

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. 2010-2011

1/45

<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. 2010-2011

2/45

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



Computazione nel SNC



- Parallelizzazione
- Suddivisione dei task in moduli seriali / paralleli.
- Network che collega in serie / parallelo i vari moduli.
- Network dinamici.



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.

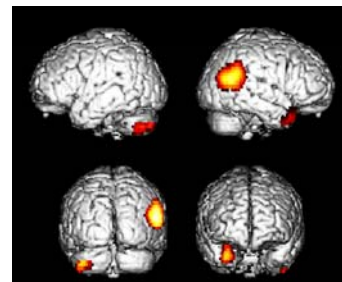
Quest'ultima e' la teoria moderna delle funzioni cognitive cerebrali.

Circuiti neurali.

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

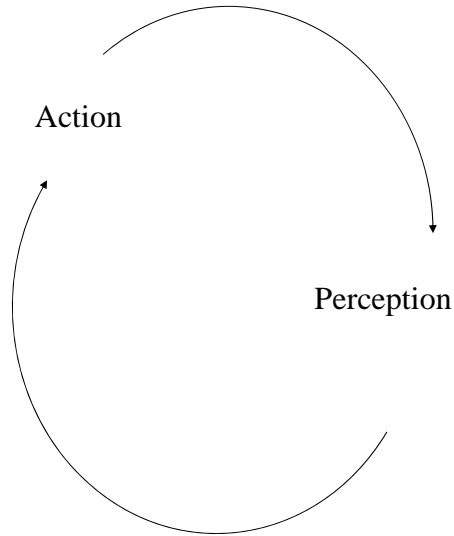
Neuroni afferenti sensoriali, neuroni efferenti motori ed interneuroni.

Dall'anatomia alla funzione.





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. 2010-2011

5/45

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



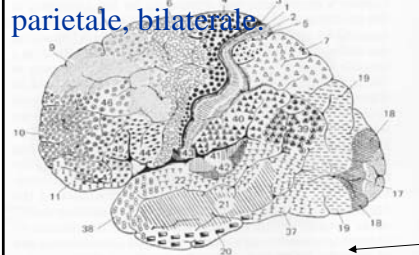
Mirror neurons and circuits



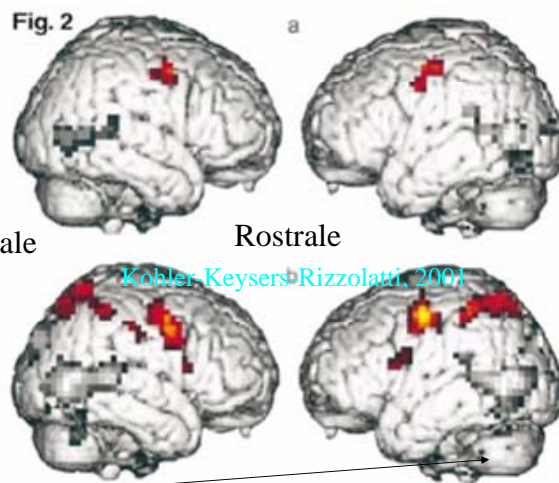
Aree prefrontali, attive sia nell'osservazione che nell'immaginazione che nell'esecuzione di movimenti.

Attivazione pre-motoria.

Attivazione pre-motoria + parietale, bilaterale.



Lo sperimentatore muove le mani senza oggetto.



Lo sperimentatore muove le mani con oggetto.

A.A. 2010-2011

6/45

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

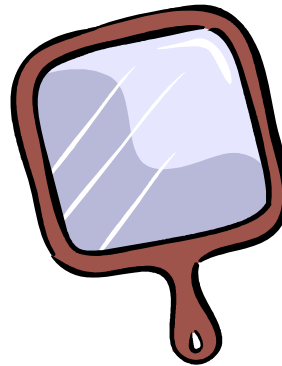


Mirror neurons - neuroni specchio



<http://www.youtube.com/watch?v=O3-wegp1ovM>

Neuroni specchio



A.A. 2010-2011

7/45

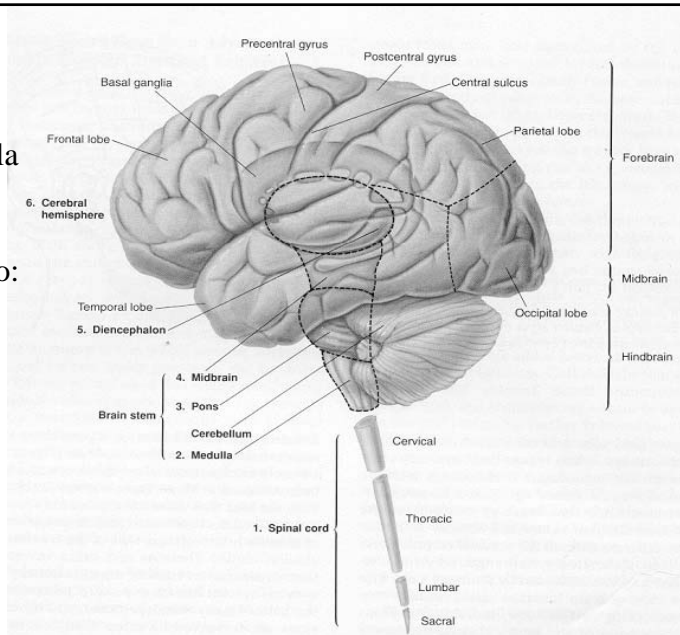
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



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

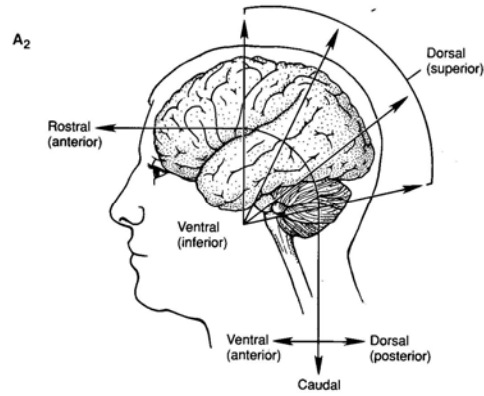
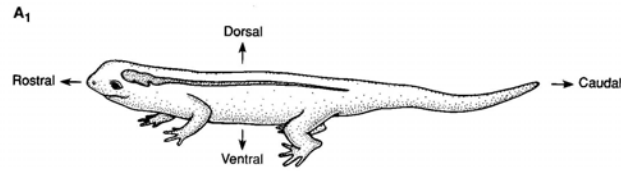
Sistema nervoso periferico:
nervi e gangli; parte
somatica ed autonoma.

*Parallel,
Distributed
processing.*



Struttura del Sistema Nervoso

A.A. 2010-2011



I punti cardinali del SNC

A.A. 2010-2011

res.dsi.unimi.it/~borghese



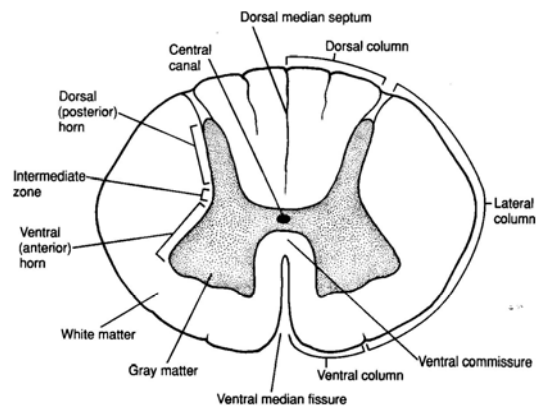
La spina dorsale

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. 2010-2011

10/45

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



I 2 emisferi cerebrali

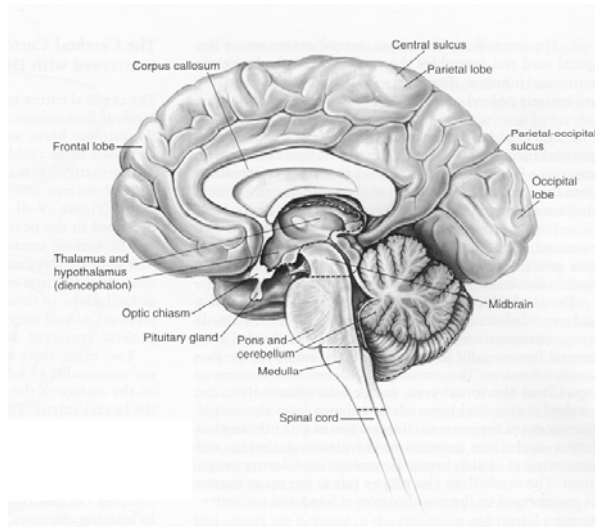


Emisferi simmetrici
bilateralmente.

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. 2010-2011

11/45

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



Le convoluzioni cerebrali.

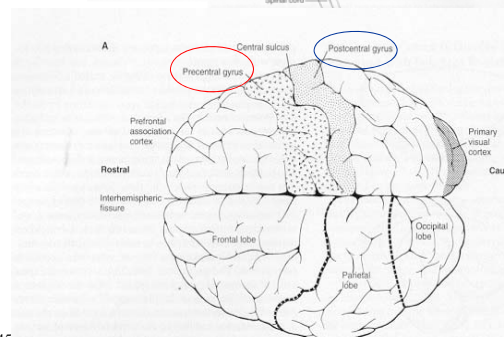
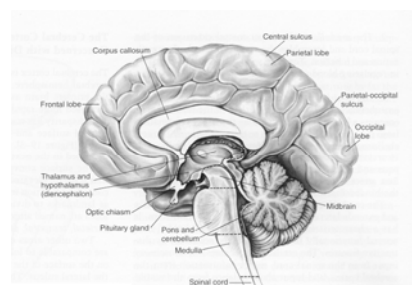


Struttura convoluta sotto la
pressione dell'evoluzione.

Gyri e solci.

Alcuni solchi sono elementi di
contrassegno.

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

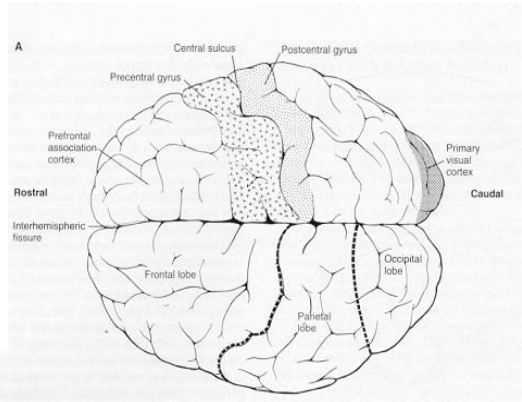
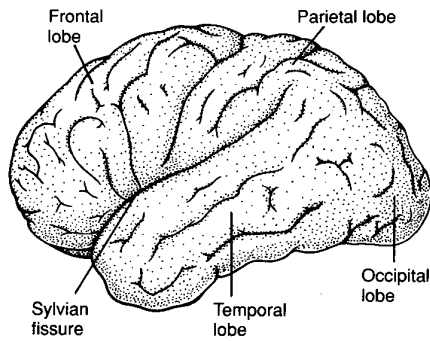


A.A. 2010-2011

12/45



I lobi cerebrali



A.A. 2010-2011

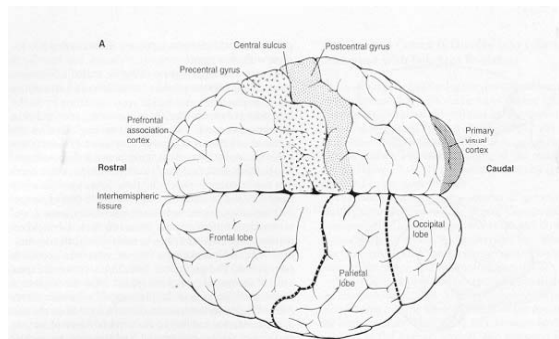
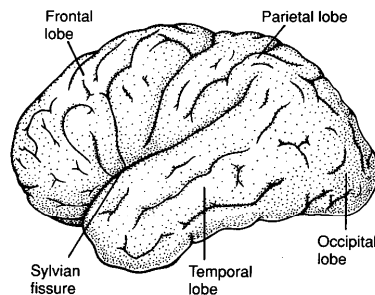
13/45

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



+ *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. 2010-2011

14/45

<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.

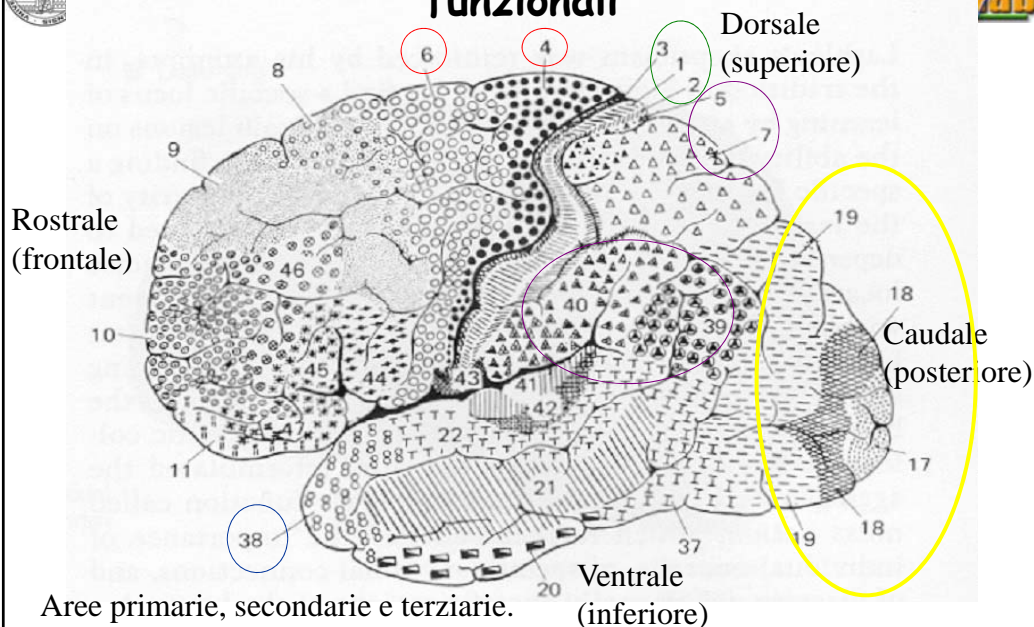
A.A. 2010-2011

15/45

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



Suddivisione cito-architettonica in aree funzionali



A.A. 2010-2011

16/45

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

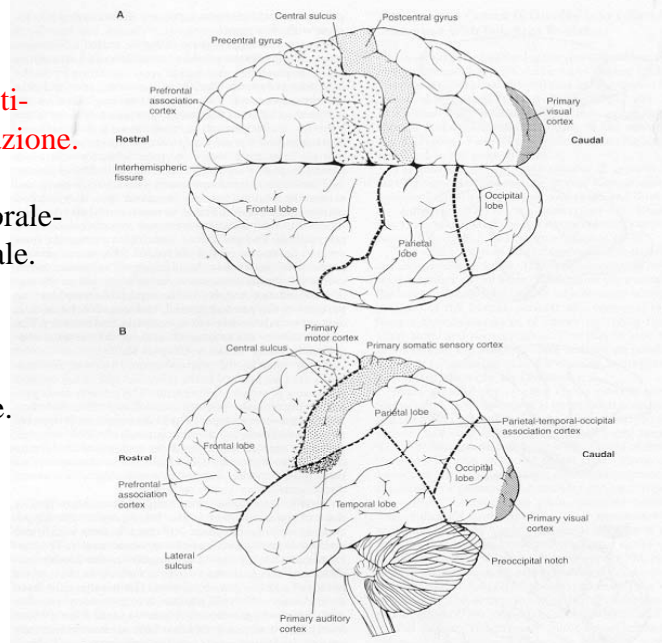


Integrazione multi-sensoriale per l'azione.

Giunzione temporale-parietale-occipitale.

Area limbica.

Area pre-frontale.



Aree 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



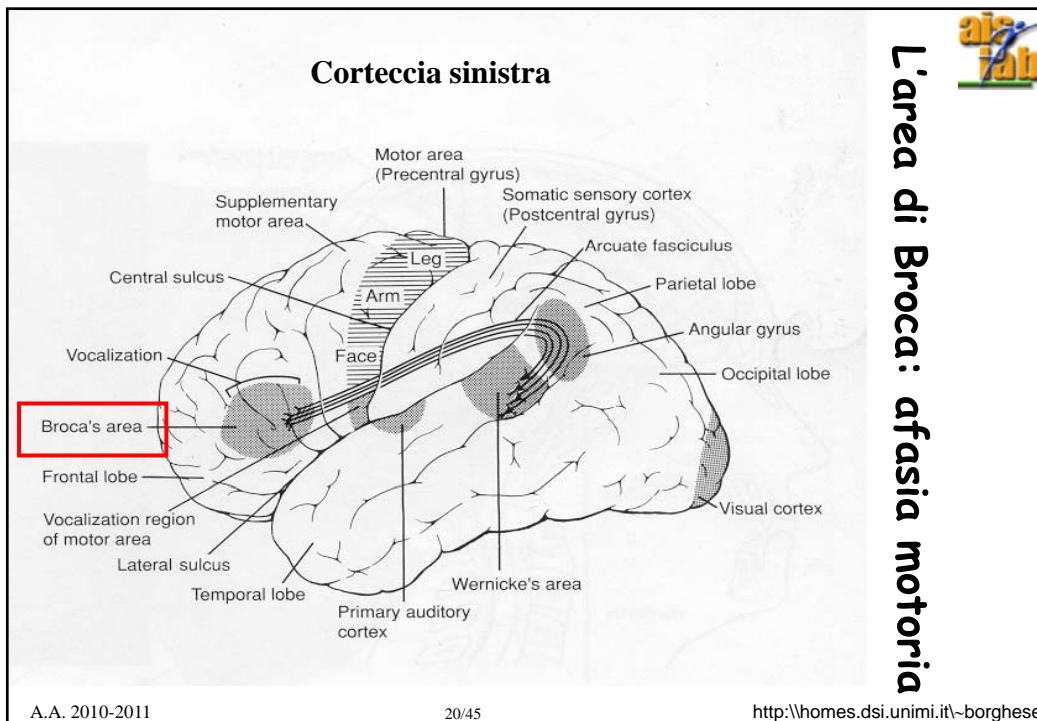
Afasia – genericamente, disordine del linguaggio.

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

A.A. 2010-2011

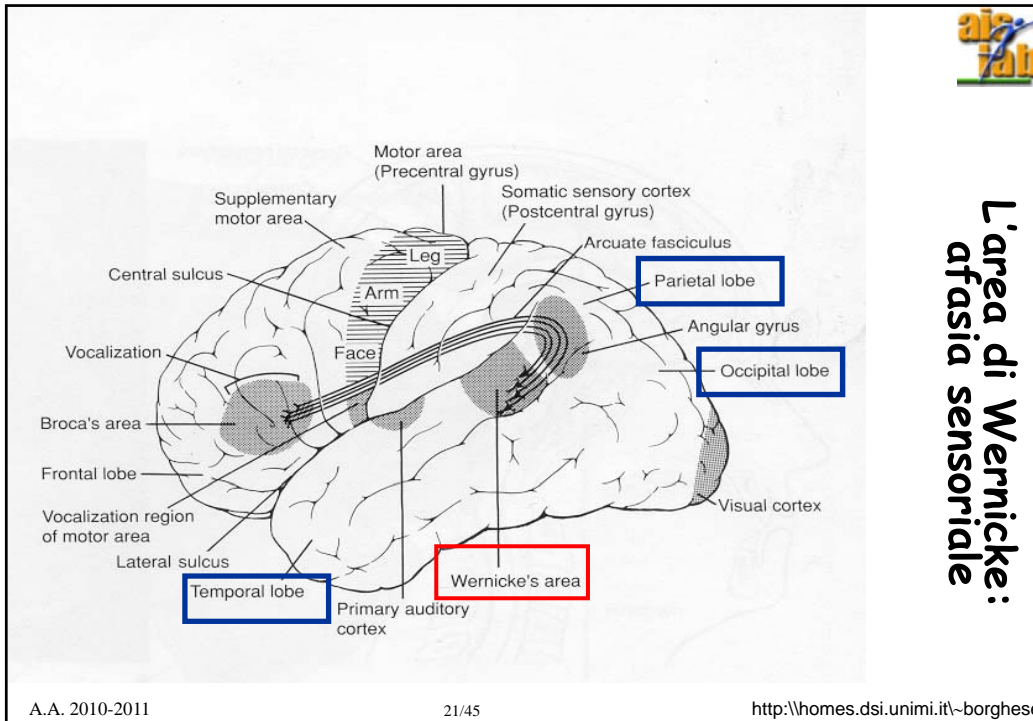
19/45

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

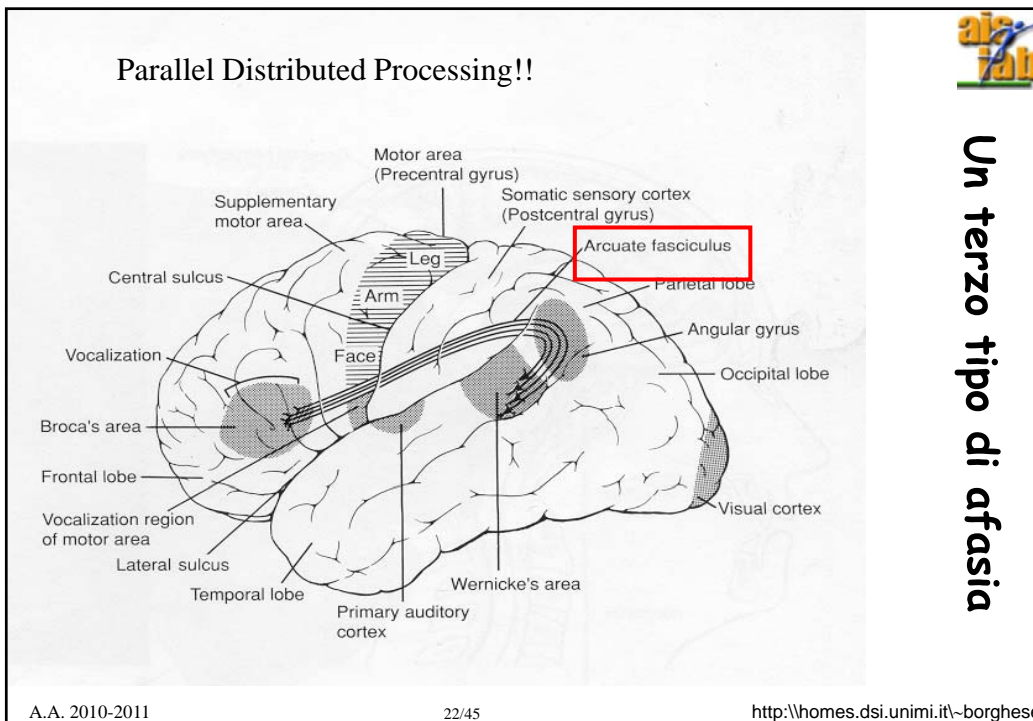




L'area di Wernicke: afasia sensoriale

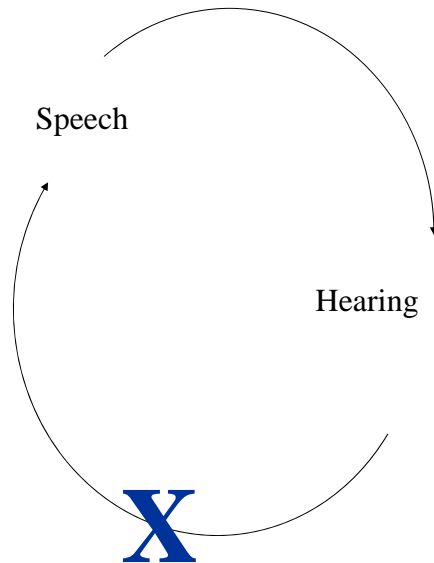


Un terzo tipo di afasia





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. 2010-2011

23/45

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



Wernicke's model

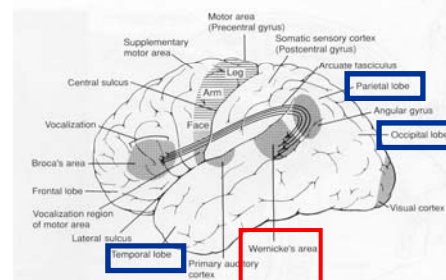
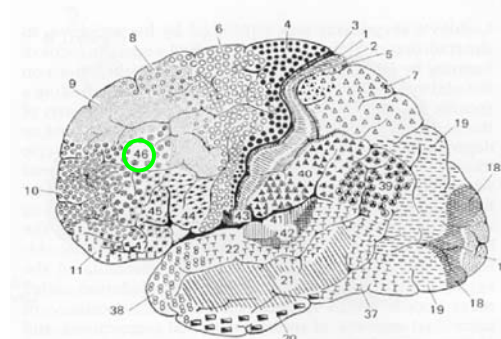


Parallel Distributed Processing.

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

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

Prosodia (corteccia destra).



A.A. 2010-2011

24/45



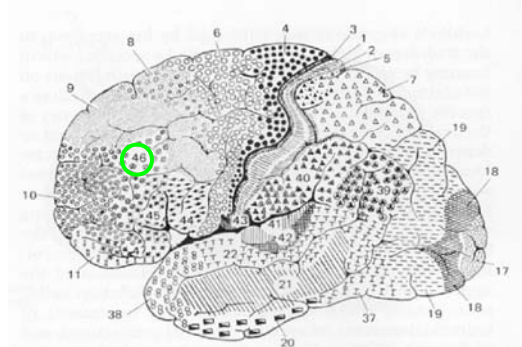
Apprendimento del linguaggio



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.



Sommario



Struttura del Sistema Nervoso Centrale

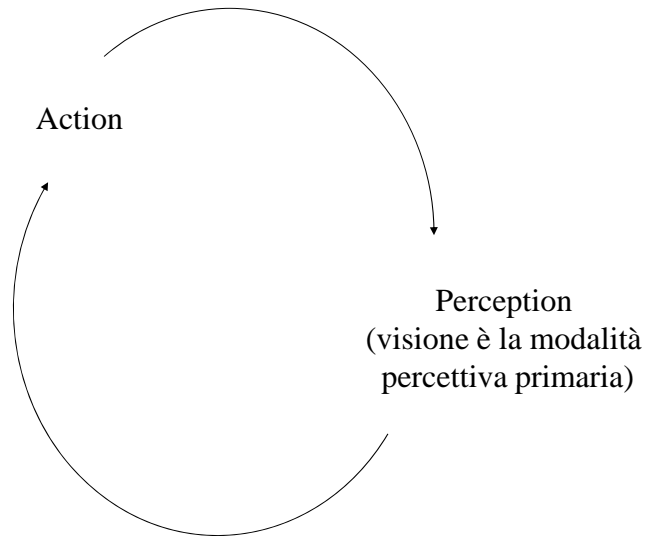
Il linguaggio

Le trasformazioni visuo-motorie

Il codice di popolazione come esempio di processing corticale



Trasformazioni visuo-motorie



A.A. 2010-2011

27/45

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



Il movimento volontario

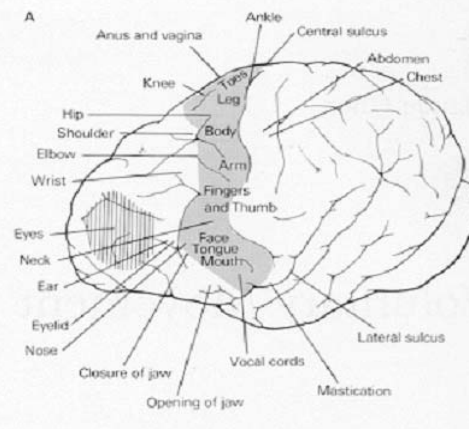


Movimenti volontari.

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. 2010-2011

28/45

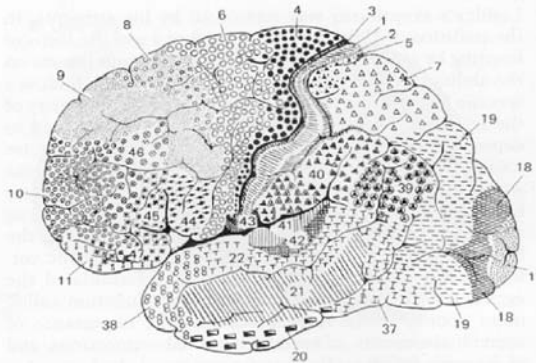
<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



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.

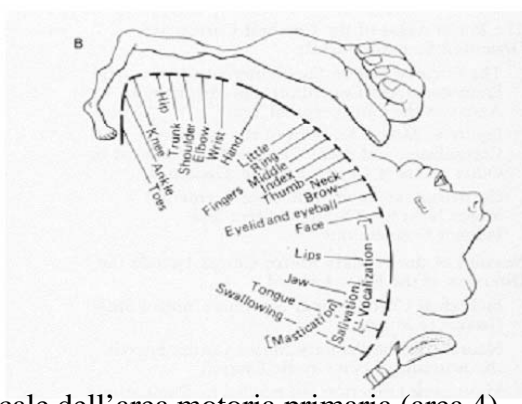
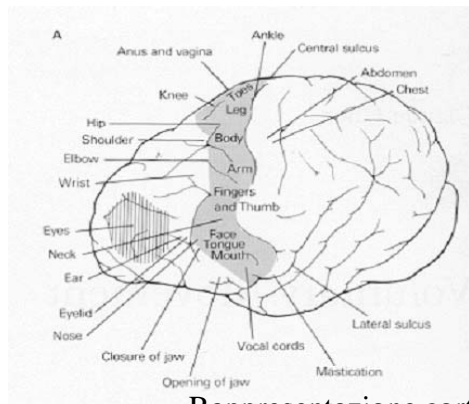
A.A. 2010-2011

29/45

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



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?

Cf. Mappe di Kohonen.

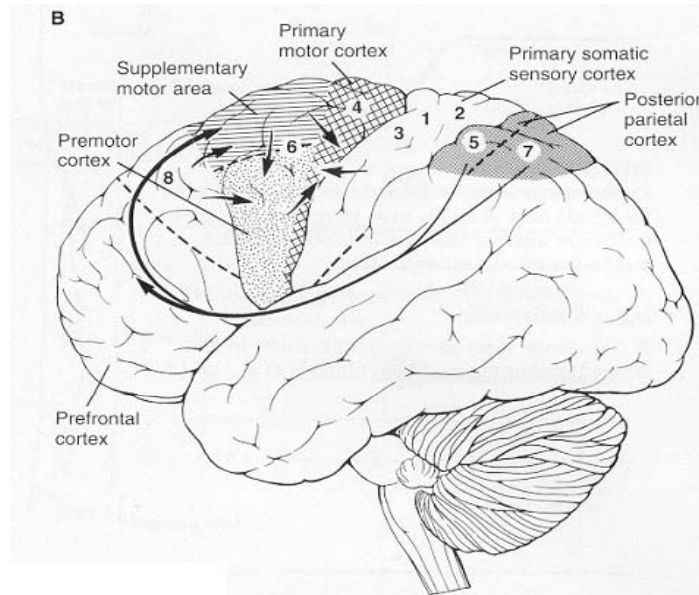
A.A. 2010-2011

30/45

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



Le aree motorie



A.A. 2010-2011

31/45

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



Output delle aree motorie



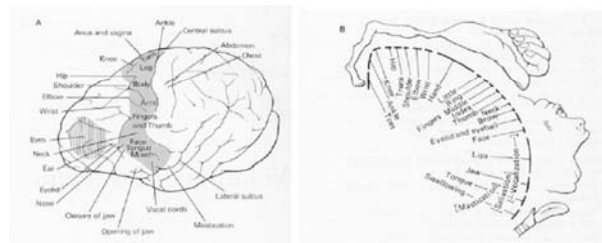
Muscoli diversi hanno regioni di attivazione diverse.

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. 2010-2011

32/45

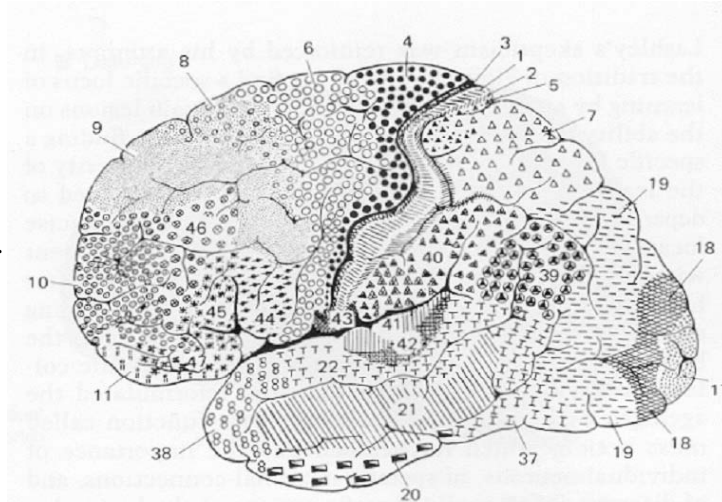
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



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. 2010-2011

33/45

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



Trasformazioni visuo-motorie



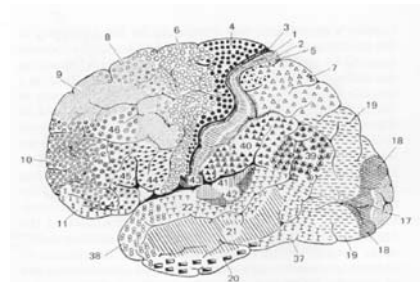
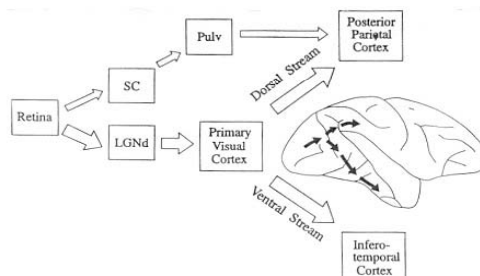
I nostri occhi sono la finestra sul mondo.

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. 2010-2011

34/45

<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).

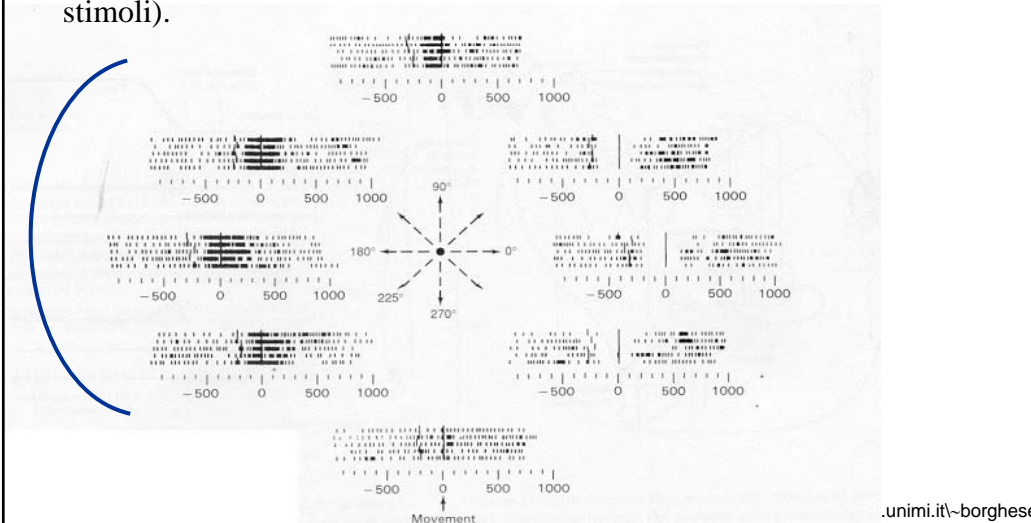
Direzione del movimento (spostamento del polso) e flessione / estensione (di braccio ed avambraccio) sono disaccoppiate.



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).

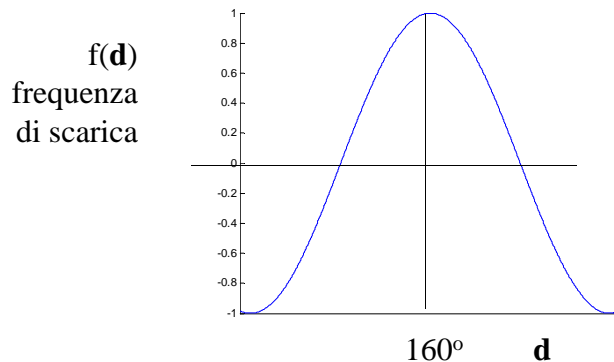


Modellazione della frequenza di scarica



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

Tuning con forma cosinusoidale, (cosa ricorda?).



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



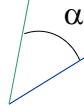
Attività del singolo neurone



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, (cosa ricorda?).

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

A.A. 2010-2011

41/45

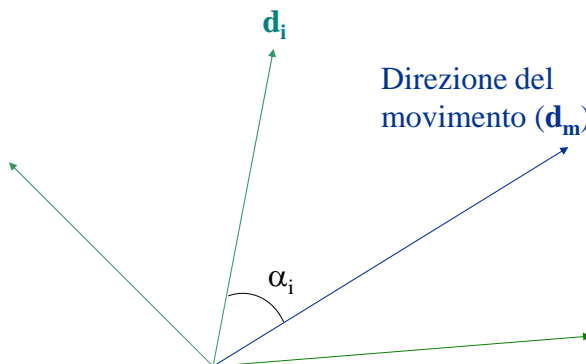
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



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. 2010-2011

42/45

<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.

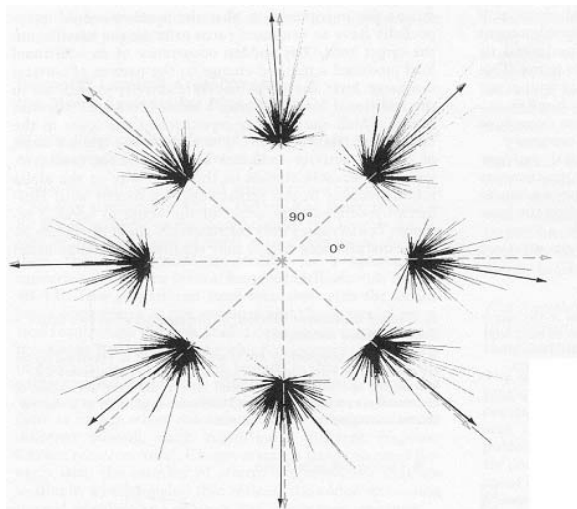
A.A. 2010-2011

43/45

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



Codice di popolazione nella 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. 2010-2011

44/45

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



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