

L'intelligenza biologica Computazione nel sistema nervoso

Alberto Borghese
Università degli Studi di Milano
Laboratorio di Applied Intelligent Systems
(AIS-Lab)
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borgnese@dsi.unimi.it



A.A. 2006-2007

1/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Sommario



Struttura del Sistema Nervoso Centrale

Il linguaggio

Le trasformazioni visuo-motorie

Il codice di popolazione come esempio di processing corticale

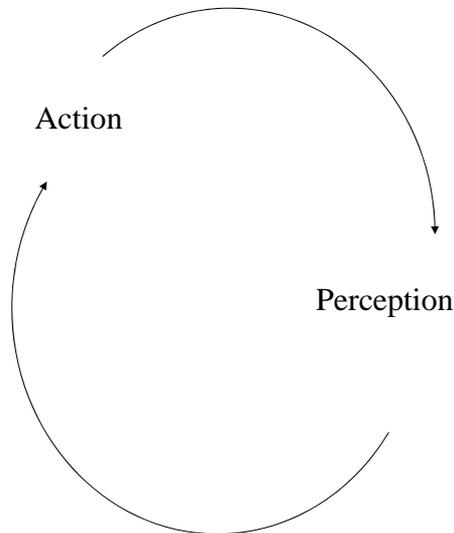
A.A. 2006-2007

2/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Piaget 1955



Circular reaction for learning in Humans.

Gestalt percettiva-esecutiva.

Rinforzo tra il dominio percettivo ed esecutivo.

“Apparato visuo-motorio” è di gran lunga il più importante del sistema nervoso centrale.

Apprendimento da esempi.

A.A. 2006-2007

3/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Dalla neuro-anatomia alla funzione



Connessionismo cellulare (K. Wernicke and R. Cajal, fine 1800)

- I neuroni sono connessi tra loro in gruppi funzionali.
- Le connessioni sono in numero definito.
- Gruppi funzionali diversi danno origine a funzioni intellettive diverse.

Quest'ultima è la teoria moderna delle funzioni cognitive cerebrali.

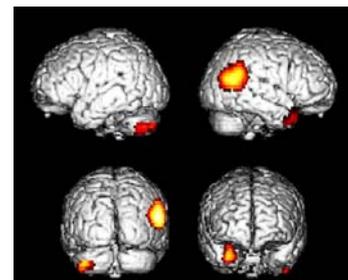
Circuiti neurali.

Ciascun circuito assembla aree che svolgono operazioni elementari e che possono lavorare in parallelo (**Parallel Distributed Processing**).

Neuroni afferenti sensoriali, neuroni efferenti motori ed interneuroni.

Dall'anatomia alla funzione.

4/44

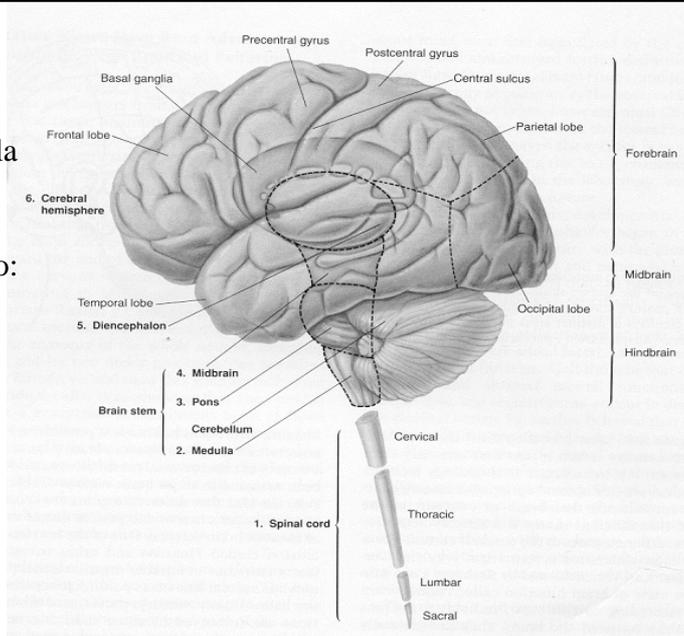




Sistema nervoso centrale:
nella scatola cranica e nella
spina dorsale.

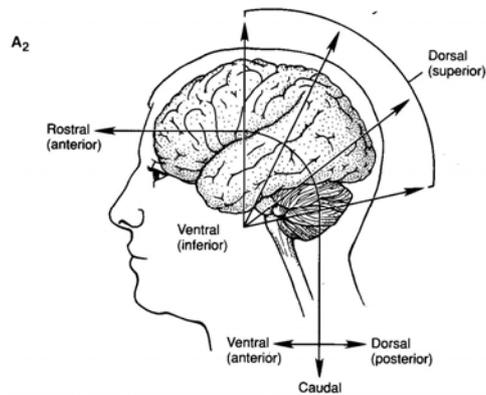
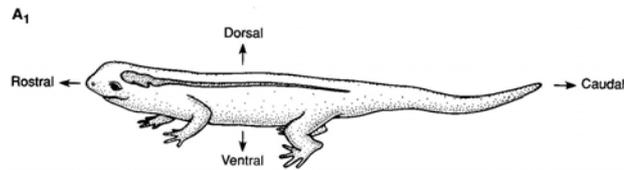
Sistema nervoso periferico:
nervi e gangli; parte
somatica ed autonoma.

*Parallel,
Distributed
processing.*



Struttura del Sistema Nervoso

A.A. 2006-2007



I punti cardinali del SNC



A.A. 2006-2007

res.dsi.unimi.it/~borghese



La spina dorsale

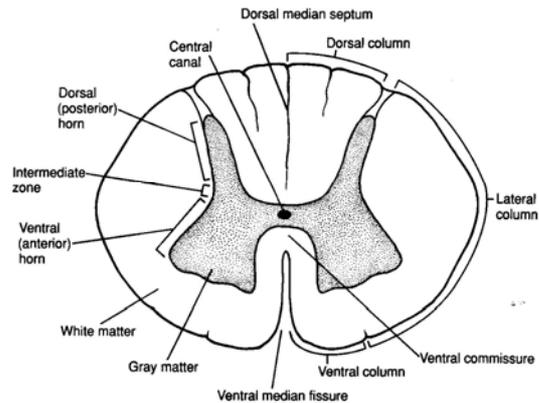


Spina dorsale: Controlla il movimento degli arti e del tronco e riceve informazioni sensoriali dagli stessi distretti anatomici.

Si dipartono 31 paia di *nervi spinali*.

Contiene stazioni di elaborazione elementari e soprattutto assoni.

E' suddivisa in una parte ventrale (motoria) ed una parte dorsale (sensoriale).



A.A. 2006-2007

7/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



I 2 emisferi cerebrali

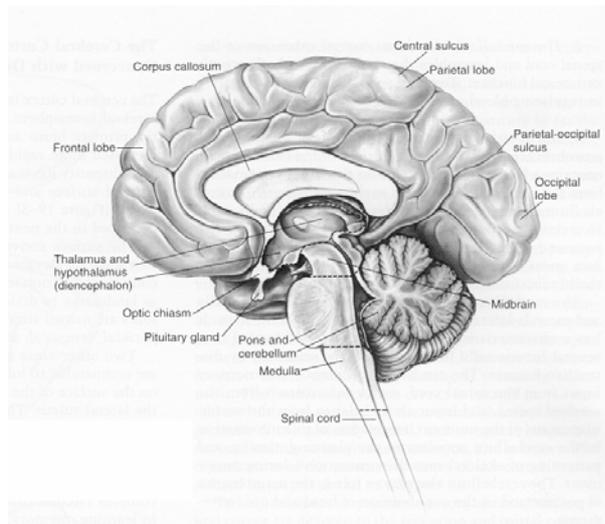


Emisferi simmetrici bilateralmente.

Ciascun emisfero ha competenza per la parte contro-laterale.

Le fibre neurali subiscono una decussazione.

Il corpo calloso è un fascio di fibre che connette i due emisferi.



A.A. 2006-2007

8/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Le convoluzioni cerebrali.

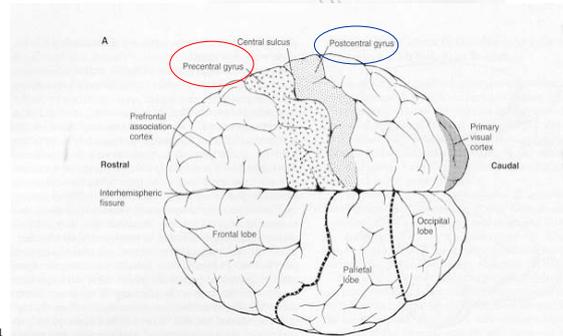
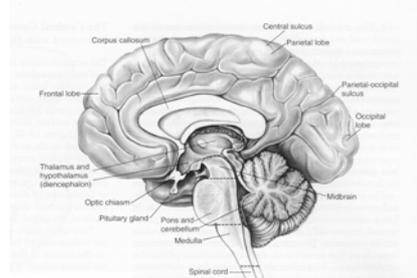


Struttura convoluta sotto la pressione dell'evoluzione.

Gyri e solci.

Alcuni solchi sono elementi di contrassegno.

Cellule nervose sulla superficie della corteccia, assoni diretti verso l'interno, sostanza bianca.



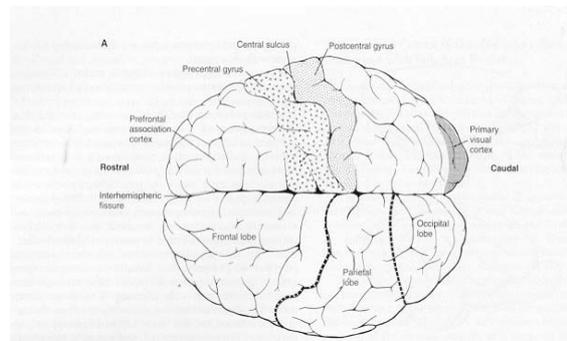
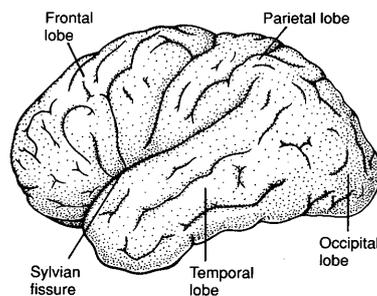
A.A. 2006-2007

9/44



+ *limbic lobe*.
Cintura di corteccia posta sopra il brain stem ed il diencefalo. Ruolo fondamentale nell'apprendimento, nella memoria e nelle emozioni.

D



I 4 lobi cerebrali classici

A.A. 2006-2007

10/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



I lobi cerebrali



Lobo frontale: pianificazione dell'attività, rappresentazione delle azioni.

Lobo parietale: organizzazione spaziale delle informazioni sensoriali (spaziali), e rappresentazione (spaziale) del corpo umano (Body schema).

Lobo occipitale: visione.

Lobo temporale: udito, apprendimento, riconoscimento (memoria), rappresentazioni ed emozioni.

Competenza contro-laterale dei due emisferi.
Lateralizzazione di alcune funzioni.

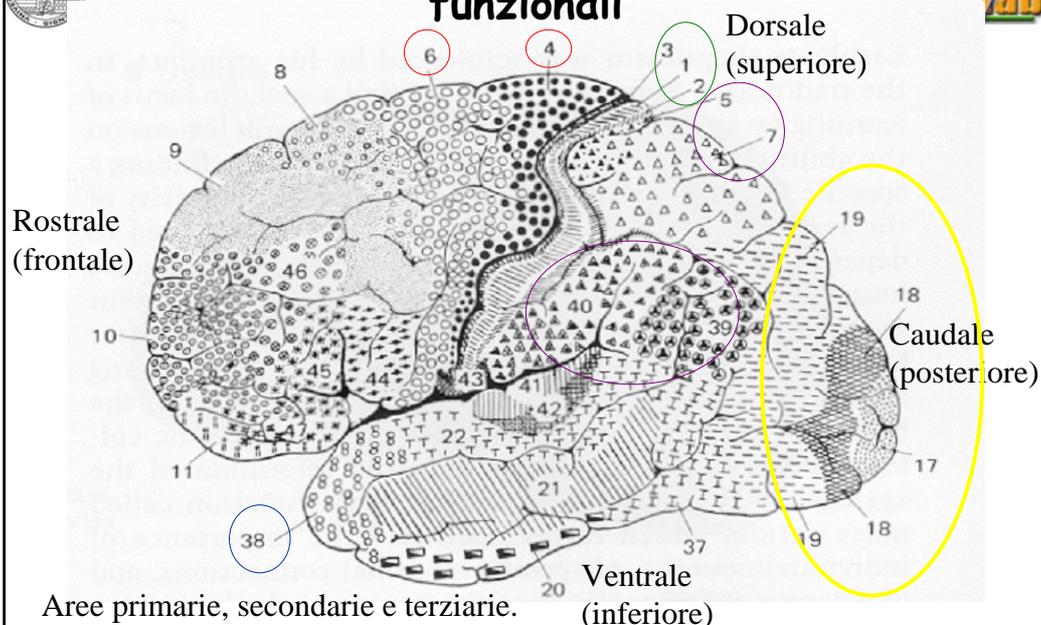
A.A. 2006-2007

11/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Suddivisione cito-architetturale in aree funzionali



A.A. 2006-2007

12/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>

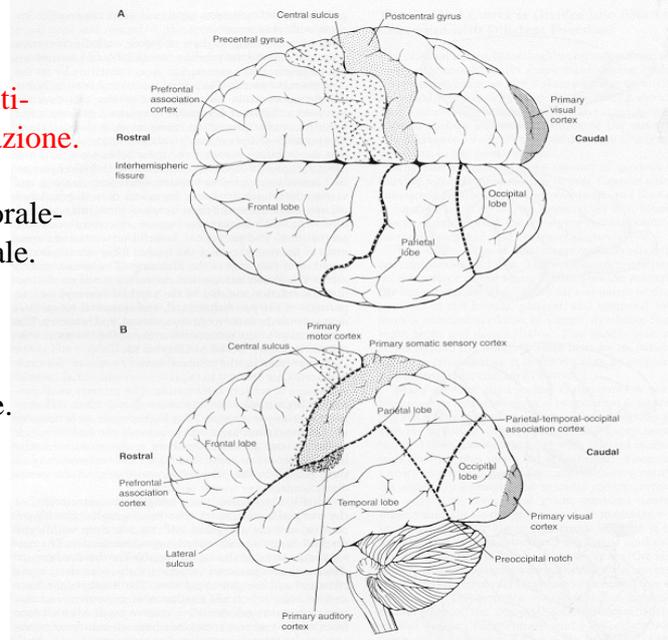


Integrazione multi-sensoriale per l'azione.

Giunzione temporale-parietale-occipitale.

Area limbica.

Area pre-frontale.



Are associative



Sommario



Struttura del Sistema Nervoso Centrale

Il linguaggio

Le trasformazioni visuo-motorie

Il codice di popolazione come esempio di processing corticale



Linguaggio ed afasia



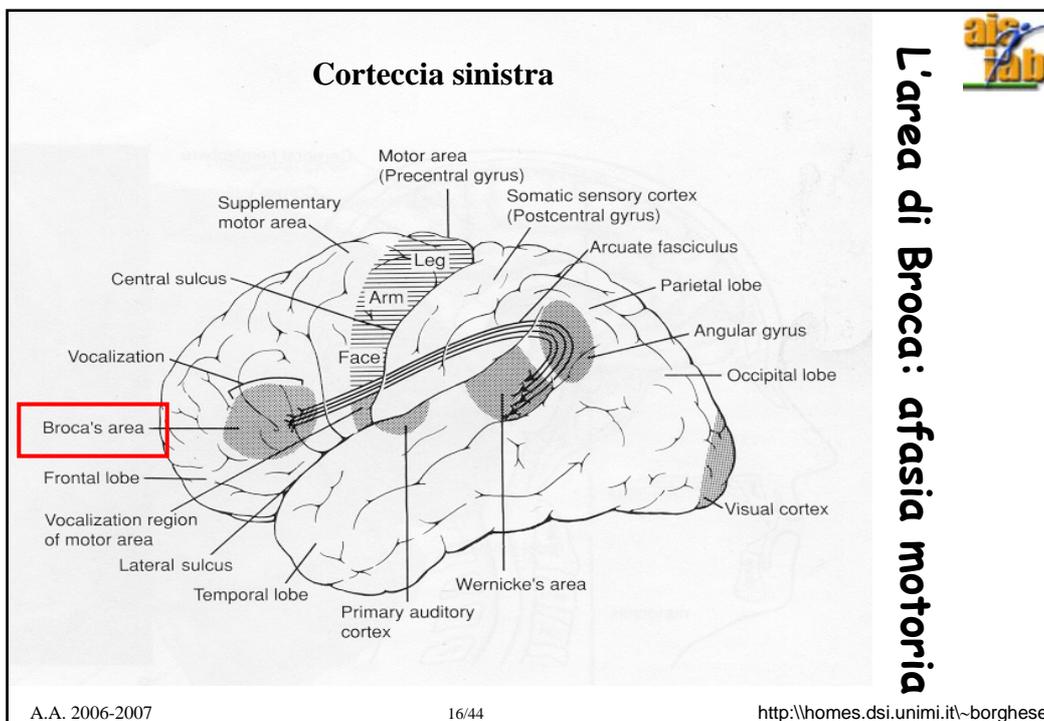
Afasia – genericamente, disordine del linguaggio.

Lo studio sperimentale delle funzioni cognitive si basa su tre pilastri: neuro-imaging, lesioni e neuro-anatomia.

A.A. 2006-2007

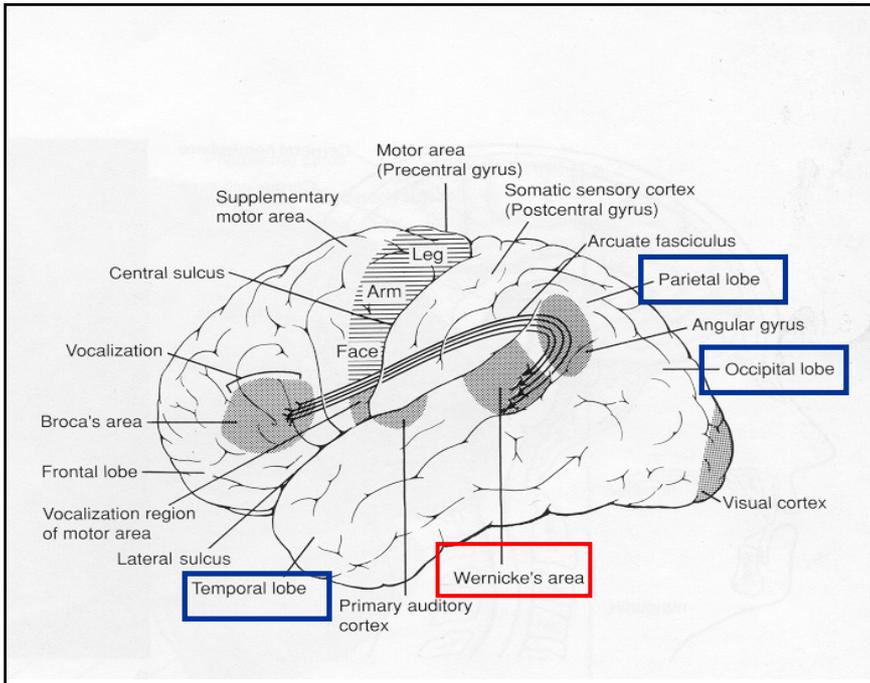
15/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>





L'area di Wernicke: afasia sensoriale



A.A. 2006-2007

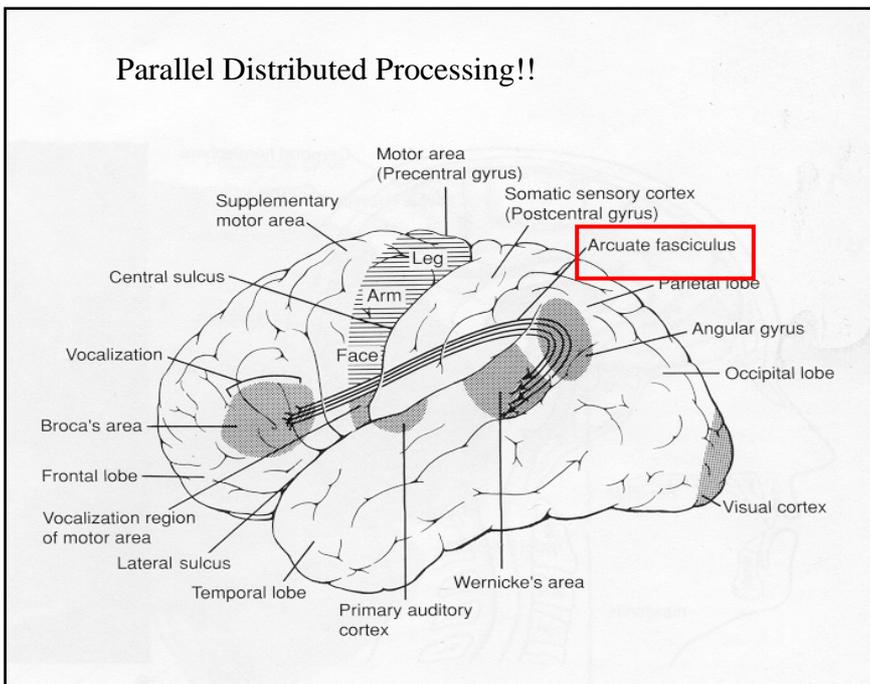
17/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>

Parallel Distributed Processing!!



Un terzo tipo di afasia



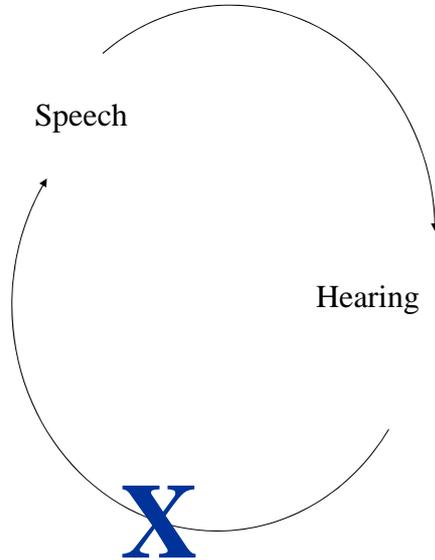
A.A. 2006-2007

18/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Interruzione della circular reaction



Afasia di conduzione. Un paziente può:
comprendere il linguaggio.
parlare fluentemente.

Ma:

Non correttamente (omissione di parti del discorso, utilizzo di suoni sbagliati)

Si accorge del proprio errore ma non riesce a correggersi.

A.A. 2006-2007

19/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Wenicke's model

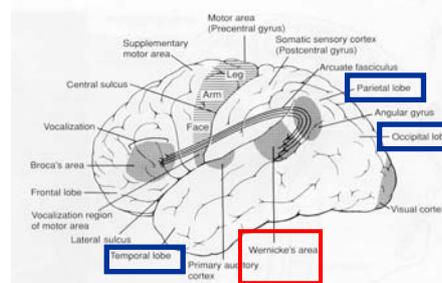
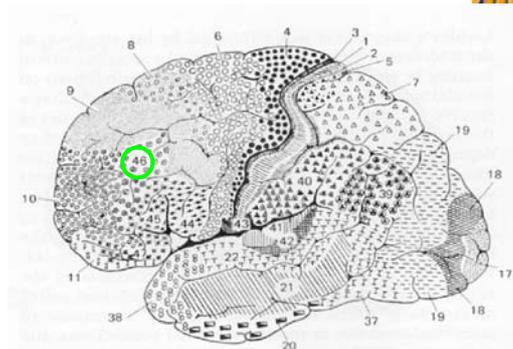


Parallel Distributed Processing.

Associazione acustica – visiva (area di Wernicke -> area di Broca).

Lettura di parole (aree visive -> area di Broca).

Prosodia (corteccia destra).



A.A. 2006-2007

20/44



La localizzazione del linguaggio



Parallel Distributed Processing.

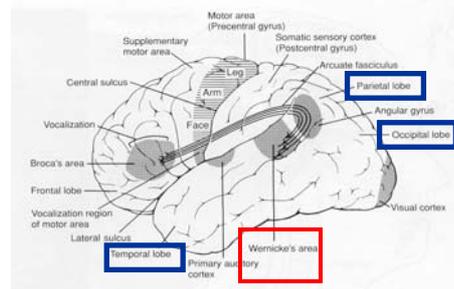
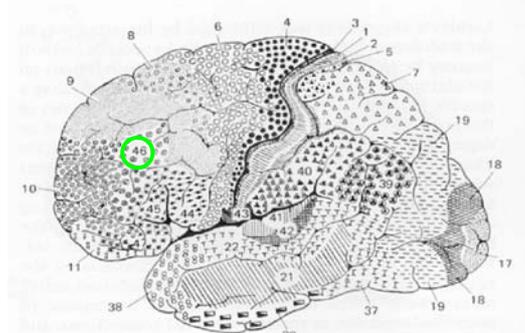
Rappresentazione cognitiva (pre-frontale, area 46).

Rappresentazione motoria (area di Broca).

Rappresentazione acustica e associative (area di Wernicke).

Lettura di una parola -> area di Broca.

Immaginazione di una parola -> area 46.



A.A. 2006-2007

21/44



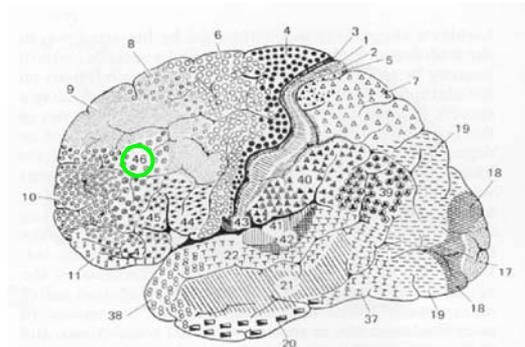
Apprendimento del linguaggio



Clustering degli input acustici, associazioni visive – acustiche (percezione primaria del linguaggio).
Emergenza di un codice neurale associato al linguaggio.

Rinforzo rappresentato dal significato (associazione cognitiva).

Dalla percezione del linguaggio alla sua produzione (circular reaction).



Solo se c'è produzione acustica si attiva l'area di Wernicke.

A.A. 2006-2007

22/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Sommario



Struttura del Sistema Nervoso Centrale

Il linguaggio

Le trasformazioni visuo-motorie

Il codice di popolazione come esempio di processing corticale

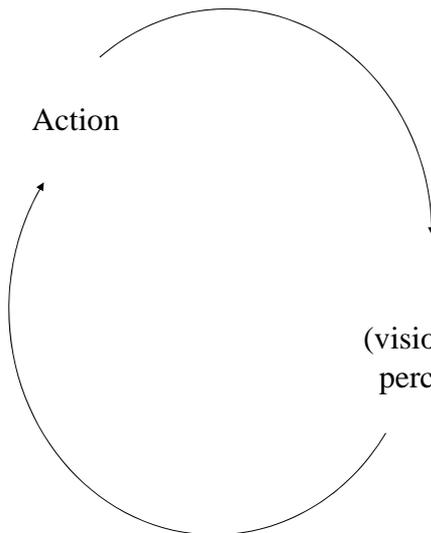


Trasformazioni visuo-motorie



Action

Perception
(visione è la modalità
percettiva primaria)





Il movimento volontario

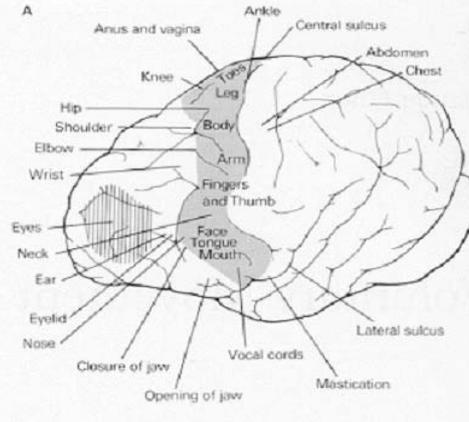


Movimenti volontari.

Orientati ad un compito motorio (e.g. scrittura, prendere un bicchiere d'acqua...).

Caratterizzati da:

- Equivalenza motoria (D. Hebb).
- Miglioramento con l'apprendimento
- Non necessità di uno stimolo esterno per essere eseguiti.



A.A. 2006-2007

25/44

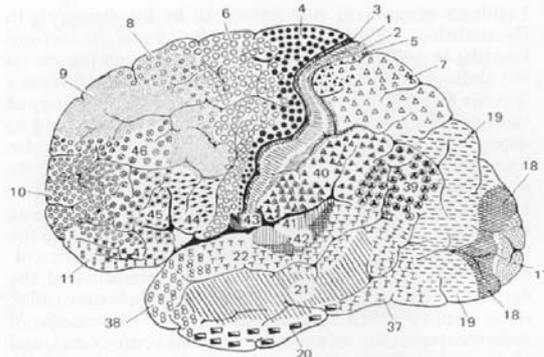
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Esecuzione dei movimenti volontari



1. Identificazione dell'obiettivo del movimento (e.g. riconoscimento di un bicchiere d'acqua e della sua posizione nello spazio 3D).
2. Pianificazione del movimento (e.g. definizione dei gradi di libertà che consentono di spostare la mano sul bicchiere - definizione del tipo di presa della mano e dei gradi di libertà relativi; coordinamento).
3. Esecuzione. Invio dei comandi motori adeguati ai centri del brain stem e da lì al midollo spinale.



Le aree principalmente coinvolte sono: l'area parietale posteriore (area 5, 7, 39, 40), l'area pre-motoria (area 6), e l'area motoria (area 4).

Oltre alle aree visive 17, 18, 19, 37.

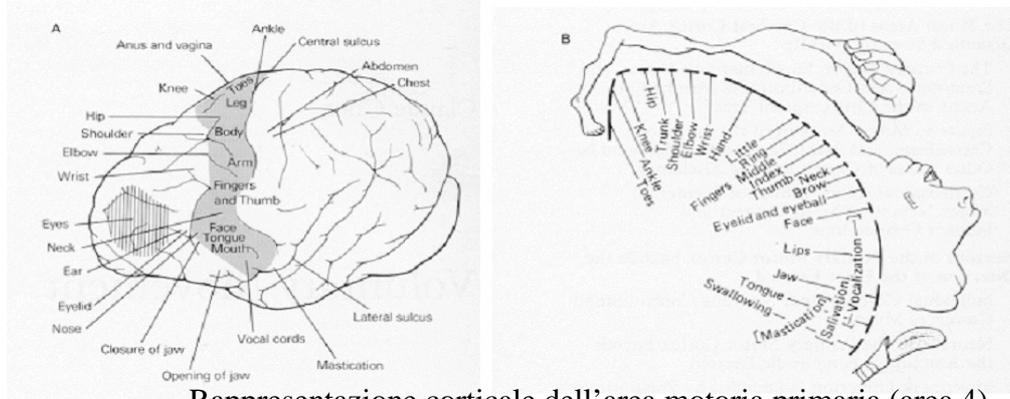
A.A. 2006-2007

26/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Le mappe corticali: l'Homunculus (Penfield, 1950)

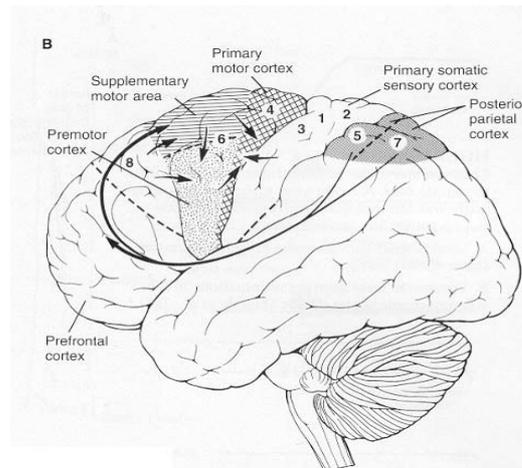


Rappresentazione corticale dell'area motoria primaria (area 4).

Mappa <- “*Mapping*”: trasformazione che mantiene nell'output la contiguità tra gli input. Cosa richiama?



Input alle aree motorie





Output delle aree motorie



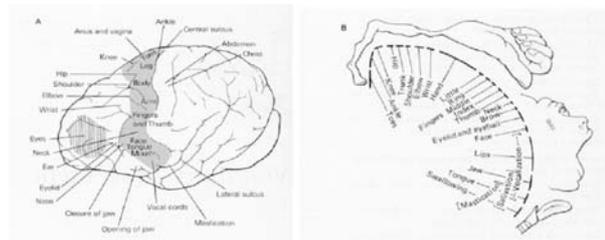
Muscoli diversi hanno regioni di attivazione diverse.

Alcuni muscoli (soprattutto i distali) hanno loci di attivazione multipli.

Pathways multipli:

- Proiezioni sul brain stem.
- Proiezione sugli interneuroni della spina dorsale.

Attivazione di gruppi di muscoli (divergenza nelle proiezioni).



A.A. 2006-2007

29/44

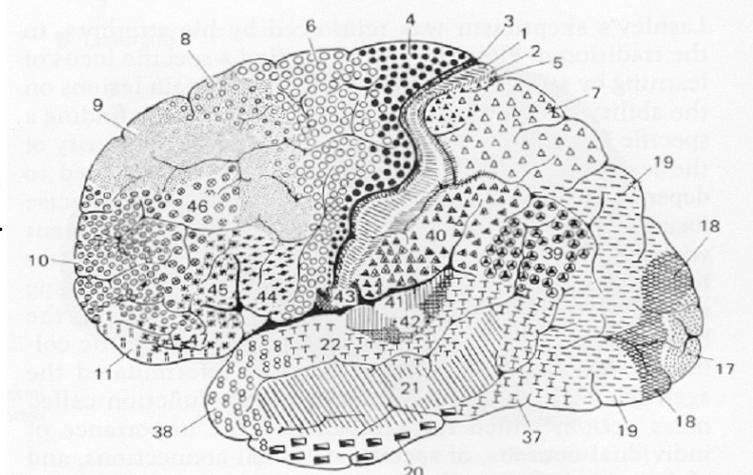
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Corteccia posteriore parietale



Mette in relazione la posizione di uno stimolo con la posizione del corpo e dei suoi segmenti.



Aree 5, 7, 39 (supramarginal gyrus) e 40 (angular gyrus).

A.A. 2006-2007

30/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Mirror neurons and circuits

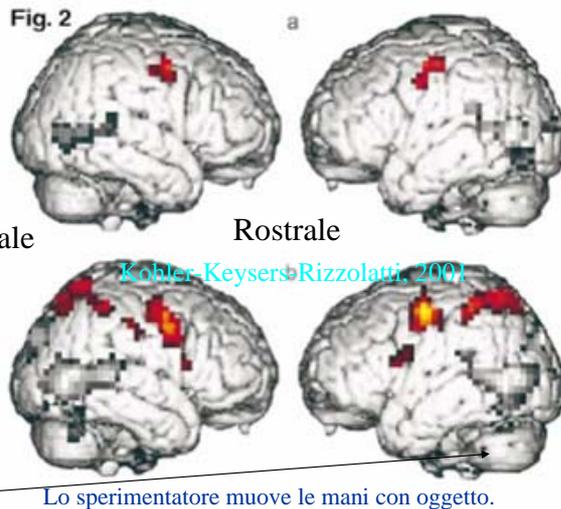


Aree prefrontali, attive sia nell'osservazione che nell'immaginazione che nell'esecuzione di movimenti.

Lo sperimentatore muove le mani senza oggetto.

Attivazione pre-motoria.

Attivazione pre-motoria + parietale, bilaterale



A.A. 2006-2007

31/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Trasformazioni visuo-motorie

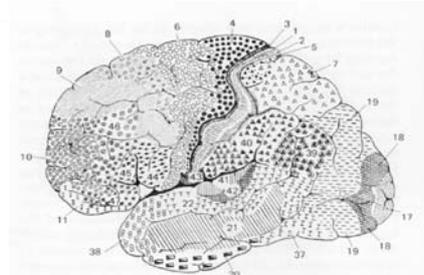
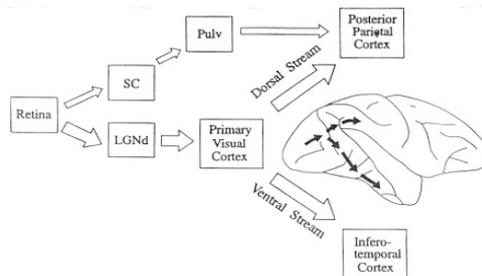


I nostri occhi sono la finestra sul mondo.

Visione per percezione ("what").
Visione per azione ("where").

Questi circuiti occupano la gran parte del volume del SNC.

Hanno due substrati neurali diversi: sono due network distinti.



A.A. 2006-2007

32/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Riassunto



Circuiti che concatenano aree diverse.

Il linguaggio ha una componente motoria ed una componente sensoriale.
Viene rappresentato apparentemente in aree frontali.

Rappresentazione di movimenti a livello sempre più astratto, fino alla
rappresentazione del movimento per sè (mirror neurons).

Circuito visuo-motorio (fornisce informazioni adatte all'esecuzione del
movimento).

Circuito visuo-cognitivo (fornisce informazioni adatte all'apprendimento
cognitivo).



Sommario



Struttura del Sistema Nervoso Centrale

Il linguaggio

Le trasformazioni visuo-motorie

Esempio di processing corticale



Indagine Sperimentale (Georgopoulos et al.)



Registrazione da cellule corticali durante un task motorio di trasporto del braccio che comporti flessione ed estensione dei due segmenti del braccio.

Studio della correlazione tra frequenza di scarico ed i parametri che caratterizzano il task motorio.

Identificazione della “funzione”, della “trasformazione” operata dalle cellule corticali (area 4, motoria).



Studio dell'attività nella corteccia motoria



9 pulsanti e luci disposte su una griglia orizzontale.

Accensione di una luce centrale e spostamento verso una delle altre luci per ottenere la ricompensa.

Registrazione dell'attività elettrica di neuroni singoli (frequenza di scarica).

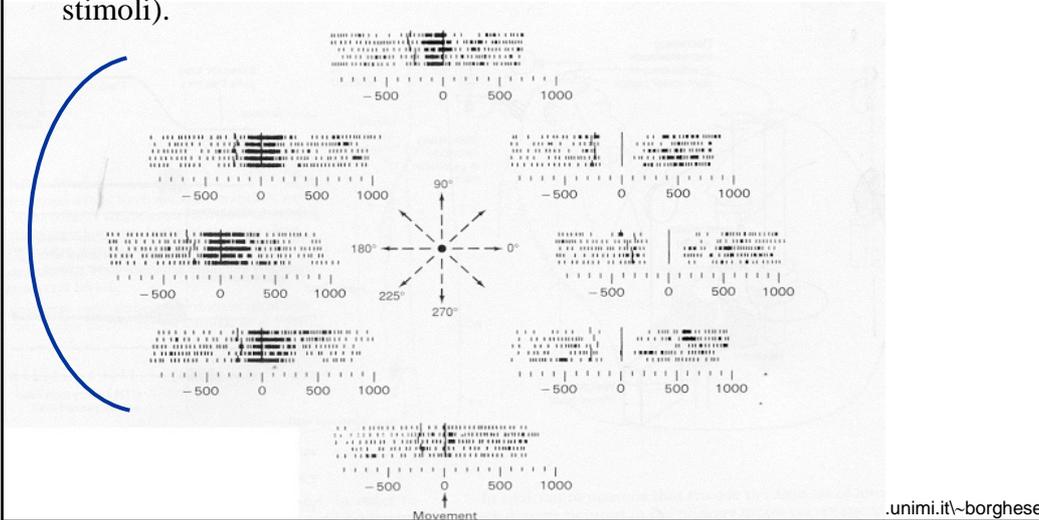
Direzione del movimento (spostamento del polso) e flessione / estensione (di braccio ed avambraccio) sono disaccoppiate.



Direzione preferenziale (esperimenti di Georgopoulos)



Cellula con attività massima nel range da 90 a 225 gradi (la direzione è determinata in uno spazio estrinseco, quello del piano contenente gli stimoli).



Modellazione della frequenza di scarica

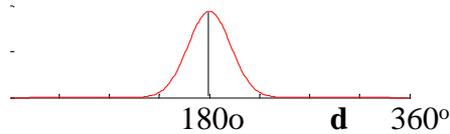


L'attività, frequenza di scarica, f , di un neurone è massima lungo la sua direzione preferenziale.

Tuning con forma cosinusoidale, "a campana" (cosa ricorda?).

$f(d)$
frequenza
di scarica

d può essere misurata mediante angolo sul piano formato dal vettore spostamento rispetto all'orizzontale.





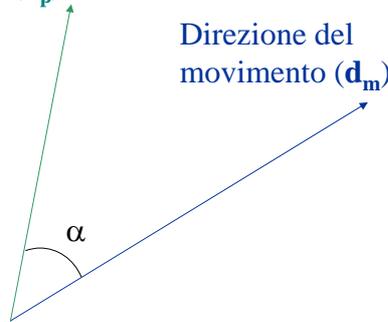
Attività del singolo neurone



Direzione preferita del neurone (\mathbf{d}_p)

Direzione del movimento (\mathbf{d}_m)

$$f = \mathbf{d}_p \cdot \mathbf{d}_m$$



L'attività, f , di un neurone è massima lungo la sua direzione preferenziale.

Tuning con forma cosinusoidale, "a campana" (cosa ricorda?).

L'attività del neurone decresce con l'allontanarsi della direzione del movimento dalla sua direzione "preferita".

A.A. 2006-2007

39/44

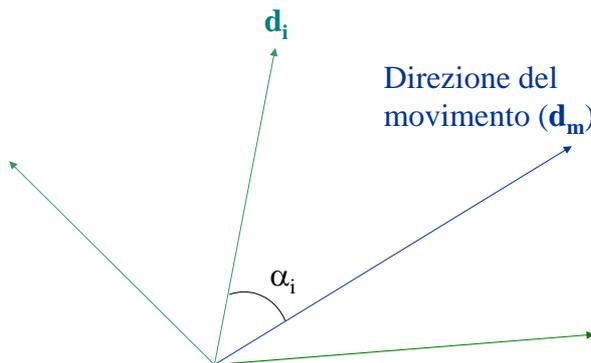
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Attività di una popolazione di neuroni



Misura di "efficacia" dell'attivazione in relazione alla direzione di movimento \mathbf{d}_m : $E_m = \sum_i \mathbf{d}_i \cdot \mathbf{d}_m$



Come può un sistema capire in quale direzione deve muoversi a partire dall'attività della popolazione?

A.A. 2006-2007

40/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Somma pesata dell'attività



d_i rappresenta l'attività del neurone i -esimo per il movimento nella sua direzione preferenziale.

Questa attività sarà massima quando la direzione del movimento, d_m , è allineata alla direzione preferita del neurone, per decrescere allo spostamento radiale.

Quindi?

Otengo la direzione di movimento come somma pesata dei vettori di direzione preferenziale. $d_m = \sum_i d_i \cos \alpha_i$

L'uscita della popolazione è multipla, ciascuna sintonizzata su una d_m diversa.

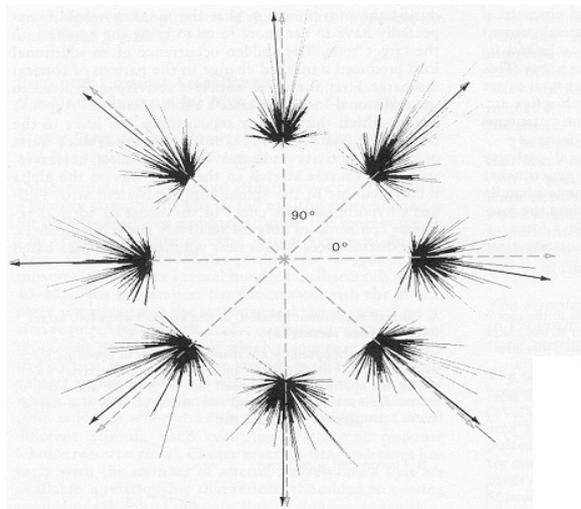
A.A. 2006-2007

41/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Attivazione dei neuroni della corteccia motoria



Ampiezza dell'attivazione lungo la direzione preferita di ciascun neurone.

La direzione del movimento è codificata dall'insieme dei neuroni, non dal neurone singolo!

A.A. 2006-2007

42/44

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgese>



Osservazioni



Il codice di popolazione è robusto rispetto a guasti del singolo neurone.

La popolazione “ruota” con il ruotare della direzione del movimento.

Siti multipli per gradi di libertà distali (e.g. afferrare con due dita attiva aree diverse da quelle attivate per afferrare con il palmo).

Movimenti effettuati sotto l’impulso della collera, apparentemente non passano per l’area motoria.

Muscoli della faccia (mandibola) attivi quando un animale scatta per mordere, sono diversi da quelli che l’animale utilizza quotidianamente per mangiare.



Sommario



Struttura del Sistema Nervoso Centrale

Il linguaggio

Le trasformazioni visuo-motorie

Il codice di popolazione come esempio di processing corticale