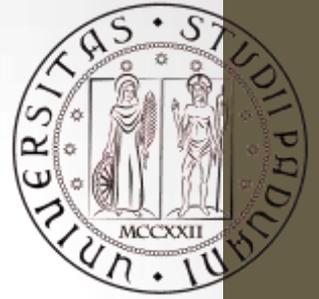


Università degli studi di Padova  
Dipartimento di Psicologia Generale



# Spazio e trasformazioni sensorimotorie

Michele De Filippo De Grazia  
Simone Cutini



# Outline

- Trasformazioni sensorimotorie
- Basi anatomo-fisiologiche delle trasformazioni
- Rappresentazione dello spazio
- Il modello: Restricted Boltzmann Machine
- Risultati

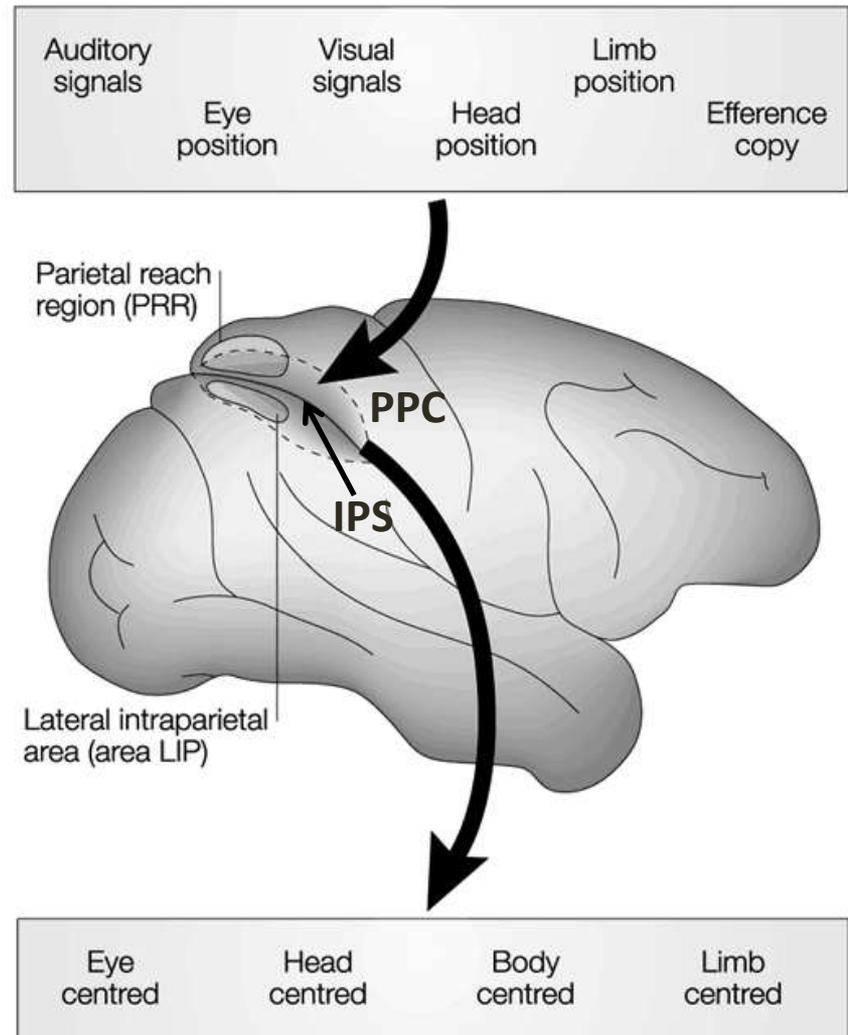
# Le trasformazioni sensorimotorie

- L'informazione visiva viene codificata in coordinate retinocentriche
- I programmi motori sono codificati nelle coordinate dell'effettore
- Nella programmazione del movimento avviene una trasformazione sensorimotoria
- Nel movimento di raggiungimento guidato visivamente le coordinate motorie sono centrate sulla mano

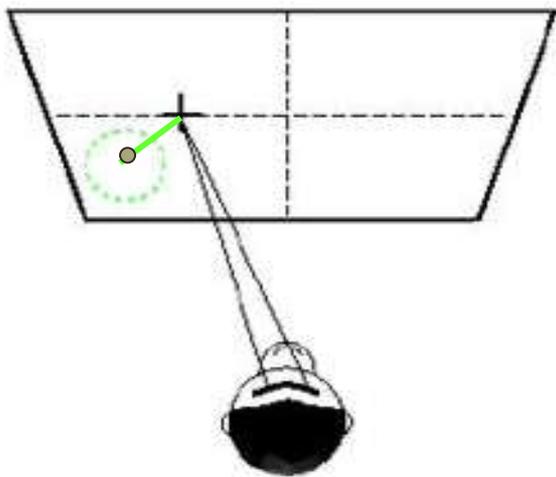


# PPC e la Rappresentazione dello spazio

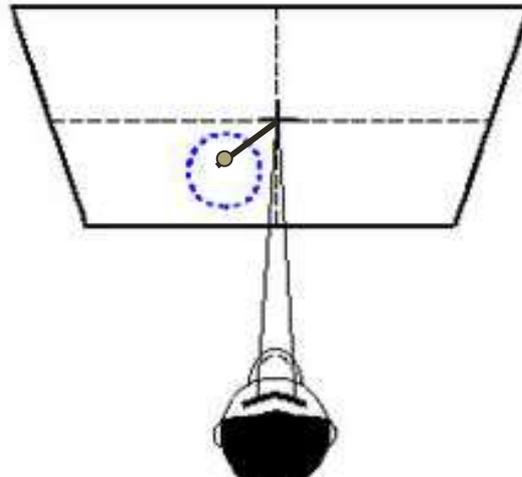
- La Corteccia Parietale Posteriore (PPC) è situata all'incrocio dei sistemi sensoriali e motori
- Interfaccia neurale tra percezione e azione
- I neuroni della PPC ricevono input da aree visive e somatosensoriali
- Molti neuroni della PPC codificano lo stimolo visivo in coordinate oculocentriche ma sono influenzati dalle informazioni posturali
- Tali neuroni vengono chiamati "***Gain Fields***"



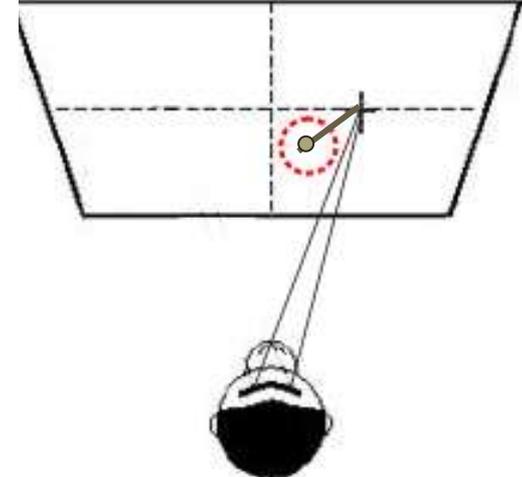
# Posizione retinica e informazione posturale



Posizione oculare:  $-20^\circ$



Posizione oculare:  $0^\circ$

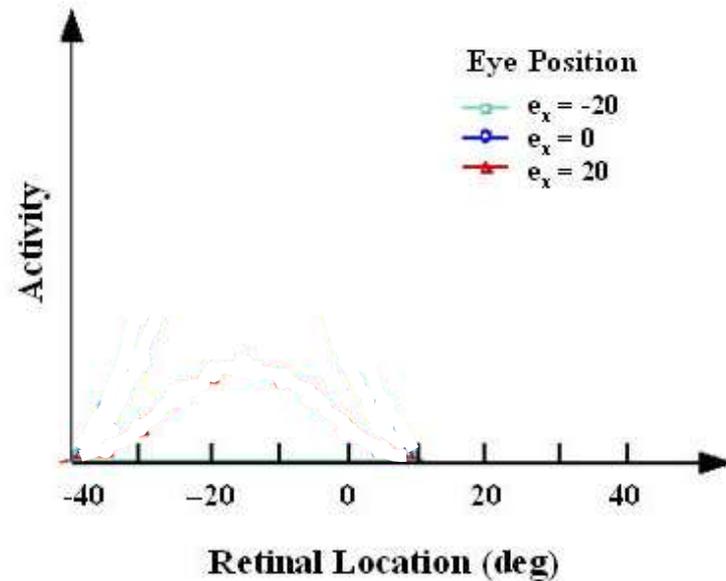
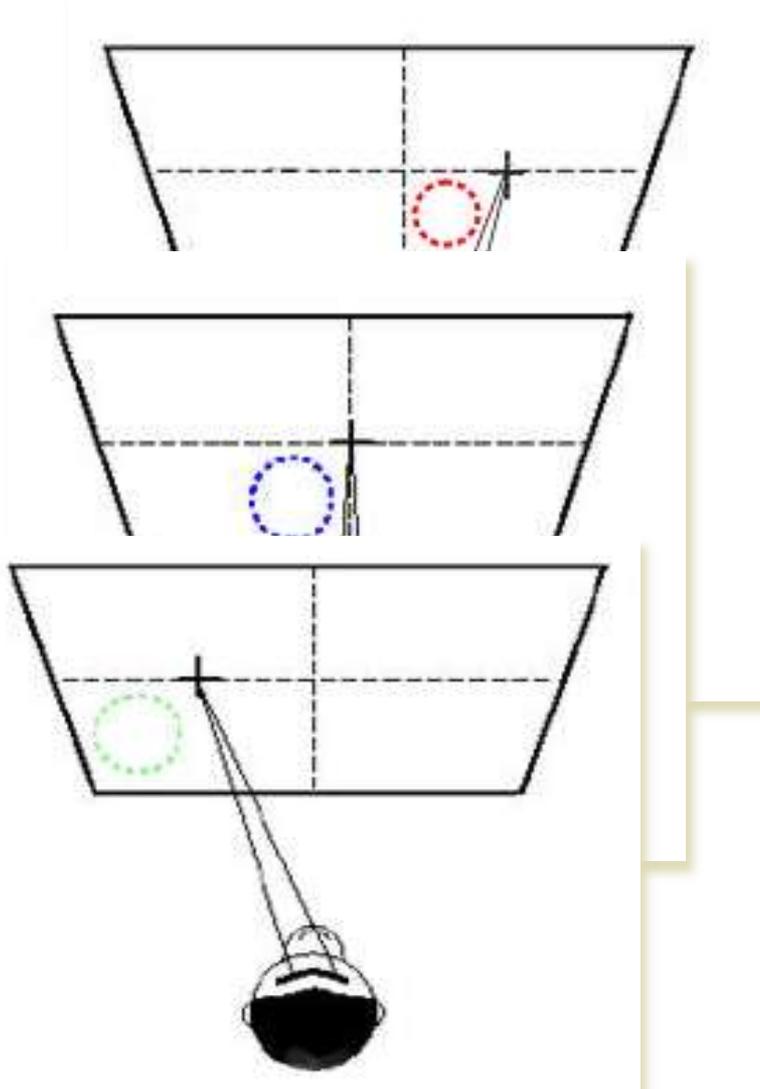


Posizione oculare:  $20^\circ$

Posizione retinica dello stimolo:  $-15^\circ$

**Setting sperimentale per lo studio dei “Gain Fields”**

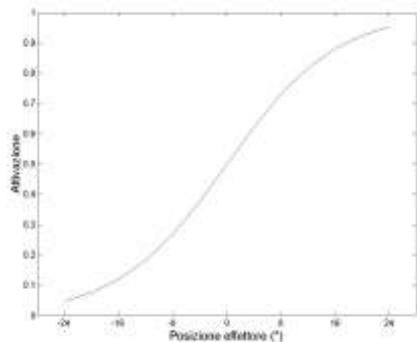
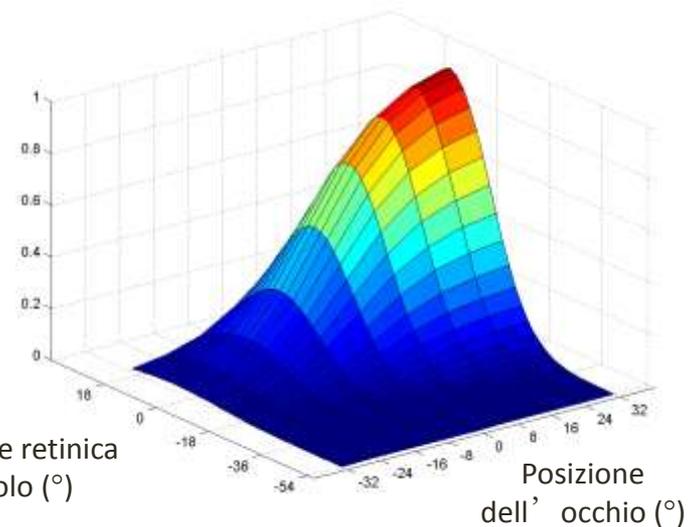
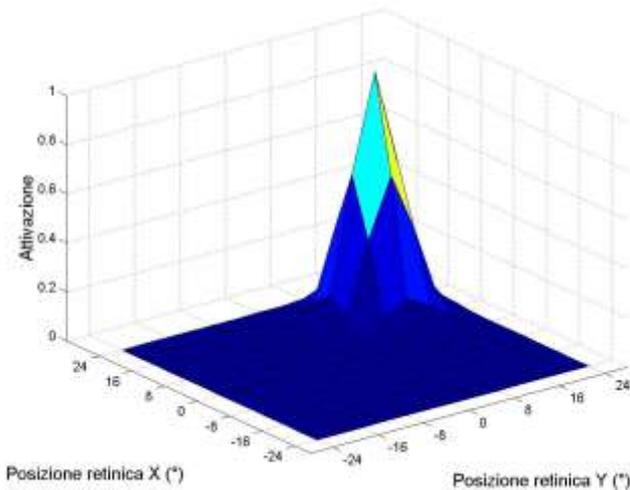
# I “Gain Fields”



(Andersen et al., 1985)

# Rappresentazione dello spazio in PPC

- Il profilo di risposta dei Gain Fields può essere approssimato:
  - L'attivazione dovuta a stimolazione retinica è gaussiana
  - Viene modulata dalle informazioni posturali di occhio ed effettore secondo una curva sigmoide

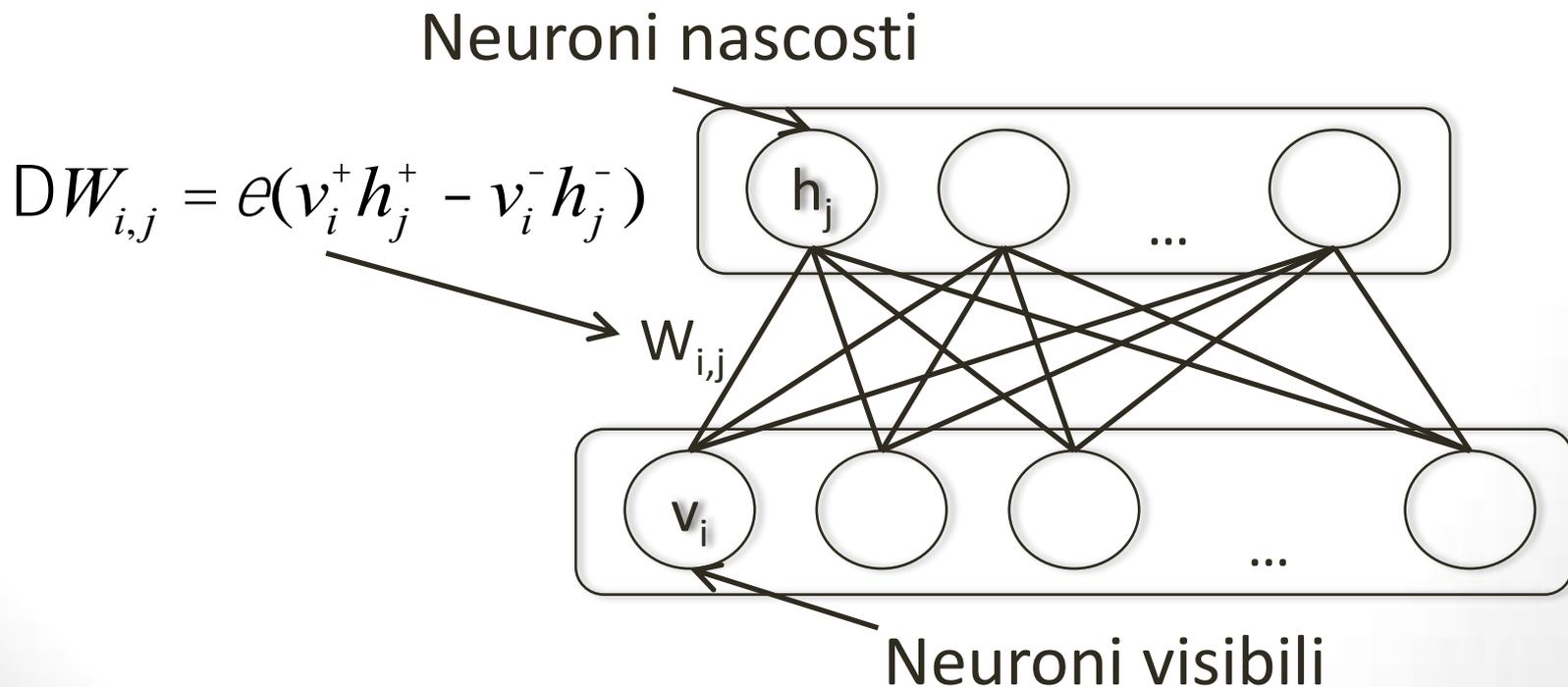


# Gain Fields e trasformazioni sensorimotorie

- Le proprietà di questi neuroni indicano che:
  1. lo spazio viene rappresentato dall'attivazione di una **popolazione di neuroni** (Salinas & Thier, 2000)
  2. è elaborata una *rappresentazione distribuita* della posizione spaziale dello stimolo (Caminiti et al., 1999)
- Meccanismo integrativo di segnali diversi
- Tali campi recettivi possono rappresentare in maniera compatta l'informazione spaziale in molte aree cerebrali
- L'elaborazione potrebbe rappresentare lo stato intermedio nella trasformazione da coordinate sensoriali a coordinate motorie

# Restricted Boltzmann Machine

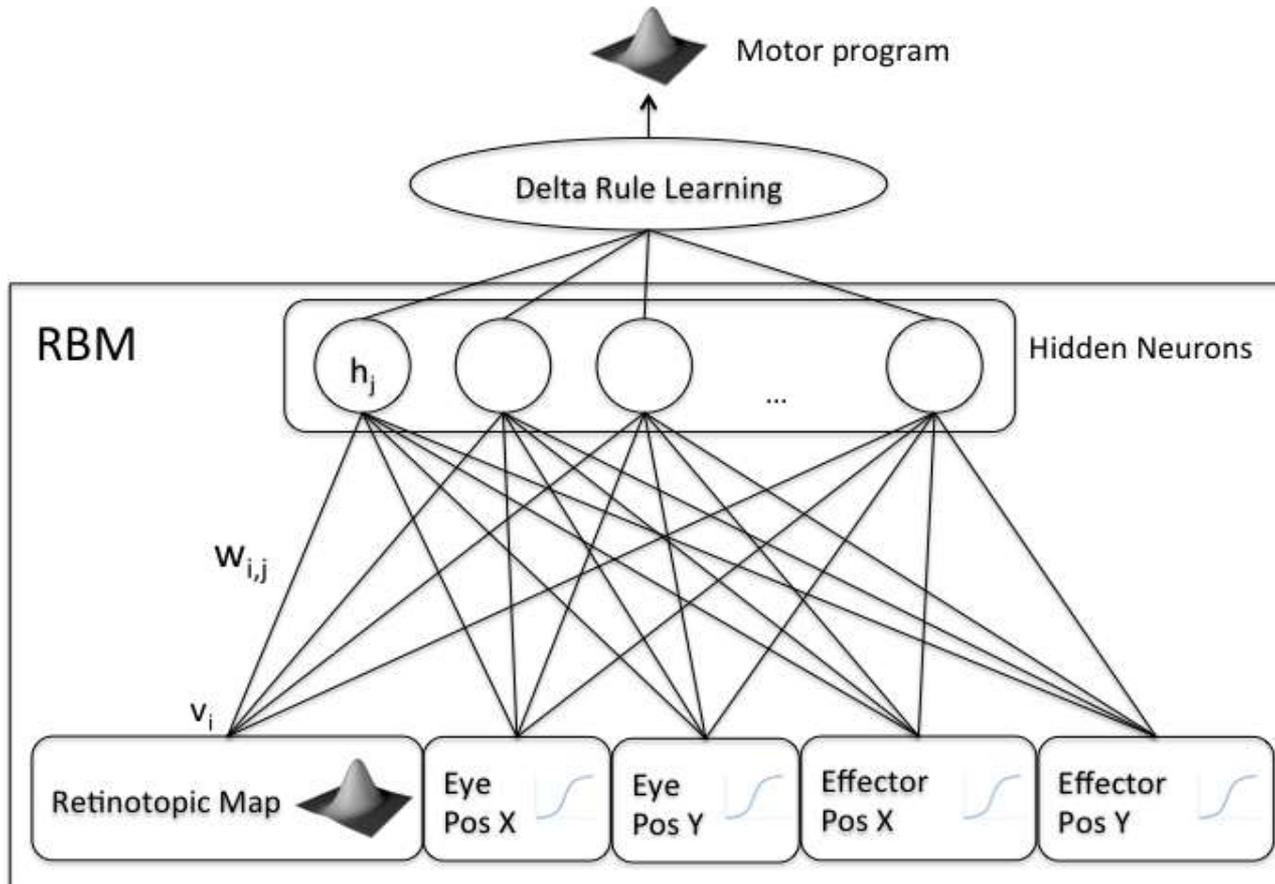
- Rete neurale stocastica composta da uno strato di neuroni visibili (sensoriali) e uno strato di neuroni nascosti (detettori)
- Connessioni complete tra strati: bidirezionali e simmetriche
- Apprendimento non supervisionato di tipo correlazionale (Hinton & Salakhutdinov, 2006)
- Plausibilità biologica (O'Reilly, 1998)



# Obiettivi del modello

1. Studio dell'integrazione dei segnali per la trasformazione sensorimotoria effettuata dai neuroni nascosti dopo l'apprendimento non supervisionato -> generazione spontanea di Gain Fields simili a quelli presenti in PPC
2. Ricostruzione del programma motorio a partire dai neuroni nascosti per valutare l'apprendimento:
  - Attraverso una semplice proiezione lineare tra l'attivazione dei neuroni nascosti e il programma motorio
  - I pesi sono calcolati tramite un apprendimento a regola Delta la quale minimizza l'errore con discesa di gradiente

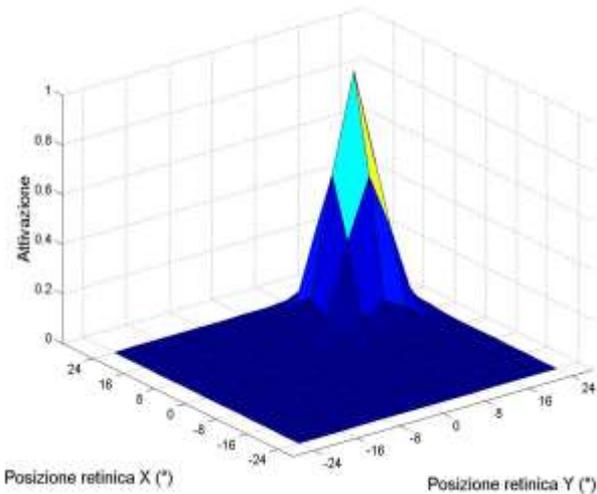
# Architettura del modello



- 357 neuroni sensoriali e 250 neuroni nascosti
- 10 reti con pesi iniziali random (2500 neuroni totali)
- 520 pattern di addestramento bilanciati per ogni posizione retinica e posturale

# I pattern d'addestramento

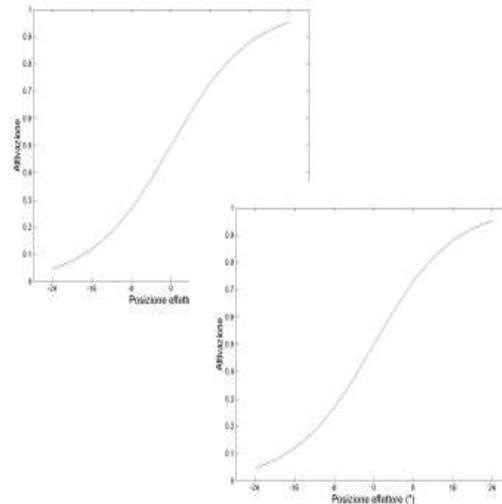
*Mappa retinotopica*



Funzione gaussiana

Range stimoli: - 9°, + 9° / Step: 3°

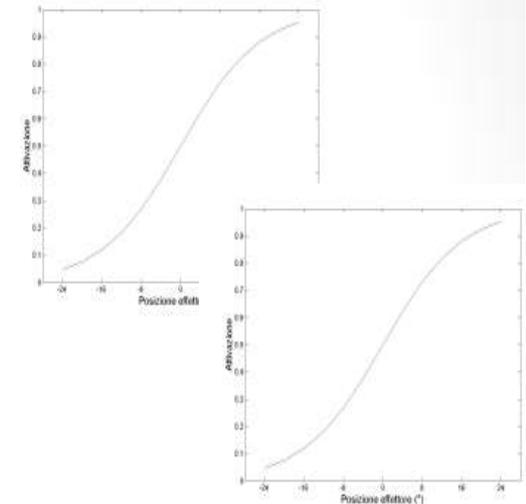
*Mappe posturali occhio*



Funzione sigmoide per X e Y

Range stimoli: -18°, + 18° / Step: 3°

*Mappe posturali effettore*



Funzione sigmoide per X e Y

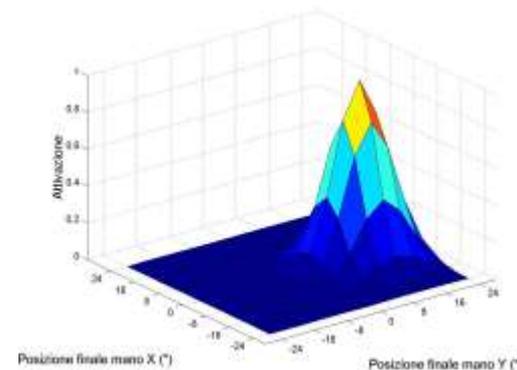
Range stimoli: -18°, + 18° / Step: 3°

## *Mappa motoria*

Funzione gaussiana

Range dei programmi motori:

Programma Motorio = Pos. retinica +  
Pos. Occhio - Pos. effettore

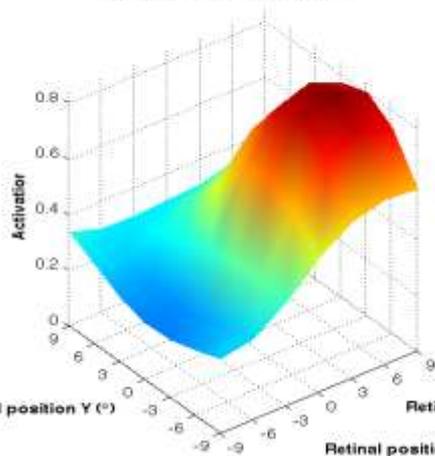


# Analisi dei neuroni

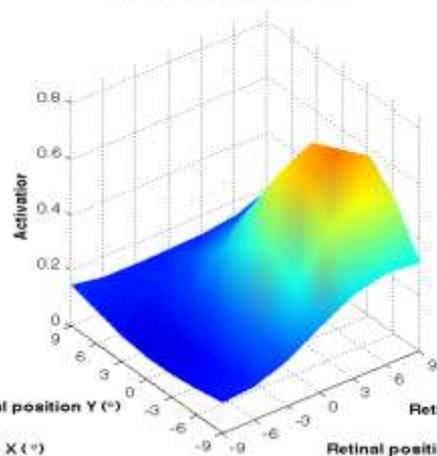
- Le performance del modello sono state calcolate come errore medio del programma motorio estratto con la proiezione lineare -> inferiore alla soglia di 4° (Zipser & Andersen, 1988)
- Analisi dei neuroni nascosti:
  - Risposta del neurone nascosto per tutte le stimolazioni retiniche
  - Visualizzazione del campo recettivo dell'unità
  - Analisi dei cambiamenti del campo recettivo in funzione delle informazioni posturali
  - Calcolo dei Gain Modulation Index (GMI): calcolati come rapporto normalizzato tra il massimo e il minimo volume dei profili di risposta variando una posizione posturale alla volta -> 4 valori nel range [0,1]

# Risultati - 1

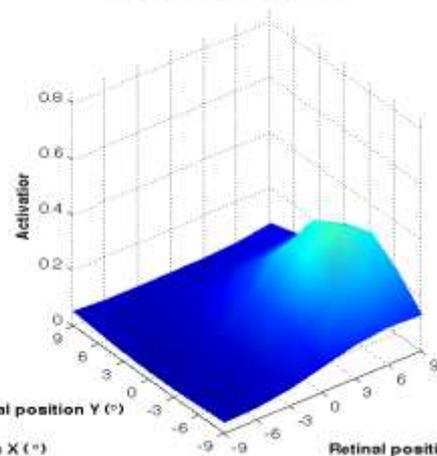
Neuron 11: Eye position X  $-18^\circ$



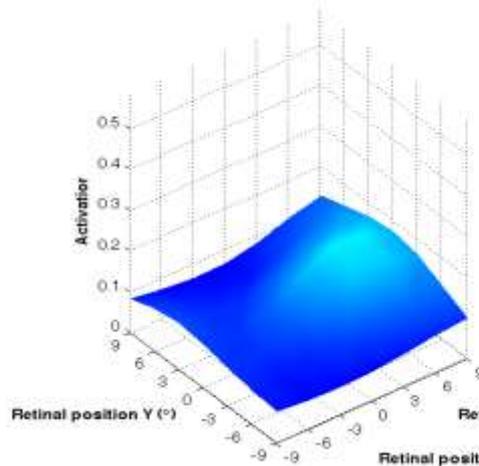
Neuron 11: Eye position X  $0^\circ$



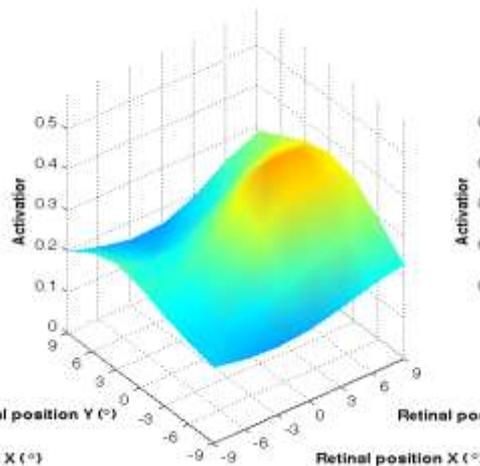
Neuron 11: Eye position X  $18^\circ$



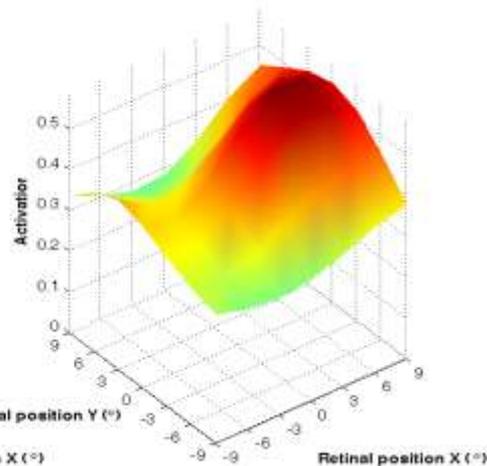
Neuron 145: Effector position X  $-18^\circ$



Neuron 145: Effector position X  $0^\circ$

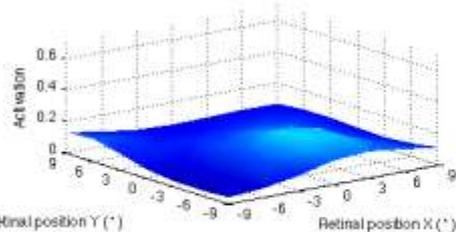


Neuron 145: Effector position X  $18^\circ$

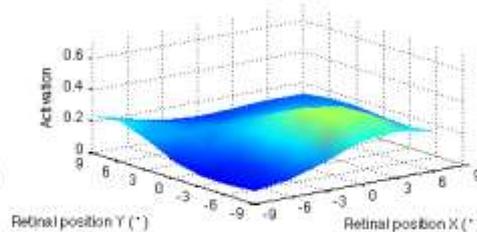


# Risultati - 2

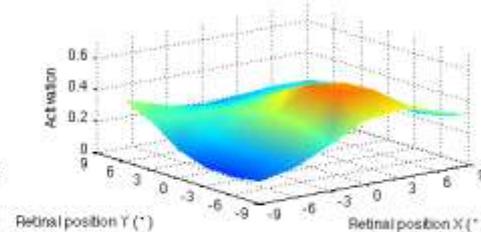
Neuron 249: Eye X  $-16^\circ$ , Effector X  $16^\circ$



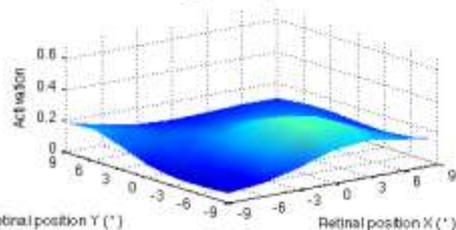
Neuron 249: Eye X  $0^\circ$ , Effector X  $16^\circ$



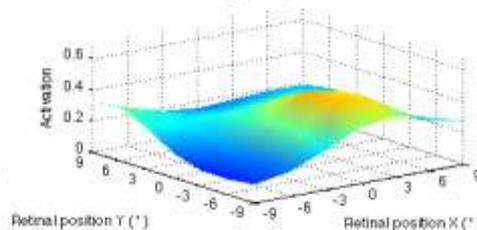
Neuron 249: Eye X  $16^\circ$ , Effector X  $16^\circ$



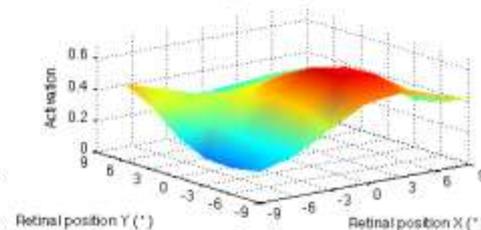
Neuron 249: Eye X  $-16^\circ$ , Effector X  $0^\circ$



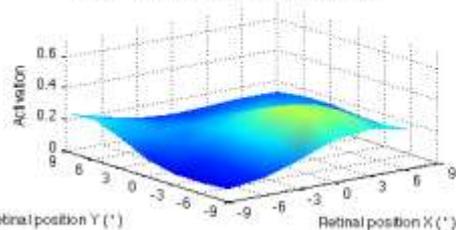
Neuron 249: Eye X  $0^\circ$ , Effector X  $0^\circ$



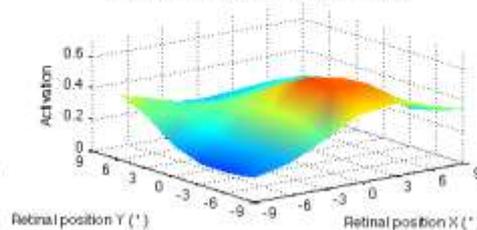
Neuron 249: Eye X  $16^\circ$ , Effector X  $0^\circ$



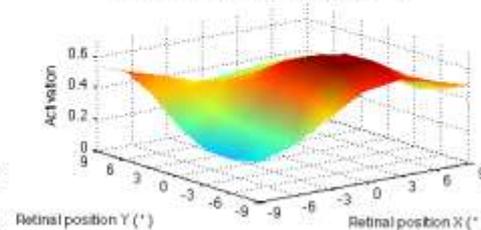
Neuron 249: Eye X  $-16^\circ$ , Effector X  $-16^\circ$



Neuron 249: Eye X  $0^\circ$ , Effector X  $-16^\circ$

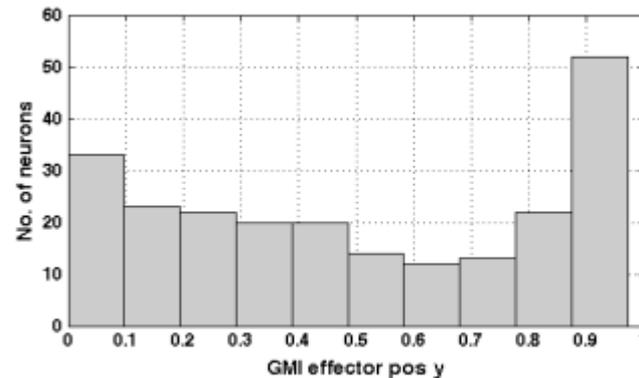
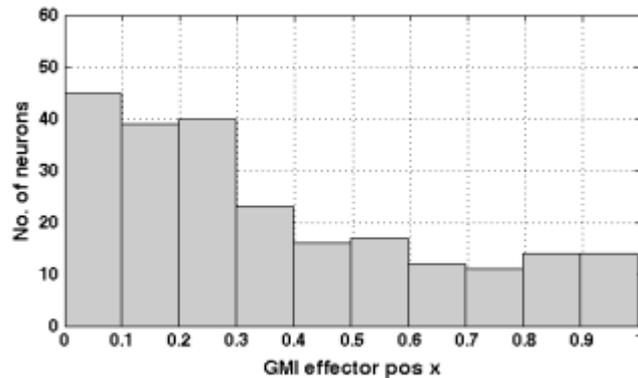
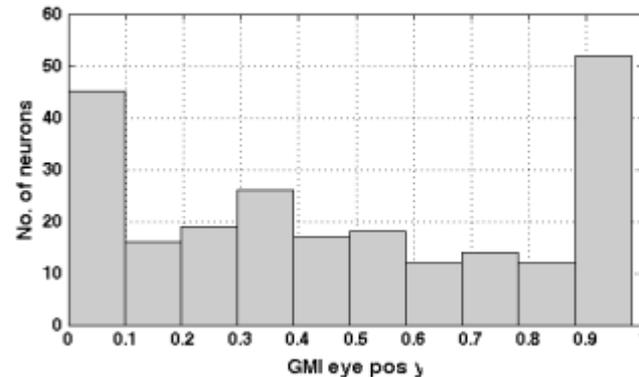
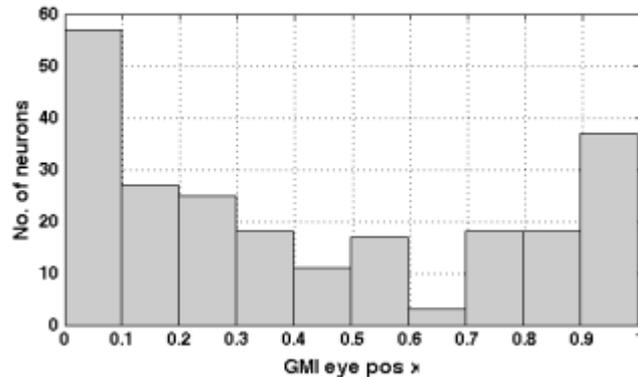


Neuron 249: Eye X  $16^\circ$ , Effector X  $-16^\circ$



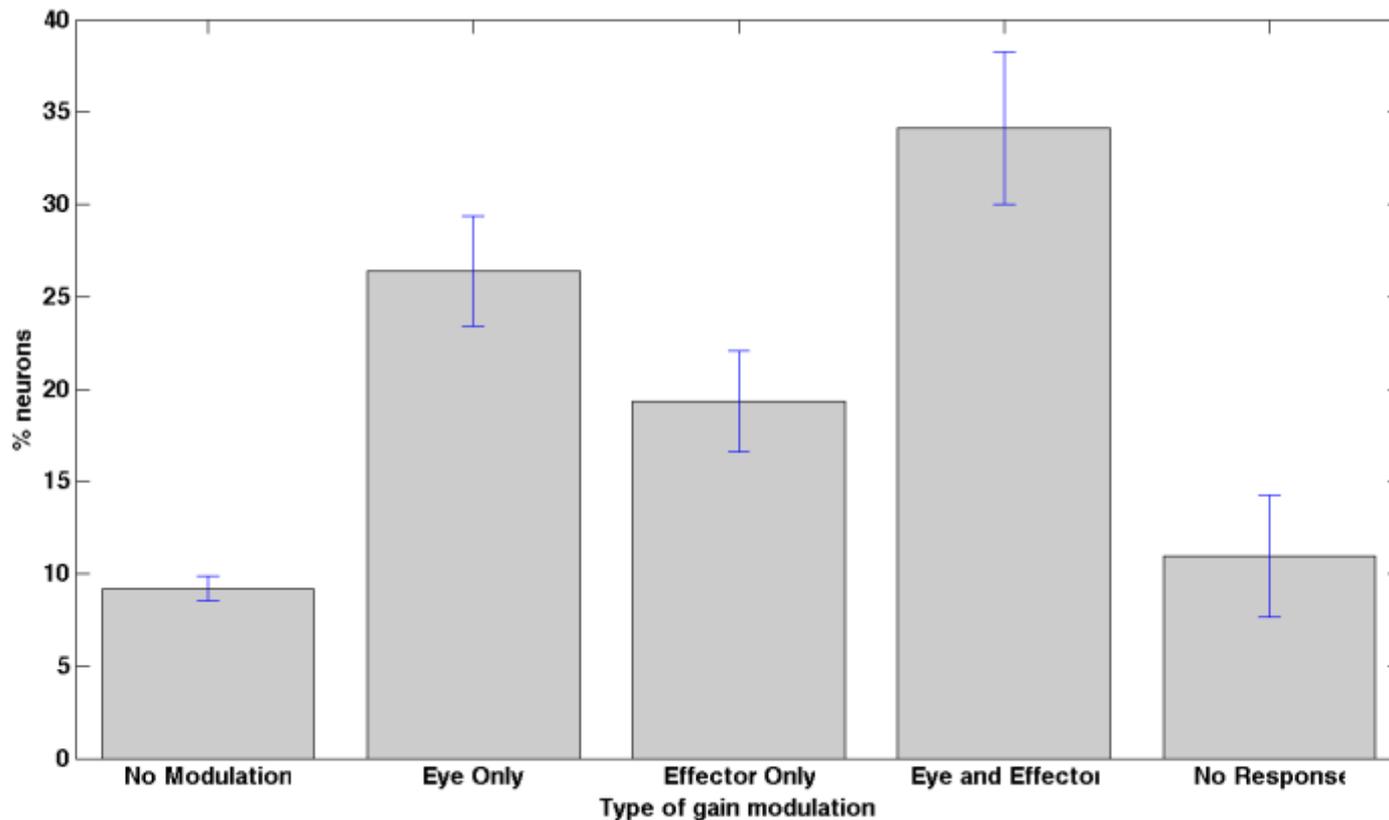
# GMI - 1

- Distribuzione del GMI per le 4 posizioni posturali per una rete
- I valori si distribuiscono lungo tutto il range [0,1]
  - 0 -> il campo recettivo del neurone non è modulato dalla posizione posturale
  - 1 -> c'è una modulazione molto forte della posizione posturale



# GMI - 2

- Percentuale dei 2500 neuroni nascosti che mostrano una specifica modulazione posturale
- Circa l'80% dei neuroni sono modulati da almeno una posizione posturale

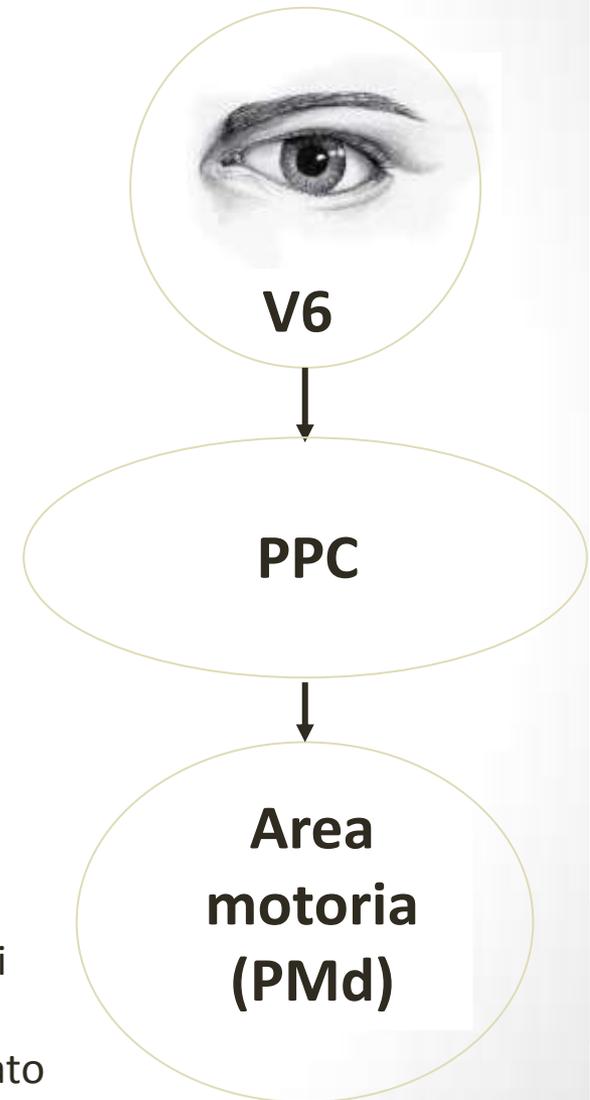
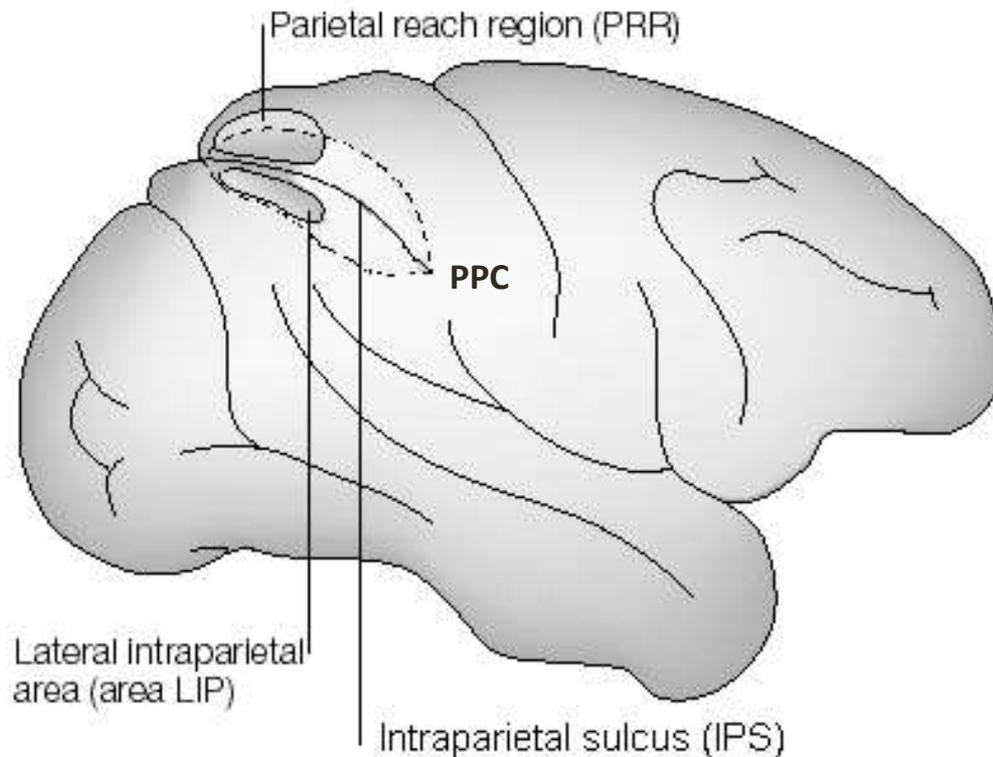


# Conclusioni

- **Forti analogie funzionali dello strato nascosto con la PPC:**
  1. rappresentazione oculocentrica del bersaglio motorio
  2. rappresentazione distribuita a livello di codice di popolazione
  3. “gain fields” modulati dalla posizione di occhio ed effettore
- **“Gain Modulation”:**
  1. meccanismo integrativo completamente spontaneo, indipendente dalla generazione di comandi motori
  2. efficiente ed economica a livello computazionale
  3. Presente anche in altre aree corticali e subcorticali non coinvolte nelle trasformazioni di coordinate: questa modulazione può essere considerata un meccanismo generale del cervello per supportare una classe molto ampia di trasformazioni non lineari
- **Modelli generativi: validi modelli per apprendimento corticale**



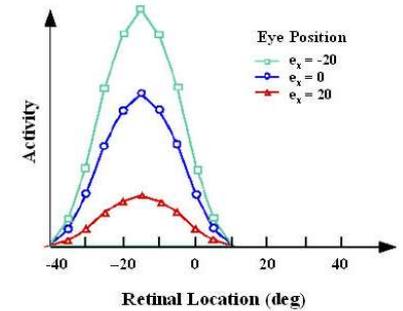
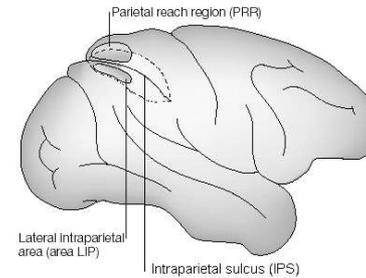
# La Corteccia Parietale Posteriore



- La PPC è situata all'incrocio dei sistemi sensoriali e motori
- Interfaccia neurale tra percezione e azione
- In particolare PRR: punto di partenza per il reaching guidato visivamente (Snyder, 2000)

# Discussione sulla plausibilità biologica del modello

- Realismo biologico
- Rappresentazioni distribuite
- Connettività bidirezionale
- Apprendimento hebbiano



(Andersen et al., 1985)

