



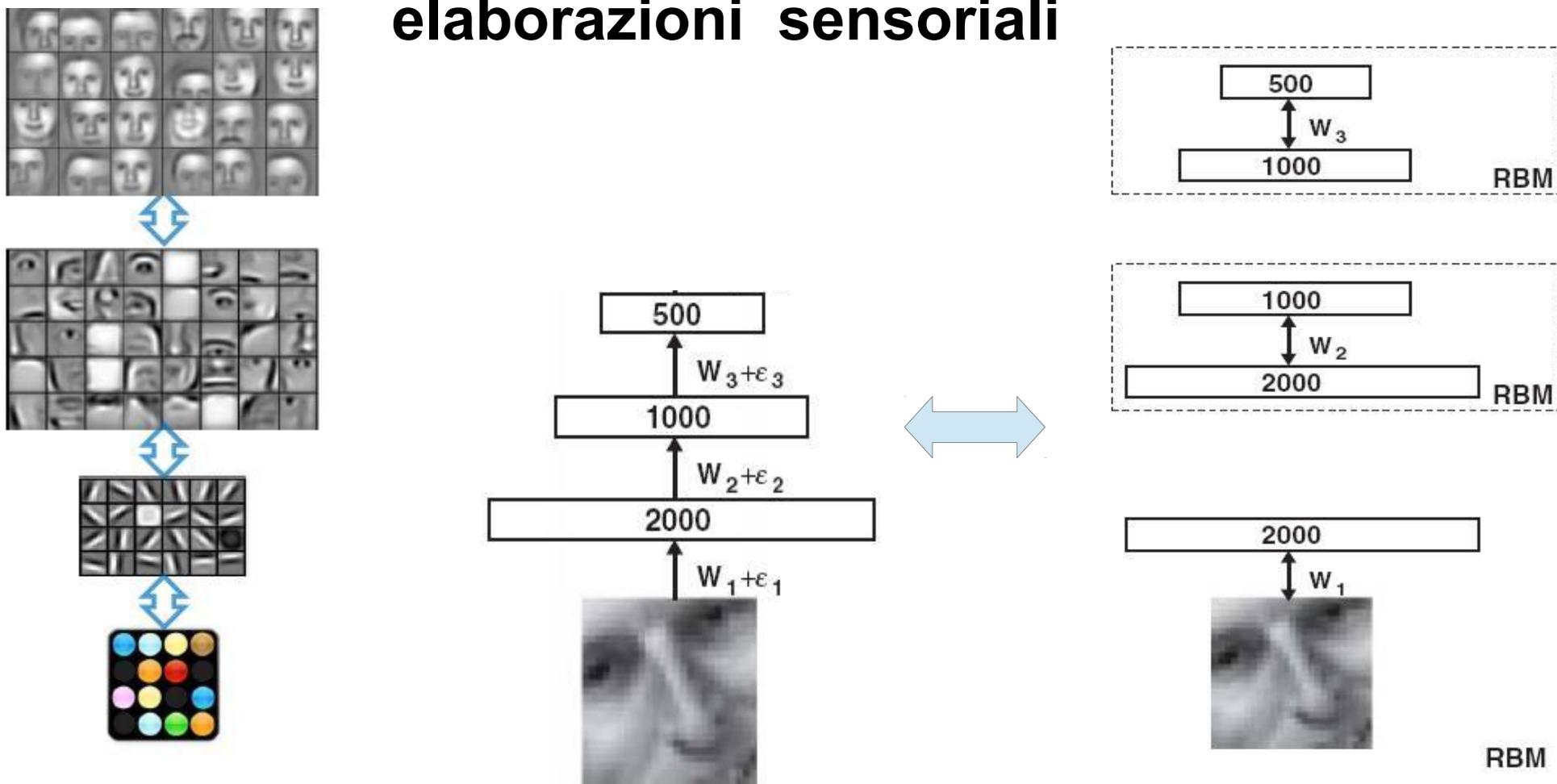
Computational Cognitive Neuroscience Lab

University of Padova

Modelli generativi gerarchici per elaborazioni sensoriali
percezione di numerosità

Ivilin Stoianov
ccnl-dpg-unipd

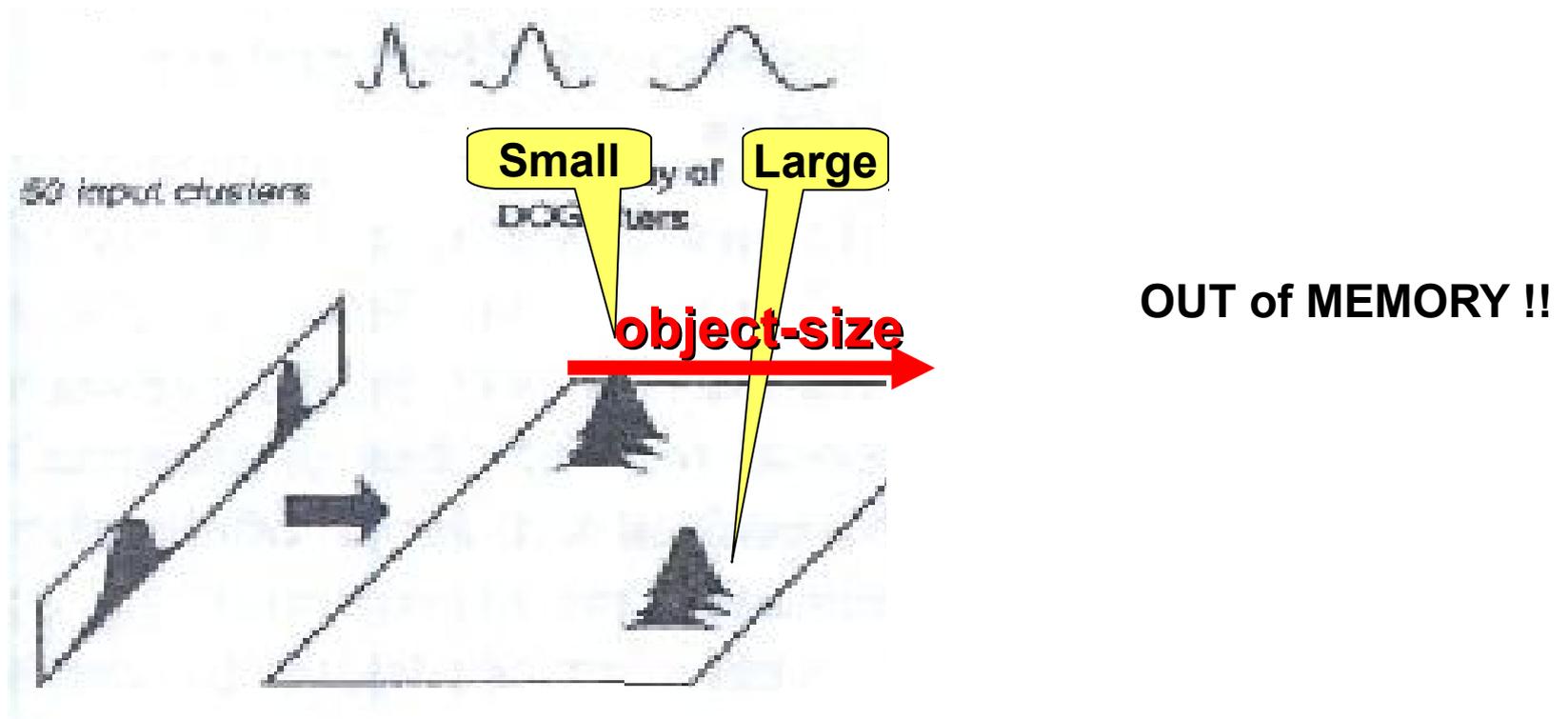
RBM-stack (Deep Belief Network) per elaborazioni sensoriali



L'apprendimento di RBM aumenta in modo efficace la probabilità di generare i dati e inferire loro cause, proprietà semplici (percepts) in una sola RBM e statistiche complesse in un RBM-stack.

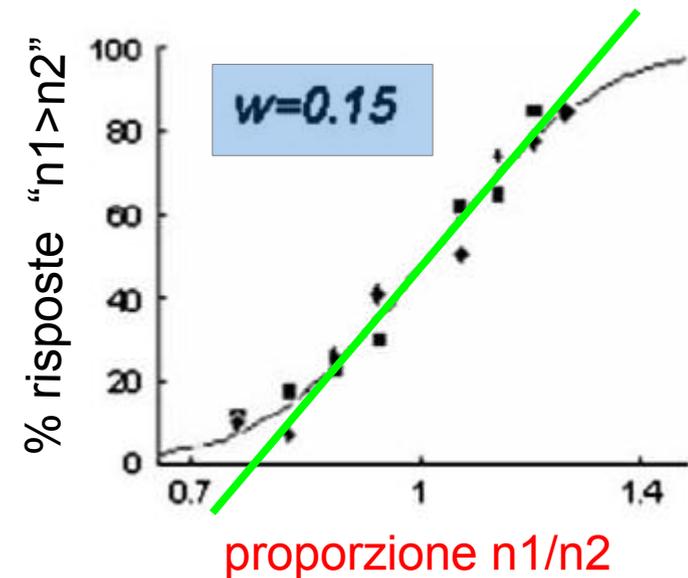
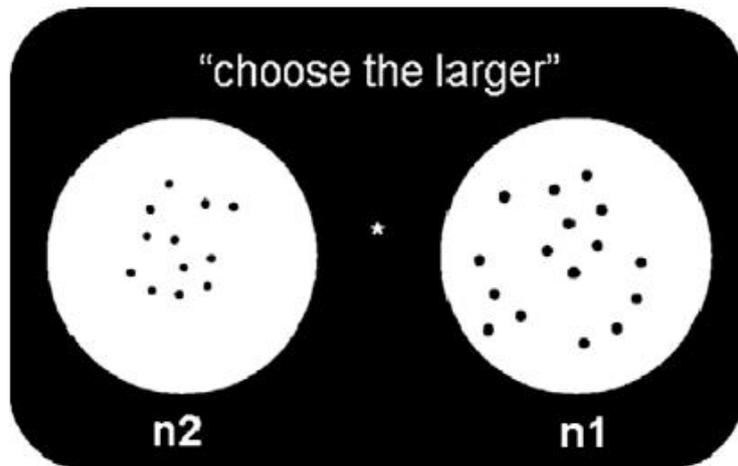
Un problema percettivo: la stima di numerosità

L'uomo e varie specie animali stimano la numerosità di un insieme di oggetti **senza contare** !



Il modello "landmark" stima la numerosità individuando la grandezza di ogni oggetto, aggiungendo una ulteriore dimensione.

Il compito più caratteristico è il confronto di numerosità



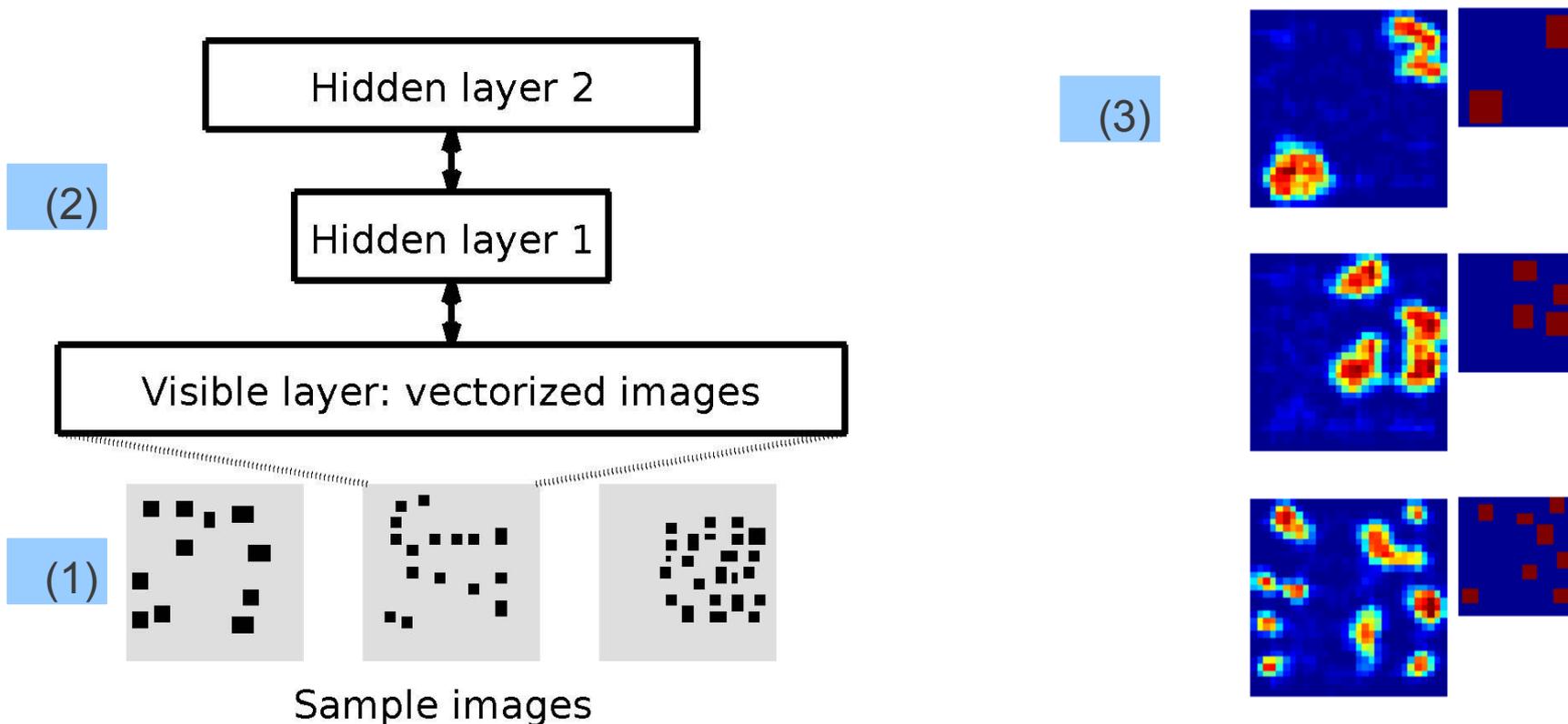
Fattori che governano la risposta

- (1) **La proporzione $n1/n2$** (proprietà degli stimoli)
- (2) **Acuità numerica w** (caratteristica individuale)

Abbiamo ipotizzato che la numerosità può emergere come una statistica complessa in una rete DBN

Metodo

- stimoli: immagini 30x30 px con 1-32 oggetti con variabile superficie
- addestrare un modello generativo a 2 strati (80,400 unità nascosti)
- verificare se il modello adeguatamente riproduce l'Input

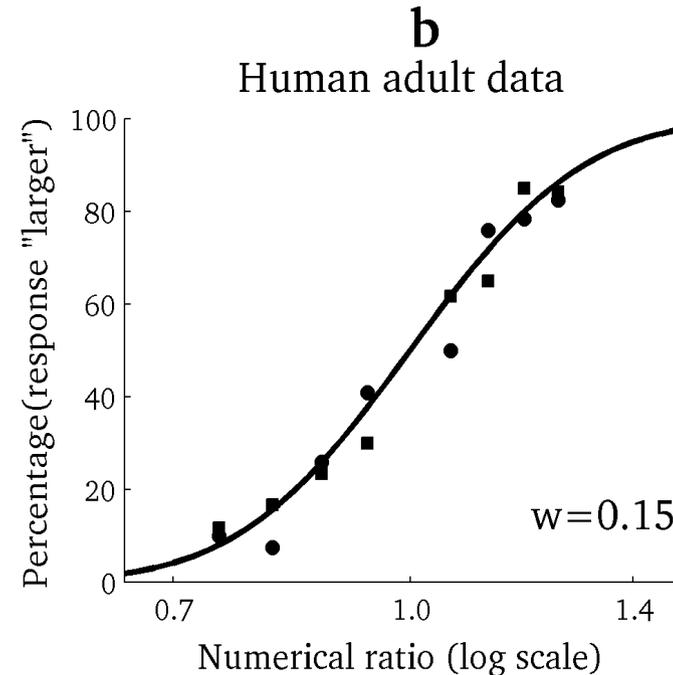
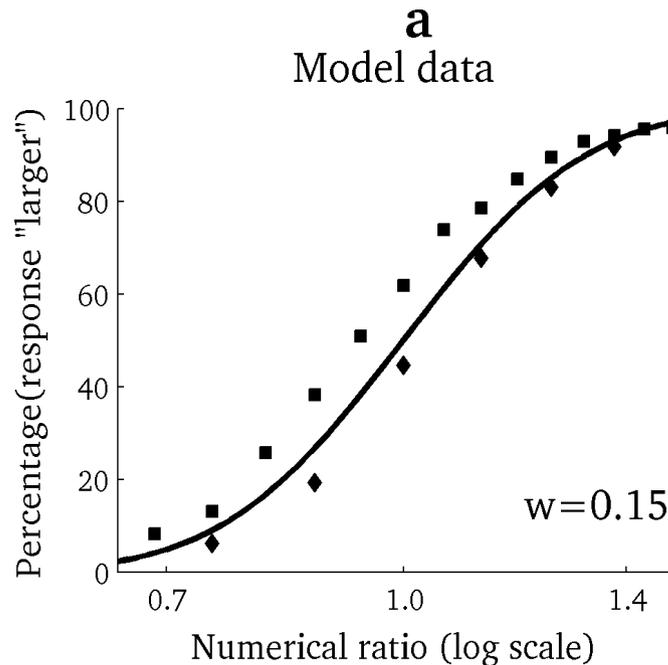


La rete è in grado di stimare la numerosità come l'uomo?

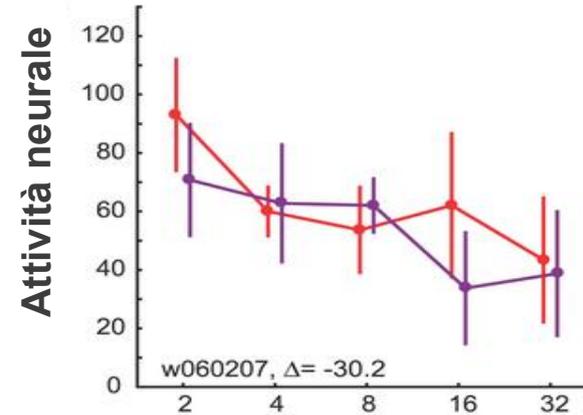
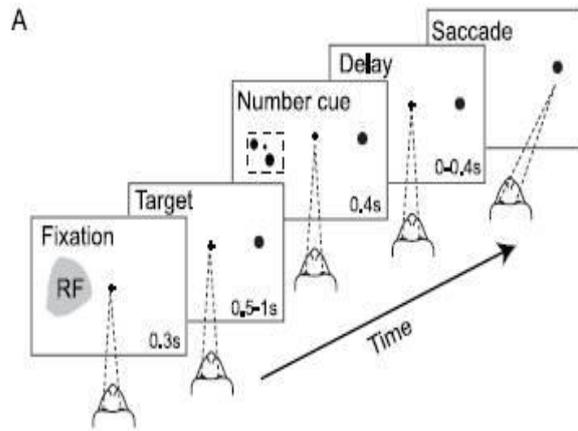
Analisi “comportamentale”

Metodo

- aggiungere una rete lineare, **readout**, che confronta la numerosità dell'input (n_1) con un reference interno ($n_2=16$).
- qualificare le risposte del modello con l'indice “Weber fraction”



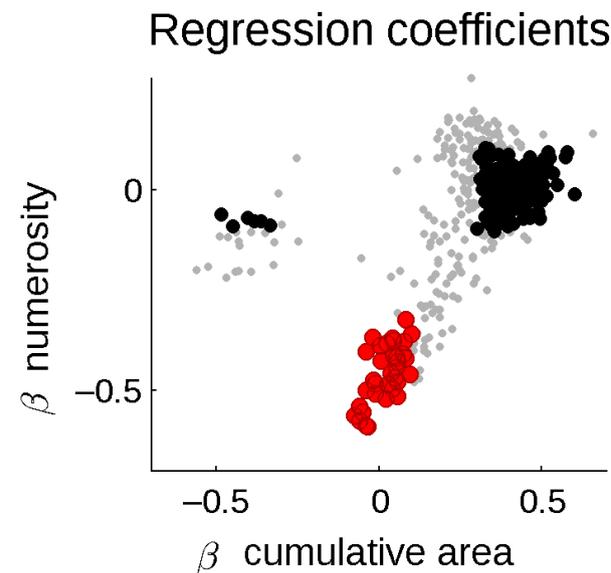
La rete codifica la numerosità come negli animali (codifica monotonica)?



Metodo

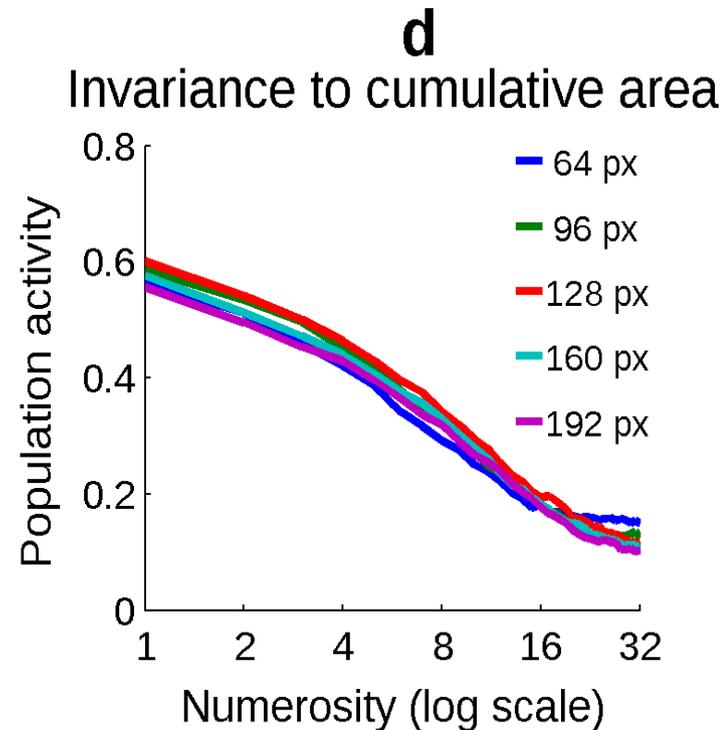
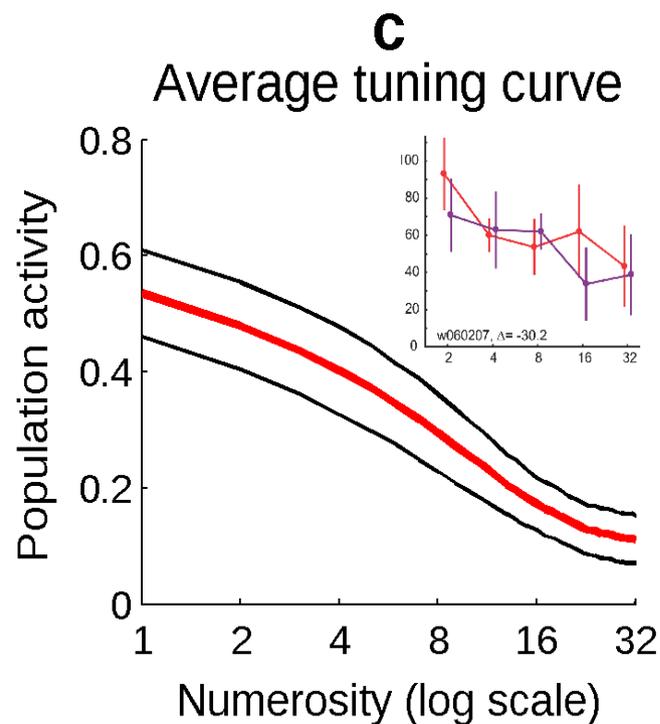
- predire l'attività di ogni neurone con **numerosità & superficie**
- cercare tali neuroni quali attività varia soltanto con la **numerosità**

$$h_j = \beta_N \log(N) + \beta_A \log(A) + \varepsilon$$



La codifica emergente della numerosità nella rete Deep

- corrisponde al codice neurale nei sistemi biologici
- è invariata rispetto alle proprietà percettive (la *superficie*)

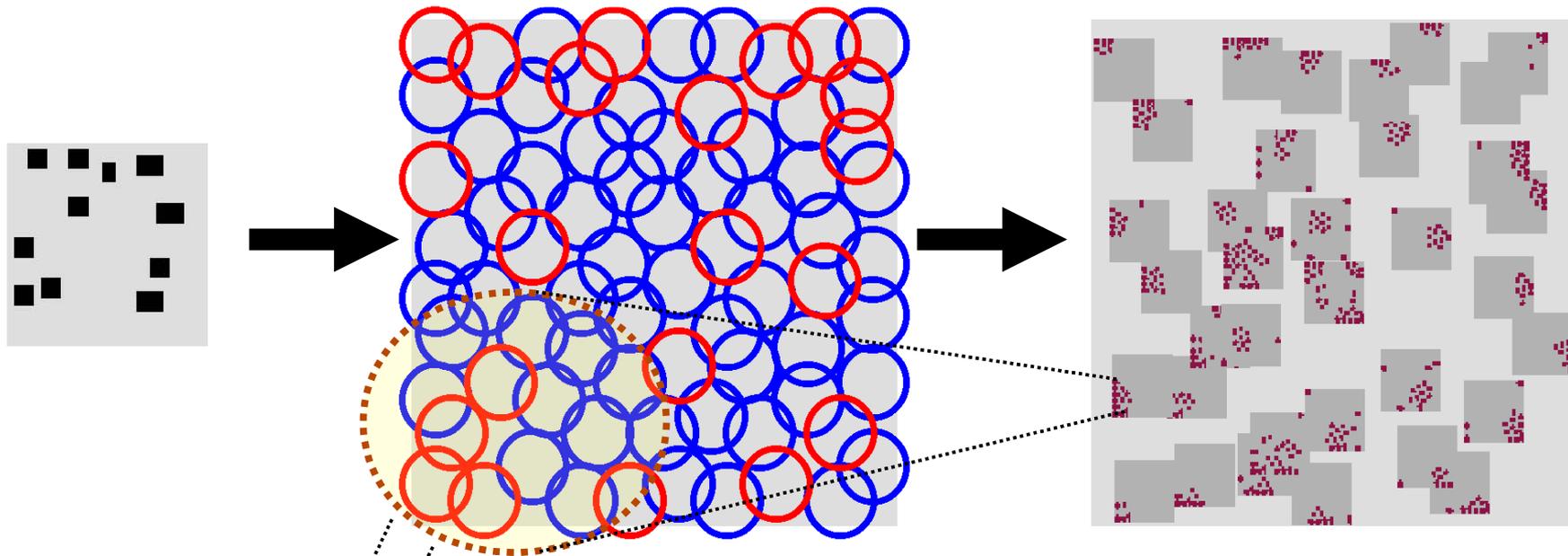


Quale è l'emergente meccanismo di stima di numerosità?

Metodo

Analisi bottom-up: la funzione dei neuroni dello primo strato

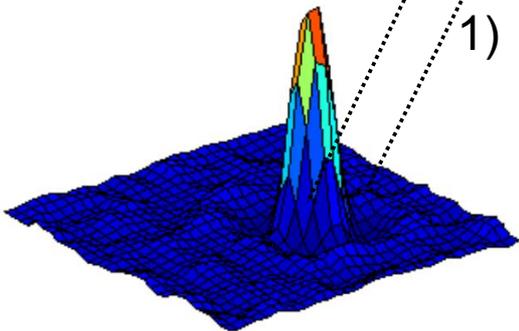
Analisi top-down: come il primo strato attiva i „neuroni numerici”



Il meccanismo della stima numerica:

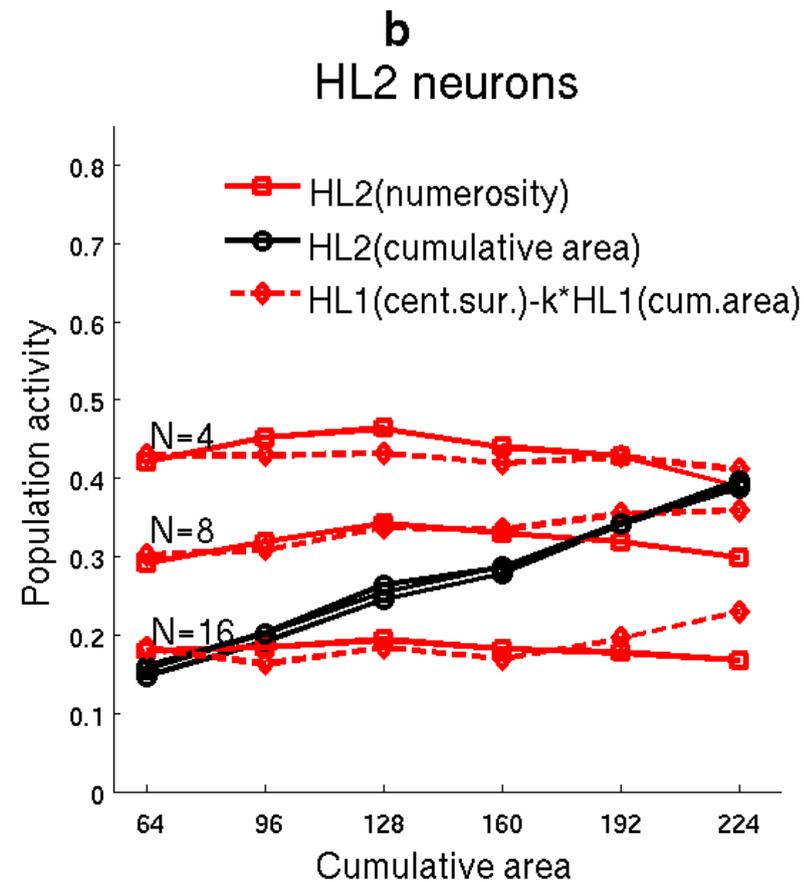
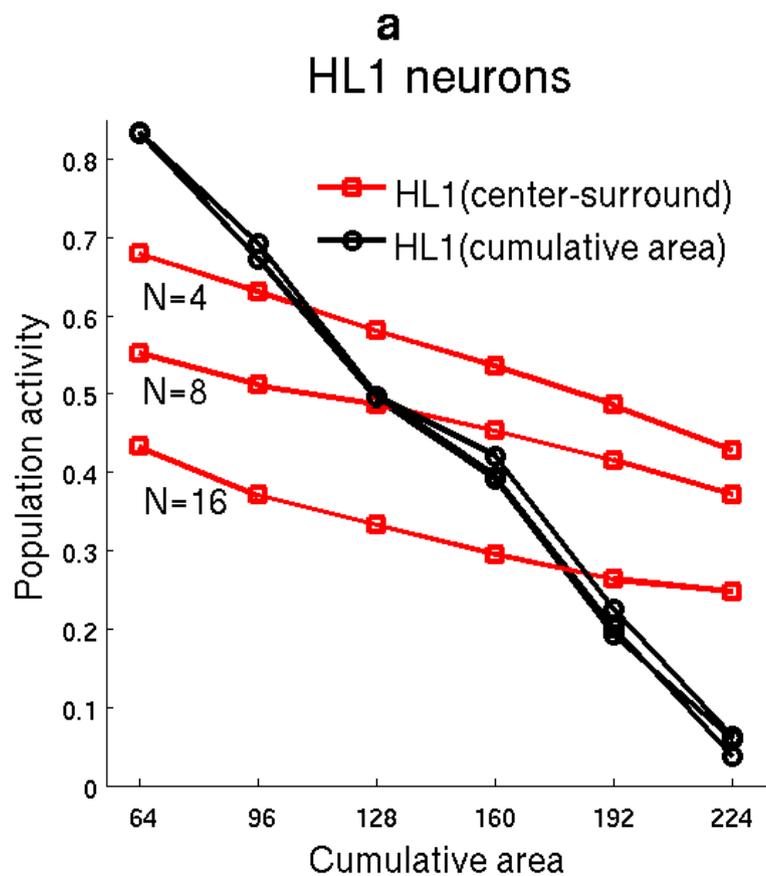
1) Neuroni *center-surround* spartiscono l'immagine

2) Neuroni numerici combinano l'attività di neuroni *center-surround* con quella di neuroni che codificano la *0superficie* per ottenere risposta che varia soltanto con la numerosità.



(Stoianov & Zorzi, *Nature Neuroscience*, 2012)

Analisi del meccanismo di stima di numerosità



- 1) l'attività dei neuroni "Center-surround" in HL1 varia con la **numerosità** e con la **superficie**
- 2) Altri neuroni in HL1 codificano soltanto la superficie

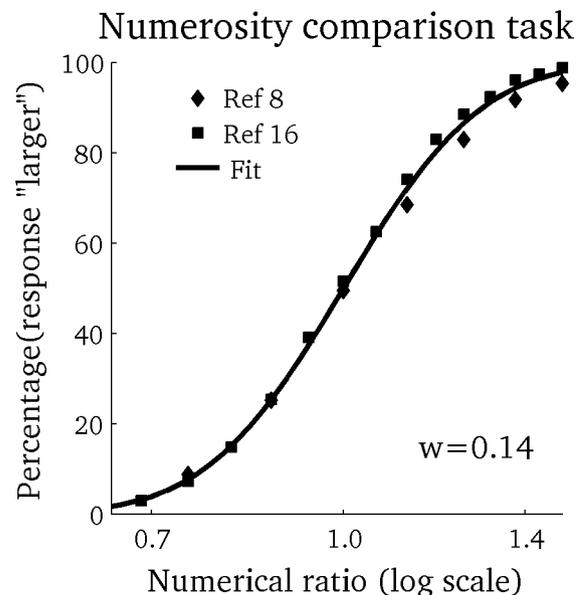
- 3) Neuroni numerici combinano l'attività di neuroni *center-surround* con quella di neuroni che codificano la **superficie** per ottenere risposta che varia soltanto con la **numerosità**.

Demostrazione teorica del meccanismo emergente

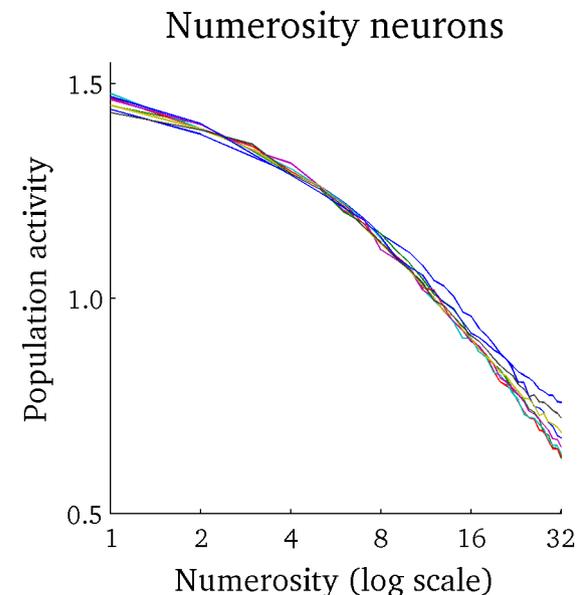
Metodo

- Costruire modello matematico astratto
- Verificare che tale modello rispecchia le descrizioni funzionali

Modello matematico: Stratto-1: detettori center-surround;
detettori della superficie cumulativa
Stratto-2: detettori di numerosità



- **profilo di risposta: OK**
- **acuità numerica: OK**



- **invarianza rispetto le proprietà percettive: OK**

Conclusioni

Deep Belief Networks emergono in profondità statistiche complesse sensoriali, scoprendo i meccanismi dei processi percettivi.