

La memoria semantica ha bisogno di un *hub*?

Giorgio Spugnesi – Linguistica Computazionale II – a.a. 2012-2013

Premessa

Il presente lavoro trae avvio dalla lettura dell'articolo "Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain" di Karalyn Patterson, Peter J. Nestor e Timothy T. Rogers, uno studio sulle aree dell'encefalo coinvolte nel processo di memoria semantica¹.

Scopo del lavoro è quello di inquadrare la tesi dei tre studiosi nel dibattito sul funzionamento semantico del nostro cervello. Per fare questo sono necessarie alcune premesse: da un lato, le varie teorie risulteranno più comprensibili avendo presente la topografia del cervello, dall'altro un inquadramento storico di come tali teorie si sono formate permetterà di capire come, attraverso gli studi sperimentali e la riflessione scientifica, la conoscenza di determinati meccanismi di pensiero si sia andata affinando. Cercherò quindi di inquadrare la teoria di Patterson, Nestor e Rogers nel contesto degli studi sulla memoria semantica ed in particolare nel dibattito se vi sia o meno un *hub* con il compito di elaborare le informazioni semantiche.

Topografia del cervello

Negli studi anatomici del cervello umano si è soliti utilizzare una convenzionale suddivisione in aree, chiamate lobi, della corteccia cerebrale, lo strato di tessuto neurale che ricopre le parti più interne (materia bianca).

La corteccia si presenta ripiegata in modo da consentire ad una superficie maggiore di trovare spazio nella scatola cranica; ciascuna piegatura è chiamata solco mentre la parte liscia è definita giro.

La corteccia è posta immediatamente sotto le ossa del cranio che danno il nome alle aree sottostanti definite quindi lobo frontale, lobo parietale, lobo occipitale e lobo temporale. Poiché il cervello è diviso in due emisferi (destro e sinistro), i lobi si ripetono in entrambe le parti in una struttura pressoché simmetrica.

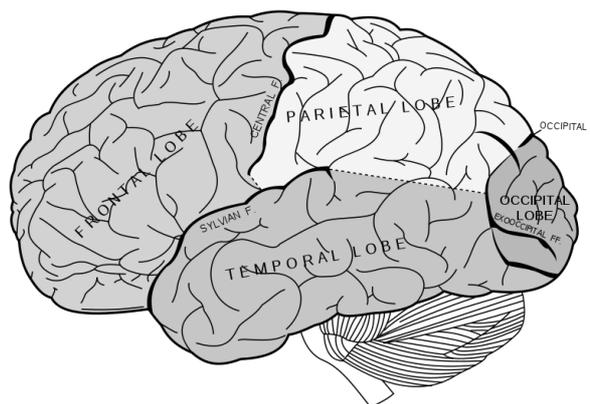
Data la natura convenzionale della suddivisione in lobi, ciascuno di essi contiene aree destinate a funzioni diverse e non necessariamente correlate tra loro. Unica eccezione, il lobo occipitale, interamente dedicato alla visione (ricezione visuale, processi spaziali, movimento, riconoscimento dei colori).

Alcune aree inoltre presentano una marcata lateralizzazione ovvero uno dei due emisferi risulta dominante per lo svolgimento della funzione specifica demandata a tale area.

Alcuni anatomisti hanno costruito mappe topografiche delle aree corticali con lo scopo di localizzare dove si verificano le funzioni cognitive e comportamentali; una delle più usate è la mappa realizzata da Brodmann nel 1909 che individua 51 differenti aree assegnando a ciascuna di esse un numero identificativo.

Lo studio del cervello ha avuto un impulso notevole dallo sviluppo di tecniche di analisi e di osservazione non invasive e praticabili anche su pazienti vivi, come l'elettroencefalogramma (EEG) che misura l'attività elettrica della corteccia, il magnetoencefalogramma (MEG) che ne misura il campo magnetico e le tecniche di *neuroimaging* che permettono di ricavare un'immagine del cervello.

Tra queste, rivestono importanza la topografia ad emissione di positroni (PET), che attraverso un liquido di contrasto e una coppia di raggi gamma è in grado di fornire un'immagine tridimensionale degli organi interni, e la più recente risonanza magnetica funzionale (fMRI) che



1 Patterson K., Nestor P.J., Rogers T.T. (2007)

misura l'attività del cervello attraverso i cambiamenti dell'afflusso di sangue legati all'attività dei neuroni: quando un'area del cervello è in uso, infatti, vi affluisce più sangue. Questa tecnica, che riesce a fornire un'immagine a risoluzione sufficientemente alta (al livello di millimetro cubo) senza fare uso di radioattività e senza essere invasiva, si presta particolarmente bene allo studio su soggetti umani. L'aspetto negativo della fMRI è la scarsa risoluzione temporale poiché la risposta è ritardata, rispetto allo stimolo, da 1 a 5 secondi e permane al massimo per 10 secondi.

Teorie sulla memoria semantica

Per molti anni, la memoria semantica è stata considerata un contenitore, amodale e modulare, di informazioni fattuali relative ai concetti, del tutto slegata dalla memoria episodica ovvero la memoria di specifiche esperienze personali. L'amodalità infatti prevede che l'informazione recuperata relativa ad un oggetto sia indipendente dalle modalità di percezione dell'oggetto stesso. Successive ricerche hanno condotto ad una interpretazione più ampia della memoria semantica in modo da comprendere la generale conoscenza del mondo, l'esperienza personale e la cultura di riferimento come fattori che ne influenzano la formazione. Tali ricerche hanno permesso di affermare inoltre che la memoria semantica è basata sulle modalità sensoriali, dipende dalla memoria episodica (almeno in termini di apprendimento) ed è distribuita attraverso le aree del cervello.

In particolare, il dibattito è ancora aperto in merito a come la memoria semantica si distribuisca a livello di aree del cervello e come queste aree interagiscano nel processo di riconoscimento di entità e oggetti.

In un saggio del 1972², Tulving definì la memoria come un sistema di moduli indipendenti, dividendo la memoria a lungo termine in dichiarativa, ovvero relativa ai fatti, e procedurale, ovvero relativa alle competenze ed abilità. La memoria dichiarativa veniva inoltre suddivisa in episodica e semantica. In questo modo si affermava la natura amodale della memoria, distinguendo e separando l'informazione recuperata a livello semantico dalle modalità sensoriali usate per percepire l'informazione. Le teorie di Tulving erano supportate da osservazioni sperimentali su pazienti amnesici nei quali la malattia sembrava avere minima influenza sulla memoria semantica a fronte di gravi disturbi della memoria episodica.

Per quanto le teorie di Tulving siano attualmente considerate superate, esse hanno il merito di aver aperto la strada alla ricerca sulla memoria semantica e fornito un primo, scientifico, approccio alla comprensione della rappresentazione dei concetti nella mente umana.

Successive sperimentazioni, basate su metodi sperimentali e computazionali e sull'uso di tecniche di *neuroimaging*, hanno portato alla nascita di nuove teorie che vedono la memoria come un sistema integrato e distribuito. In particolare, l'uso della fMRI ha permesso lo studio su adulti non affetti da deficit semantici, liberando la disciplina dal dominio esclusivo della psicologia cognitiva e aprendo le porte ad un approccio neurale.

Tali sperimentazioni hanno evidenziato che quando si ha accesso, a livello cerebrale, al significato di una parola, vengono attivate anche le informazioni sensomotorie legate alla percezione, nel mondo reale, dell'oggetto o dell'evento rappresentato dalla parola.

La teoria che afferma che il significato di una parola sia basato sul sistema sensomotorio è definita *grounded cognition* e fu elaborata prevalentemente da Barsalou. Pensare ad un oggetto significa dunque richiamare alla memoria specifiche ed episodiche esperienze in modo da incorporarle nella rappresentazione mentale che si viene creando. In questo approccio, i collegamenti tra memoria episodica e memoria semantica non solo sono presenti ma sono fondamentali per l'attivazione del processo di concettualizzazione.

Poiché le aree del cervello responsabili delle percezioni sono specializzate per specifiche modalità sensorie, da diversi anni si è cominciato a ritenere che anche le rappresentazioni concettuali siano organizzate in modo simile. Studi su pazienti con danni cerebrali focalizzati o con deficit semantici legati a singole categorie (fenomeni che portano ad una selettiva distruzione della memoria semantica), supportati da analisi fMRI, sono stati alla base della conferma delle teorie

2 Tulving E. (1972)

multimodali. Lo stimolo linguistico, dunque, sembra attivare aree del cervello coinvolte anche in stimoli sensoriali corrispondenti (ad esempio la lettura del verbo “masticare” attiva le aree responsabili del movimento della masticazione). I significati delle parole sembrerebbero quindi distribuiti tra le varie aree del cervello, in un sistema semantico multimodale distribuito.

Se questa teoria sembra essere largamente condivisa, permane ancora aperto un problema ad essa strettamente correlato ovvero come, in presenza di stimoli composti, le varie aree cerebrali riescano a coordinarsi in modo da fornire una risposta univoca.

In altre parole, se la conoscenza concettuale è una rete neurale diffusamente distribuita, la domanda che si pone è: sono queste regioni cerebrali distribuite, insieme alle connessioni tra di esse, l'intera base neurale della memoria semantica?

Le teorie indicate come *distributed only* tendono a rispondere di sì: le associazioni tra i vari attributi di un concetto vengono codificate attraverso percorsi neuroanatomici differenti sfruttando la rete neurale.

Damasio³ e colleghi hanno invece proposto l'esistenza di “zone di convergenza” associate a differenti aspetti della conoscenza; queste zone, multiple e specializzate in coppie di attributi (ad es. forme e azioni, forme e nomi, ...) assumerebbero differente importanza nella rappresentazione di differenti categorie semantiche. La rete neurale avrebbe quindi una sorta di organizzazione, con percorsi più frequenti ed organizzati di altri tanto da richiedere alcuni punti di aggregazione. Sotto certi aspetti quindi, questa teoria si avvicina ancora alla *distributed only*.

Ad essa si contrappone la teoria presentata e sostenuta da Patterson, Nestor e Roger denominata *distributed plus hub*. Essa sostiene che, oltre ai collegamenti neuroanatomici diretti tra le varie regioni cerebrali (sensoriale, motoria, linguistica), la rete neurale per far funzionare la memoria semantica richiede una singola zona di convergenza, o *hub*, che supporti la attivazione interattiva di rappresentazioni in tutte le modalità e per tutte le categorie semantiche.

Avremo modo di analizzare nel dettaglio questa teoria nel prossimo paragrafo.

Vi è infine una teoria, presentata da Simmons e Barsalou⁴ che, riprendendo le idee di Damasio e colleghi, ipotizza una gerarchia tra zone di convergenza in modo che la codifica delle informazioni passi attraverso una serie sempre più complessa di modalità fino alla formazione dei concetti generalizzati di più alto ordine.

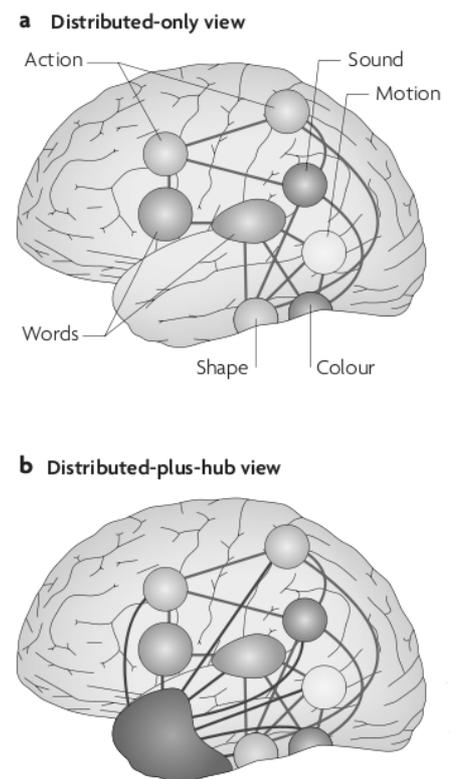
Al momento, tuttavia, non si è in grado di stabilire quale di queste ipotesi possa essere la più corretta.

Ipotesi di Patterson, Nestor e Roger

Come è stato evidenziato nel precedente paragrafo, la teoria *distributed plus hub* elaborata da Patterson, Nestor e Roger ritiene che gli aspetti sensoriali, motori e specifici del linguaggio sono necessari ma non sufficienti a definire il funzionamento della memoria semantica.

Il loro studio trae avvio dall'analisi di pazienti affetti da deficit selettivi della conoscenza concettuale, in particolare dalla cosiddetta demenza semantica, una malattia neurodegenerativa che colpisce la memoria semantica.

Alla base della teoria viene posta la constatazione che la memoria semantica ha il compito di compiere generalizzazioni tra concetti che hanno simile significato semantico ma non



3 Damasio A.R. (1989)

4 Simmons K. W., Barsalou L. (2003)

necessariamente simili attributi specifici. Se la memoria semantica si basasse solo sui contenuti, specifici delle modalità, degli oggetti e dei collegamenti tra di essi, sostengono gli autori, non potremmo raggiungere generalizzazioni di ordine più alto. La teoria *distributed plus hub* è quindi la prima a prendere in considerazione rappresentazioni che astraggono da attributi specifici delle modalità.

Per fare questo è necessario supporre l'esistenza di una zona del cervello che funga da *hub* e che elabori, più che ritrasmettere, i segnali provenienti dalle zone sensomotorie.

Inoltre, se la rete neurale fosse liberamente distribuita, ovvero priva di un nodo centrale, nessun danno cerebrale dovrebbe produrre una menomazione generalizzata mentre un danno all'*hub* comporterebbe una patologia indipendente dalle modalità di input/output dell'informazione.

I tre ricercatori si sono dunque posti due domande: possono accadere menomazioni della memoria semantica selettive ma generalizzate? Se sì, sono causate da danni cerebrali focalizzati?

Per rispondere a queste domande vengono analizzate le principali eziologie neurologiche responsabili dei disordini della memoria semantica: la demenza semantica, la malattia di Alzheimer, il virus dell'encefalite Herpes Simplex (HSVE) e l'ictus.

La demenza semantica appartiene al gruppo delle demenze fronto-temporali ed è dovuta ad una anormale inclusione neuronale della proteina ubiquitina. La malattia è evidenziata da un progressivo deterioramento del vocabolario espressivo e ricettivo, ovvero dell'insieme di termini che il soggetto affetto è in grado di utilizzare o comprendere in riferimento ad oggetti. Il deterioramento è evidente anche nella conoscenza delle proprietà degli oggetti quotidiani, perfino in un contesto normale e comune, e nella memoria degli eventi recenti. La demenza semantica si presenta in modo selettivo ma affligge tutte le modalità di ricezione ed espressione ed è conseguenza di una lesione cerebrale relativamente focalizzata riguardante i lobi temporali anteriori in modo bilaterale ma con una atropia prevalente, in due casi su tre, sul lato sinistro.

La malattia di Alzheimer è un disturbo della memoria episodica autobiografica che comporta l'impossibilità di apprendere nuove informazioni. Anche in questo caso sembrano essere coinvolti i lobi temporali, affetti da ipometabolismo, ma anche l'ippocampo e il talamo. La malattia colpisce prevalentemente la memoria episodica ma, in uno stadio avanzato e in modo minore, viene compromessa anche la memoria semantica.

Il virus dell'Herpes Simplex è responsabile di una forma di encefalite le cui conseguenze sono la difficoltà a ricordare episodi remoti e ad apprendere nuove informazioni. Il virus ha la tendenza a colpire i lobi mediotemporali incluso l'ippocampo tuttavia può provocare anche lesioni bilaterali dei lobi temporali anteriori provocando il deterioramento della memoria semantica anche se in modo più leggero rispetto alla demenza semantica. Il deficit semantico, infatti, è in questi casi legato a categorie specifiche, prevalentemente quelle inerenti gli esseri viventi rispetto ad oggetti costruiti dall'uomo. Questo fenomeno ha riaperto una vecchia controversia se le informazioni relative a questi due tipi di categorie (esseri viventi e manufatti) siano effettivamente rappresentate separatamente nel cervello o se la separazione sia dovuta a differenze nella natura degli attributi che caratterizzano maggiormente i due tipi di cose (caratteristiche sensoriali per gli esseri viventi e attributi funzionali per i manufatti).

Un ictus, ovvero un evento vascolare patologico, che si verifichi nell'emisfero sinistro può avere come conseguenza l'afasia ovvero la perdita dell'abilità nel linguaggio. In particolare può verificarsi l'afasia sensoria transcorticale che presenta sintomi transmodali riscontrabili in scarsi risultati nei test semantici non verbali o di comprensione verbale. La differenza tra l'afasia sensoria transcorticale e la demenza semantica è che la prima colpisce l'abilità di recuperare, selezionare e manipolare informazioni semantiche mentre la seconda presenta una degradazione della rappresentazione semantica. Questa differenza è evidente nei casi di anomia (incapacità di dare un nome agli oggetti): nei test, i pazienti affetti da afasia sensoria transcorticale possono essere indirizzati da suggerimenti come, ad esempio, la lettera iniziale della parola, cosa che non accade con i pazienti che soffrono di demenza semantica. Nei due tipi di paziente non c'è infatti sovrapposizione tra regioni cerebrali danneggiate in quanto l'ictus raramente produce danni ai lobi temporali anteriori quanto piuttosto alle regioni frontali o parietali dell'emisfero sinistro.

Analisi condotte attraverso metodi di *neuroimaging* come l'analisi *voxel by voxel*, che confronta l'immagine cerebrale del paziente con un modello standard, e in particolare lo studio della sovrapposizione delle lesioni (*Lesion Overlap Study*), un metodo che cerca di definire una comune area di danno cerebrale rilevante per un dato comportamento deficitario sovrapponendo le lesioni di diversi soggetti affetti dal deficit, hanno fatto emergere che la difficoltà ad assegnare un nome ad oggetti, animali o volti famosi che affligge i pazienti di demenza semantica è associata a lesioni dei lobi temporali, in particolare del sinistro.

I danni selettivi ma amodali della demenza semantica sarebbero quindi localizzabili in una precisa zona del cervello e non diffusi nella rete semantica corticale, osservazione che non solo supporta la teoria *distributed plus hub* ma sembra collocare l'*hub* proprio nella zona dei lobi temporali anteriori.

Il lobo temporale anteriore è una zona cui si connettono molte aree sensorie e motorie e questo potrebbe contribuire ad identificarlo come *hub*. Tuttavia esistono altre aree con le stesse caratteristiche: ad esempio, la giunzione dei lobi temporale, parietale e occipitale che include anche il giro angolare è ben connessa con input in molte modalità (connettività crossmodale). La caratteristica principale dell'*hub* però è la amodalità non la crossmodalità. Inoltre devono essere presi in considerazione due importanti aspetti neuroanatomici del lobo temporale anteriore.

In primo luogo esso è collocato vicino all'amigdala e ad altre strutture limbiche così come alla corteccia orbito-frontale, regioni importanti per la processazione di emozioni e ricompense. Tutto ciò che percepiamo, facciamo e sappiamo è pervaso da aspetti affettivi pertanto il lobo temporale anteriore, per la sua posizione, potrebbe essere favorito nel creare associazioni tra gli aspetti affettivi e quelli sensoriali, motori e linguistici della conoscenza concettuale.

In secondo luogo, il lobo temporale anteriore è adiacente alle parti anteriori del sistema della memoria del lobo temporale mediale, un sistema critico per il rapido apprendimento di nuove informazioni episodiche. Dato che gli eventi episodici contribuiscono alla graduale acquisizione di nuova conoscenza concettuale, ha senso che i due sistemi (episodico e semantico) siano situati vicini.

Per convalidare questa ipotesi, che gli autori hanno derivato dallo studio delle lesioni, occorre la conferma da parte di studi funzionali compiuti con PET e fMRI. Purtroppo l'analisi non è semplice perché l'attività del lobo temporale anteriore, nelle rilevazioni fMRI, è affetta da un basso rapporto segnale/rumore. Inoltre la quantità, scarsa, di segnale sembra essere collegata alla specificità dei processi semantici del task usato per lo studio.

Il lobo temporale anteriore sembra essere molto attivo nel riconoscimento e nella identificazione di concetti unici (persone o luoghi famosi) o di categorie di livello subordinato (ovvero molto specifiche), tasks decisamente difficoltosi per i pazienti affetti da demenza semantica. Questi infatti, a differenza dei soggetti sani, riescono meglio nelle classificazioni più generali che in quelle di base.

Gli autori si sono interrogati su cosa possa determinare questa sensibilità ipotizzando che il lobo temporale anteriore codifichi la relazione tra vari concetti in modo che oggetti semanticamente collegati siano codificati con pattern neuronali simili.

Secondo questo modello, per nominare un particolare esemplare di un oggetto in modo specifico, l'*hub* deve istanziare in modo esatto la rappresentazione dell'esemplare mentre, per definire lo stesso oggetto in modo generico è sufficiente trovare una rappresentazione che sia abbastanza rispondente al concetto. Distorsioni della rappresentazione specifica, dovute ad una atrofia del lobo temporale anteriore, impediscono quindi all'*hub* di recuperare il nome.

Dal punto di vista dell'immagine funzionale, la risposta metabolica del lobo sarà maggiore per tasks che richiedono la differenziazione di rappresentazioni che si sovrappongono ampiamente.

Lasciando aperta la strada legata alle analisi dell'attività neuronale, i tre autori si concentrano su due questioni cruciali.

La prima di esse riguarda la necessità o meno di un singolo *hub* nel processo di associazione tra rappresentazioni sensorie, motorie e linguistiche distribuite. L'associazione oggetto-utilizzo, ad esempio, dovrebbe mettere in diretto collegamento la corteccia temporale posteriore (stimolo

visivo) con le aree frontali e parietali legate all'azione motoria. Tuttavia, una lesione al lobo temporale anteriore, zona lontana da queste regioni, sembra distruggere la conoscenza dell'uso di un oggetto. La domanda che si pone è quindi: perché vi è necessità di un singolo *hub*?

E, correlata a questa, si pone una seconda domanda: come il sistema semantico riesce a rappresentare le relazioni di somiglianza concettuale?

Questa somiglianza non sembra infatti essere determinata dalle caratteristiche percettive. Soggetti sani, infatti, riescono a raggruppare oggetti concettualmente simili ma molto diversi tra loro per specifiche caratteristiche ricavabili in modo sensomotorio (forma, colore, sapore, ...) mentre soggetti affetti da demenza semantica sono incapaci di compiere questo task.

Se fossimo in presenza di un modello *distributed only*, sostengono gli autori, le associazioni tra diversi tipi di attributo seguirebbero percorsi neuroanatomici diversi, uno per ciascuna coppia di caratteristiche, e ciascun task seguirebbe quindi un percorso differente. Inoltre tale modello sarebbe efficiente per associazioni di tipo visuale o fonologico ma meno per relazioni di tipo semantico.

In una architettura di tipo convergente come la *distributed plus hub*, le associazioni tra attributi sono indipendenti dal task richiesto e sono conservate nello stesso percorso neuroanatomico non per coppia di modalità ma in modo crossmodale.

Simulazioni effettuate su modelli sembrano mettere in evidenza che questo tipo di architettura è maggiormente capace di apprendere le relazioni di similarità perché in grado di rappresentare la struttura concettuale anche se presenta collegamenti tra oggetti privi di caratteristiche simili.

Queste rappresentazioni inoltre sono amodali perché possono essere generate da ogni modalità ricettiva e possono essere adoperate per generare comportamenti in ogni modalità espressiva. Sono infine rappresentazioni semantiche perché esprimono le relazioni di similarità concettuale necessarie alla generalizzazione semantica.

Per quanto la ricerca di Patterson, Nestor e Rogers non sia in grado di affermare con assoluta certezza la presenza di un *hub*, la loro teoria è supportata dall'osservazione clinica e neurologica relativa patologie cerebrali localizzate responsabili di danni selettivi ma generalizzati. In particolare viene evidenziata la zona dei lobi temporali anteriori come area particolarmente critica. Solamente ulteriori ricerche e il perfezionamento delle tecniche di *neuroimaging* potranno apportare un contributo ulteriore alla ricerca e confermare (o smentire) l'ipotesi.

Come conclusione dell'articolo, i tre autori evidenziano, ancora una volta, come le abilità di tipo semantico sembrino dipendere da un'unica zona:

Specific features of conceptual knowledge are almost certainly represented elsewhere and in a widely distributed network; but people's ability to receive information in one modality and express it in another, to generalize across conceptually similar entities that differ in almost every specific modality, and to differentiate between entities that resemble each other in many modalities – all quintessentially semantic abilities – seems to depend on the ATL (anterior temporal lobes).

Alcune considerazioni

L'articolo di Patterson, Nestor e Roger presenta una convincente ipotesi, supportata da osservazioni ed esperimenti, relativamente alla presenza di un *hub* posto presumibilmente nel lobo temporale anteriore ed incaricato di rielaborare gli stimoli in una conoscenza semantica di grado superiore.

In conclusione di questo lavoro vorrei agganciare questa ipotesi agli studi condotti, anche essi in tempi relativamente recenti, sulla teoria delle reti.

È indubbio che la struttura neurologica del cervello, con la presenza di centinaia di miliardi di neuroni interconnessi con dendriti e assoni sia, a tutti gli effetti, una struttura di rete.

Gli studi condotti da Latora e Marchiori⁵, utilizzando le mappe della corteccia cerebrale realizzate da Scannel⁶, hanno individuato nella struttura di rete del cervello il modello *small world* che contraddistingue molte delle strutture di rete presenti in natura o create dall'uomo. Nella rete *small world* esistono molti collegamenti brevi e alcuni collegamenti a lungo raggio che fanno sì che due

5 Latora V., Marchiori M. (2001)

6 Scannel J.W. (1997)

zone qualunque siano connesse attraverso un numero limitato di passaggi. Il cervello non sfugge a questa legge ed è per questo, oltre che per la velocità con cui i neuroni trasmettono gli impulsi, che il pensiero è così veloce.

Ma vi è anche un altro beneficio derivante da questa struttura ovvero la tenuta della rete: se anche alcuni elementi vengono rimossi o alcune comunicazioni interrotte, il danno non induce comunque la frammentazione della rete.

La struttura *small world* quindi rende il cervello rapido ed efficiente e gli permette di fronteggiare i malfunzionamenti.

Un elemento che caratterizza alcune delle reti *small world* esistenti, ad esempio la rete Internet, è la presenza di *hubs*, ovvero nodi iperconnessi attraverso i quali passa gran parte del traffico e che consentono di accorciare le distanze mettendo in collegamento aree anche molto distanti.

Gli *hubs*, inoltre, contribuiscono alla robustezza della rete.

Albert, Jeong e Barabasi⁷ hanno condotto delle simulazioni di attacco alla rete Internet notando che, se i bersagli sono casuali, una rete dotata di *hubs* risulta di gran lunga più resistente alla disgregazione rispetto ad una completamente casuale. Ovviamente un danno mirato all'*hub* provoca per contro una rapida disgregazione della rete. Solo in questo caso, la rete casuale risulta avvantaggiata.

E' probabile quindi che l'evoluzione abbia fatto sì che il cervello si dotasse di un *hub* per gestire le complesse funzioni semantiche? La risposta sembrerebbe essere affermativa ed il fatto che danni localizzati al lobo temporale anteriore (o meglio all'*hub*) portino al malfunzionamento amodale di alcuni processi sembrerebbe confermarlo. Rimane invece nel dubbio la necessità di un *hub* unico a fronte di una serie di *hubs* come avviene nella maggior parte delle reti. Studi ulteriori sul livello di inabilità a seguito di danni cerebrali potrebbero individuare una più precisa mappa della rete neurale legata alla memoria semantica e dare risposta a questo interrogativo.

7 Albert R., Jeong H., Barabasi A. (2000)

Bibliografia

Albert R., Jeong H., Barabasi A. (2000). "Error and attack tolerance of complex networks", *Nature*, 406, 378-381

Buchanan M. (2003). *Nexus*, Mondadori, Milano

Il volume presenta una divulgativa ma corretta e completa presentazione degli studi sulla teoria delle reti, in particolare le reti *small world*, analizzandone la presenza in numerosi fenomeni sia naturali che sociali.

Damasio A.R. (1989). "The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones", *Neural Computation*, 1, 123-132

Latora V., Marchiori M. (2001). "Efficient behavior of small-world networks", *arXiv*, cond-mat/0101396

McRae K., Jones M. (2013). "Semantic Memory" in Reisberg D. (ed.), *The Oxford Handbook of Cognitive Psychology*, Oxford, Oxford University Press

La parte del presente lavoro relativa alle teorie sulla memoria semantica è tratta quasi esclusivamente da questo testo che ha il merito di presentare in modo riassuntivo gli sviluppi più recenti della ricerca.

Patterson K., Nestor P.J., Rogers T.T. (2007). "Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain", *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 976-987

Scannel J.W. (1997). "Determining cortical landscape", *Nature*, 386, 452

Simmons K.W., Barsalou L. (2003). "The similarity-in-topography principle: Reconciling theories of conceptual deficits", *Cognitive Neuropsychology*, 20, 451-486

Tulving E. (1972). "Episodic and semantic memory" in Tulving E., Donaldson W. (eds.), *Organization of Memory*, New York, Academic Press

Nota:

Le informazioni relative alla topografia del cervello e ai metodi di analisi neurofisiologica sono tratte dalla voce *Human Brain* e correlate di Wikipedia.