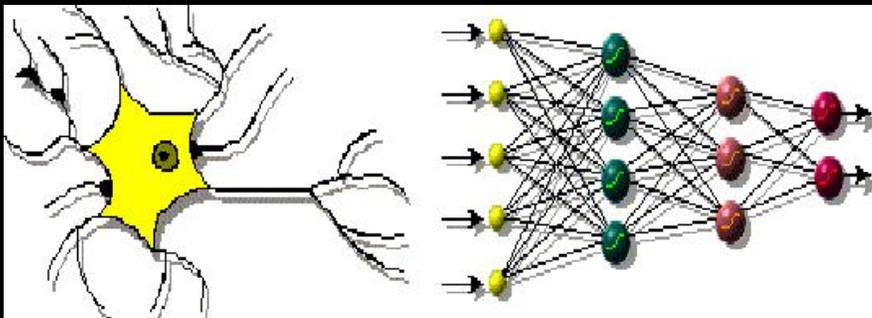
Zimmerfrei

RETI NEURALI, ROBOTICA

Rete neurale: modello semplificato del sistema nervoso –
Struttura dinamica capace di apprendere e autoregolarsi.

Robotica: forma di “embodiment” –

Robot il cui cervello e' modellato tramite reti neurali



Piattaforma iCUB

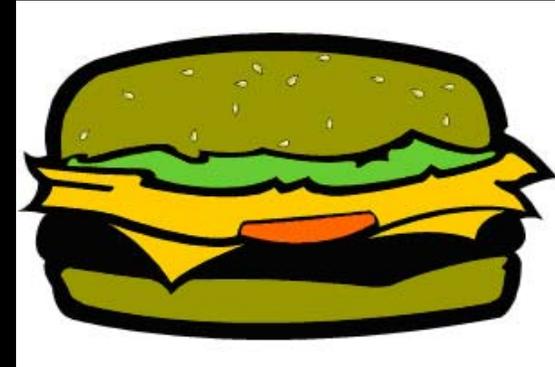
1. PERCEZIONE, AZIONE, COGNIZIONE

Teorie tradizionali:

Azione

Cognizione

Percezione



- Percezione e azione periferiche
- Relazione lineare tra percezione e azione
- Percezione invariata e indipendente dal tipo di risposta motoria (oculomotoria, manuale etc.)

1. PERCEZIONE, AZIONE, COGNIZIONE



embodied cognition –

Circolarita' percezione-azione-cognizione.

La cognizione e' "grounded" nei processi sensorimotori.

Knowledge is for acting. (M. Wilson, 2002)

Being there: **dare corpo alla mente** (Andy Clark, 1999)

1. PERCEZIONE, AZIONE, COGNIZIONE

Es. **Teorie ideomotorie** (es. Hommel et al., 2001):
più percezione-azione sovrapposte, più
semplice il riconoscimento (Hommel et al., 2001).



Es. **battito di mani**: Flach et al., 2003.

Es. **danza**: Calvo Merino et al, 2005.

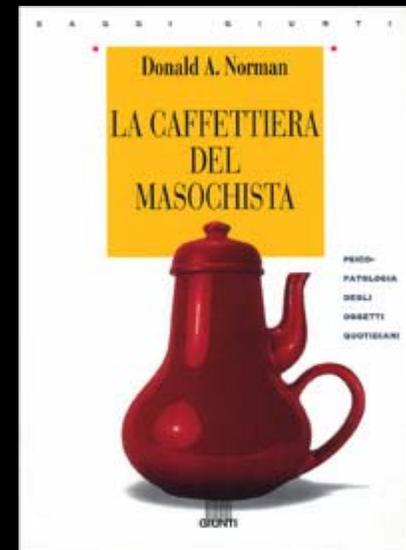
Es. **genere**: Calvo Merino et al, 2006.



2. VEDERE OGGETTI E AGIRE: AFFORDANCES

Nozione di affordance (Gibson, 1979).
L'ambiente si offre al soggetto.

riguardano **SIA** la percezione che l'azione sono **SIA** soggettive che oggettive
riguardano **SIA** l'ambiente che gli individui sono **variabili**



2. VEDERE OGGETTI E AGIRE: AFFORDANCES



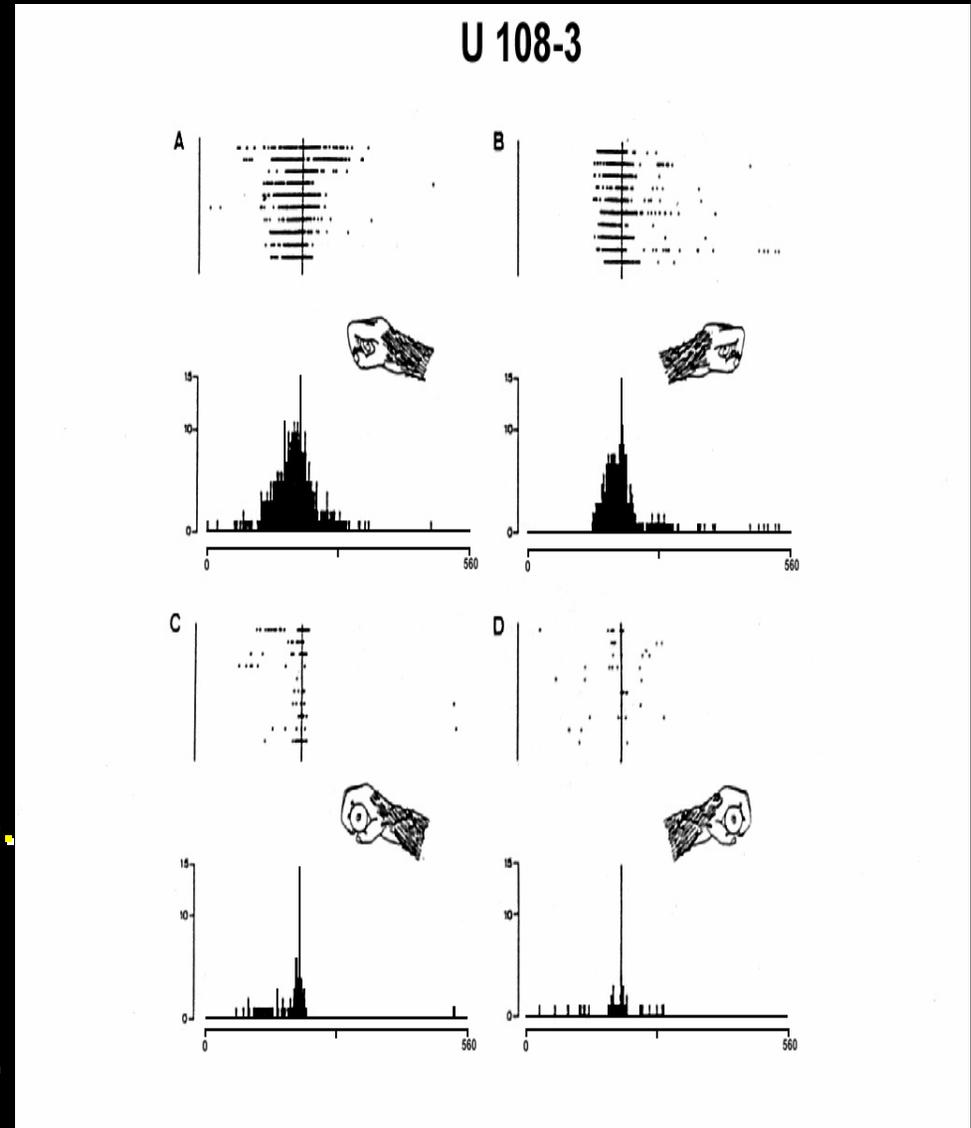
Scalare una
parete:

Le
affordances

Neuroni canonici:

scaricano durante
l'esecuzione di azioni
orientate a scopi.

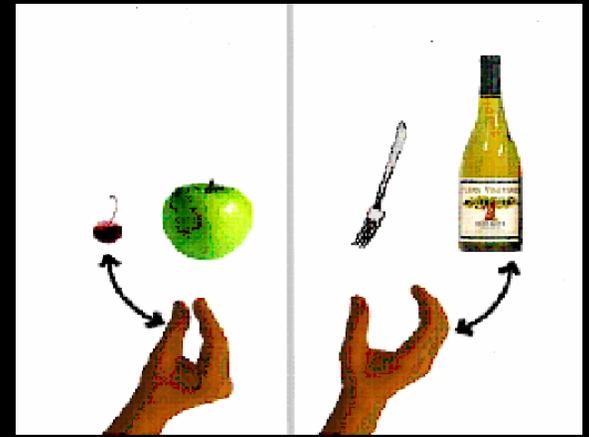
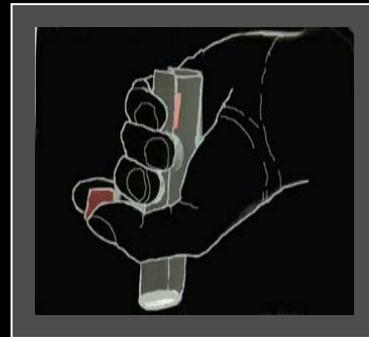
Rispondono anche
all'osservazione di
**oggetti congruenti con
l'azione che codificano.**
Rispondono alle
proprietà' degli oggetti.



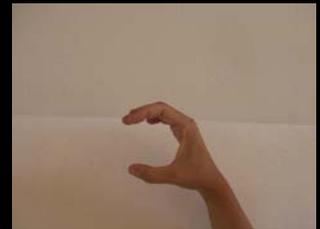
2. VEDERE OGGETTI E AGIRE: AFFORDANCES

Evidenze neurali e comportamentali indicano che **la visione** di un oggetto **potenzia le sue affordances**. La visione attiva il sistema motorio. **SIMULAZIONE.**

Tucker & Ellis, 2001; 2004



Borghi, Bonfiglioli, Lugli, Ricciardelli,
Rubichi & Nicoletti, 2007



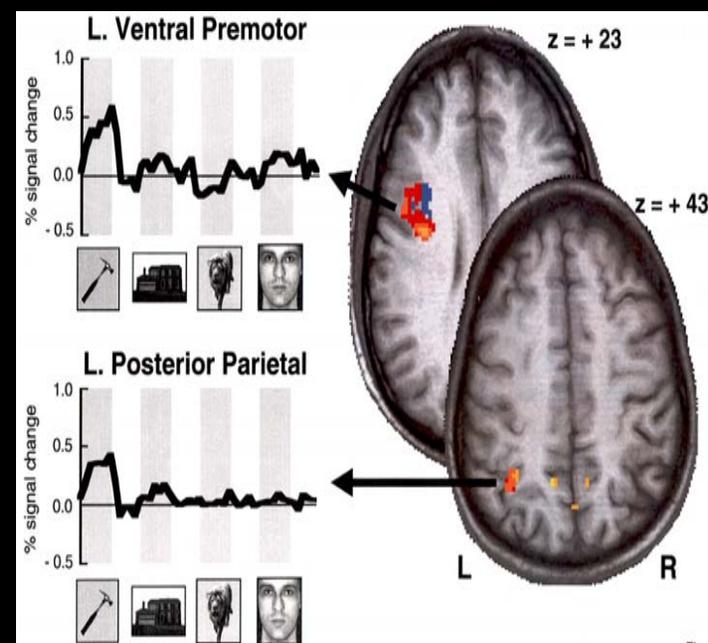
2. VEDERE OGGETTI E AGIRE: AFFORDANCES

Chao & Martin, 2000

Visione di **oggetti afferrabili** (es. Martello): attivazione nelle aree premotorie e parietali per afferrare gli oggetti

Non per oggetti non afferrabili (es. Edifici, animali, facce)

Kellenbach, Brett, & Patterson (2003)



2. AFFORDANCES: DIVERSE VIE NEURALI?

affordances: necessario riconoscere gli oggetti?

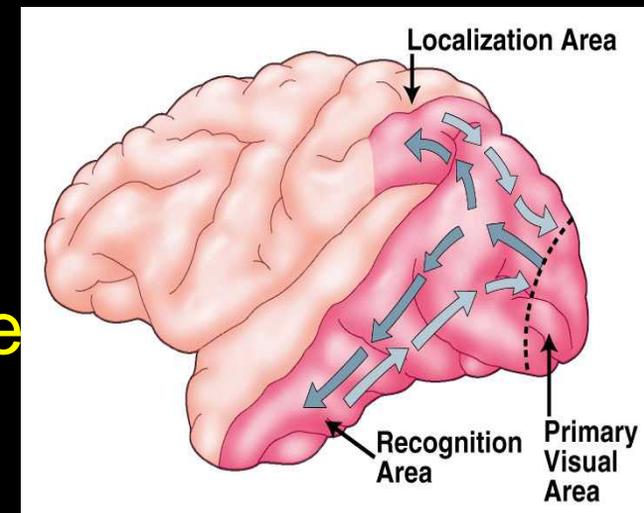
via diretta **visione-azione**, sistema dorsale **HOW** (affordances) –

via indiretta **visione-semantica-azione** sistema **ventrale WHAT** (riconoscimento di oggetti) –

Tipi di affordances: azione / funzione? V. doppie dissociazioni.

Inconsapevole?

HOW



Consapevole?

WHAT

3. VEDERE ALTRI E AGIRE: SIMULAZIONE

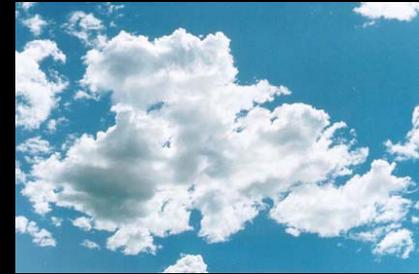


Vedere
scalare
qualcuno:

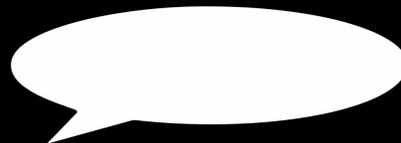
La
simulazione

3. VEDERE ALTRI E AGIRE: SIMULAZIONE

SIMULATION IS NOT DOING:



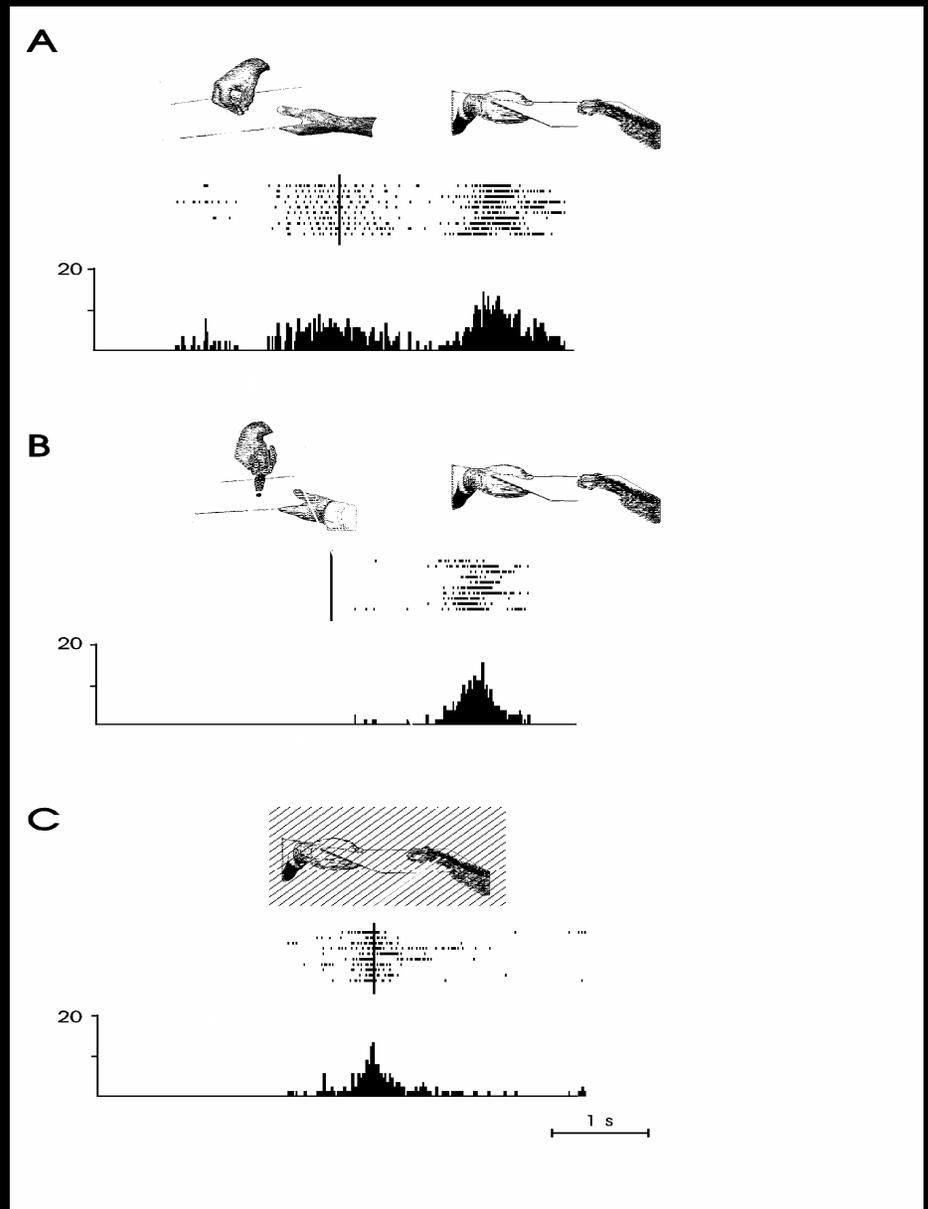
- ☀ si tratta di **un'attivazione più debole**;
 - ☀ comporta in contemporanea l'attivazione di un **meccanismo per "bloccare"** l'output motorio;
 - ☀ dato che muscoli e arti non si muovono, la simulazione **manca del feedback sensoriale** che si ha durante l'esecuzione di compiti motori.
- Base neurale: neuroni canonici e neuroni mirror



Neuroni mirror:

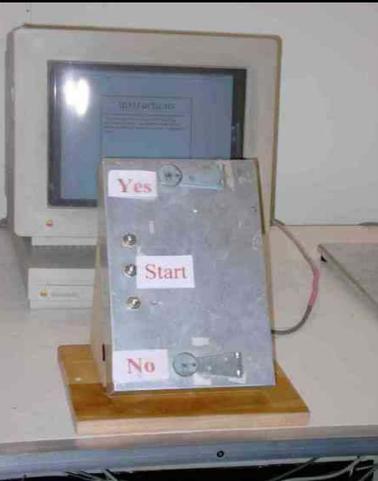
scaricano durante
l'esecuzione di azioni
orientate a scopi.

Rispondono anche
all'osservazione di
azioni eseguite da altri:
risonanza motoria,
simulazione



Rizzolatti et al., 1996

4. SIMULAZIONE, LINGUAGGIO E SISTEMA MOTORIO



Frase che descrivono oggetti

Es. :C'e' una bambola davanti a te

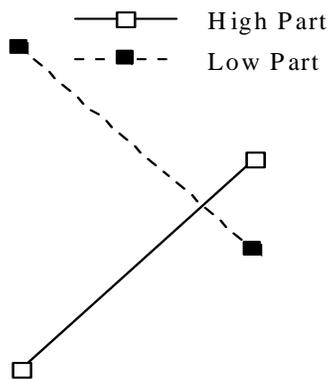
Seguite da nomi

Compito: decidere se il nome rimanda ad una parte dell'oggetto

testa – piedi SI' , asilo NO

Parti alte vs. parti basse

Risposta andando verso l'alto vs. il basso



4. SIMULAZIONE, LINGUAGGIO ED EFFETTORI



“Calciare la palla”

“Lanciare la palla”

Buccino, Riggio et al., 2005

Scorolli & Borghi, 2007

4. SIMULAZIONE E LINGUAGGIO: SCOPI ED EFFETTORI

azioni codificate in termini distali,
ovvero degli **scopi** (v. Hommel, 2001)

o anche (e in che misura) in termini
prossimali, ovvero dei “mezzi” con cui
compiamo le azioni – per esempio con
che **effettore** (mano, piede etc.)?



TEORIA AAP

bocca

*masticare la
caramella*

masticare
la caramella



mano

TEORIA AAP

mano

scartare
la caramella

*scartare la
caramella*



mano

TEORIA EMBODIED

bocca

masticare
la caramella

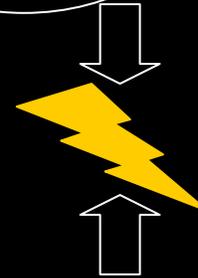


mano

TEORIA EMBODIED

mano

scartare
la caramella



mano

4. SIMULAZIONE, LINGUAGGIO ED EFFETTORI

Compito: giudicare se una frase e' sensata rispondendo con la bocca (microfono) o con il piede destro (pedale). ⇒ l'informazione relativa al tipo di effettore non è rilevante per il compito

- ✓ frasi relative ad azioni con **le mani e con la bocca** (es. *scartare / succhiare la caramella*) -I blocco-
- ✓ frasi relative ad azioni con **le mani e con i piedi** (es. *cogliere / calpestare il fiore*) -II blocco-



Scorolli & Borghi, *Brain Research*, 2007

Borghi & Scorolli, *Human Movement Science*, 2009

RISULTATI

Vantaggio delle **frasi di bocca** rispetto a frasi di mano più ampio nelle risposte con il **microfono** che con il pedale.

Simmetricamente vantaggio delle **frasi di piede** rispetto a frasi di mano più ampio nelle risposte con il **pedale** che con il microfono.

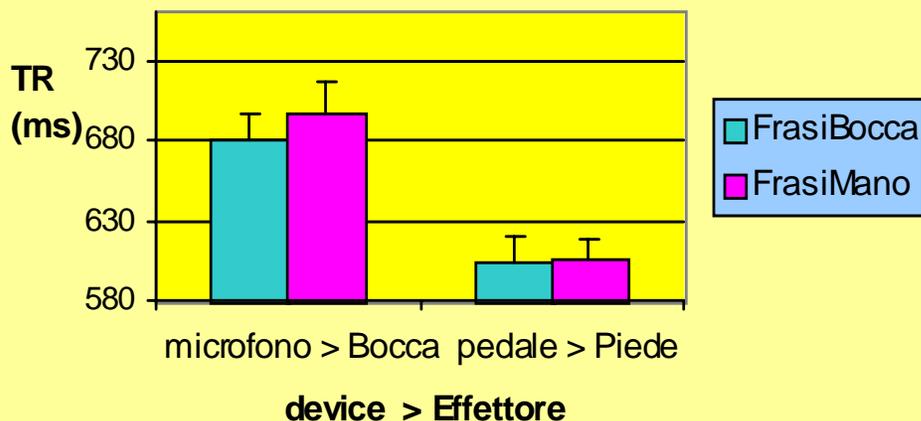
scartare la caramella

cogliere il fiore

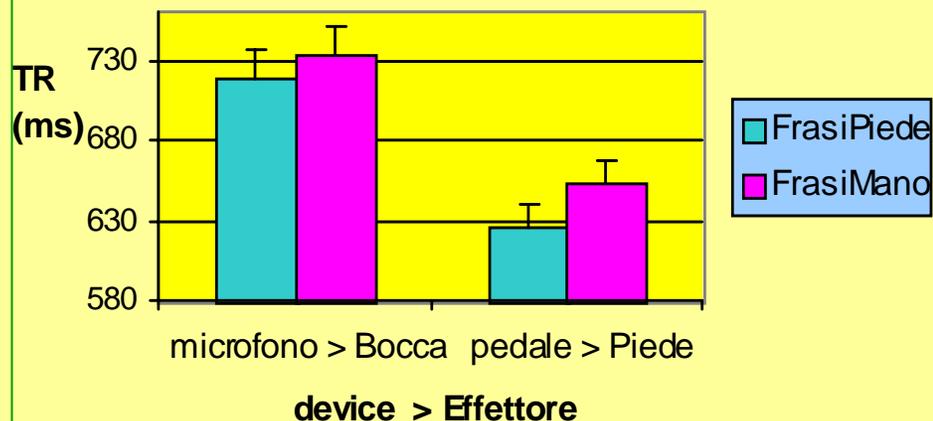
succhiare la caramella

calpestare il fiore

Blocco Bocca - Mano



Blocco Piede - Mano



4. SIMULAZIONE: QUESTIONE APERTA

Quesito: attivazione del sistema motorio **necessaria** per comprendere le azioni? E il linguaggio (mahon & caramazza, 2008)?

Bosbach et al., 2005. Pazienti che hanno perduto propriocezione osservano **video di attori** che sollevano scatole dopo aver ricevuto informazioni corrette o scorrette sul peso della scatola. I pazienti non riescono a decidere se agli attori sono state date informazioni corretto o errate circa il peso della scatola.



SCHEMA DELLA PRESENTAZIONE

1. cognizione embodied
2. apprendimento motorio
3. imitazione e apprendimento



APPRENDIMENTO MOTORIO

- a. definizione di apprendimento motorio
- b. teoria di fitts
- c. teoria di adams
- d. teoria di schmidt: lo schema



Zimmerfrei

DEFINIZIONI

- **Controllo motorio**: substrati neurofisiologici del sistema motorio
- **Sviluppo motorio**: abilità motorie dei bambini; sviluppo dei movimenti
- **Apprendimento motorio**: acquisizione delle abilità motorie da parte di soggetti adulti
- QUI FOCUS SULL'APPRENDIMENTO MOTORIO

TEORIA DI FITTS (1964) DELL'APPRENDIMENTO MOTORIO

3 fasi

- **Fase cognitiva/dichiarativa**: primi tentativi, accompagnati da verbalizzazione (spesso subvocalica). I singoli movimenti vengono isolati: processo di decomposizione.
- **Fase associativa**: selezione delle informazioni rilevanti. Processo di ricomposizione: singoli movimenti fusi in un'azione.
- **Fase di automatizzazione**: automatizzazione delle abilità motorie. Difficile la verbalizzazione: processo automatico, risorse destinate ad altre attività e non a quella motoria, ormai automatizzata

TEORIA DI FITTS (1964): LA FASE COGNITIVA

Come insegnare il movimento

- I **movimenti** vanno **isolati** per essere memorizzati individualmente.
- Possibili aiuti: indurre a **mimare** il gesto
- Possibili aiuti: far notare il **suono** prodotto da un dato movimento
- **Movimento guidato** (es. sport): poco successo, forse perché passivo. Assenza di errori che fungono da feedback, presenti invece nel movimento spontaneo / autonomo.

TEORIA DI FITTS (1964): LA FASE DI AUTOMATIZZAZIONE

Differenze tra tipi di movimenti (Poulton, 1957)

- **Movimenti chiusi**. Lo si svolge all'interno di un contesto / ambiente del tutto controllabile e prevedibile. Vantaggio dato dalla pratica
- **Movimenti aperti**. Mentre lo si esegue non si è in grado di predire e controllare cosa avverrà nel contesto / ambiente. In casi di totale impossibilità di predire, impossibilità di apprendimento motorio.
- Processo di **automatizzazione** previsto dalla teoria di Fitts: consiste in sostanza nel passaggio
da movimento aperto

a movimento chiuso

LIMITI DELLA TEORIA DI FITTS

Limiti:

- o concezione **stadiale**
- o rilievo della conoscenza **dichiarativo-proposizionale**.
- o però importanza degli studi sul **linguaggio interno** come ausilio alla memorizzazione, soprattutto nelle prime fasi.

In contrapposizione a questo modello tradizionale, apprendimento fondato sull'imitazione (mirror neurons)

TEORIA DELL'APPRENDIMENTO MOTORIO DI ADAMS ('71, '76, '87)

- Rapporto di "uno a uno" tra rappresentazione ed esecuzione: rappresentazione interna relativa al movimento riferita ad un movimento singolo, non ad una classe generale di azioni di cui il movimento fa parte

l'atto motorio si basa su:

- la **traccia mnestica**: atto di volontà che da' avvio al movimento. Serve a ricordare il movimento.
- la **traccia percettiva**: confronto movimento voluto / movimento effettuato. Serve a riconoscere il movimento in atto. La traccia percettiva perde valore con la pratica, quando non occorrono più feedback. E' una struttura di controllo.

TEORIA DELL'APPRENDIMENTO MOTORIO DI ADAMS (1971, '76, '87)

2 stadi nel processo di apprendimento motorio:

- **stadio verbale-motorio**: durante le prime fasi dell'apprendimento. Verbalizzazione cosciente, elevata possibilità di errori. Il soggetto decide della correttezza del proprio movimento in base alla percezione degli effetti della propria azione.
- **Stadio motorio**: grazie alla pratica la traccia percettiva si forma su informazioni di natura cinestesica, non occorre più osservare gli effetti della propria azione. La traccia percettiva è solida e non decade.

Es. abilità sportive: indici relativi alla modalità acustica e tattile

LIMITI DELLA TEORIA DI ADAMS

Limiti (tipici di un modello per esemplari / di corrispondenza uno a uno tra traccia mnestica e movimento):

- o **economia cognitiva**: tante tracce in memoria corrispondenti ai diversi movimenti possibili, nessun tipo di astrazione?
- o **generalizzazione**: se ogni traccia e' individuale, come generalizzare ad esemplari nuovi?
- o concezione **stadiale**
- o rilievo della **conoscenza dichiarativo-proposizionale**

In contrapposizione a questo modello tradizionale, apprendimento fondato sull'imitazione (mirror neurons)

TEORIA DELL'APPRENDIMENTO MOTORIO DI SCHMIDT (1975)

4 tipi di informazione motorie che si immagazzinano durante l'esecuzione di ogni movimento ed entrano a far parte di uno schema:

- I **parametri specifici**, i valori delle variabili intervenute (es. durata, forza).
- Il **risultato** che si è ottenuto a seguito del movimento. Es. la palla ha oltrepassato la rete?
- Le **conseguenze sensoriali** durante l'esecuzione del movimento.
- Le **condizioni di partenza**: es. peso e forma della palla da lanciare etc.

Una volta formato uno **schema**, applicazione dello schema ad altre classi di movimento



VANTAGGI E LIMITI DELLA TEORIA DI SCHMIDT (1975)

Vantaggi nell'applicazione della nozione di **schema** (Bartlett, 1932) al controllo motorio

- o Non ha il problema **dell'economia cognitiva**
- o Non ha il problema **dell'apprendimento di movimenti nuovi.**

Limite:

- o Non mette in luce la rilevanza delle forme di apprendimento fondato **sull'imitazione (mirror neurons)**

SCHEMA DELLA PRESENTAZIONE

1. cognizione embodied
2. apprendimento motorio
3. imitazione e apprendimento

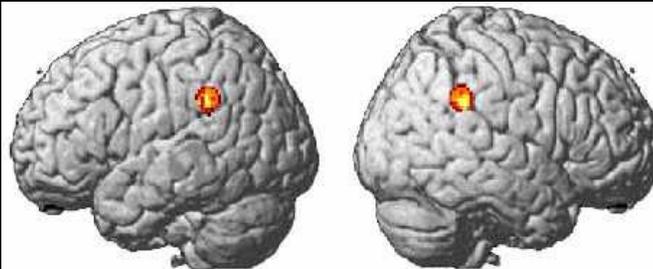
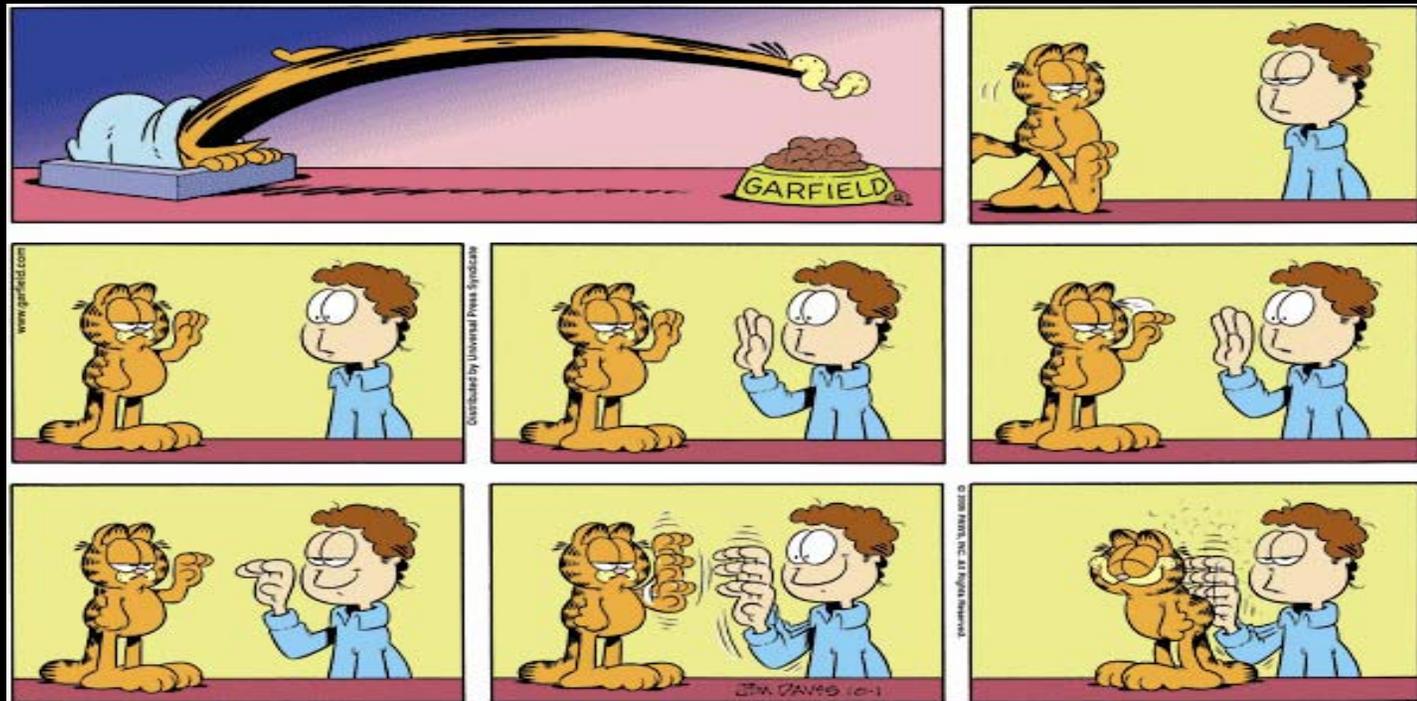


IMITAZIONE E APPRENDIMENTO

- a. Imitazione ed emulazione
- b. Imitazione innata o appresa?
- c. Imitazione e apprendimento: I neuroni mirror
- d. Imitazione e apprendimento: le teorie ideomotorie



IMITAZIONE E APPRENDIMENTO: LA VISIONE EMBODIED



LEFT
IMITATING

RIGHT
BEING IMITATED

IMITAZIONE ED EMULAZIONE: UMANI E ALTRI ANIMALI

- **Emulazione:** gli individui apprendono proprietà ambientali grazie all'osservazione di azioni, senza necessariamente apprendere le azioni stesse.
 - Es. noce.



Imitazione: l'apprendimento delle azioni, del metodo relativo a come svolgerle. (Tomasello, 1996)

- Imitazione in senso stretto = viene copiata un'azione che altrimenti avrebbe poche probabilità di verificarsi

Per compiere un atto di imitazione si **osserva** qualcuno, si compie un **piano** per agire e si esegue un **atto motorio**. L'imitazione coinvolge dunque la **visione**, la **pianificazione** e il **controllo motorio**.

IMITAZIONE: INNATA O APPRESA?



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



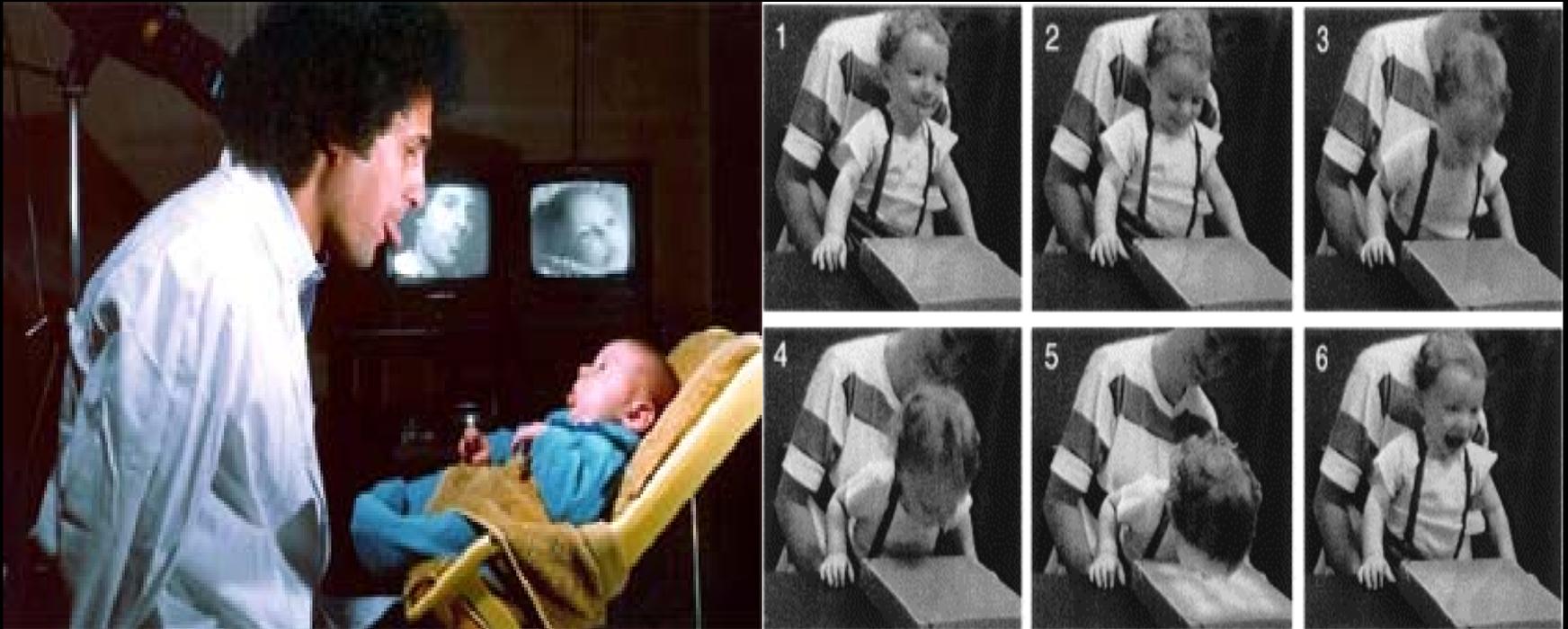
(i)



(j)

I **neonati** possono imitare espressioni facciali (Meltzoff & Moore, 1989; 1997): I lingua e labbra protruse, bocca aperta

IMITAZIONE DIFFERITA



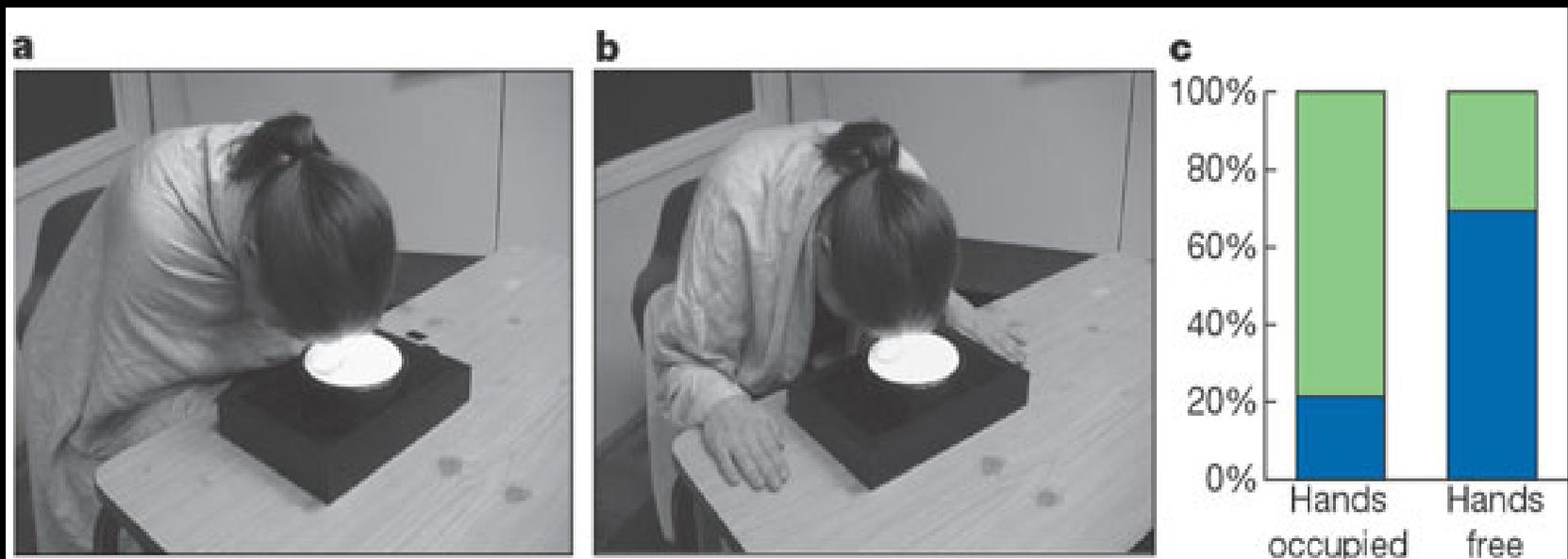
- **Imitazione differita** – fino a 3 mesi imitazione differita fino a 24 ore
- 9-12 mesi (Meltzoff, 1995) - 67% dei neonati riproducono un nuovo comportamento che hanno osservato una settimana dopo, mentre non lo riproduce nessuno dei controlli

IMITAZIONE NEI BAMBINI

Bambini di 14 mesi: osservano degli adulti accendere una lampada con la testa in 2 condizioni: con le mani occupate vs. libere.

Viene riprodotto il comportamento solo quando farlo e' razionale.

Quindi: l'imitazione e' un processo re-interpretativo e orientato da scopi (**GOAL DIRECTED**), non semplice riproduzione.



IMITAZIONE NEGLI ADULTI

Teoria ideomotoria:

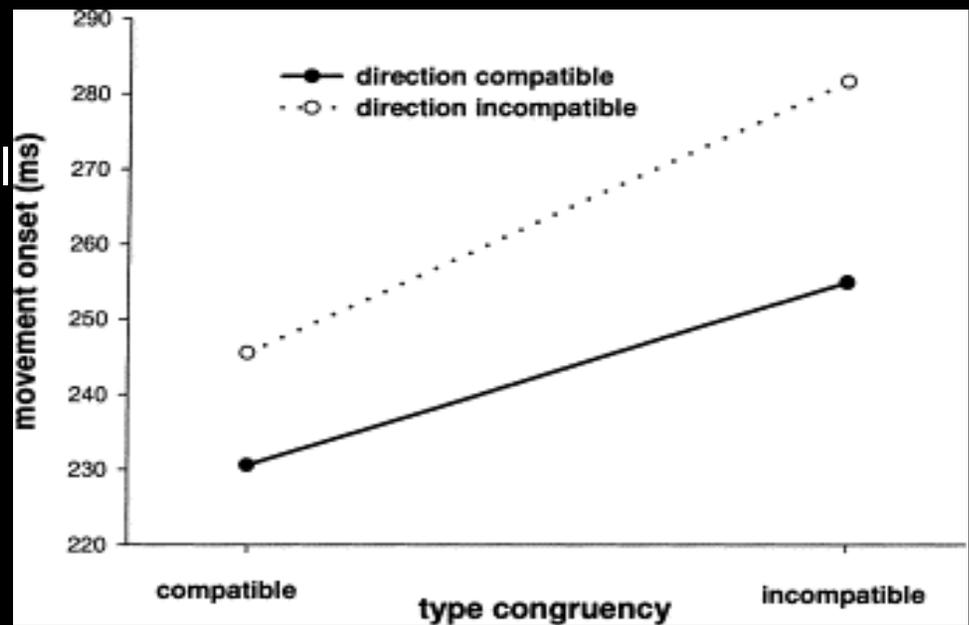
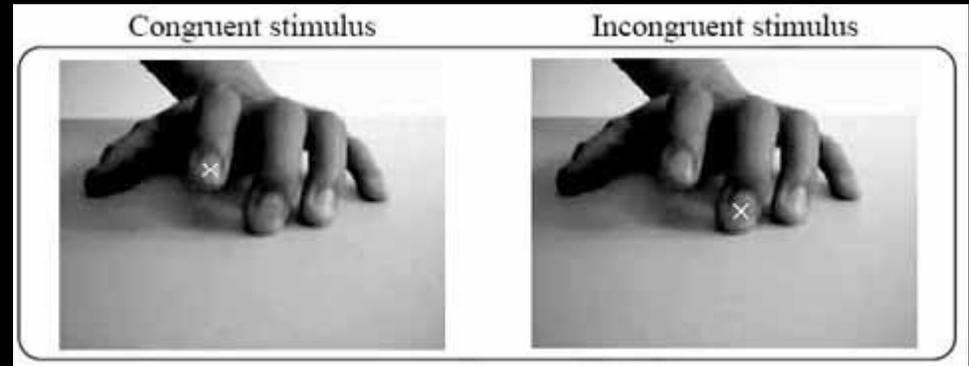
a) facilitazione quando si risponde ad un movimento osservato.

b) Facilitazione maggiore in caso di **somiglianza tra il movimento che si osserva e che si compie** (movimenti compatibili dal punto di vista ideomotorio).

Variabili:

Compatibilita' di direzione (su, giu')

Congruenza croce-dito



IMITAZIONE: INNATA O APPRESA?

Heyes et al., 2004. Imitazione non innata ma acquisita.



Facilitazione se si vedono eseguire **movimenti congruenti** con quelli che stiamo eseguendo.

Prima dell'esperimento **training**: i partecipanti imparano a aprire la mano quando vedono una mano chiudersi e vs. Con il training **l'effetto dell'imitazione automatica scompare.**

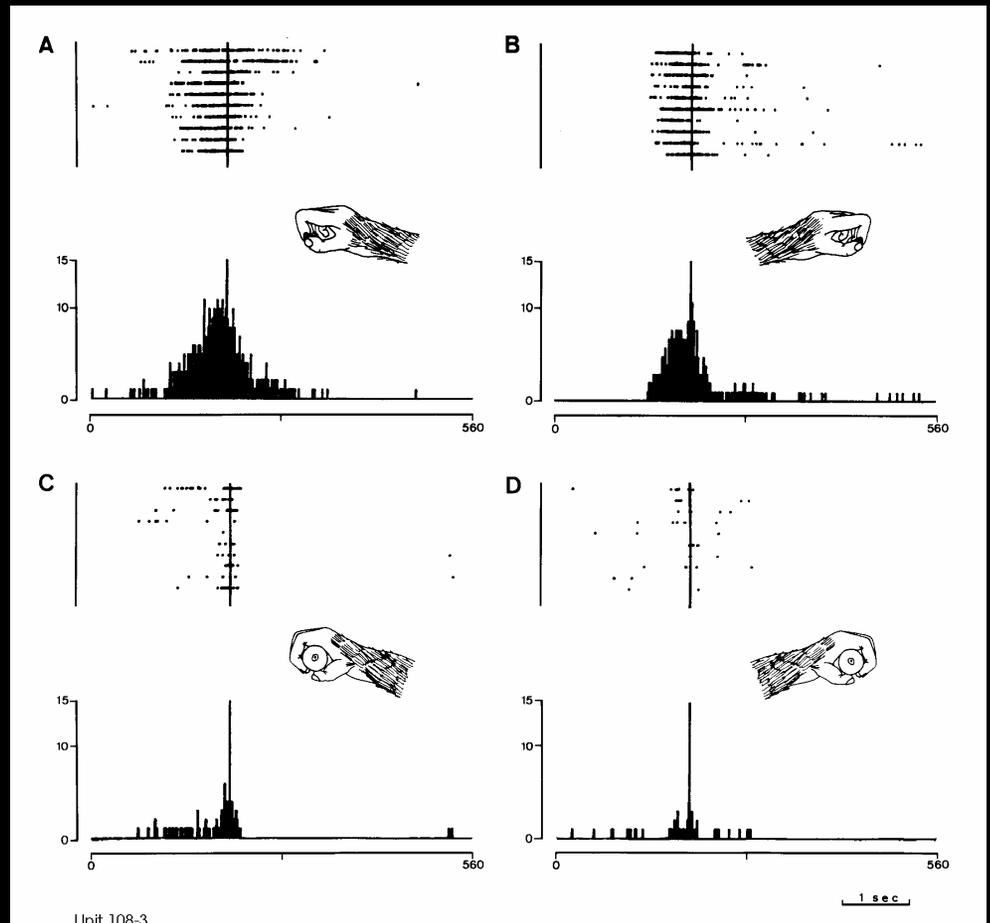


Dunque: secondo Heyes et al. il comportamento imitativo si forma attraverso le connessioni neurali visuomotorie costruite combinando **esperienza diretta e osservazione.**

IMITAZIONE E APPRENDIMENTO: I NEURONI CANONICI

Neurone dell'area premotoria F5 nelle scimmie:

- e' attivo durante un particolare tipo di **afferramento** (presa di precisione e non a mano piena).
- e' legato all'**obiettivo** piuttosto che all'effettore (mano ds/sn).
- scarica durante una **specifica fase di azione** (aprire, chiudere, tenere)



Gallese et al, *Brain*, 1996. ; Rizzolatti et al, *Cog. Brain Res.*, 1996

IMITAZIONE E APPRENDIMENTO: I NEURONI MIRROR

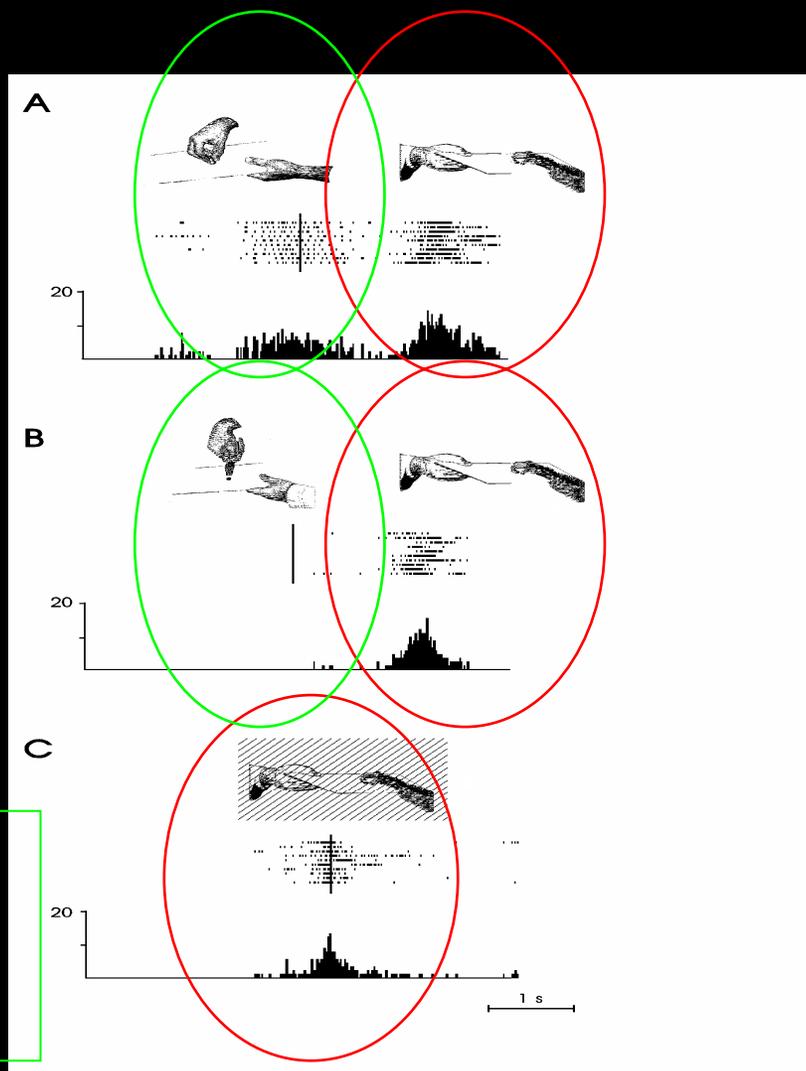
Cosa succede quando gli esseri umani osservano il **movimento di un conspecifico**?

- Esplicita - attivazione intenzionale del comportamento motorio (**imitazione**)
 - Implicita - attivazione **non intenzionale del comportamento motorio**. Osservare qualcuno che afferra comporta: attivazione delle stesse aree attive durante l'afferramento (aumento dei potenziali evocati motori; attivazione della parte posteriore del giro frontale inferiore sinistro): Fadiga, Rizzolatti ecc.
- Neuron mirror: anche empatia per il dolore altrui. Es. Studi di Aglioti e colleghi con TMS

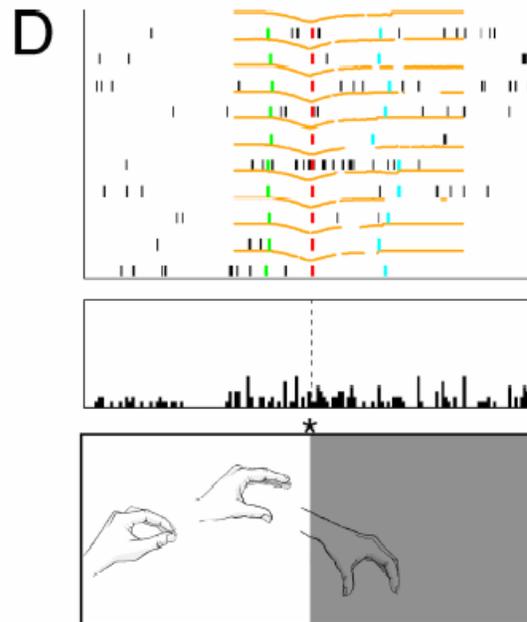
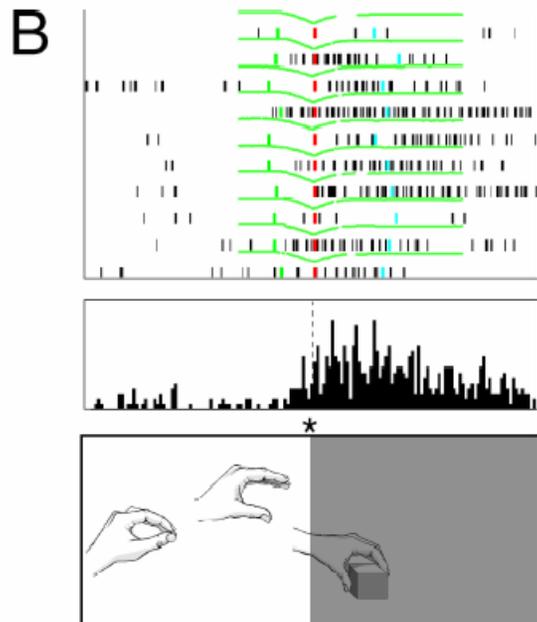
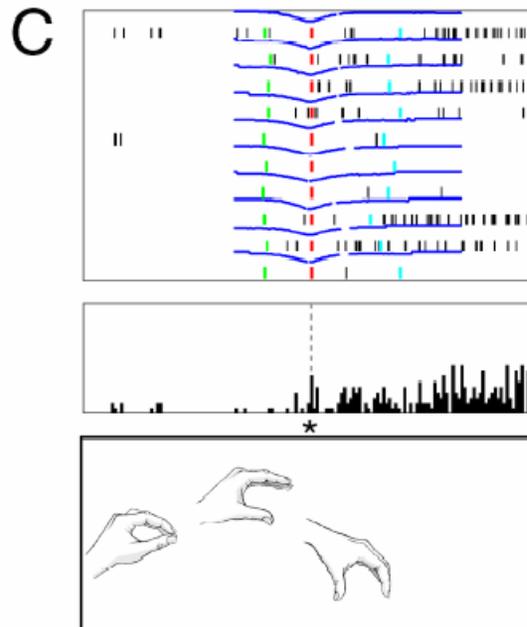
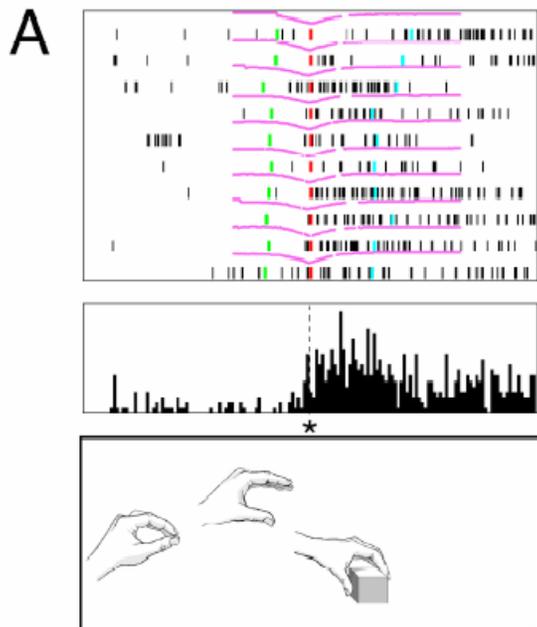
IMITAZIONE E APPRENDIMENTO: I NEURONI MIRROR

Neurone mirror
tipico (F5): scarica
solo quando la
scimmia osserva
un'azione diretta ad
un obiettivo
eseguita da un
effettore biologico
(conspecifico,
essere umano)

La
scimmia
guarda



La scimmia
afferra



A (Afferrare con visione piena)

B (Afferrare di nascosto)

C (Mimare)

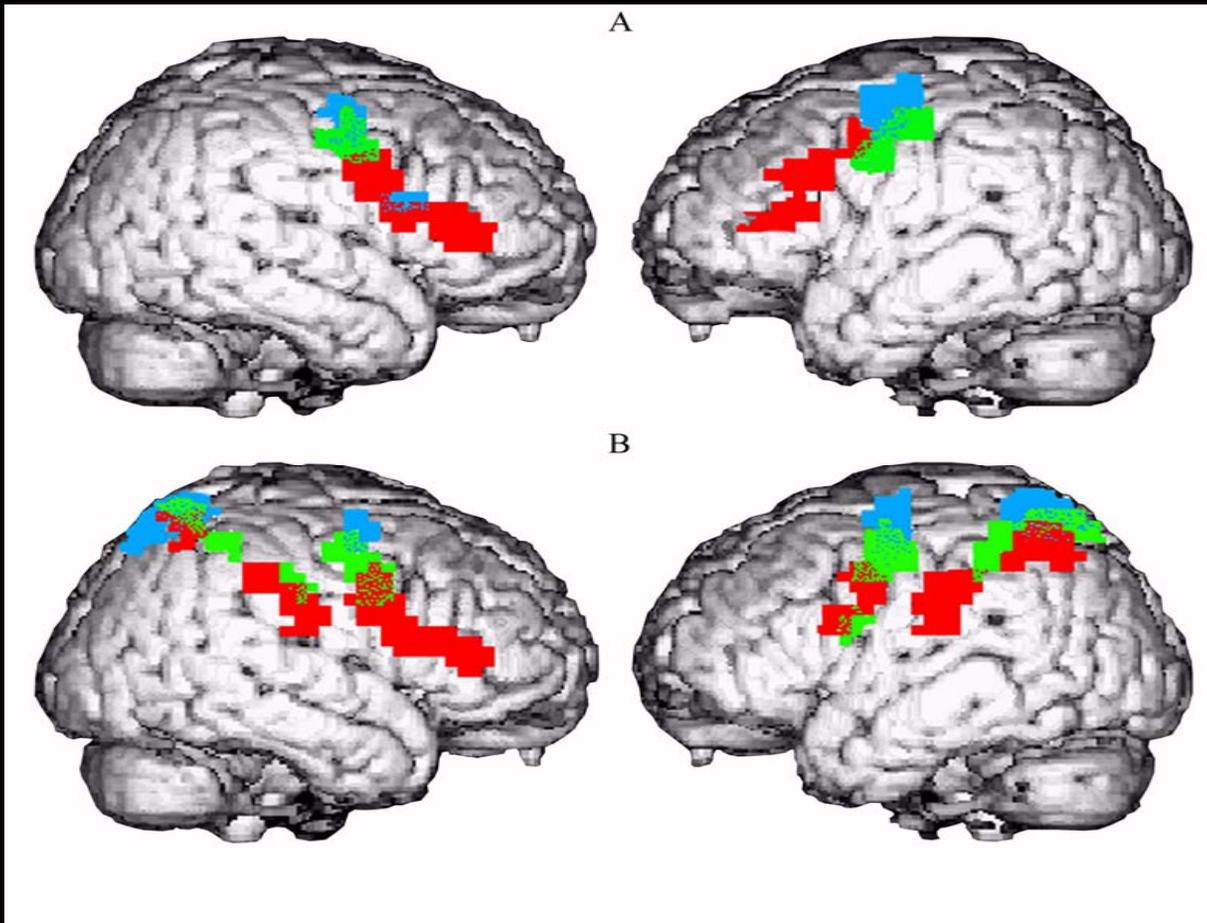
D (Mimare di nascosto)

I neuroni mirror riconoscono l'obiettivo

Un subset di neuroni mirror rispondono anche con afferramento di nascosto

Umiltà et al., 2001

IMITAZIONE E APPRENDIMENTO I NEURONI MIRROR



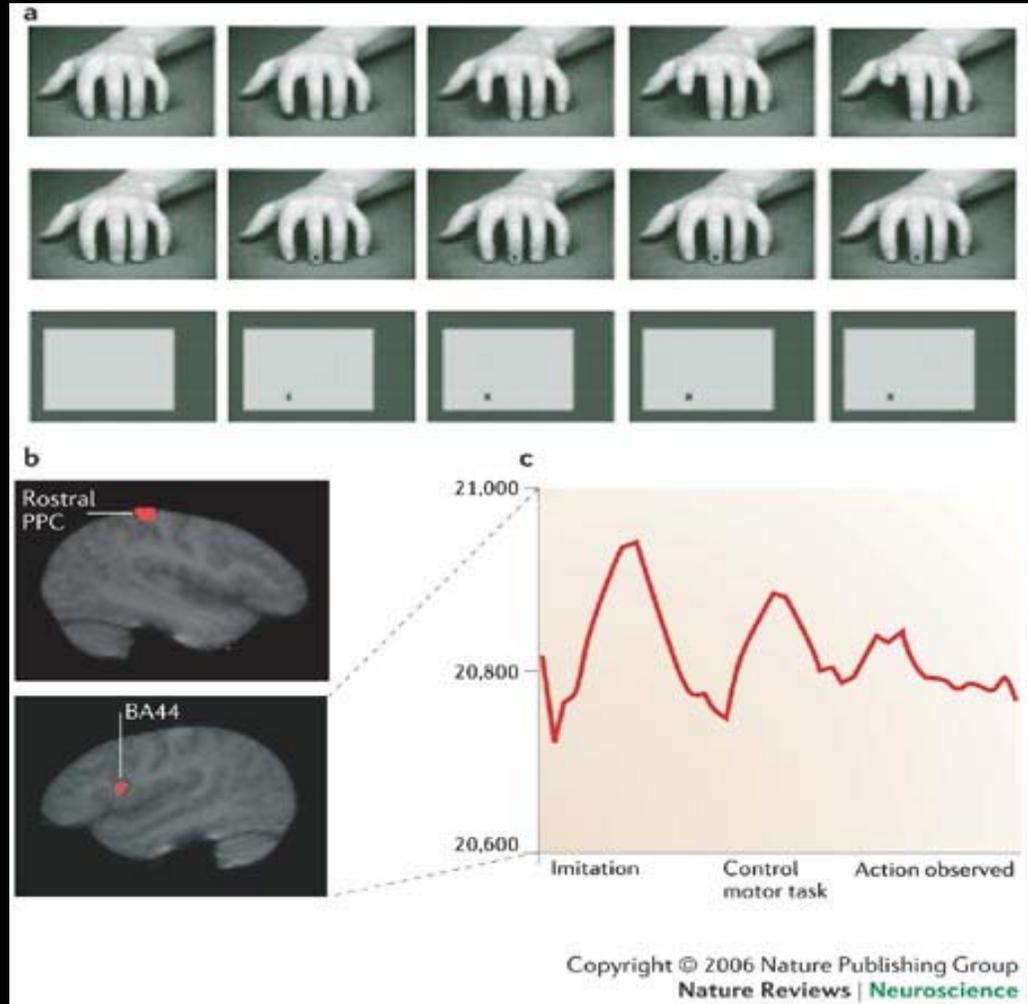
- osservazione di una bocca che afferra vs di una bocca statica
- osservazione di una mano che afferra vs di una mano ferma
- osservazione di un piede che schiaccia vs di un piede fermo

IMITAZIONE E NEURONI MIRROR

I partecipanti osservano sollevare un dito indice o medio. Controllo: osservano una croce sul dito di una mano ferma o sulla parte destra o sinistra di un rettangolo.

3 Condizioni: osservazione, imitazione, movimento (sollevano il dito indice o medio quando appare la croce.)

Si attivano i **neuroni mirror** (area di Brodmann B44, corteccia frontale inferiore).

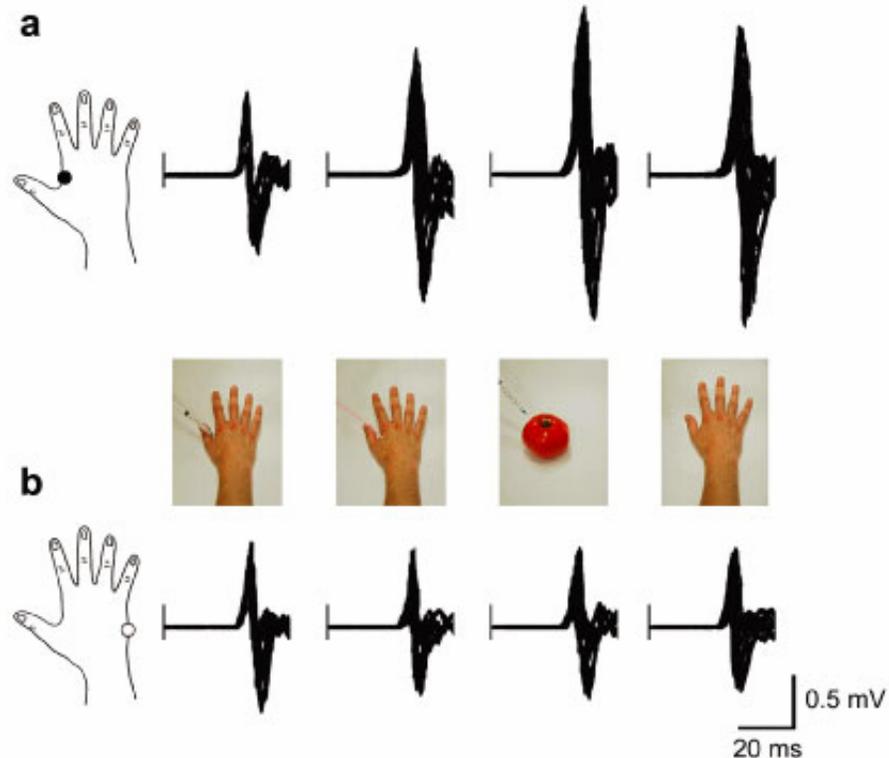


Iacoboni & Dapretto, *Nature Neuroscience*, 2006

IMITAZIONE ED EMPATIA

I neuroni mirror non codificano solo il tipo di azione (es. Grasp) ma sono alla base dell'empatia nei confronti dei conspecifici.

Supplementary Figure 1 Examples of raw MEP amplitudes for each observation condition in a representative subject of experiment 1.



(a) MEPs recorded from FDI. (b) MEPs recorded from ADM. For the baseline condition, 36 overlying traces are shown. For each of the dynamic observation conditions 18 overlying traces are presented.

IMITAZIONE, NEURONI MIRROR E INTENZIONI

I neuroni mirror non codificano solo il tipo di azione (es. Grasp) ma aiutano a prevedere le intenzioni altrui.



Si attivano le stesse aree durante l'osservazione e l'esecuzione del movimento.



L'attività aumenta quando il contesto rivela l'intenzione alla base dell'azione.

3 condizioni: senza contesto, sprecchiare, bere.



A CHE SERVE L'IMITAZIONE IMPLICITA (COVERT)?

A che serve l'imitazione implicita? Diverse proposte:



- o facilita **forme di imitazione esplicita**,
- o facilita la **comprensione delle azioni altrui** (quello che stanno facendo o addirittura intenzioni e stati mentali).
- o Serve allo **sviluppo del linguaggio**:

Problema: **neuroni mirror** identificati nelle **scimmie**, che **non imitano** ne' sembrano possedere una teoria della mente.

A CHE SERVE L'IMITAZIONE IMPLICITA (COVERT)?



o contribuisce a **percepire il comportamento dei conspecifici**.

Evidenze:

- attivazione motoria che precede un evento percettivo (es. nei **pianisti esperti** le aree corticali legate al movimento delle dita si attivano prima del comparire di una nota in una sequenza musicale familiare),
- attivazione dei neuroni mirror anche quando **l'ultima parte di un'azione viene nascosta**
- influenza **dell'apprendimento motorio sulla percezione**.

SCHEMA DELLA PRESENTAZIONE

1. cognizione embodied
2. apprendimento motorio
3. imitazione e apprendimento



Grazie!

Grazie anche ai collaboratori di:

Embodied COgnition lab, Università di Bologna

gruppo di neuroscienze computazionali di LARAL-
ISTC-CNR, Roma



WWW.emco.unibo.it

<http://laral.istc.cnr.it>



WWW.ROSSIPROJECT.EU

Emergence of
communication in Robots
through Sensorimotor 63
and Social Interaction FP7