

Nóēsis

---

*Saggi e Studi sulla Cultura della Formazione*

6

Nóēsis

---

*Saggi e Studi sulla Cultura della Formazione*

**DIREZIONE**

MAURA CAMERUCCI  
(Università degli studi Roma TRE)

**COMITATO SCIENTIFICO**

MARIA RITA CIFARELLI  
(Università di Genova)

MAURA DI GIACINTO  
(Università Roma TRE)

STEFANO SALVATORE COCA  
(Università per Stranieri Dante Alighieri Reggio Calabria)

GIANFRANCESCO M. VILLANI, MD  
(Fellow of the European Board of Ophthalmology)

ELENA ZIZIOLI  
(Università degli studi Roma TRE)

IÑAKI RODRÍGUEZ CUETO  
(Universidad de Deusto)

DANIEL D. DUPIED  
(Président d'honneur de l'Association Internationale  
des Éducateurs Sociaux – AIEJI. Médréac)

*La collana è sottoposta a peer-review*

Luca Impara

Diagnostica per immagini  
nelle neuroscienze

*Diagnostic imaging in the neuroscience*

Morlacchi Editore *U.P.*

ISBN: 978-88-6074-659-7

Copyright © 2015 by Morlacchi Editore, Perugia. Tutti i diritti riservati. È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la copia fotostatica, non autorizzata. Mail to: [redazione@morlacchilibri.com](mailto:redazione@morlacchilibri.com) | [www.morlacchilibri.com](http://www.morlacchilibri.com). Finito di stampare nel mese di luglio 2015 da Digital Print-Service, Segrate (MI).

## *Indice*

Panoramica delle neuroscienze	7
La mappa del cervello	41
Aspetti funzionali in una prospettiva evoluzionistica	55
La Rappresentazione del mondo	73
Tecniche anatomiche e fisiologiche	165
L'immagine visiva	181
Azione e controllo del movimento	201
Riferimenti bibliografici	219



## *Panoramica sulle neuroscienze*

### *Introduzione*

Se vogliamo capire come il cervello vede, apprende e ha consapevolezza, dobbiamo capire la sua architettura. Lo stile computazionale del cervello e i principi che ne regolano il funzionamento non traspaiono a un'ispezione casuale. Né, sono direttamente derivabili dal comportamento, per quanto questo possa essere descritto in dettaglio, giacché il comportamento è compatibile con un enorme numero di ipotesi computazionali molto differenti, delle quali una sola può essere vera del cervello. D'altra parte, il tentativo di trarre i principi che regolano il funzionamento del cervello dai principi della ragione ingegneristica, ha avuto risultati decisamente modesti; l'inevitabile conclusione è che non vi sono alternative all'osservazione dei sistemi nervosi reali e allo studio delle proprietà dei neuroni e delle loro interconnessioni. Questo capitolo riguarda l'elemento «neuroscienza» della sinergia «neuroscienza computazionale». Idealmente, chi costruisce modelli al computer dovrebbe padroneggiare le neuroscienze non meno dei neuroscienziati «militanti». Si badi, però, che il dominio delle neuroscienze va ben oltre la portata di qualunque singolo scienziato. Un anatomista, saprà molto della regione della corteccia visiva di sua competenza; un po' meno di altre aree corticali e delle strutture cerebrali subcorticali; senz'altro meno della generazione centrale di schemi motori ad opera del midollo spinale, e meno ancora della plasticità del riflesso vestibolo-oculomotore. È necessario comprendere, indipendentemente dalla propria formazione, il quadro concettuale relativo alla materia di questo capitolo organizzata in vista di un'analisi computazionale di alcuni aspetti del funzionamento del sistema nervoso. La parte iniziale di questo capitolo è perciò diretta ad illustrare le proprietà anatomiche e fisiologiche che caratterizzano i vari livelli in gioco nella neurobiologia. Anche se l'obiettivo di questo capitolo è presentare le più generali nozioni alla base delle neuroscienze, nella descrizione dei vari modelli neurocomputazionali, approfondiremo i punti di volta in volta rilevanti.

### *I livelli nei sistemi nervosi*

Le discussioni sulla natura dei fenomeni psicologici e sulla loro base neurobiologica fanno invariabilmente riferimento alla nozione di livello. Esaminando tali discussioni per stabilire che cosa si intenda esattamente per «livello», si può distinguere il livello dell'analisi, *il livello dell'organizzazione e il livello dell'elaborazione*. In prima approssimazione, le distinzioni corrono lungo le linee seguenti. Il livello dell'organizzazione ha carattere essenzialmente anatomico e si riferisce a una gerarchia di componenti e alle strutture di cui tali componenti fanno parte. Il livello dell'elaborazione ha natura fisiologica e riguarda la collocazione di un processo relativamente ai trasduttori e ai muscoli. Il livello dell'analisi è concettuale ed è collegato a vari generi di quesiti sui compiti eseguiti dal cervello: in quali sottocompiti il cervello divida ciascun compito, quali passi d'elaborazione attuino i sottocompiti e quali strutture fisiche eseguano i singoli passi.

### *Il livello dell'analisi*

Marr [1982] ha disegnato l'ossatura di una teoria dei livelli che ha costituito un riferimento prezioso e influente per la riflessione sui livelli nel quadro della computazione neurale<sup>1</sup>. Partendo dall'apparato concettuale della scienza dei calcolatori, Marr distingue tre livelli: 1) il livello computazionale dell'analisi astratta del problema: scomporre il compito (ad esempio, determinare la profondità 3-D degli oggetti a partire dalla configurazione 2-D, sulla retina) nelle sue componenti principali; 2) il livello algoritmico: specificare una procedura formale per eseguire il compito così che a un dato ingresso corrisponda l'uscita corretta; 3) il livello dell'implementazione fisica: costruire, sulla base di una particolare tecnologia, un dispositivo funzionante. Questa tripartizione corrisponde a tre differenti quesiti che è possibile porre intor-

---

<sup>1</sup> La concezione originale del livello dell'analisi può essere trovata in Marr e Poggio [1976; 1977]. Mentre Marr [1982] sottolinea l'importanza del livello computazionale, la nozione di una gerarchia di livelli va fatta risalire al lavoro di Reichardt e Poggio [1976] sul controllo visivo dell'orientamento nella mosca. È possibile sostenere che la concezione corrente dell'interazione tra livelli non sia una deviazione dalle concezioni precedenti, ma piuttosto un ritorno alla linea stabilita da Reichardt e Poggio nonché da Marr stesso, al quale dobbiamo una serie di lavori relativi a modelli a rete della corteccia cerebellare e cerebrale [vedi, ad esempio, Marr 1969; 1970]. Nondimeno, l'enfasi sul livello computazionale ha significativamente influenzato i problemi e le questioni che interessano la generazione corrente di modelli neurali e connessionistici [Sejnowski e coll. 1988].



no a un fenomeno: 1) come il problema si scomponga in parti; 2) in base a quali principi le parti interagiscano per risolvere il problema; 3) quale sia la materia le cui interazioni causali implementano tali principi. Un caposaldo della concezione di Marr è che i quesiti caratteristici di un livello sono largamente indipendenti dai livelli inferiori, sicché i problemi del più alto dei livelli, quello computazionale, possono essere analizzati indipendentemente dall'algoritmo che esegue la computazione. Allo stesso modo, i problemi del secondo livello, quello algoritmico, possono essere risolti senza tener conto dell'implementazione fisica. Di conseguenza la strategia privilegiata da Marr, era una strategia dall'alto in basso, piuttosto che dal basso in alto. O, almeno, questa è stata la dottrina ufficiale; di fatto, i tentativi di Marr di formulare analisi e soluzioni algoritmiche dei problemi, hanno comportato un significativo grado di attenzione verso i livelli inferiori. Ironicamente, visto il suo sostegno alla strategia dall'alto in basso, Marr è stato fortemente influenzato nel suo stesso lavoro da considerazioni neurobiologiche. In effetti, nei lavori di Marr, i fattori di implementazione vincolano la scelta dei problemi da trattare e alimentano le intuizioni computazionali e algoritmiche. All'esterno, il sostegno dato alla strategia dall'alto in basso, ha avuto l'implicazione desolante per alcuni e confortante per altri, che i fatti neurobiologici potrebbero essere sostanzialmente ignorati, visto che essi, tutto sommato, riguardano solo il livello dell'implementazione.

Il guaio è che nella dottrina dell'indipendenza vengono confuse due questioni molto differenti. La prima è una *questione di scoperta*: si tratta di specificare l'algoritmo pertinente e l'analisi del problema indipendentemente dai fatti di implementazione. La seconda è una *questione di teoria formale*: si tratta di vedere se un algoritmo in grado di eseguire un compito in una data macchina (ad esempio, il cervello) possa essere trasposto in un'altra macchina con un'architettura differente. In quanto a quest'ultimo punto, la teoria computazionale insegna che un algoritmo può essere attuato da macchine differenti e che in questo senso (e in questo senso solo) l'algoritmo è indipendente dall'implementazione. Il punto è chiaro: dal momento che un algoritmo è formale, nessun particolare parametro fisico (valvole elettroniche, Ca++, e così via) è parte dell'algoritmo. Ciò detto, è importante rendersi conto che un'analisi puramente formale non ci può dir nulla del modo migliore di scoprire l'algoritmo effettivamente usato da una data macchina, né del modo migliore di conseguire un'analisi del compito neurobiologicamente adeguata.