

I circuiti cognitivi

Salvatore Leonardi

Abstract

In questo saggio si formula l'ipotesi che la mente funzioni attraverso una rete circuitale. Tale rete è caratterizzata da una innumerevole serie di "circuiti logici" (Se → allora... ipotesi → movimento → verifica ... se →). La struttura logica di tali circuiti è determinata dai tempi di attivazione degli elementi interni alla rete stessa. Dopo il primo elemento, avviene l'anticipazione del secondo, cui segue un movimento (o passaggio) e la verifica dell'anticipazione. Gli elementi dei circuiti logici concernono strutture di relazione, interrelazione ed associazione concernenti il "che cosa" ed il "dove", ambedue anticipati e verificati. La memoria di tali strutture è conservata in aree posteriori ed anteriori della corteccia. Nelle aree posteriori è conservata la memoria percettiva relativa alle strutture del "che cosa" e del "dove"; nelle aree anteriori è conservata la memoria "funzionale" relativa alle medesime strutture.

Keywords: Circuito logico, funzione cognitiva, via del "dove", via del "che cosa", memoria funzionale, memoria percettiva, sintesi cognitiva, correlazione, interrelazione, associazione, anticipazione, ipotesi, movimento, verifica

1. La funzione cognitiva di base

1.1 Circuiti cortico/corticali e cortico/subcorticali

Studi recenti di neuroscienze (Faglioni, 1996) hanno evidenziato che le aree corticali e subcorticali sono collegate tramite circuiti piuttosto complessi. Essi funzionano per mezzo di meccanismi d'attivazione e d'inibizione; questi ultimi presenti nelle aree subcorticali. I cinque grandi nuclei che formano i Gangli della base assieme al talamo, all'amigdala, all'ippocampo fanno parte di tali circuiti cortico/subcorticali. Accanto ai circuiti cortico/subcorticali sono stati riconosciuti circuiti

cortico/corticali che connettono aree della corteccia. Ambedue i tipi di circuiti attivano la corteccia frontale, tanto che i due tipi di circuiti sono anche detti: circuiti fronto/corticali e fronto/sottocorticali. I circuiti fronto/corticali conosciuti sono:

- a) Il fascicolo arcuato longitudinale superiore. Connette l'area di Wernicke con l'area di Broca con alcune fibre che si diramano nella corteccia parietale inferiore (Catani et al., 2005);
- b) Il fascicolo fronto/occipitale superiore. Connette la corteccia frontale e l'insula con le regioni temporali ed occipitali. Secondo Catani e colleghi (Catani et al., 2002) le fibre sembrano associare quasi esclusivamente la corteccia prefrontale dorsolaterale con il lobo parietale;
- c) Il fascicolo uncinato. Connette la corteccia frontale orbitale e polare con le aree temporali anteriori;
- d) Il cingolo connette le aree orbitali e mediali del lobo frontale con l'ippocampo e le aree parietali posteriori ed occipito/temporali.

I circuiti fronto/sottocorticali riconosciuti sono:

- e) Circuito motorio. Comprende l'area motoria supplementare, le aree premotorie, l'area motoria primaria e quella somatosensoriale;
- f) Circuito oculomotore, che ha origine nei campi oculari frontali;
- g) Circuito prefrontale/dorsolaterale, collega la superficie dorsolaterale del lobo frontale con altre aree frontali e quelle parietali;
- h) Circuito orbitofrontale/laterale facente capo ai giri orbitali laterali con collegamenti alla corteccia temporale dell'insula. È collegato col circuito dorsolaterale;
- i) Circuito orbitofrontale/mediale ha origine nel giro retto e nel giro orbitario mediale, è collegato con la corteccia cingolata anteriore e riceve afferenze da strutture subcorticali e mesencefaliche implicate con la gratificazione ed il piacere (Salzano, 2003);
- l) Circuito del cingolato anteriore. È ripartito in tre sottoregioni: rostrale, con funzione affettiva; dorsale, con funzione cognitiva; caudale con funzioni motorie (Yucel et al., 2003);
- m) Circuito corteccia laterale/cervelletto con funzioni esecutive.

Questi circuiti sono reciprocamente interconnessi. Nella Figura 1 è illustrato il circuito motorio dei nuclei della base (Coté e Crutcher, 1991) Esso fa parte del più complesso circuito percettivo/motorio che comprende il cervelletto, i nuclei pontini, il midollo spinale, il tronco dell'encefalo ed altre aree della corteccia.

La risposta è solo parzialmente positiva. Infatti, il circuito percettivo/motorio espleta anche la funzione d'apprendimento. L'esperienza c'insegna che gli animali muovendosi ed esplorando l'ambiente imparano; infatti, acquisiscono nuove competenze motorie e nuove conoscenze. Se vogliamo ipotizzare una funzione cognitiva per tale circuito essa deve comprendere la funzione d'apprendimento. A questo punto è opportuna una digressione.

Gli studi sul condizionamento classico e quelli sul condizionamento operante hanno messo in luce il fatto che, se ad uno stimolo o ad un'azione segue più volte una ricompensa o una punizione, l'animale impara ad associare lo stimolo o l'azione alla ricompensa o alla punizione. Esempio del condizionamento classico è quello del cane affamato che riceve cibo dopo l'accensione di una luce. Ben presto impara che l'accensione della luce significa l'arrivo del cibo (Pavlov, 1982). L'apprendimento avviene tramite un meccanismo di anticipazione. Vista la luce, esso si aspetta il cibo.

Processo analogo avviene nel condizionamento operante. Un topo che acquista consapevolezza del fatto che premendo una leva riceve del cibo, preme la leva anticipando mentalmente la comparsa dell'alimento (Skynner, 1938). Accanto ad un meccanismo di attivazione opera anche un meccanismo di inibizione. Se all'accensione della luce il cane non riceve più volte il cibo l'aspettativa si riduce fino a scomparire.

Gli esperimenti di Tolman (Tolman, 1948) sull'apprendimento di mappe spaziali dei topi confermano il processo di anticipazione. C'è una vasca con quattro piattaforme (Figura 2):

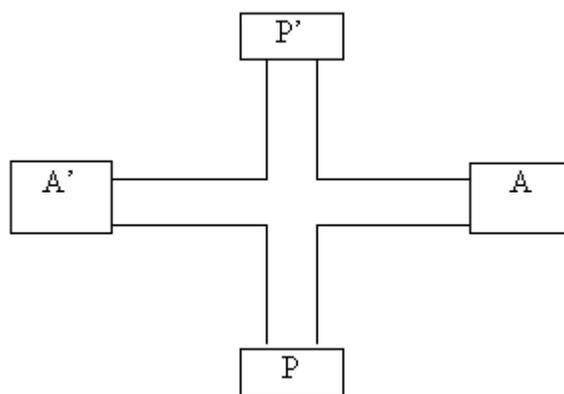


Figura 2. Vasca con piattaforme

Il topo è messo nella piattaforma A; il cibo è collocato, le prime volte, alternativamente nella P e nella P'. In seguito il cibo è posto solo sulla piattaforma P. Dopo reiterate esperienze il topo appena

è messo sulla piattaforma A si dirige subito verso la P, avendo imparato che proprio su quella piattaforma c'è il cibo. Quando, invece che nella A, il topo è posto sulla A', esso continua a dirigersi immediatamente verso la P, dimostrando di aver memorizzato la mappa del luogo. Ciò che a noi interessa di questi esperimenti è il fatto che il ratto mostra sorpresa se non trova il cibo dove aveva supposto.

Alla luce di questi esperimenti il processo cognitivo realizzato con l'intervento dei circuiti percettivi/motori potrebbe essere quello schematizzato nella Figura 3:

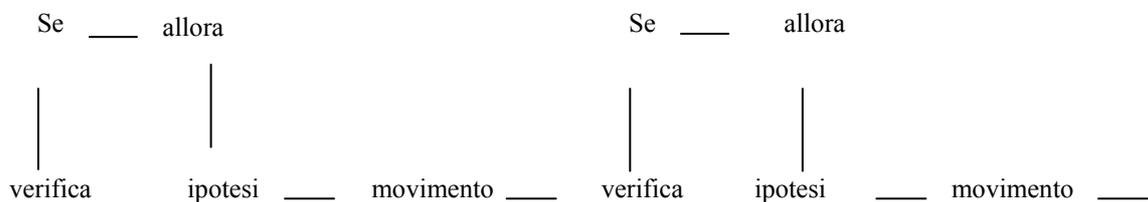


Figura 3. Processo cognitivo

L'agire del topo corrisponde al movimento; l'ipotesi a ciò che esso si aspetta di trovare; la verifica a ciò che trova rispetto a quanto supposto. Prima di ipotizzare qualcosa il topo però riconosce l'ambiente in cui è inserito, cioè la vasca, le pareti, le piattaforme. Questa consapevolezza è ciò che abbiamo indicato con "se". Si tratta dei dati oggettivi da cui parte il sistema cognitivo; le conseguenze di queste conoscenze acquisite sono state indicate con il termine "allora". Nel nostro caso il topo deduce che nella piattaforma "A" è presente il cibo. Questa deduzione è anche un'ipotesi da verificare tramite movimenti o azioni.

1.3 I sistemi sensoriali

Prima di iniziare la trattazione sul funzionamento dei circuiti è opportuno occuparci dei sistemi sensoriali. Si tratta di un processo bottom-up realizzato dai recettori sensoriali unitamente alle aree primarie che raccolgono le informazioni differenziandole ed organizzandole per tempi, modi e spazi. Se tocchiamo un oggetto e percepiamo la sensazione di "duro", il tempo di questa sensazione

è determinato dalla durata di questo contatto. Per alcuni secondi i corpuscoli di Meissner e recettori di Merkel inviano una serie di potenziali di azione, che elaborati dai vari nuclei di ritrasmissione giungono alla corteccia somatosensitiva primaria (Kandel e Jessel, 1991).

Fatto analogo succede quando guardiamo un oggetto. I recettori retinici inviano input alla corteccia visiva primaria per tutto il tempo nel quale ricevono segnali dall'oggetto stesso.

Relativamente alla componente modale, sin dall'antichità sono state distinte cinque modalità o sistemi sensoriali: la visione, l'udito, il gusto, il tatto, l'olfatto.

In questi sistemi sensoriali, (unitamente a quelli motori e motivazionali) si distinguono, sia dal punto di vista anatomico che da quello funzionale, diversi sottosistemi, ciascuno dei quali svolge compiti specifici. Per esempio, ogni modalità sensoriale (udito, visione, tatto, ecc.) è mediata da un particolare sistema. All'interno di ogni sistema specifico si distinguono vie ancora più specializzate. Il sistema visivo, per esempio, possiede vie distinte per la percezione di oggetti immobili rispetto all'osservatore e per la percezione del movimento di oggetti seguiti con lo sguardo dall'osservatore. Queste vie lavorano di concerto per la percezione del movimento degli oggetti. Allo stesso modo, vie somatosensitive anatomicamente distinte, come quelle per il tatto e il dolore, ritrasmettono alla corteccia cerebrale informazioni provenienti da recettori cutanei diversi (Martin, 1991).

Per quanto riguarda lo spazio è opportuno sottolineare il fatto che tanto i recettori periferici quanto le aree primarie hanno un'organizzazione topografica. La caratteristica che più colpisce dei sistemi sensoriali è, infatti, costituita dal fatto che le relazioni spaziali esistenti a livello della superficie recettoriale periferica, sia essa la retina, la coclea o la cute, sono conservate ai vari livelli del sistema nervoso centrale. Per esempio, gruppi di cellule retiniche vicine proiettano a gruppi di cellule talamiche contigue, che a loro volta proiettano a regioni contigue della corteccia visiva. Esiste dunque, a livello di ogni stazione sinaptica delle vie visive, una mappa visuotopica di natura nervosa.

Anche la superficie corporea è rappresentata in una mappa somatotopica a livello della corteccia somatosensitiva. Nelle vie motorie i neuroni che controllano specifiche regioni corporee sono raggruppati insieme e nel complesso formano una mappa motoria, che è particolarmente evidente a livello della corteccia motrice primaria (Martin, 1991).

Questa organizzazione topografica si traduce in un ordine spaziale relativo non solo alla percezione del nostro corpo ed ai suoi movimenti ma anche alla percezione degli oggetti del mondo esterno. Anch'essi, in virtù di tale struttura organizzativa, interna al nostro cervello, ci appaiono ordinati nello spazio.

Se analizziamo il sistema somatosensitivo, notiamo che esso ha un'organizzazione somatotopica. Anch'esso quindi è strutturato su base spaziale; inoltre esso elabora quattro principali modalità:

- 1) il tatto discriminativo che ha la funzione di riconoscere le dimensioni, la forma, le caratteristiche della superficie degli oggetti (liscio/ruvido, duro/molle, ecc.), e del loro movimento sulla pelle;
- 2) la propriocezione che determina il senso di posizione statica ed il senso di movimento degli arti e del corpo;
- 3) la nocicezione la cui funzione è quella di percepire un danno dei tessuti avvertito come dolore;
- 4) La sensibilità termica, che ci fa avvertire il caldo ed il freddo.

Le informazioni relative a queste modalità sono trasmesse al cervello da due importanti sistemi. Le informazioni propriocettive e la maggior parte di quelle tattili sono trasmesse dal sistema colonne dorsali lemnisco mediale; le informazioni sul dolore e quelle termiche sono trasmesse dal sistema anterolaterale (AAVV, 1991a).

1.4 La corteccia visiva primaria

Tutti i sistemi sensoriali si basano su principi generali comuni, ma, essendo quello visivo il più studiato, ci soffermiamo brevemente sulla percezione visiva. Si ritiene che la visione comporti l'intervento di tre vie poste in parallelo, che elaborano separatamente le informazioni relative al movimento, alle forme ed al senso della profondità, e ai colori. Si tratta dei sistemi:

- magnocellulare (movimento);
- parvicellulare interblob (forme e senso della profondità);
- parvicellulare blob (colori);

Il sistema magnocellulare è specializzato per l'analisi del movimento e delle relazioni spaziali degli oggetti; esso contribuisce anche alla visione stereoscopica. È stato osservato che il sistema magnocellulare ha una certa capacità di contribuire alla percezione del senso di profondità, mentre è del tutto inefficiente per l'analisi degli oggetti statici.

Il sistema parvo analizza il colore (che ha stazione terminale in V4) e la forma attraverso cellule sensibili alla direzione, presenti in V2, V3, V4.

Le ulteriori proiezioni di questi sistemi seguono probabilmente due grandi vie, ventrale e dorsale, che, secondo Mishkin e coll. (1983) trasmettono le informazioni elaborate dalle aree visive verso i centri superiori. La via ventrale consiste in una serie di connessioni multisinaptiche, che seguono il decorso del fascicolo longitudinale inferiore e congiungono le aree occipitali con le aree temporali

inferiori nelle quali avviene l'identificazione visiva dello stimolo. V4 proietta a queste aree. La via dorsale consiste in connessioni multisinaptiche, che seguono la via del fascicolo longitudinale superiore e connettono le aree striate e prestriate con il lobulo parietale inferiore, nel quale avviene la localizzazione dello stimolo. Dalla corteccia occipitale, le informazioni sensoriali proiettano all'area MT, la quale proietta alla corteccia parietale (Livingston e Hubel, 1988).

1.5 Lo spazio ed il tempo come forme pure della percezione

Nell'*Estetica Trascendentale*, Kant sostiene che due sono le forme pure dell'intuizione sensibile: lo spazio e il tempo. Essi sono i principi della conoscenza a priori degli oggetti. Lo spazio è la forma di quell'intuizione derivante dai cinque sensi esterni; il tempo è la forma di quell'intuizione derivante dal senso interno (o appercezione empirica), cioè il senso tramite cui l'uomo percepisce se stesso e dunque anche le sue rappresentazioni in quanto modificazioni del suo animo. Per forma Kant intende il modo di funzionare, ossia la condizione alla quale deve sottostare la rappresentazione sensibile di oggetti esterni ed interni. Kant nega che lo spazio e il tempo siano realtà assolute, indipendenti dalla forma della nostra intuizione sensibile o che essi possano rappresentare le condizioni o le qualità delle cose. L'essere umano coglie le cose spazialmente e temporalmente determinate solo in quanto possiede una sensibilità strutturata in questo modo. Lo spazio e il tempo sono forme del "soggetto" non dello "oggetto"; essi hanno realtà empirica e idealità.

Per Kant, gli oggetti al di fuori della nostra percezione sono apparenze:

Noi abbiamo dunque voluto dire che tutta la nostra intuizione non è altro che la rappresentazione di un'apparenza (*Erscheinung*); che le cose da noi intuite non sono in se stesse così come le intuiamo, e che i loro rapporti non sono costituiti in sé così come appaiono a noi; che se noi sopprimiamo il nostro soggetto, o anche soltanto la costituzione soggettiva dei sensi in generale, in tal caso tutta quanta la costituzione e tutti i rapporti degli oggetti nello spazio e nel tempo, anzi persino lo spazio e il tempo, sono destinati a svanire. Tutte queste cose, in quanto apparenze, non possono esistere in se stesse, ma esistono soltanto in noi. Di che cosa mai possa trattarsi, riguardo agli oggetti in se stessi, separati da tutta questa recettività della nostra sensibilità, ci rimane perfettamente ignoto. Noi non conosciamo altro che il nostro modo di percepire gli oggetti (*Ragione pura*, B 65).

1.6 La via del "dove" e la via del "che cosa"

Le due vie (del "dove" e del "che cosa"), che sono state individuate nella percezione visiva, sono state riscontrate anche nella percezione uditiva. A mio avviso tale ripartizione avviene anche per il tatto, l'odorato, il gusto nonché per le percezioni interne (fame, sete, ecc.) e le emozioni. Per

ciascun senso, quindi, la conoscenza è organizzata attraverso due sistemi che chiameremo sistema dorsale (via del “dove”) e sistema ventrale (via del “che cosa”).

Ci siamo soffermati sulla “concezione” dello spazio e del tempo in Kant, per un motivo ben preciso. Il filosofo di Königsberg aveva capito che le sensazioni sono organizzate attraverso lo spazio ed il tempo, che sono “forme” a priori della conoscenza. Egli afferma che i rapporti spazio/temporali degli oggetti sono forme di intuizione a priori, che non sussistono senza il soggetto percepente. L’affermazione di Kant vale per il sistema dorsale. Questo sistema si occupa di tutto ciò che rientra nel contesto spazio/temporale.

Gli “oggetti” del sistema ventrale sono decontestualizzati. Essi sono, cioè, “al di fuori dello spazio e del tempo”. La decontestualizzazione avviene proprio nel lobulo parietale inferiore. Qui la figura è separata dal contesto (lo sfondo). La separazione figura/sfondo è proprio il processo con cui la mente stacca dal contesto l’oggetto percepito. In questa separazione consiste proprio la “percezione”.

1.7 Il mantenimento in presenza

Qualsiasi movimento realizziamo esso è funzione del sistema dorsale. Il movimento, infatti, non può realizzarsi al di fuori dei rapporti spaziali. Ricordiamo che il circuito oculomotore, che è il sistema attenzionale visivo, espleta tre tipologie di movimenti:

- 1) movimento di mantenimento in presenza
- 2) movimento di vergenza
- 3) movimenti saccadici

Nel caso in cui un oggetto si muove o si trasforma attiviamo il “mantenimento in presenza”, che ci consente di seguirne le trasformazioni o i movimenti. Il “movimento di vergenza” si attiva quando si fissa un oggetto che si avvicina o si allontana. In questa circostanza ogni occhio si muove in modo diverso (non coniugato) per mantenere l’immagine dell’oggetto esattamente allineata sulla fovea. Se l’oggetto si avvicina gli occhi debbono convergere; se l’oggetto si allontana, gli occhi divergono (AAVV, 1991b). I movimenti saccadici spostano l’attenzione da un quanto di coscienza all’altro.

Sia il movimento di mantenimento in presenza che quello di vergenza hanno la funzione di mantenere l’attenzione sul quanto di coscienza selezionato dall’attenzione. Vi sono essenzialmente tre modalità di mantenimento in presenza:

- 1) La prima modalità è percettiva. Se osserviamo un animale che si sposta nel suo ambiente o che cambia colore manteniamo il fuoco dell'attenzione visiva per alcuni istanti sull'animale stesso, tramite il movimento di mantenimento in presenza e di vergenza. Tale funzione, è di origine premotoria.
- 2) La seconda modalità è di anticipazione. Un esperimento classico è quello di addestrare una scimmia a compiere un determinato gesto all'apparire di una luce in una specifica posizione del campo visivo. L'attesa della luce in quel determinato punto è anticipata da una scarica di potenziali di azione di gruppi di neuroni prefrontali. Essi tengono presente ciò che è atteso (Goldberg, 2001).
- 3) La terza modalità è di posticipazione. Quando effettuiamo confronti oppure effettuiamo la relazione riferito/riferimento, la figura che funge da riferimento è tenuta presente mentre è selezionata la successiva. Anche in questa circostanza, la funzione di tenere presente è realizzata dalla corteccia prefrontale, nella quale famiglie di neuroni scaricano all'unisono per tutto il tempo in cui si tiene a mente qualcosa che, in quel momento, non si percepisce.

2. L'organizzazione del movimento

2.1 Il circuito motorio

Il circuito motorio, per comodità espositiva, possiamo ripartirlo in due livelli. Il primo riguarda l'organizzazione del movimento intesa come modifica della relazioni spazio/temporali dei distretti corporei (a questo livello di elaborazione cognitiva, concernente i movimenti e le correlazioni visive, la posizione e la relazione non è stata ancora realizzata. Utilizziamo i termini "relazione" e "posizione" solo per semplificare il discorso). Il secondo attiene alla modifica delle relazioni spazio/temporali degli oggetti esterni, l'uno rispetto all'altro e ciascuno rispetto al soggetto che esegue il movimento.

Le percezioni relative a differenti modalità sono raccolte da sistemi sensoriali diversi. Anche i circuiti cognitivi di base devono essere diversi. Sappiamo, infatti, che utilizzano specifici sistemi motori. La vista, per esempio, utilizza il sistema oculomotore; l'udito utilizza movimenti del capo e del corpo, il tatto movimenti degli arti superiori, l'olfatto movimenti di inalazione dell'aria con movimenti del corpo, il gusto movimenti della lingua e dell'apparato buccale. Inoltre, è il sistema fonoarticolatorio a produrre i suoni della lingua.

Anche se diversi tra loro, i vari circuiti motori, sono reciprocamente interconnessi. Se, per esempio, vogliamo percepire dettagliatamente un oggetto, ci avviciniamo ad esso, lo osserviamo, lo tocchiamo, ne sentiamo l'odore ed il suono. Questa serie di movimenti avviene in modo coerente perché la mente ha un controllo costante della posizione di ogni distretto corporeo (compresi gli occhi all'interno delle cavità orbitali) e ne sposta alcuni tenendo presente la posizione degli altri.

Per capire l'organizzazione dei sistemi motori, soffermiamoci sull'organizzazione dell'articolazione. La sillaba è un'unità di organizzazione dei gesti articolatori, poiché la loro esecuzione dipende dalla posizione dei fonemi all'interno della sillaba (Denes et al., 1996). Le sillabe (Figura 4) sono costituite da un nucleo, in italiano sempre una vocale, un onset (o incipit) cioè tutto il materiale consonantico che precede la vocale, e una coda, cioè la consonante che chiude la sillaba. A loro volta nucleo e coda formano la rima, secondo lo schema illustrato in basso, che concerne la parola "carta". L'insieme vuoto indica la coda non espressa linguisticamente.

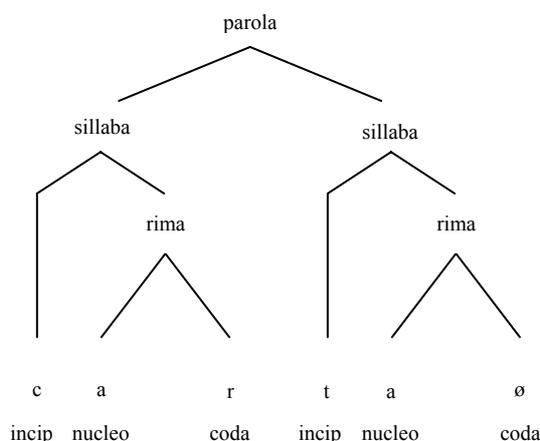


Figura 4. La struttura correlativa fonoarticolatoria

Un suono formato da più fonemi tenuti insieme per continuità temporale che abbia questa particolare struttura è una sillaba. La struttura correlativa della frase "le foglie morte sono cadute a terra, è rappresentata nella Figura. 5.

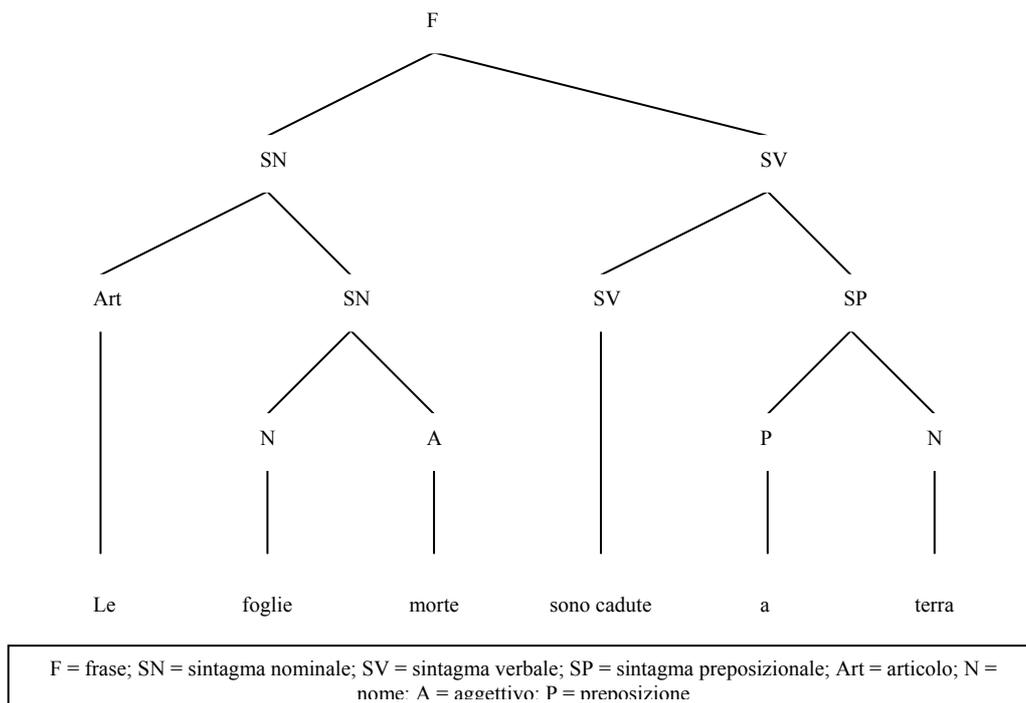


Figura 5. La struttura correlativa

Come si può notare vi è somiglianza fra la struttura delle correlazioni linguistiche tra parole e la struttura fonoarticolatoria sillabica. La struttura fonoarticolatoria sillabica è un'organizzazione del movimento fonoarticolatorio sulla base dei suoni emessi. La struttura della frase è un'organizzazione del movimento fonoarticolatorio basato sul lessico.

Supponiamo dunque che tutti i sistemi motori abbiano tale organizzazione strutturale, ossia un'organizzazione di tipo correlativo anche per quanto riguarda le relazioni spaziali tra i distretti corporei. In tal caso, quando parliamo utilizziamo due livelli motori. Il primo concerne la posizione nel tempo dei muscoli ; il secondo riguarda la struttura sillabica, delle parole, delle frasi.

La nostra ipotesi è perciò che tutti i sistemi motori utilizzano due livelli. Il primo organizza, tramite le correlazioni, i rapporti spazio/temporali dei distretti corporei. Il secondo, integrato col primo, organizza, tramite correlazione, i rapporti spazio/temporali degli oggetti esterni e del nostro corpo riferito a tali oggetti.

2.2 Interrelazione spaziale e correlazione logico-motoria

Tutti i sistemi motori utilizzano i muscoli per il movimento e i fusi neuromuscolari per le informazioni sensoriali relative alla posizione delle articolazioni nel tempo. In modo semplificato, “i muscoli possono essere rappresentati da due elementi disposti in serie: un elemento contrattile (raffigurato in basso da una cremagliera ed un pignone, Figura. 6) e un elemento elastico (raffigurato da una molla)” (Ghez, 1991).

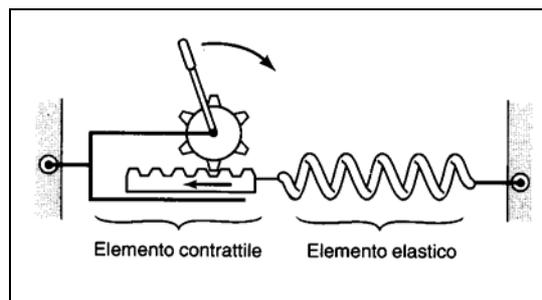


Figura. 6. Meccanismi della contrazione muscolare

Il movimento (flessione o estensione) di un muscolo, dipende, quindi dalla interrelazione spaziale tra l'elemento elastico e l'elemento contrattile. Questa interrelazione spaziale può essere raffigurata come nella Figura 7.

Variazioni nel tempo della posizione
dell'elemento contrattile rispetto all'elemento
elastico

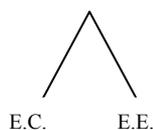


Figura 7. Interrelazione spaziale tra
l'elemento contrattile e l'elemento elastico

Ciò vuol dire che le modifiche di contrazione o rilassamento di un muscolo sono supportate da una popolazione di neuroni di interrelazione che registrano in tempo reale le variazioni spaziali dell'elemento elastico rispetto all'elemento contrattile e dell'elemento contrattile rispetto all'elemento elastico.

Consideriamo adesso un'articolazione. Un'articolazione come il gomito (Figura 8) è flessa facendo ricorso all'innervazione reciproca oppure alla co-contrazione. Tramite l'innervazione reciproca, il valore di riferimento del bicipite, che è eccitato, si riduce e il muscolo si accorcia, mentre il tricipite, che è inibito, si rilassa. L'attivazione del bicipite aumenta la sua rigidità e diminuisce il suo valore o lunghezza di riferimento, mentre il rilasciamento del tricipite ne determina la diminuzione della rigidità e l'aumento del valore o lunghezza di riferimento. Le concomitanti variazioni che si verificano in entrambi i muscoli determinano una nuova posizione di equilibrio del braccio e il gomito si flette per assumere questo nuovo angolo articolare.

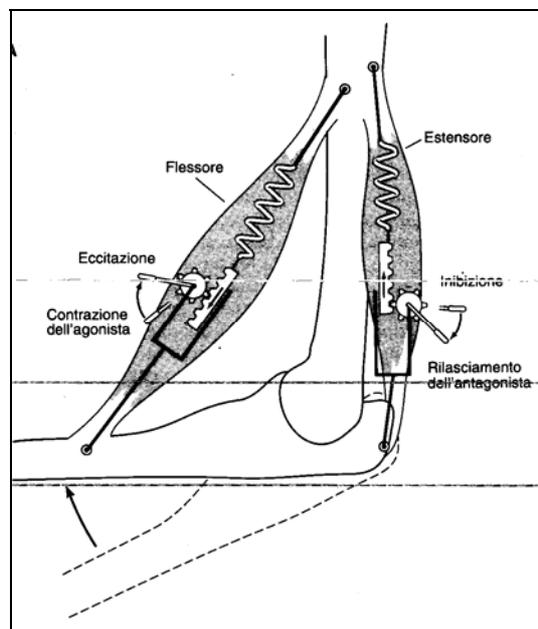


Figura 8. Meccanismo di flessione del gomito

La flessione del gomito richiede la coordinazione di due muscoli. Mentre l'uno si flette, l'altro si rilassa (nella co-contrazione flettono entrambi) (Ghez, 1991). Anche questo movimento, concernente due muscoli, dipende dalla interrelazione spaziale, che non riguarda solo l'elemento contrattile e l'elemento elastico ma anche un muscolo e l'altro.

Le informazioni sulla interrelazione spaziale che provengono dai fusi neuromuscolari giungono attraverso la corteccia somatosensitiva primaria, nella corteccia parietale posteriore (Figura 9). La corteccia parietale memorizza l'avvenuto movimento attraverso l'interrelazione tra lo spazio del braccio e dell'avambraccio. Ciò è dovuto al fatto che il movimento è relativo. Possiamo dire che qualcosa si muove se possiamo verificare la posizione relativa dell'oggetto in moto con un altro oggetto presente sulla scena.

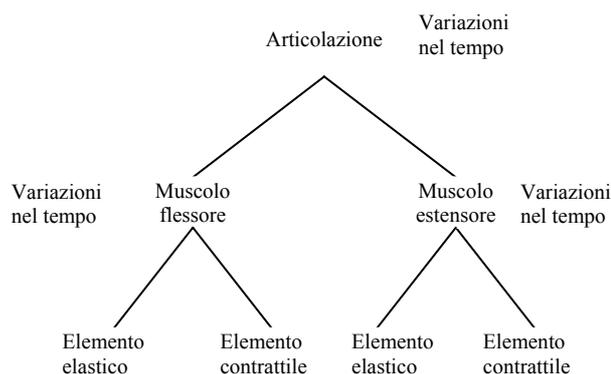


Figura 9. Interrelazione spaziale di una articolazione memorizzata nella corteccia parietale posteriore

2.3 Interrelazione percettiva ed organizzativa

L'interrelazione spaziale delle articolazioni, dei muscoli, nonché degli elementi elastico e contrattile, deve essere vista come un'organizzazione in ingresso (input) dello spazio percettivo. Un singolo atto percettivo, può concernere la interrelazione tra due elementi semplici quali l'elemento elastico e l'elemento contrattile, la cui interrelazione mi dà la percezione del muscolo. Un singolo atto percettivo può coinvolgere più di due elementi. Anche in questo caso la percezione deve essere organizzata. L'organizzazione è sempre la stessa. La mente costruisce, partendo da interrelazioni semplici, interrelazioni complesse.

In altre parole, le informazioni spaziali che sono percepite con un singolo atto percettivo sono strutturate in interrelazioni (l'organizzazione in ingresso degli input percettivi, oltre che da interrelazione, può essere formata da "relazioni" o da "associazioni". Le "interrelazioni" si caratterizzano per il fatto che gli elementi "interrelati" variano concomitantemente nel tempo, al contrario le "relazioni" e le "associazioni" indicano rapporti tra due elementi separati).

Niente di destrutturato ha l'accesso alla "coscienza". L'organizzazione dei dati in ingresso è duplice e riguarda lo "spazio" e la "durata". Se ascoltiamo, con un singolo atto percettivo, la "parola" frana, la quale ha una certa "durata", i suoni (vocalici e consonantici) di cui tale parola è composta sono organizzati in correlazioni.

L'organizzazione interrelativa non riguarda esclusivamente elementi in ingresso (input). È un'organizzazione generale del cervello, concernente anche gli elementi in uscita (output). Dell'organizzazione in uscita (output) si occupano le aree anteriori della corteccia. La corteccia

premotoria ha una funzione complementare rispetto alla corteccia parietale. Essa organizza le variazioni temporali degli output motori diretti verso i motoneuroni (Figura 10).

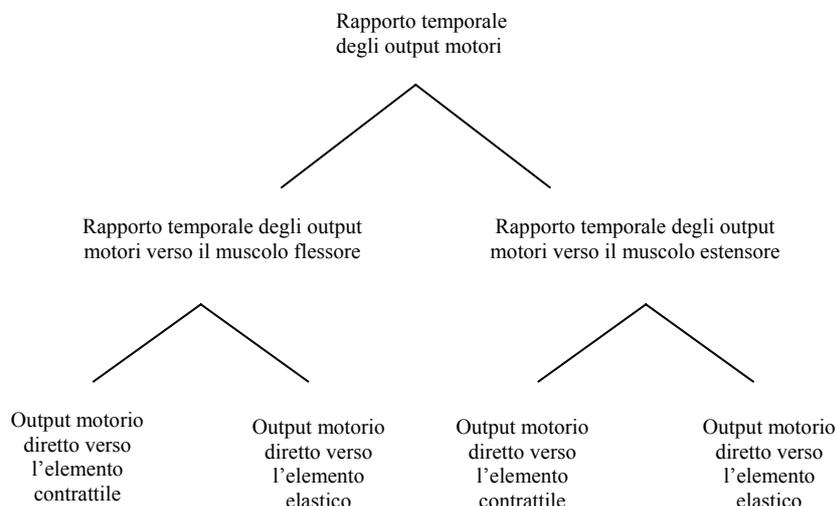


Figura 10. Interrelazione motoria di una articolazione

2.4 La correlazione logico-motoria

Abbiamo visto come alla realizzazione del movimento concorrono più aree corticali e subcorticali (come vedremo più avanti, anche le corteccie prefrontale e temporale partecipano al movimento con funzioni particolari, che, al momento, possiamo tralasciare di esporre). Tali aree, assieme ai nuclei della base, formano un circuito logico–motorio, che realizza la funzione cognitiva di base. I circuiti logico-motori sono circuiti che si caratterizzano per un processo di anticipazione di quanto avverrà dopo un movimento. I rapporti temporali degli output motori sono organizzati dalla corteccia premotoria che li stabilisce prima che il movimento sia realizzato. Dopo il movimento, i fusi neuromuscolari, organizzati somatotopicamente, inviano le loro informazioni alla corteccia somatosensitiva primaria e tra queste informazioni c'è pure quella relativa ai rapporti spaziali tra il braccio e l'avambraccio che variano in tempo reale. Si tratta di informazioni sullo spazio in input, quello cioè registrato dai fusi neuromuscolari. Queste informazioni spaziali giungono dalla corteccia parietale alla corteccia premotoria che, sulla base di questa conoscenza (il dato di fatto), anticipa (se questo ...allora) la nuova interrelazione spaziale tra i due muscoli dopo il movimento (ipotesi). Il movimento è organizzato ed eseguito sulla base di questa ipotesi posizionale. Dopo il

movimento, la interrelazione “reale” dei due muscoli (corteccia parietale) funge da “verifica” all’ipotesi ed è il nuovo dato di partenza per una nuova ipotesi (corteccia premotoria).

La struttura correlativa logico-motoria, è la stessa struttura della funzione cognitiva di base. Essa non si applica solamente ai circuiti motori, ma a tutti i circuiti cerebrali, la cui funzione è quella di generare “correlazioni logiche” (Figura 11).

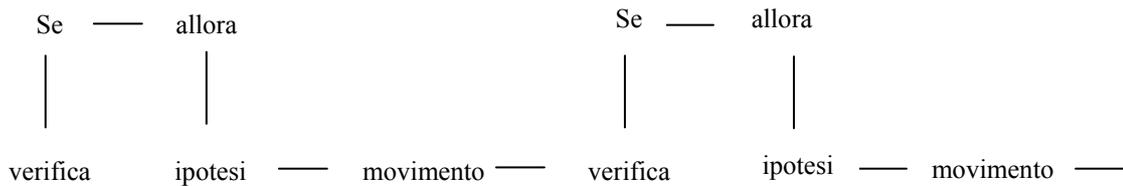


Figura 11. Circuito correlativo logico-motorio

La logica di tale circuito è data dai tempi. Le posizioni non sono registrate semplicemente nel rapporto temporale prima/dopo. All’interno di questo rapporto temporale si inserisce l’anticipazione, che genera la struttura logica (Figura 12).

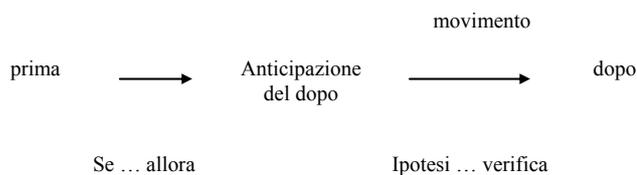


Figura 12. Rapporti temporali nella correlazione logica

La corteccia parietale memorizza la interrelazione di un muscolo rispetto all’altro prima e dopo il movimento. La corteccia premotoria memorizza i tempi dell’output motorio. Manca a tale circuito logico solo la memoria di “che cosa” è all’interno di tali circuiti. Si tratta della consapevolezza che ci consente di differenziare un elemento dall’altro. Di questa componente cognitiva, però ci occuperemo in seguito. La corteccia premotoria e la corteccia parietale interagiscono in un circuito che comprende anche aree subcorticali.

La struttura correlativa logica dell’articolazione è rappresentata in Figura 13. Sulla sinistra è illustrata la interrelazione spaziale prima del movimento; sulla destra è illustrata la interrelazione

spaziale ipotizzata. Il collegamento tra le due interrelazioni rappresenta il circuito logico che sulla base della prima interrelazione ipotizza e verifica la interrelazione dopo il movimento.

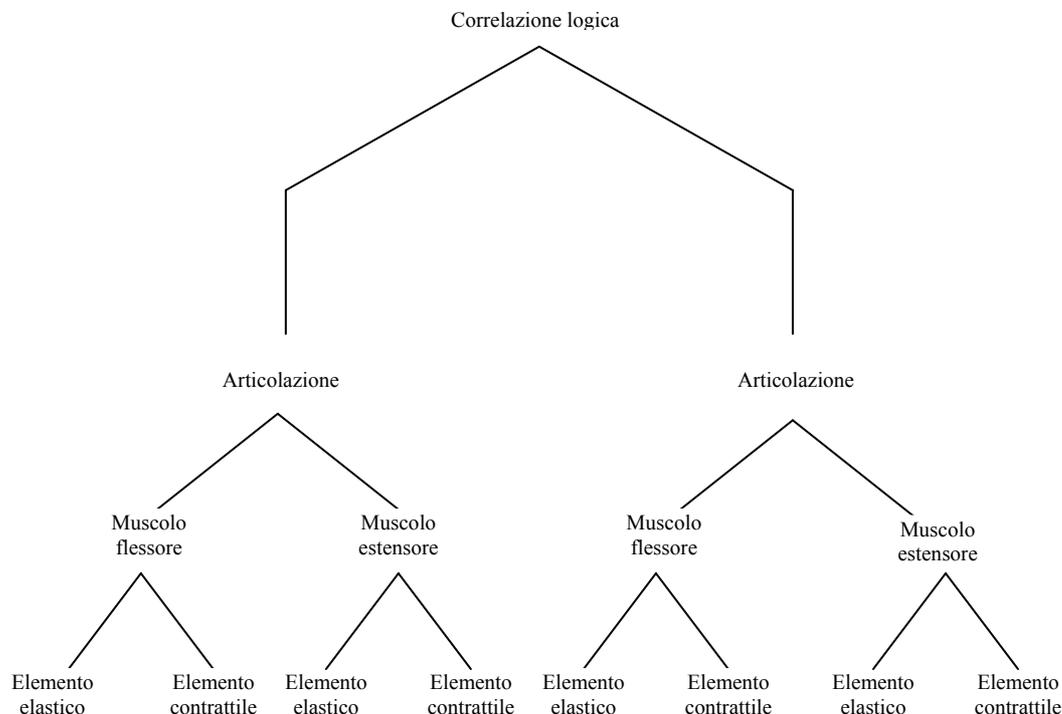


Figura 13. Correlazione logica di una articolazione

La correlazione logico-motoria si deve intendere come un processo continuo. L'ipotesi e la verifica avvengono in tempo reale, secondo dopo secondo per tutta la durata del movimento. Da quanto detto si evince una organizzazione gerarchica dei neuroni di interrelazione. Alcuni di essi si occupano delle interrelazioni tra l'elemento elastico e l'elemento contrattile; altri codificano un'articolazione, altri ancora sono preposti al movimento di più articolazioni

Le informazioni sulla posizione degli arti, cui concorre l'articolazione, è data non solo dai recettori fusali, ma anche dai meccanocettori della cute e dai recettori articolari (Ghez, 1991).

Riepilogando, occupandoci dei sistemi motori abbiamo riscontrato due tipologie di interrelazioni (di input e di output) ed un tipo di correlazione logica (circuitale), che essendo formata da un circuito abbiamo chiamato: circuito logico-motorio. Le interrelazioni semplici riguardano specifiche aree cerebrali dove la probabile presenza di neuroni di interrelazione è determinante per la interrelazione. Le interrelazioni semplici relative al movimento riguardano le interrelazioni spaziali nel tempo dei distretti corporei (muscoli, articolazioni, ecc.) memorizzate nella corteccia parietale e i rapporti temporali degli output motori, memorizzati nella corteccia premotoria.

L'ipotesi che i movimenti siano realizzati attraverso un circuito che "anticipa" il movimento e successivamente lo verifica non è nuova. Ricordiamo a tal proposito che Heilman, Barrett e Adair (1998), per spiegare l'anosognosia per l'emiplegia (il paziente non si rende conto di non poter muovere un arto), hanno proposto che ciò dipenda da difettosi meccanismi intenzionali (feed forward hypothesis). Secondo questi autori per avere la consapevolezza del movimento di un arto, il soggetto deve avere l'intenzione di muoverlo. Se questo meccanismo intenzionale è danneggiato il paziente non prova ad eseguire l'azione e quindi non si rende conto della propria emiplegia. La mancanza di programmazione impedisce l'aspettativa del movimento, il movimento stesso e la consapevolezza dell'incapacità.

2.5 Relazione, associazione, interrelazione

È opportuno, a questo punto della trattazione, differenziare interrelazione, relazione e associazione. E per ciascuna di queste, occorre differenziare la funzione costitutiva dei circuiti che realizzano interrelazione, relazione, ed associazione, dalla memoria delle interrelazioni, associazioni e relazioni che può essere percettiva e funzionale.

La relazione come funzione circuitale si realizza con l'intervento di aree prefrontali, e consiste nel "passaggio" da un elemento all'altro della relazione mantenendo in presenza il primo elemento (Figura 14).

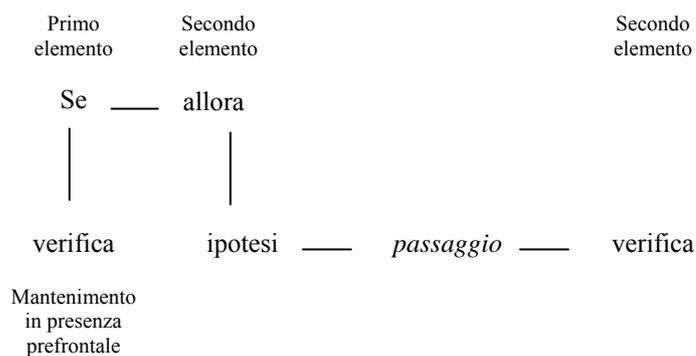


Figura 14. Circuito che realizza la "relazione"

L'attività di tale circuito genera nelle aree posteriori coinvolte una struttura di relazione, che collega i due elementi posti in relazione dal circuito. Nelle aree anteriori si genera una analoga struttura di tipo funzionale. Così quando effettuiamo la relazione "Divano morbido" o "sinistra/destra" nelle aree posteriori è memorizzata la struttura di relazione tra i due elementi. Per riprodurre la relazione

deve intervenire la corteccia prefrontale (memoria funzionale) con l'attivazione del circuito che pone tale relazione.

Diversa dalla "relazione" è l'associazione come funzione circuitale. Nell'associazione il passaggio tra i due elementi avviene senza il mantenimento in presenza (Figura 15).

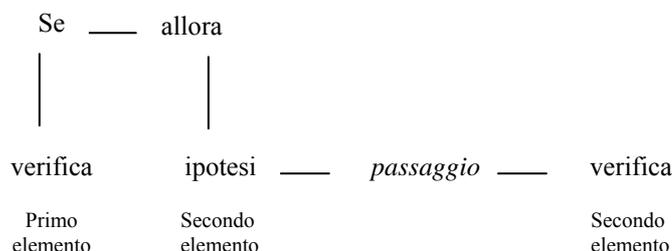


Figura 15. Circuito che realizza l' "associazione"

In questa circostanza la struttura associativa, realizzata dal circuito, è memorizzata nelle aree posteriori come memoria percettiva, nelle aree anteriori come memoria funzionale.

Il circuito di interrelazione ha una diversa struttura, illustrata nella Figura 16.

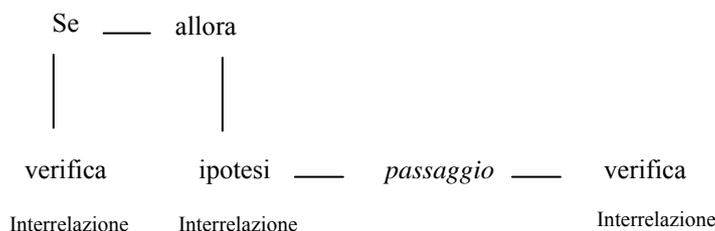


Figura 16. Circuito che realizza l' "interrelazione"

Nel circuito di interrelazione, istante per istante si modificano i rapporti tra i due elementi. Il "passaggio" va quindi inteso come un processo continuo. Tale circuito si utilizza quando effettuiamo movimenti nei quali le articolazioni agiscono concomitaneamente. Inoltre, se percepiamo con un'unica fissazione due o più elementi, che nell'insieme formano un "oggetto significativo", il circuito di interrelazione registra il variare concomitante degli elementi nell'insieme. Si pensi per esempio al volto, costituito da occhi, bocca, naso, ecc., oppure ad una scena.

Dopo che la relazione, l'associazione o l'interrelazione è stata effettuata, nelle aree posteriori si memorizzano le strutture (per l'interrelazione è probabile la presenza di neuroni di interrelazione). Per realizzare nuovamente la relazione, l'associazione o l'interrelazione la mente recupera nelle aree posteriori tali strutture, quindi passa da un elemento all'altro. Nel caso di relazione c'è pure il mantenimento in presenza. Facciamo un esempio. Supponiamo di aver memorizzato nella corteccia temporale la struttura di relazione tavolo-marrone. Per riattivare tale relazione, il circuito cognitivo che fa capo alla corteccia prefrontale recupera il tavolo dalla corteccia temporale e lo mantiene in presenza mentre l'attenzione si sposta dal "tavolo" al "marrone". Per quanto riguarda l'associazione il procedimento è analogo. Manca soltanto il mantenimento in presenza.

Per semplicità espositiva utilizziamo il termine "correlazione motoria" per indicare il circuito preposto al movimento anche se costituito da interrelazioni e/o associazioni ed il termine "correlazione logica" per indicare quelli che realizzano l'associazione, la relazione e l'interrelazione al di fuori del movimento (Figure 17a e 17b).

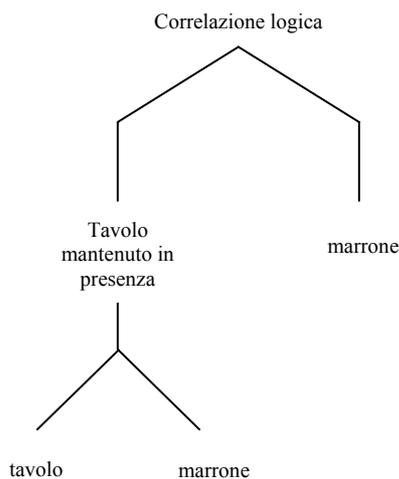


Figura 17a. Relazione riferimento/riferito

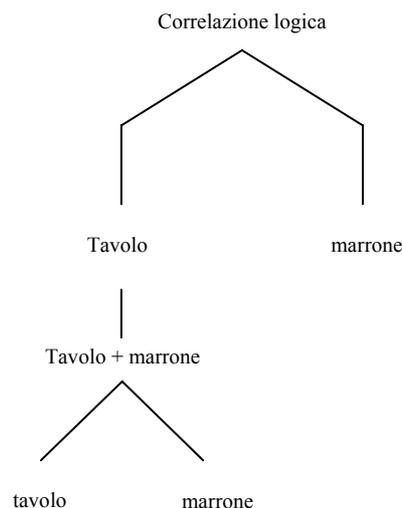


Figura 17b. Associazione

2.6 Sequenze motorie

La struttura correlativa logico-motoria della Figura 11 può legarsi temporalmente con una analoga struttura correlativa e dare luogo a una sequenza motoria. Le sequenze motorie, infatti, possiamo definirla come associazioni temporali tra due strutture correlative logico-motorie. Anch'essa come la precedente è realizzata da un circuito cognitivo nel quale la correlazione motoria che segue è ipotizzata prima della sua esecuzione. In questa circostanza il circuito cognitivo "passa" da un movimento all'altro (Figura 18).

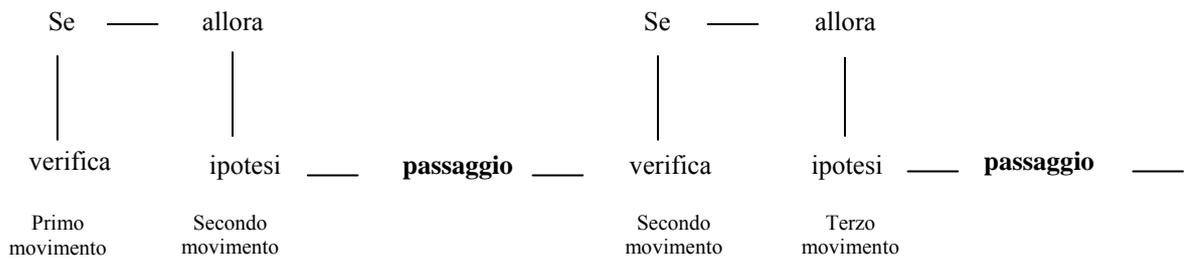


Figura 18. Circuito relativo alle sequenze motorie

L'agire del circuito cognitivo determina una relazione temporale tra le interrelazioni spaziali che è memorizzata nella corteccia parietale come memoria percettiva, nella corteccia motrice come memoria esecutiva, nella corteccia premotoria come memoria organizzativa.

Nella Figura 19 è illustrato il rapporto temporale tra due movimenti articolatori eseguiti in sequenza. La fissazione in memoria della sequenza motoria consente la sua esecuzione senza l'attivazione reiterata del circuito.

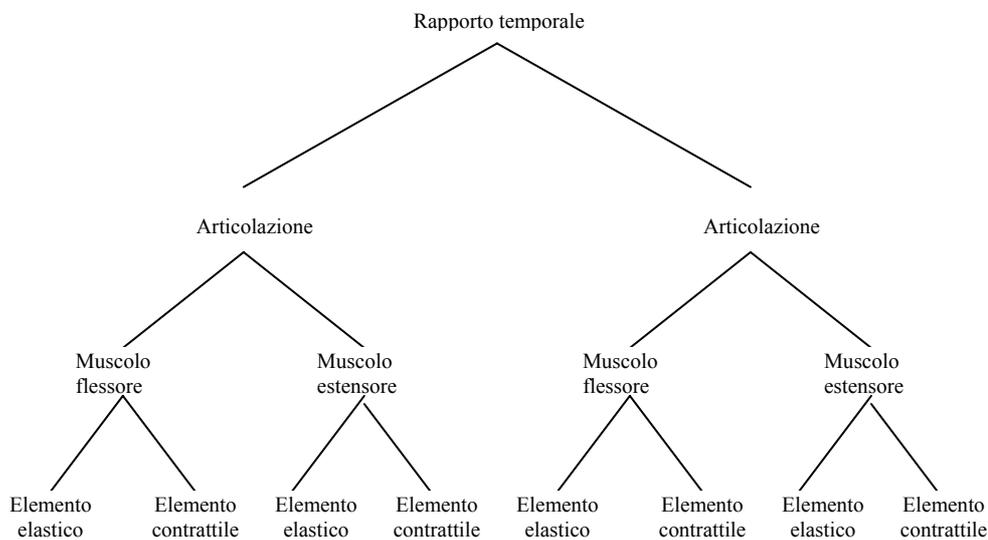


Figura 19. Rapporto temporale tra due interrelazioni spaziali concernenti due articolazioni

Quanto detto per le interrelazioni vale anche per le sequenze motorie. Anch'esse, infatti, possono variare per grado di complessità. Si ha una organizzazione gerarchica dei neuroni che si occupano di sequenze motorie. Specifici neuroni memorizzano in aree premotorie e parietali sequenze

motorie semplici, altri codificano sequenze motorie complesse, costituite da più sequenze motorie semplici.

2.7 I due livelli dell'organizzazione del movimento

Supponiamo di guardare in successione due oggetti: il movimento oculare dipende, non solo dalla posizione reciproca dei muscoli degli occhi (nonché di quelli che muovono il capo) ma anche dalla *relazione* spaziale che gli oggetti hanno l'uno rispetto all'altro e ambedue rispetto al nostro corpo (Figura 20).



Figura 20. Struttura correlativa spaziale relativa alla posizione degli occhi rispetto all'oggetto

Il circuito logico cognitivo, che si attiva nel passaggio percettivo visivo da un oggetto all'altro possiamo considerarlo, a tutti gli effetti, un circuito motorio. Esso, infatti, è funzionale ad un movimento oculare. Tale circuito è diverso da quello che organizza i rapporti temporali dei distretti corporei e che ci consente di spostare gli occhi ed il capo nel mondo esterno.

Possiamo affermare, quindi che il movimento avviene sulla base di due circuiti logici, il primo dei quali si occupa dei distretti corporei, il secondo dei quali, cognitivo, si occupa degli oggetti esterni e del variare nel tempo della loro posizione nello spazio.

2.8 Il variare degli oggetti nei sogni e nell'immaginazione

Stephen M. Kosslyn (1983) mostra in modo convincente che possiamo elaborare le immagini mentali proprio allo stesso modo in cui gli oggetti percepiti variano nel tempo. Un oggetto immaginato, analogamente a quanto succede con l'oggetto percepito, può essere ingrandito, rimpicciolito, avvicinato, allontanato, ruotato, spostato, ecc. Con l'immaginazione possiamo, per esempio, effettuare il confronto tra le due sfumature di verde; confronto, che abbiamo realizzato a

livello percettivo. Lo stesso fenomeno accade durante i sogni. Le vicende che sogniamo, anche se, a volte assurde ed inconsuete, sono del tutto simili a quanto sperimentiamo giornalmente nella veglia.

Queste due facoltà, immaginativa e del sogno, si possono spiegare solo se si suppone che la mente abbia la facoltà di modificare gli oggetti senza toccarli. Ma, se possiede questa facoltà, come avviene l'apprendimento? In che modo, in altre parole, impariamo a “far camminare” un uomo, “far correre” un leone, “modificare il manto” di un camaleonte, ecc.?

Si tratta ovviamente di processi circuitali, nei quali, cioè, interviene il circuito cognitivo logico. Supponiamo di stare fermi ed osservare un gatto che si muove davanti ai nostri occhi (la percezione ed il riconoscimento del “gatto” implica attività mentali di cui ci occuperemo in seguito. Ai fini della nostra esposizione, però, possiamo non considerare tali funzioni). Il movimento modifica il rapporto spaziale dell'animale rispetto agli oggetti esterni. Supponiamo che vi sia un albero presente sulla scena. Il rapporto spaziale tra albero e gatto varia in tempo reale ed è registrato istante per istante dalla struttura di interrelazione che fa capo alla corteccia parietale.

È ovvio supporre che questa *struttura interrelativa* dipenda dal movimento del gatto così come esso è percepito (l'albero non si sposta). In effetti, le cose non vanno esattamente in questo modo. A livello mentale, mentre il gatto si muove, la corteccia premotoria “organizza” la struttura logico-cognitiva legata al movimento del gatto, *anticipando* le sue mosse. *Organizza* questo movimento, utilizzando le variazioni dei rapporti spaziali depositati in memoria, che riguardano i movimenti dei gatti di cui il soggetto ha esperienza.

Le interrelazioni spaziali sono, quindi, inserite all'interno del circuito correlativo-cognitivo, all'interno del quale forniscono i “dati” e fungono da “verifica” di quanto è stato anticipato a livello premotorio che è l’“ipotesi”. In altri termini possiamo affermare che, qualche millisecondo prima che il gatto si muova, il circuito cognitivo che fa capo alla corteccia premotoria, con l'aiuto della memoria spaziale percettiva parietale, sposta il gatto anticipando le sue mosse.

La validità di questa operazione è verificata qualche millisecondo più tardi, quando le informazioni provenienti dai recettori sensoriali, ordinate nello spazio, giungeranno nella corteccia parietale. Esse saranno la verifica e il dato di partenza per una nuova ipotesi.

Il movimento oculare che ci consente di seguire i movimenti del gatto, è frutto di un duplice processo d'anticipazione di primo e secondo livello. Le aree premotorie spostano il gatto nello spazio e spostano gli occhi sulla base dei movimenti del gatto presupposti e sulla base della posizione che i muscoli avranno (anticipazione). Questo processo di ipotesi/verifica è un processo generale di funzionamento cerebrale e su questa base interagiscono le aree anteriori e quelle posteriori della corteccia.

Anche in ambiti modali il meccanismo è analogo. Supponiamo di osservare il colore di un animale che modifica il manto, per esempio un camaleonte. Se abbiamo già visto quest'animale cambiare colore e lo vediamo nuovamente, la mente anticipa i cambiamenti di colore, verificandoli successivamente. Si tratta di un processo di apprendimento cui partecipano tutte le aree corticali interne al circuito cognitivo, ognuna fornendo il suo contributo.

Questo procedere mentale può apparire paradossale, eppure non vi è differenza tra spostare il proprio corpo e spostare il gatto (senza toccarlo). Per spostare il nostro corpo, infatti, vi è un'organizzazione in output dei motoneuroni che determinano la contrazione ed il rilassamento dei vari muscoli. Per spostare il gatto vi è un'analogia organizzazione in output dei recettori sensoriali. E quest'organizzazione in output esiste anche per modificare il colore di un camaleonte, per modificare la forma di un oggetto in movimento di rotazione, per modificare le espressioni facciali dal triste al sorridente, ecc.

L'organizzazione del sistema nervoso è tale che flussi ordinati di informazione decorrono dalla periferia al centro e dal centro alla periferia. Consideriamo a tal proposito il "talamo". Esso è costituito da una serie di nuclei subcorticali, che ritrasmettono le informazioni sensoriali, propriocettive, ecc. provenienti dalla periferia verso le aree della corteccia. Questi nuclei di ritrasmissione sono organizzati in modo tale che per ogni fibra che invia le informazioni verso la corteccia, esiste una fibra che dalla corteccia invia informazioni verso il nucleo (Kelly, 1991).

Fatto analogo si presenta nelle aree sensoriali primarie. Queste aree sono strutturate in "colonne", ciascuna delle quali è ripartita in sei strati. Le informazioni sensoriali provenienti dai recettori sensoriali si dispongono all'interno di questi strati e s'interconnettono. Alcune proiettano ad aree visive superiori, altre (quelle del VI strato) proiettano di nuovo al corpo genicolato laterale (un nucleo del talamo) (Mason and Kandel, 1991).

L'anticipazione del movimento del gatto è funzione mnestica nella quale la mente "recupera" ciò che ha appreso. La funzione di *recupero* dal "magazzino della memoria" è interna alla struttura logica del circuito cognitivo. È ciò che noi chiamiamo "anticipazione". In altre parole, il circuito cognitivo oltre ad essere un circuito logico, è anche un "circuito mnestico". L'apprendimento procede di pari passo con l'anticipazione e quindi con il recupero mnestico.

Durante la rappresentazione mentale si attivano circuiti diversi rispetto a quelli che si attivano durante la percezione. I due tipi di circuiti, sono, però, simili. Il processo di anticipazione è, infatti, uguale in ambedue i circuiti. Ciò che cambia è il reperimento delle informazioni sensoriali che nella percezione avviene con processi in "input" nella rappresentazione mentale avviene con processi in "output".

2.9 Modularità dei circuiti motori

I circuiti correlativi motori ed i circuiti correlativi logici sono innumerevoli. Se fosse un unico sistema ad occuparsi di tutti questi processi, non potrebbe svolgere la sua funzione. Per far fronte a questa complessità il cervello utilizza “moduli”. Ciascun modulo si occupa di una specifica funzione che si traduce in interrelazioni spaziali e temporali, nonché in circuiti motori e cognitivi. Per esempio, le informazioni visive spaziali proiettano in più aree della corteccia parietale. Ciascuna di queste aree modulari partecipa a specifiche funzioni mentali.

Consideriamo, a titolo d'esempio, la funzione, apparentemente semplice, di afferrare un oggetto posto davanti ai nostri occhi e vicino al nostro corpo, tanto da poter essere afferrato (collocato all'interno dello *spazio peripersonale*). Questa funzione è ripartita in due sottofunzioni: una di conformazione della mano allo spazio (visivo) dell'oggetto da afferrare; l'altra di movimento dell'arto verso l'oggetto. Alla prima funzione partecipano due moduli, uno parietale (area intraparietale anteriore, detta AIP), l'altro premotorio (area F5). Nella F5 i movimenti sono frazionati in moduli più semplici che codificano movimenti di *prensione con precisione*, movimenti di *prensione con tutte le dita*, movimenti di *prensione col palmo*. In tale area una percentuale dei neuroni motori rispondono anche a stimoli visivi. Analoga ripartizione tra neuroni motori e neuroni visuo-motori si ha in un'area collegata alla F5, cioè nell'area intraparietale anteriore. In quest'ultima sono presenti neuroni a prevalenza visiva, assenti nella F5. I due moduli F5 e AIP, fanno parte del circuito cognitivo che è preposto al movimento delle articolazioni della mano atto a conformarla all'oggetto da afferrare (Rizzolatti e Gentilucci, 1988).

Non sempre prendiamo un oggetto immobile, spesso le circostanze ci obbligano ad afferrare un oggetto che si muove, perché è spinto dal vento o perché è in caduta. In questa circostanza, il movimento modifica la forma dell'oggetto da afferrare che può variare nel tempo istante per istante. Per afferrarlo, necessita un processo di “doppia anticipazione” visiva dell'oggetto esterno e somatosensitiva della conformazione della mano. Il modulo F5-AIP si occupa dell'anticipazione relativa alla conformazione della mano. L'anticipazione visiva è realizzata da un altro modulo, che probabilmente fa capo ai campi oculari frontali.

3. Sistema dorsale e sistema ventrale

3.1 La selezione attenzionale

La selezione attenzionale è un processo cognitivo di circuiti attenzionali, caratterizzato dal fatto che le informazioni provenienti dai recettori sensoriali sono circoscritte spazialmente e temporalmente. Per mostrare la funzione cognitiva della selezione nell'atto della percezione, torniamo ad occuparci brevemente del sistema sensoriale visivo.

Relativamente alla corteccia visiva primaria, c'è da rilevare il fatto che, anche se, nel processo d'elaborazione delle immagini retiniche, colore, forma e movimento scorrono lungo vie parallele, nell'area visiva primaria (V1) le informazioni sulla forma, movimento, grandezza e colore si fondono. Forma e movimento s'inseriscono all'interno delle stesse colonne disponendosi in strati diversi. Il colore è codificato in strutture (dette blob) che sono disposte accanto alle colonne della V1 (Mason e Kandel, 1994).

Avendo le colonne un'organizzazione retinotopica e quindi spaziale, i circuiti preposti alla funzione selettiva possono selezionare una porzione di spazio cui corrisponde una specifica figura modale. Non è quindi necessario, ai fini della selezione attenzionale selezionare direttamente un colore oppure una forma o "il duro". Basta selezionare la porzione di spazio cui il colore, la forma, ecc., corrispondono, per realizzare indirettamente la selezione di queste componenti modali.

Nel lobulo parietale inferiore proiettano gli spazi che, in seguito alla selezione attenzionale, diventano spazi virtuali degli "oggetti" che percepiamo nella vita quotidiana. Lo spazio virtuale di un oggetto è determinato dall'organizzazione somatotopica e visuotopica dei sistemi sensoriali e corrisponde allo spazio occupato dall'oggetto, che è percepito dopo la selezione attenzionale.

Analogamente all'oggetto, che ha uno sfondo, anche lo spazio virtuale ha un suo sfondo virtuale che corrisponde al contesto spaziale in cui l'oggetto è inserito. Fatto analogo avviene con il "tempo virtuale". A proposito del tempo, la "durata" di un'azione percepita dipende dal sistema attenzionale che mantiene l'attenzione sulla scena per un certo arco di tempo (cfr. Marchetti, 2007). Per tutto questo tempo i neuroni sensoriali trasmettono le informazioni raccolte dal "mondo esterno" e la durata di queste informazioni è registrata come processo d'input, ossia di tipo sensoriale.

La prima funzione mentale è quella di circoscrivere l'oggetto della percezione nello spazio e nel tempo. Solo con questa primaria funzione, l'ordine spazio/temporale delle aree primarie da indeterminato che è, diventa un ordine di oggetti, che sono tali perché circoscritti nello spazio e nel tempo. Chiamiamo "figura" un "ente mentale" delle aree primarie che è stato circoscritto nello spazio e nel tempo. Le figure, quindi, hanno una "durata" temporale ed uno "spazio virtuale".

I processi attenzionali sono realizzati da due sistemi: il sistema dorsale, relativo agli spazi ed al tempo, e il sistema ventrale relativo al "che cosa". Partiamo dal sistema dorsale. Per realizzare la circoscrizione spazio/temporale degli "oggetti esterni" il soggetto deve spostare il "fuoco attenzionale" dalla scena all'oggetto, oppure dall'oggetto ad un particolare dello stesso. Spostamento del fuoco attenzionale e circoscrizione spaziale e temporale dell'oggetto, quindi camminano di pari passo. Lo spostamento avviene con l'anticipazione logica; l'intero circuito agisce quindi su basi correlative logiche. Chiariamo attraverso una serie di esempi il funzionamento

del circuito attenzionale correlativo, utilizzando come termine di paragone il sistema dorsale visivo, che è il più studiato e il più conosciuto.

Supponiamo di entrare in una stanza e di osservare la stanza nel suo insieme e, subito dopo, un gatto che al nostro arrivo si allontana. La percezione della stanza nel suo insieme mi fa percepire gli oggetti con il loro sfondo. Chiamiamo questa percezione “scena” e partiamo da essa. La scena è il “dato di fatto” sulla base del quale il “sistema dorsale” ipotizza la grandezza e la posizione del gatto, che era stato intravisto, rispetto alla scena. Sulla base di quest’ipotesi, il sistema dorsale organizza il movimento oculare. Dopo che esso è eseguito avviene la verifica parietale della giustezza dello stesso. Nel movimento oculare è compreso il movimento che circoscrive il fuoco attenzionale sul gatto che è selezionato. La selezione attenzionale riguarda l’interrelazione figura/sfondo. Ciò che è selezionato infatti è la figura con lo sfondo. Senza un’interrelazione spaziale, infatti, non sarebbe possibile alcuna percezione. La figura è staccata dagli oggetti presenti sulla scena, ma una porzione di sfondo che la delimita rimane presente ed accompagna in modo meno appariscente la figura che si staglia su di esso.

3.2 L’interrelazione figura/sfondo

Supponiamo di selezionare il peso di un oggetto. Nell’interrelazione figura/sfondo la caratteristica specifica della figura è il “pesante/leggero”. Ciò che selezioniamo è, infatti, qualcosa che appartiene a questa caratteristica. È facile supporre che anche lo sfondo appartenga alla caratteristica del “pesante/leggero”. Infatti, l’elaborazione delle informazioni dei recettori sensoriali è tale da favorire i contrasti nell’ambito della stessa caratteristica.

Estendendo questa considerazione a tutte le caratteristiche dello stimolo elaborate da tutti i sistemi sensoriali, le innumerevoli interrelazioni figura/sfondo riguardano contrasti tra la stessa tipologia di stimoli. La forma selezionata si stacca da uno sfondo che è in contrasto con quanto percepito. Analogamente la selezione del “giallo”, stacca tale colore da uno sfondo di un colore diverso. La caratteristica “trasparente” si stacca da uno sfondo “opaco”, ecc. La stretta interrelazione tra figura e sfondo è evidente se si considerano i colori. Edwin Land (inventore della macchina fotografica Polaroid) ha dimostrato che oggetti che riflettono luce di identica lunghezza d’onda possono sembrare di colore completamente diverso se proiettati su sfondi diversi. Inoltre è risaputo che un oggetto grigio, visto su sfondo verde, assume ai nostri occhi una sfumatura di rosso (Gouras, 1994).

Anche per quanto riguarda le forme, alcuni esperimenti di psicologia mostrano che figura e sfondo interagiscono nella percezione. Lo psicologo danese Edgar Rubin ha creato una famosa immagine, raffigurante un vaso o due profili, nella quale figura e sfondo si alternano nella percezione (Figura 21).

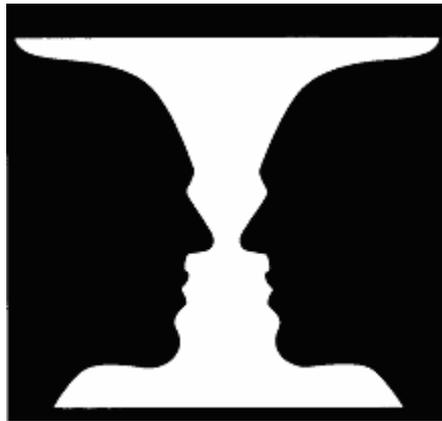


Figura 21. Alternanza di figura e sfondo

Da quanto detto si evince che nella “selezione attentiva” interagiscono due componenti percettive: la figura e lo sfondo. Tali componenti hanno una precisa relazione spaziale che può variare nel tempo. Se gonfiamo un palloncino si modifica anche la relazione spaziale tra figura e sfondo. Ritornando all’esempio precedente: quando l’attenzione si sposta dalla scena al gatto, tanto la scena, quanto il gatto sono costituiti da un’interrelazione spaziale figura/sfondo (Figura 22).

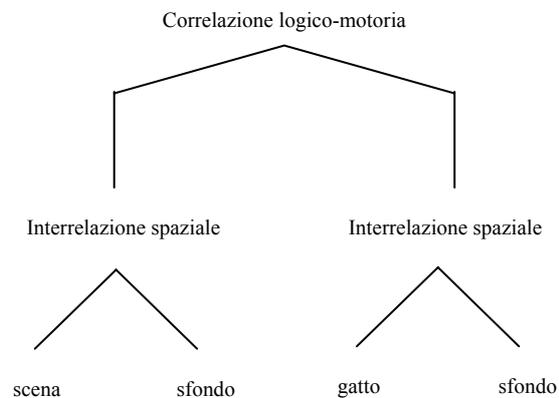


Figura 22. Struttura interrelativa figura/sfondo e passaggio dalla scena al gatto

Il circuito logico della Figura 22 memorizza nella corteccia parietale il rapporto temporale tra le due interrelazioni spaziali (Figura 23).

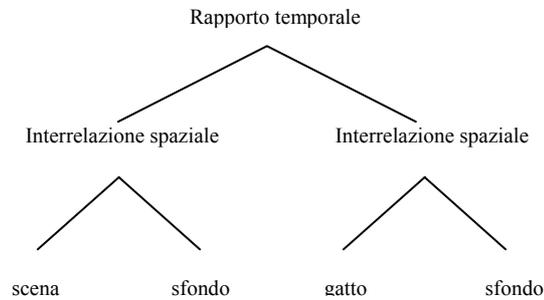


Figura 23. Rapporto temporale tra la scena ed il gatto

Quando osserviamo il gatto che si muove, popolazioni di neuroni registrano le interrelazioni figura/sfondo che si modificano istante per istante. Se per un attimo stacciamo l'attenzione dal gatto e poi ritorniamo su di esso, con il movimento oculare costruiamo una correlazione logico-motoria che anticipa la trasformazione figura/sfondo che il gatto avrà dopo la seconda percezione. È proprio in questo modo che la mente impara a muovere il gatto (Figura 24).

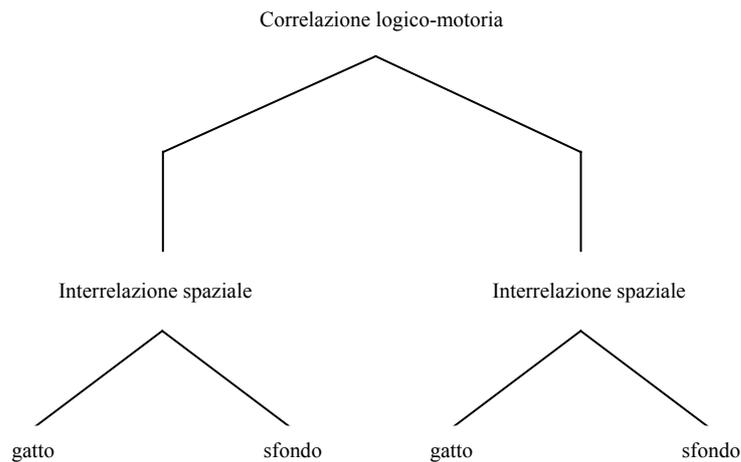


Figura 24. Struttura correlativa figura/sfondo e correlazione logico-motoria relativa al gatto che si sposta

3.3 Interrelazione fra due “figure”

Supponiamo che, dopo aver guardato il gatto, spostiamo l’attenzione su un tavolo vicino. Questo passaggio è eseguito dal circuito logico–correlativo. Nella corteccia parietale, esternamente al lobulo parietale inferiore si genera un’associazione spaziale concernente il gatto ed il tavolo. I due elementi, infatti, sono percepiti in successione. Possiamo, però, selezionare, con un’unica fissazione, gatto e tavolo. Tra i due “elementi”, in questa circostanza, si ha un’interrelazione spaziale. Essi variano congiuntamente e il muoversi dell’uno e/o dell’altro implica una variazione dell’interrelazione. Se li percepiamo congiuntamente in due momenti diversi, il passaggio da una prima percezione congiunta ad una seconda percezione congiunta è una correlazione logico-motoria nella quale avviene il processo di anticipazione. In questo modo impariamo a muovere nello spazio il gatto interrelato col tavolo (Figura 25).

Il sistema ventrale riguarda corteccia prefrontale e corteccia temporale e si caratterizza perché concerne i dettagli fini degli oggetti. La corteccia prefrontale, collegata anche con la corteccia temporale, partecipa al sistema attenzionale, anch’essa con un processo di anticipazione, che non riguarda gli spazi ma il “che cosa”. Dopo la percezione del gatto e lo stacco attenzionale, prima della nuova percezione del felino, la corteccia prefrontale con la corteccia temporale anticipano la percezione del gatto, che è verificata successivamente dalla corteccia temporale.

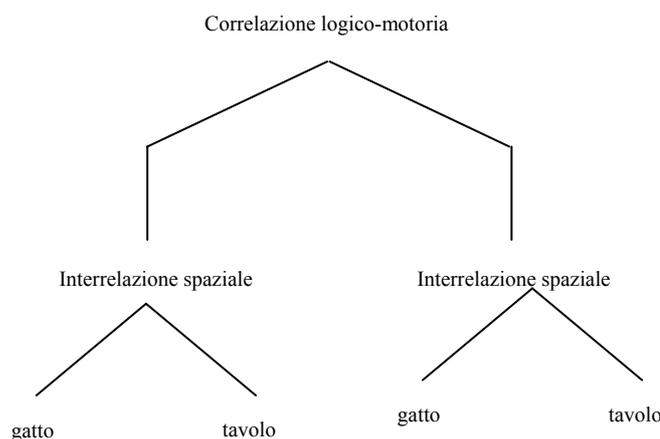


Figura 25. Correlazione logico-motoria relativa al gatto che si muove rispetto al tavolo

3.4 Memoria percettiva del sistema dorsale e del sistema ventrale

La funzione più importante del sistema ventrale è quella di consentirci il riconoscimento. Per capire come è realizzata questa funzione facciamo un semplice esempio. Supponiamo di selezionare con l'attenzione un tavolo tramite il sistema dorsale. Il sistema ventrale memorizza la "percezione dettagliata" nella corteccia temporale. Spostando l'attenzione dal tavolo al colore "marrone", il sistema ventrale memorizzerà anche questa "percezione dettagliata" nella corteccia temporale. Inoltre, le due "figure" saranno poste in relazione (relate).

Il processo di porre la relazione è circuitale, il risultato di questo processo è la relazione. Tale relazione concerne figure dai dettagli fini. Supponiamo che in un terzo momento selezioniamo con una singola fissazione tavolo e colore insieme. Nella corteccia temporale si realizza l'interrelazione tra tavolo e colore. Nelle Figure 26a e 26b sono illustrate la relazione e l'interrelazione.

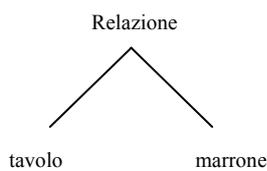


Figura 26a. Relazione tavolo-colore

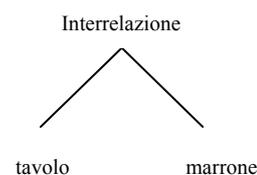


Figura 26b. Interrelazione tavolo-colore

L'interrelazione del sistema ventrale ci consente, alla percezione con singola fissazione di tavolo + colore, di vederli e riconoscerli entrambi quasi come se fossero un tutt'uno, anche se sono separati. Inoltre, grazie alla relazione, la semplice percezione del colore o del tavolo attiva l'elemento relato.

Nella Figura 27 sono illustrate le funzioni del sistema dorsale e del sistema ventrale nella percezione del tavolo e del marrone e nella loro relazione e interrelazione ventrale.

Da quanto detto, si evince che nelle due aree associative parietale e temporale sono presenti associazioni interrelazioni e relazioni. Nella corteccia parietale tali strutture riguardano gli spazi ed i tempi; nella corteccia temporale concernono il "che cosa". Nel lobulo parietale inferiore sono memorizzati gli spazi virtuali, nelle aree primarie sono memorizzate le figure.

C'è da sottolineare il fatto che le associazioni, le relazioni e le interrelazioni del sistema ventrale riguardano figure spazialmente e temporalmente decontestualizzate. L'atto di selezione attenzionale, infatti, separa la figura dal contesto spaziale e temporale parietale. Ne consegue che col sistema ventrale non possiamo individuare la grandezza e la posizione di un oggetto i cui

parametri dipendono da interrelazioni, relazioni e associazioni spaziali del sistema dorsale. Inoltre abbiamo spiegato in che modo il sistema dorsale sposta l'oggetto o ne determina variazioni modali, come la modifica del colore. Il sistema ventrale, quindi, da solo non può realizzare tali funzioni, ma vi partecipa occupandosi dei significati.

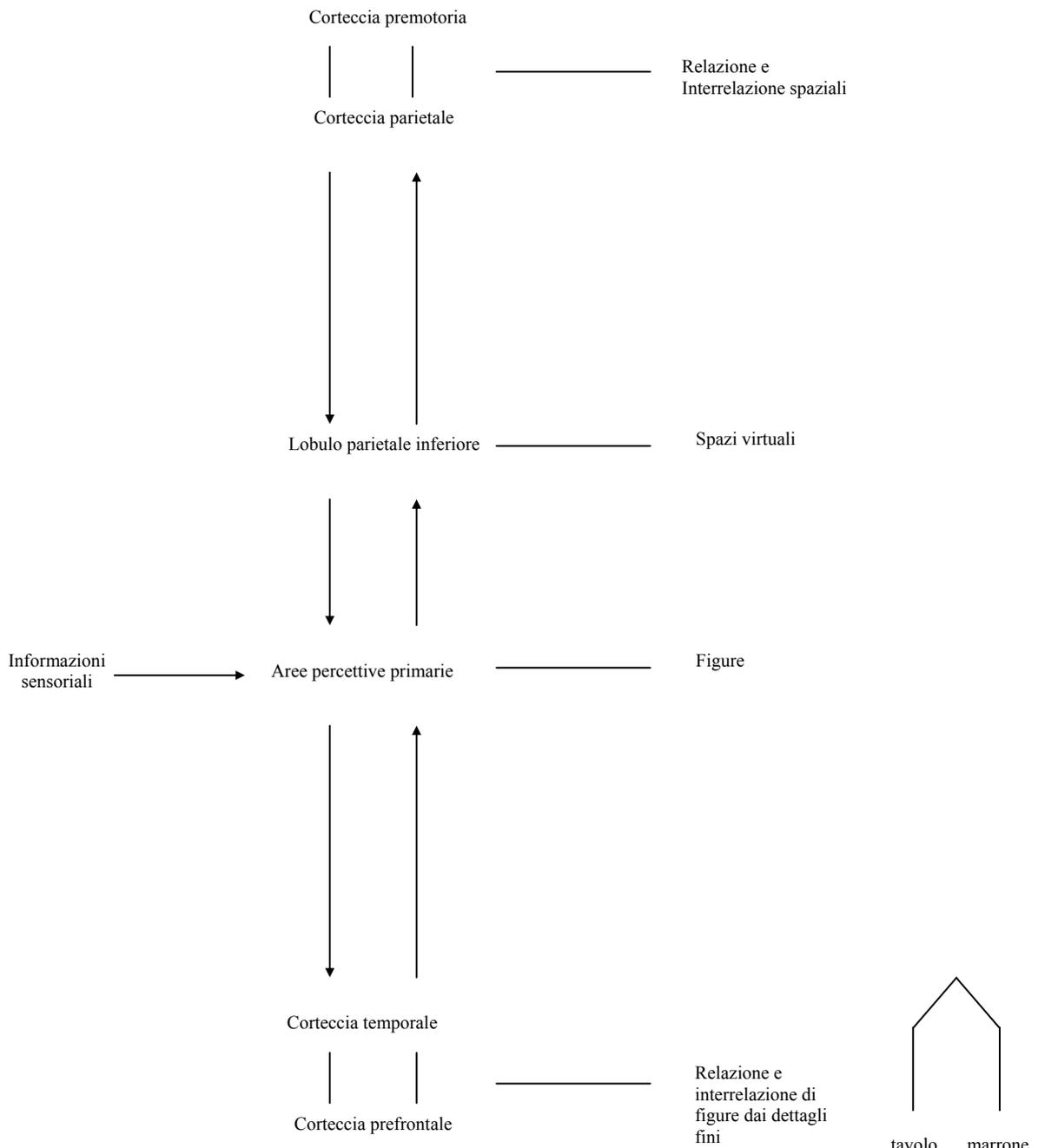


Figura 27 schema dei sistemi dorsale e ventrale.

3.5 Figure, categorie, concetti

Abbiamo già affermato che, in ambito visivo, la figura selezionata può essere: una scena, un oggetto, un movimento, un colore, una luminosità, ecc. Ad ognuna di tali selezioni corrisponde una specifica area della corteccia visiva primaria dove sono memorizzate le “figure”. Tali aree sono organizzate sulla base dei contenuti selezionati. Per esempio una scena contiene oggetti, movimenti, colori, luminosità, ecc. Le aree relative al colore e al movimento sono indipendenti, mentre l’area relativa all’oggetto comprende movimento colore e luminosità. Ciò si traduce in una precisa configurazione anatomica di queste aree. La V1 che memorizza la scena è l’area su cui convergono tutte le informazioni dei recettori retinici. L’area V2 che memorizza gli oggetti è area di proiezione della V1. L’area MT preposta alla memoria dei movimenti, nonché l’area V4 preposta alla memoria dei colori sono aree di proiezione della V2 (Figura 28).

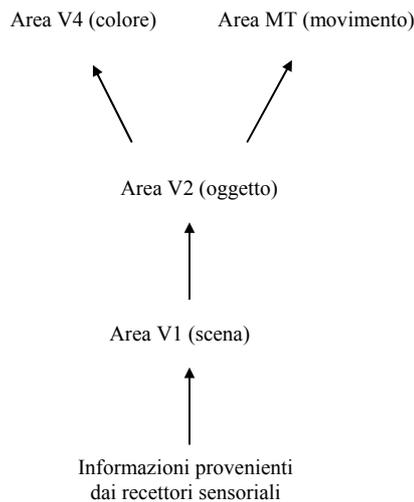


Figura 28. Organizzazione della corteccia visiva primaria

Vediamo di chiarire cosa è una “figura”. Supponiamo di fare dei passi sulla spiaggia e di osservare poi le impronte che vi sono rimaste impresse. Esse hanno una precisa conformazione e dei rapporti spaziali ben definiti. Prima, però, che noi iniziassimo il nostro cammino quante possibilità vi erano di produrre proprio quelle impronte con quella forma e quelle relazioni spaziali? Penso che tale possibilità si possa ricondurre ad una su svariati miliardi. Anche se, a priori, che esca quella precisa combinazione di passi è al limite dell’impossibile, pur tuttavia qualche combinazione deve uscire. Eseguendo i passi e lasciando le impronte passiamo dal potenzialmente illimitato al “dato di fatto”. Lo stesso si può dire del rapporto tra le potenzialità delle immagini che possono essere

costruite dai recettori sensoriali e dalle aree primarie con quella specifica immagine che noi percepiamo. La figura è il “dato di fatto” rispetto alle quasi infinite possibilità potenziali. La mente, selezionando i vari oggetti, si sposta ed agisce attraverso il sistema dorsale ed il sistema ventrale che codificano i rapporti intercorrenti tra le figure inserite nel contesto dello spazio e del tempo.

Quest'esempio ci offre lo spunto per differenziare il *movimento eseguito* dal *movimento organizzato*, e la *figura* dal *concetto*. Il *movimento organizzato* potremmo anche definirlo “categoria motoria”. Consideriamo un movimento piuttosto frequente come la firma su un documento. Siamo in grado di apporre la firma ad un documento perché popolazioni di neuroni dell'area premotoria e dell'area parietale, preposti alla funzione di “scrittura”, organizzano la *struttura correlativa* logico-motoria adatta a questo scopo. Tale organizzazione è la “categoria motoria”. Essa si traduce in quella serie specifica di movimenti che determinano la nostra firma. Se, però, osserviamo attentamente alcune nostre firme apposte in documenti diversi, notiamo che esse, anche se per piccolissimi dettagli, sono diverse. Questo succede perché *l'organizzazione del movimento* non può essere tale da consentirci di realizzare più volte lo stesso movimento in modo perfettamente identico. La “categoria motoria” è un “a priori” che può realizzare un'innumerabile serie di variabili. Tra le tante possibilità potenziali qualcuna deve pur estrinsecarsi nell'atto motorio, allo stesso modo in cui tra le innumerevoli serie d'impronte potenziali su un pavimento una serie deve pur realizzarsi.

Quanto detto tra *categoria motoria* e *movimento eseguito* vale pure tra *concetto* e *figura*. La figura è il “bianco”, il “duro”, il “caldo”, la “sedia” che noi percepiamo e ci rappresentiamo mentalmente inseriti in un contesto spazio/temporale. Il concetto di “bianco”, “duro”, “caldo”, “sedia” è una potenzialità “a priori”. Si tratta della facoltà mentale di percepire e/o rappresentarsi mentalmente una determinata figura. A priori la “figura” non può essere specifica perché non è stata ancora realizzata. Si tratta, appunto, di un *concetto*.

Il sistema dorsale ed il sistema ventrale possiamo, quindi, considerarli come sistemi che, a priori, hanno la potenzialità di costruire movimenti, immagini, colori, ecc. Tali costrutti, prima della loro realizzazione sono categorie e concetti; dopo che sono state realizzate sono movimenti e figure specifiche. Si pensi alla circostanza in cui una coppia fertile concepisce un figlio. Prima che il bambino nasca possiamo affermare che tale coppia è in grado di fare figli (concetto). Dopo che il bambino è nato, si può affermare che sono stati in grado di generare proprio quel figlio (figura).

Quando contrapponiamo il mondo fisico al mondo concettuale consideriamo i costrutti mentali (siano essi figure o concetti) come elementi esterni, indipendenti dalla nostra attività mentale.

3.6 Il circuito cognitivo logico esplicito

Il circuito cognitivo di base “*dato questo → allora ... ipotesi → verifica*” (percezione/riconoscimento → anticipazione (recupero) → movimento → percezione/riconoscimento) richiede un “passaggio”. Tale passaggio può essere un movimento o uno spostamento dell’attenzione da uno spazio all’altro. Il circuito inizia con la percezione/riconoscimento e si conclude con la percezione/riconoscimento. Come già detto, il circuito, è strutturato su basi logiche in quanto la verifica riguarda un’ipotesi formulata sulla base di un dato di fatto.

Le componenti interne al circuito: “ipotesi ... movimento ... verifica (percezione-riconoscimento)” non sono pienamente coscienti. La coscienza di una “percezione” si ha se l’oggetto percepito è, “in qualche modo”, ipotizzato e riconosciuto. Quando spostiamo gli occhi a caso e vediamo un oggetto che non pensavamo di trovare in quel luogo, ci sorprendiamo, e guardiamo una seconda volta per essere certi di aver visto bene. Noi non ci rendiamo conto, durante la lettura, del processo di *anticipazione* che è stato dimostrato sperimentalmente (Rugg, 1995). Inoltre non siamo coscienti del processo di ipotesi/verifica che permette alla mente di imparare. Se siamo in una stanza al buio, premiamo un interruttore *anticipando* l’accensione della luce. Il processo di anticipazione è inconscio. Al contrario il “dato che” è conscio. Quest’ultimo, infatti, è il punto di partenza di una nuova attivazione circuitale ma anche l’atto conclusivo (verifica) del circuito precedente e come tale è conscio. In altre parole, la percezione/riconoscimento, che segue l’ipotesi e il movimento, è conscia poiché è supportata da tutti gli elementi circuitali. L’ipotesi ed il movimento sono inconsci in quanto da soli non completano il circuito cognitivo. Manca, infatti, l’atto conclusivo, ossia la percezione/riconoscimento che chiude il circuito.

La percezione/riconoscimento, che rende conscio il risultato del processo circuitale è funzione del sistema ventrale. Per quanto riguarda il sistema dorsale, invece, è plausibile che tutto il circuito logico-cognitivo sia inconscio.

Per rendere cosciente l’*anticipazione* è necessario che essa sia *rappresentata mentalmente*. In tal modo l’ipotesi è resa esplicita dal circuito rappresentativo. Quest’ipotesi rappresentata può essere verificata dopo un movimento. Per realizzare la verifica di un’ipotesi rappresentata attiviamo due circuiti il primo dei quali rappresenta mentalmente l’ipotesi, il secondo dei quali effettua il movimento cui segue la verifica. Nella figura si mostra l’attività dei due circuiti nel caso in cui ipotizziamo *consciamente* l’accensione della luce prima di premere l’interruttore (Figura 29).

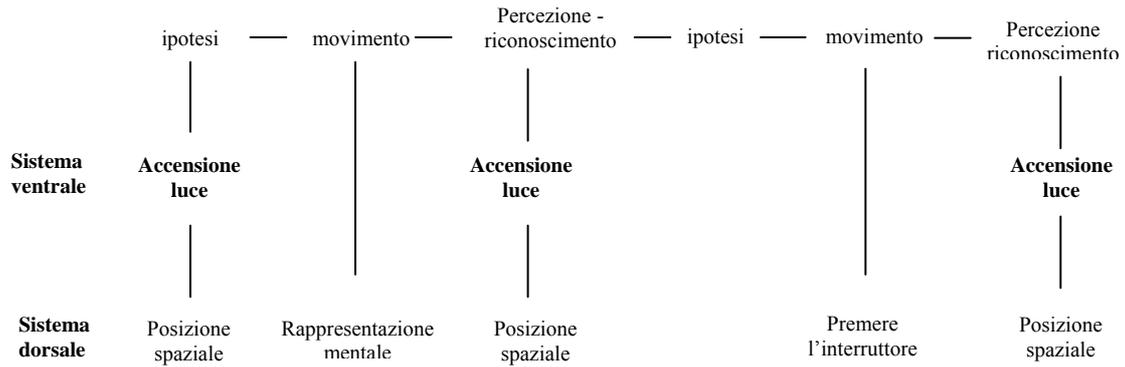


Figura 29. Verifica di un'ipotesi rappresentata

Inseriamo adesso in questo circuito il “dato che”, ossia la situazione di partenza. Abbiamo il circuito logico esplicito di primo livello (Figura 30).

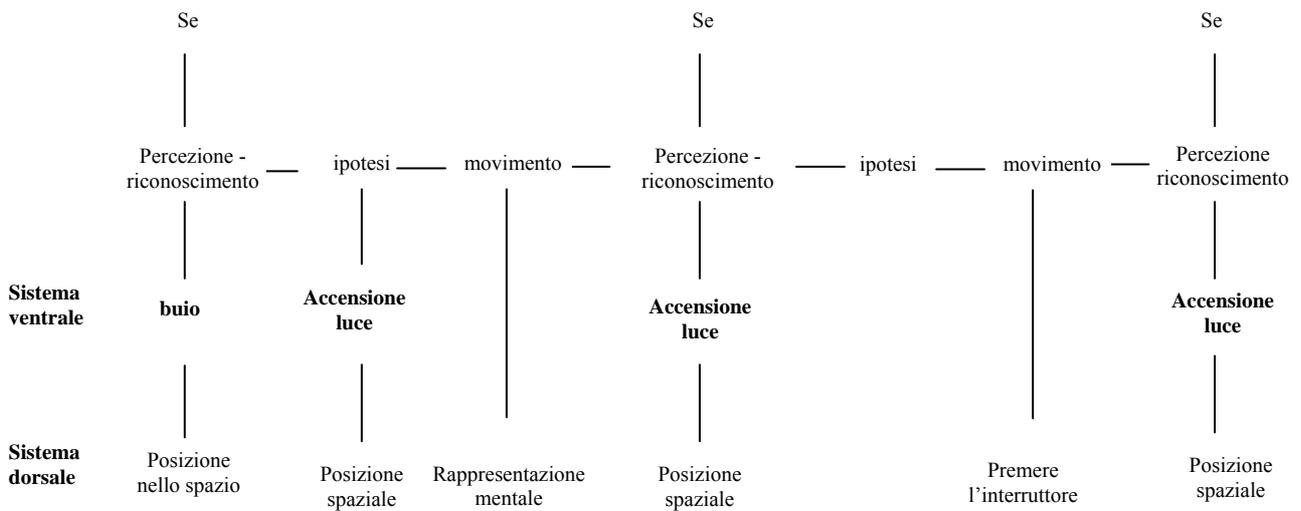


Figura 30. Circuito logico esplicito

Il circuito logico esplicito di primo livello è costituito da tre elementi consci ossia il dato di partenza, l'ipotesi rappresentata e l'ipotesi verificata. Questo circuito è certamente comune ai mammiferi. Essi sono in grado, sulla base di una situazione data, di anticipare consciamente qualcosa che accadrà dopo un determinato movimento. Hanno quindi coscienza di qualcosa che non si è ancora verificata ma che è solo immaginata. Il topo, che mostra sorpresa quando, raggiunta la piattaforma, non trova il cibo, quasi certamente anticipa la percezione del cibo rappresentandolo

mentalmente. I limiti di questo circuito nascono dal fatto che il dato di partenza (il “se” iniziale) è percettivo. L’animale deve trovarsi in una determinata situazione “reale”, prima di rappresentarsi mentalmente l’ipotesi da verificare.

Un circuito più complesso è *il circuito cognitivo logico di secondo livello*. Esso è analogo al circuito di primo livello con la sola eccezione del “dato che” iniziale, il quale, invece di essere percepito, è rappresentato. Questo circuito consente di formulare ipotesi su dati di fatto non presenti in quel momento sulla scena vissuta. Con esso ci si sposta da un piano reale ad un piano teorico. Ritengo che le scimmie antropomorfe siano in grado di utilizzare circuiti di secondo livello, rappresentando mentalmente il “dato che” e l’ipotesi. Siano, cioè, capaci di semplici pensieri astratti.

Il “dato che” rappresentato mentalmente e l’“ipotesi”, anch’essa rappresentata mentalmente, possono essere atti motori. Il circuito cognitivo logico di secondo livello nel caso in cui il “dato che” è un atto motorio rappresentato e l’ipotesi è un evento anch’esso rappresentato, effettua un legame logico tra un’azione ed il fatto che ad essa consegue. Per esempio posso rappresentarmi il gesto di premere l’interruttore come elemento di partenza e l’accensione della luce come evento ipotizzato e verificato.

Ogni processo conscio è un processo circuitale all’interno del quale gli elementi sono inconsci. La coscienza di “premere l’interruttore” si origina da una rappresentazione mentale nella quale il sistema dorsale sposta inconsciamente l’attenzione sulla rappresentazione mentale; anche l’anticipazione è inconscia. Non ci rendiamo nemmeno conto del passaggio da una rappresentazione mentale (il gesto) all’altra (l’accensione della luce). Il tempo che passano le scimmie antropomorfe ad osservare ed esplorare oggetti ed ambienti, m’induce a credere che tali animali siano in grado di utilizzare circuiti nei quali anche i propri gesti, rappresentati mentalmente, possano essere usati quali dati di partenza o ipotesi da verificare.

3.7 Passaggio dal conscio all’inconscio

L’apprendimento di una sequenza di azioni avviene attraverso un processo che, utilizzando processi consci, li automatizza rendendoli inconsci. Si passa, in altre parole, da una sequenza di gesti realizzati consciamente alla stessa sequenza di gesti realizzati automaticamente. Supponiamo che stiamo imparando a guidare e di trovarci alla guida di un’automobile. Ci accorgiamo che la macchina sta rallentando e decidiamo di cambiare la marcia, di passare, cioè, dalla terza alla seconda. Il cambio di marcia comporta una sequenza di tre movimenti: abbassare la frizione, spostare la leva del cambio, alzare la frizione. “Accorgersi che la macchina rallenta” significa essere pienamente consapevoli (consci) di un evento, cioè percepirlo e riconoscerlo. “Cambiare marcia” è

un'azione, anch'essa pienamente consapevole, diversa dalla semplice contrazione di un muscolo. È pur vero che anche della contrazione di un muscolo possiamo acquistare consapevolezza, ma il più delle volte ciò non accade.

La consapevolezza nasce dalla percezione con uno dei cinque sensi o anche del cosiddetto "senso interno" che ci fa percepire la fame, la sete, ecc. Ritorniamo all'esempio precedente, cioè al cambio di marcia dalla terza alla seconda, soffermandoci sull'attività del circuito cognitivo motorio quando si effettua l'abbassamento della frizione. In un primo momento, la piena consapevolezza riguarda la "frizione alta", il "movimento di abbassamento", la "frizione bassa". Tutti e tre elementi sono ipotizzati, percepiti e riconosciuti (Figura 31).

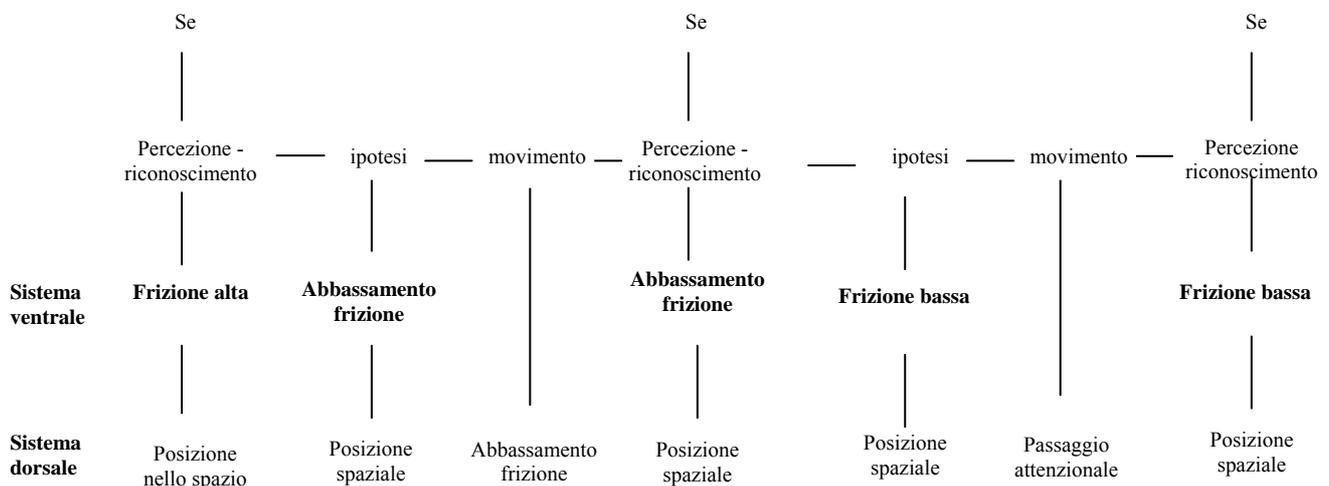


Figura 31. Elementi consci durante l'abbassamento della frizione

In seguito, il movimento di abbassamento della frizione non è percepito e riconosciuto, ma avviene automaticamente; la funzione conscia riguarda esclusivamente la posizione della frizione prima e dopo il movimento (Figura 32).

Con l'esercizio, questo circuito si automatizza, la coscienza si ha solo della posizione della leva, che è spostata automaticamente concomitantemente all'abbassamento della frizione (Figura 33).

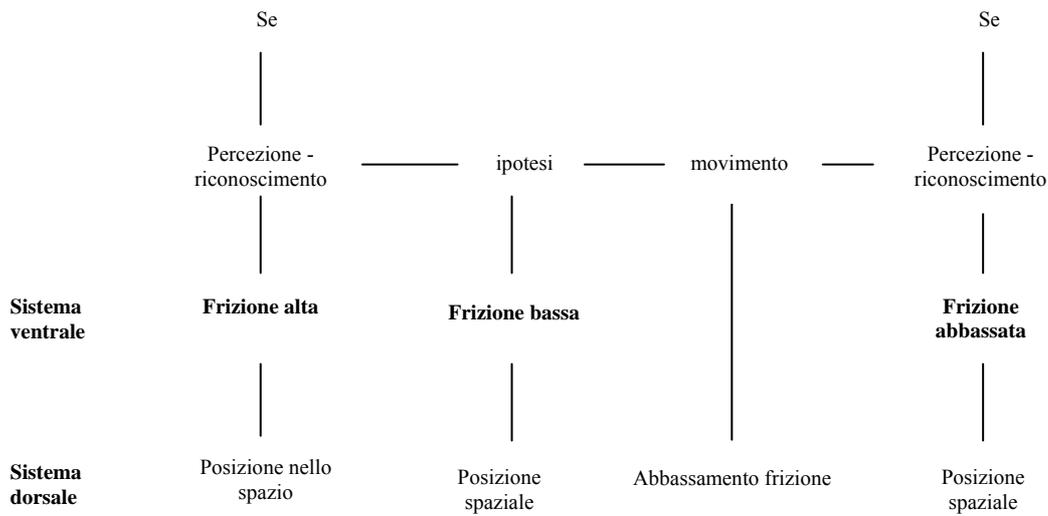


Figura 32. Automatizzazione del movimento relativo all'abbassamento frizione

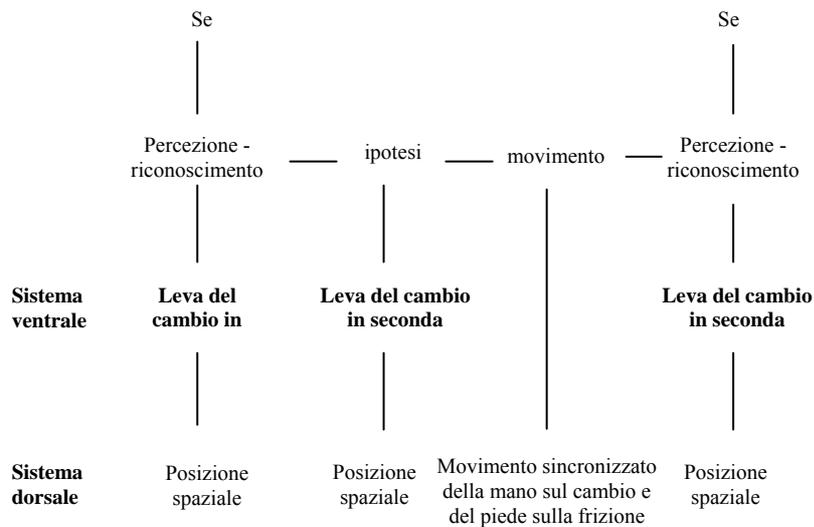


Figura 33. Automatizzazione dei movimenti di abbassamento, frizione e spostamento della leva del cambio

Quando ancora stiamo imparando, le percezioni coscienti durante il cambio di marcia - escludendo quelle relative al movimento - sono: posizione frizione alta, posizione frizione bassa; posizione leva del cambio in terza, posizione leva del cambio in seconda; posizione frizione bassa, posizione frizione alta. Possiamo raffigurarle nella loro struttura correlativa (Figura 34).

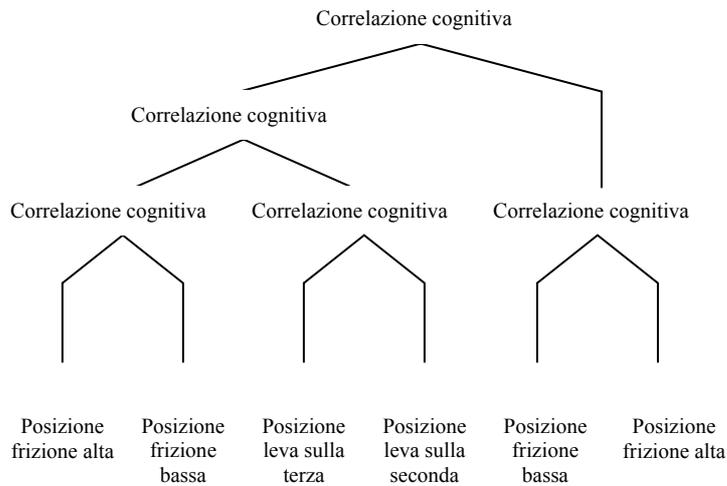


Figura 34. Struttura correlativa relativa al cambio di marcia

Questo complesso schema circuitale deriva dal fatto che la sequenza motoria non è stata memorizzata e ad ogni passaggio si attiva il circuito cognitivo logico che effettua la nuova ipotesi, dopo aver constatato la realizzazione di quella precedente.

Quando è avvenuta la memorizzazione, nella corteccia parietale si genera una singola struttura di interrelazione spaziale, che concerne il variar nel tempo delle posizioni spaziali della frizione, del cambio ed i rapporti temporali tra frizione e cambio (Figura 35).

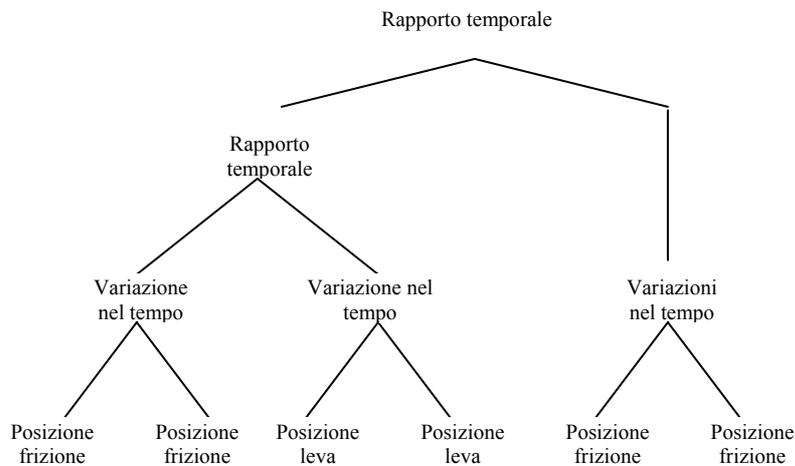


Figura 35. Struttura interrelativa ed associativa spaziale delle posizioni della frizione e del cambio

Sulla base di questa struttura memorizzata nella corteccia parietale, la corteccia premotoria organizza il movimento applicandolo alle specifiche articolazioni, la cui memoria è conservata nella corteccia motrice primaria. Prima dell'apprendimento, per effettuare il cambio di marcia, la mente attivava per cinque volte il circuito cognitivo logico. Dopo l'apprendimento, l'intera sequenza è stata automatizzata. Il passaggio dalla posizione iniziale in cui la leva è in terza, alla posizione finale, in cui la leva è in seconda, è realizzata attivando una sola volta il circuito cognitivo logico. Anche il sistema ventrale partecipa alla struttura di interrelazioni ed associazioni parietale chiarendo il "che cosa" si trova in una determinata posizione rispetto a "cos'altro". Con l'esperienza, per realizzare una sequenza di "azioni", ognuna delle quali riguardava un passaggio circuitale, si attiva un solo circuito, all'interno del quale, è aumentata la complessità dei rapporti temporali tra le componenti spaziali.

Questo procedimento mentale ci consente di imparare. A livello mentale, l'apprendimento si realizza attraverso circuiti logici di tipo cognitivo e motorio. Essi "tracciano" l'esperienza nelle aree anteriori, posteriori e subcorticali della corteccia. Tale esperienza si configura come reti di interrelazioni (e associazioni) spaziali, temporali, modali e "funzionali" che possono essere inseriti in blocchi all'interno di circuiti logici sempre più complessi.

3.8 La relazione attributiva

Prima di occuparci della relazione attributiva, è bene ribadire il fatto che il circuito cognitivo comprende sia il sistema dorsale che quello ventrale, occupandosi il primo del movimento e dei rapporti spaziali e temporali, il secondo dei rapporti tra "figure". La relazione attributiva, a livello di circuito, coinvolge tanto il sistema dorsale relativo agli spazi ed ai tempi che il sistema ventrale relativo al "che cosa" (le figure dettagliate). Nella relazione attributiva, acquista rilevanza l'attività del sistema ventrale, in quanto è proprio esso che si occupa degli *attributi* e degli *oggetti*, e del loro "riconoscimento". La relazione attributiva è un legame circuitale tra i due "enti mentali", in cui quello che funge da attributo è una "caratteristica" dell'altro elemento. Possiamo definire la relazione attributiva come il legame tra un "oggetto" e le sue componenti. Intendiamo per *componenti* le informazioni che i recettori sensoriali raccolgono dall'oggetto stesso ed inviano alla corteccia lungo vie parallele attraverso i vari nuclei di ritrasmissione. Si tratta degli attributi di: giallo, leggero, grande, amaro, caldo, triste, ecc. Il sistema ventrale per relare "oggetto" ed "attributo", agisce sulle figure selezionate dal contesto spaziale e temporale da parte del sistema dorsale.

Con un esempio chiariamo il funzionamento concomitante dei due sistemi nella relazione attributiva. Supponiamo di osservare, in ordine di successione, un oggetto (una foglia), la tinta (verde) e la luminosità (chiaro). La selezione della foglia si concretizza attraverso il frazionamento di uno spazio più ampio, per esempio quello di una fronda. La fronda è quindi il nostro punto di partenza, il dato di fatto. Il sistema ventrale sulla base di questo dato di fatto ipotizza “che cosa” seguirà dopo questa percezione. Sulla base di ciò il sistema dorsale ipotizza la posizione della foglia rispetto alla fronda; su questa base viene eseguito il movimento oculare. Ambedue i sistemi verificano le rispettive ipotesi, che diventano il dato di partenza per una nuova attivazione circuitale. Il sistema ventrale ipotizza la percezione del colore ed in successione quello della luminosità mantenendo in presenza dapprima la foglia e dopo il colore. Il sistema dorsale ipotizza le posizioni relative ed organizza i movimenti, cui seguono le verifiche. Nella Figura 36, l’attività del circuito è illustrata partendo dalla percezione già avvenuta della “foglia”.

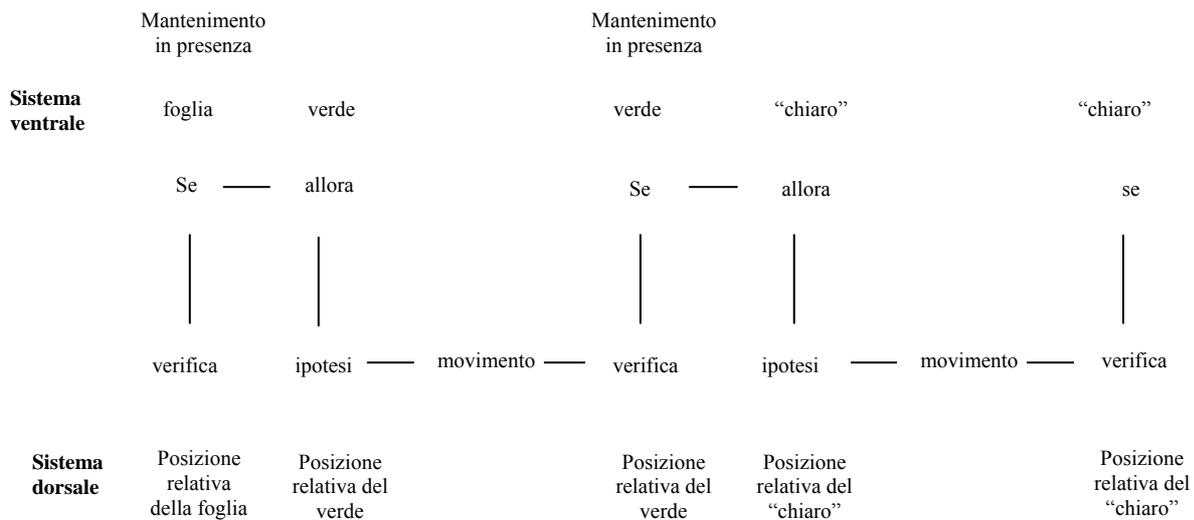


Figura 36. Attivazione contemporanea del sistema ventrale e del sistema dorsale nella relazione attributiva

Nella corteccia temporale e prefrontale è memorizzata la relazione attributiva della Figura 37a. Nella corteccia temporale come memoria percettiva di input; nella corteccia prefrontale come memoria di output. Nella corteccia parietale (memoria di input) e premotoria (memoria di output) è memorizzata la relazione spaziale della Figura 37b.

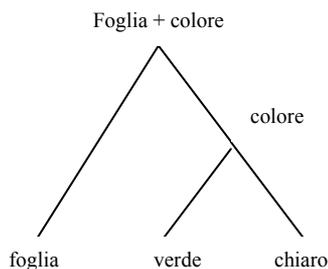


Figura 37a. Relazione attributiva



Figura 37b. Relazione spaziale/attributiva

Le Figure 37a e 37b mettono in evidenza non solo la relazione attributiva tra la foglia, il verde ed il chiaro, ma mostrano pure la interrelazione tra foglia + colore e verde + chiaro e dei rispettivi spazi. L'interrelazione e la relazione attributiva sono costruzioni mentali: ambedue si realizzano in momenti indipendenti e si differenziano per il fatto che nell'interrelazione i due elementi variano contemporaneamente l'uno rispetto all'altro, mentre nella relazione attributiva vi è un passaggio dall'uno all'altro. Nell'interrelazione, come già detto, i componenti sono percepiti e recuperati con una singola fissazione. In seguito a queste memorizzazioni, il circuito cognitivo può recuperare, tramite la corteccia prefrontale, la foglia, il colore o la luminosità memorizzate nella corteccia temporale e tramite la corteccia premotoria può recuperare gli spazi parietali. Tale doppio recupero consente la rappresentazione mentale di ciascun elemento. Il processo di recupero è realizzato da un circuito cognitivo che fa a meno delle informazioni sensoriali ed utilizza i dati memorizzati. Come già detto in precedenza, tali memorizzazioni favoriscono la percezione. Infatti, la percezione con un'unica fissazione della foglia attiva automaticamente le associazioni attributive e spaziali senza "passare" con il circuito da una percezione all'altra.

3.9 Sistema Attenzionale Posteriore (PAS) e Sistema Attenzionale Anteriore (AAS)

Posner e Petersen (1990) differenziano due sistemi attenzionali chiamati rispettivamente: "Sistema Attenzionale Posteriore" (PAS) e "Sistema Attenzionale Anteriore" (AAS). Il PAS riguarda il sistema dorsale, mentre l'AAS concerne il sistema ventrale. In ambito visivo, il sistema dorsale (o sistema attenzionale posteriore) seleziona la foglia, la tinta, e la luminosità separando ciascuno di essi dal contesto spaziale e spostando il faro dell'attenzione dall'uno all'altro. Nel momento in cui

seleziona la “foglia” effettua la separazione figura/sfondo (inteso come contesto spaziale). Ciò vuol dire che la foglia è separata dal contesto spaziale con una porzione di sfondo su cui essa si staglia. Dopo aver staccato l’attenzione, effettua la selezione del colore (tinta + luminosità) separandolo dallo sfondo (anche questo inteso come contesto spaziale). Questa funzione mentale, ossia la separazione del colore dallo sfondo, coinvolge l’oggetto “foglia” e l’oggetto “colore”. Infatti, la separazione del colore avviene sullo sfondo che è la foglia stessa. In altre parole, è la foglia a fungere da sfondo nella selezione del colore. I processi attentivi del PAS, infatti, avvengono su spazi immobili o in movimento. La selezione della foglia si concretizza attraverso il frazionamento dello spazio della scena. Una parte di questo spazio, cioè quello della foglia, è staccato dallo spazio scenico che funge da sfondo. La selezione del colore avviene sullo spazio della foglia che funge da sfondo. Se più colori occupano questo spazio, esso è frazionato e si dice che la foglia è “gialla e verde”. In questa circostanza, dallo spazio della foglia (sfondo) sono separati due spazi di colori. Il processo attenzionale di separazione del colore dallo sfondo della foglia, mantenuta in presenza, genera la relazione spaziale attributiva, memorizzata come “atto” nel circuito e come “fatto” percettivo e funzionale nella corteccia parietale e premotoria.

Le figure, dai dettagli fini, dalla corteccia primaria proiettano nella corteccia temporale. Su questa proiezione agisce la corteccia prefrontale. Queste due aree cerebrali (corteccia temporale e corteccia prefrontale) fanno parte del Sistema Attenzionale Anteriore o AAS (il sistema ventrale). Il sistema attenzionale anteriore costruisce le relazioni relative ai dettagli fini, preposte al riconoscimento, che possiamo considerare, a tutti gli effetti, relazioni di “oggetti” ed “attributi”.

È da sottolineare il fatto che la foglia è staccata dal contesto spaziale (la scena), ma il colore mantiene con la foglia il proprio rapporto spaziale. Per questo motivo le relazioni spaziali che la foglia ha con altri oggetti sono escluse nella relazione attributiva mentre sono mantenute le relazioni spaziali con il colore. Non possiamo quindi stabilire, utilizzando la memoria temporale, la grandezza della foglia, poiché essa è al di fuori dello spazio e non può essere commisurata ad altri oggetti. Possiamo però determinarne il colore poiché esso è commisurato spazialmente alla foglia. Questo procedimento si realizza anche per quanto riguarda la tinta e la luminosità. La separazione della luminosità avviene sullo spazio della tinta generando relazione spaziale nella corteccia parietale e relazione modale nella corteccia temporale.

3.10 Le relazioni spaziali e temporali della via dorsale

Prima di analizzare le relazioni spaziali è opportuno ribadire che ciascun oggetto fisico, in virtù dell’organizzazione dei sistemi sensoriali, ha un proprio “spazio virtuale”. Tale “spazio virtuale” è

quello occupato dall'oggetto stesso. Esso proietta in più moduli della corteccia parietale, ed è finalizzato a più funzioni. Per esempio spazi virtuali del nostro corpo, nel giro angolare, concorrono alla funzione di determinare la relazione spaziale “destra”/”sinistra” (lesioni in tale area possono causare la “sindrome di Gerstmann”). In altre aree di proiezioni (lobo parietale sinistro) spazi virtuali corporei concorrono a determinare le relazioni spaziali tra i distretti corporei (lesioni in tale area possono causare l'autotopognosia). Lo spazio virtuale è una delle caratteristiche dell'oggetto stesso, quali il colore, la forma, il peso, ecc. Anch'esso è generato all'atto della selezione attenzionale col distacco della “figura” dallo “sfondo”. Lo spazio virtuale (come figura) ha quindi uno spazio virtuale come sfondo. Ciascuno “spazio virtuale” può essere selezionato dopo la percezione dell'oggetto e in tal modo diviene riferito rispetto all'oggetto che è riferimento.

Analogamente agli spazi virtuali si determinano “tempi virtuali” che corrispondono ai tempi della percezione. Anch'essi sono caratteristica degli oggetti e, come tali, possono essere riferiti all'oggetto stesso che ne è il riferimento. Per capire come la mente pone le relazioni spaziali osserviamo le Figure 38 e 39.



Figura 38. Due oggetti

Figura 39. Due spazi virtuali

La Figura 38 mostra due “oggetti”, ossia una poltrona e un quadro. La Figura 39 rappresenta due spazi virtuali. Si tratta degli spazi virtuali della poltrona e un quadro.

La mente può porre la relazione riferimento/riferito tra i due spazi virtuali. In virtù dell'organizzazione visuotopica dei recettori retinici e dei neuroni della corteccia visiva, questa funzione genera la relazione “sopra/sotto” (oppure “sotto/sopra”) Tale relazione spaziale riguarda

“spazi virtuali” (Figura 40a). Se si utilizza, per realizzare un’analoga relazione, un “oggetto”, per esempio la poltrona, ed uno spazio virtuale, si ha la relazione “sopra la poltrona” (Figura 40b).

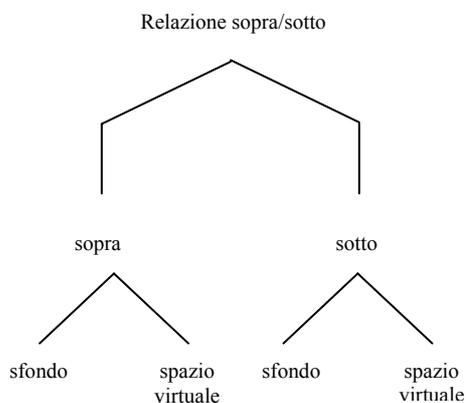


Figura 40a. Relazione sopra/sotto

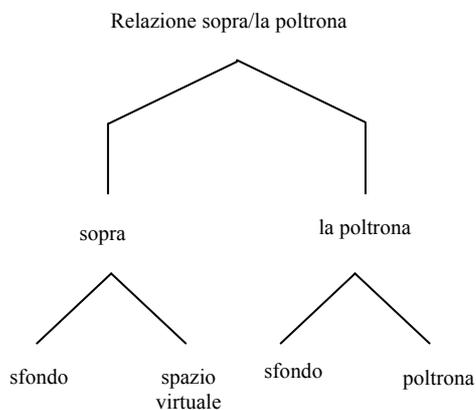


Figura 40b. Relazione sopra/la poltrona

Questa relazione può, a sua volta, essere inserita in una relazione attributiva che comprende l’oggetto “quadro”. Per la mente la posizione espressa dal sintagma “sopra la poltrona” è un attributo del quadro. Abbiamo una doppia relazione spaziale la prima, attributiva (“il quadro sopra la poltrona”), la seconda che dà origine alla struttura correlativa di origine spaziale (“sopra la poltrona”) (Figura 41).

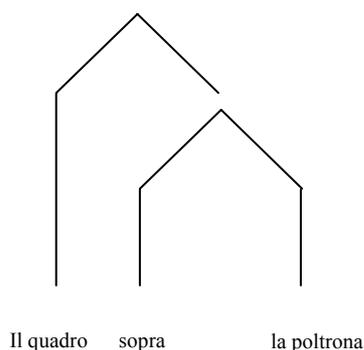


Figura 41. Struttura correlativa ternaria “Il quadro sopra la poltrona”

In modo analogo si costruiscono le correlazioni ternarie relative al tempo. Per esempio la correlazione “Una passeggiata dopo la cena” si origina dalla correlazione di due tempi virtuali “prima/dopo”. Da questa si passa alla correlazione binaria “dopo la cena”. Con l’inserimento del costrutto “la passeggiata” si ha la correlazione ternaria: “la passeggiata dopo la cena”.

4. Concetti e aree semantiche

4.1 I confronti

Un’ulteriore importante funzione percettiva è il “confronto”. Nel confronto, il sistema dorsale seleziona una prima figura, che è mantenuta in presenza dalla corteccia prefrontale, mentre è selezionata la seconda figura. La selezione alternata delle due figure mantenute in presenza alternativamente dalla corteccia prefrontale genera più volte la relazione riferimento/riferito. Alcune volte è la figura “A” ad essere riferita, altre volte, invece è la figura “B” ad essere riferita. Tale doppio riferimento è ciò che chiamiamo “confronto”. Serve a discriminare, differenziandoli, due “oggetti”.

Analogamente a quanto accadeva con la relazione attributiva, anche per il confronto il mantenimento in presenza di un “oggetto”, mentre se ne percepisce un altro, dà luogo ad una relazione nella quale l’oggetto mantenuto in presenza è il riferimento e quello percepito è il riferito. Si tratta di relazioni d’uguaglianza, diversità, ecc. Diciamo per esempio che l’oggetto “A” è uguale all’oggetto “B”. Dove “A” è riferito e “B” è riferimento.

Nella corteccia temporale si genera la struttura di relazione dove popolazioni di neuroni codificano la prima figura, la seconda figura e la loro relazione. Così, quando confrontiamo due colori, per esempio il verde ed il giallo, utilizziamo i due colori, a volte come riferimento, a volte come riferito. Questa funzione ci consente di realizzare le *relazioni* di uguaglianza e di differenza tra due oggetti e/o caratteristiche, e di memorizzare nella corteccia temporale la struttura di relazione, funzionale al riconoscimento ed al recupero.

Nella Figura 42 è illustrata l’operazione di confronto. In basso, il sistema dorsale separa alternativamente dallo sfondo il colore verde ed il colore giallo (la linea tratteggiata indica lo sfondo che è scartato). Concomitantemente alla selezione attenzionale del colore verde, la corteccia prefrontale mantiene in presenza il colore giallo, e concomitantemente alla selezione attenzionale del giallo, la corteccia prefrontale tiene in presenza il colore verde. Il confronto si realizza tra il

colore mantenuto in presenza ed il colore selezionato. Questa attività determina una relazione di diversità tra i due colori, memorizzata nella corteccia temporale.

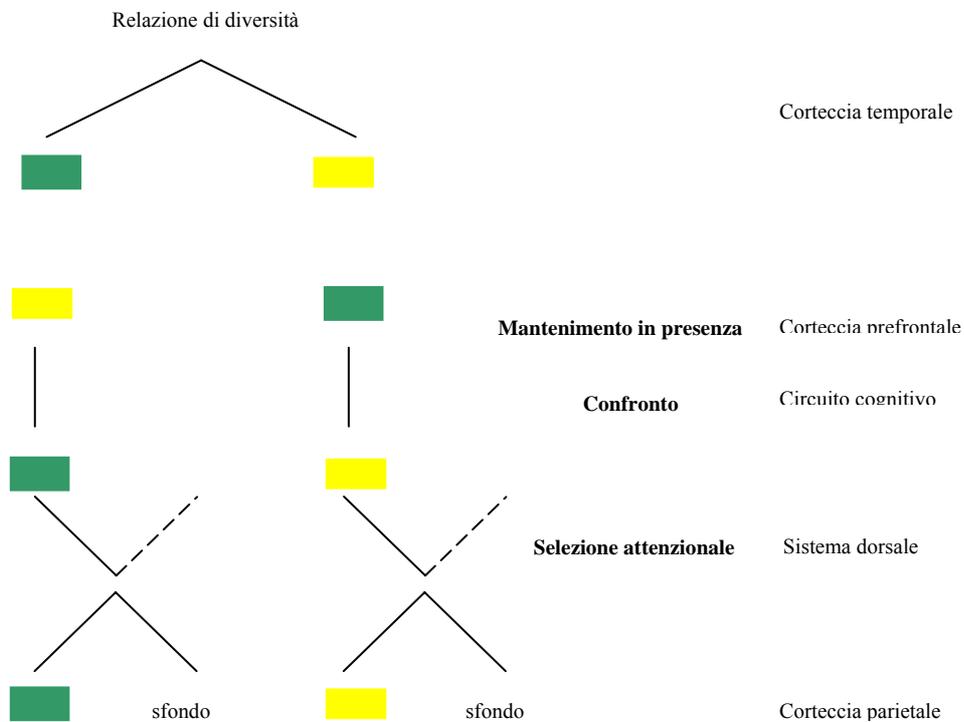


Figura 42. Confronto tra due colori e loro associazione

Dal confronto derivano parole quali: uguale, diverso, simile, stesso, identico, ecc. Il confronto, inoltre, ci permette di discriminare gli oggetti e i loro attributi. Affinché sia possibile una discriminazione tra due o più oggetti, è necessario che gli oggetti di cui si realizza la discriminazione siano già costituiti da associazioni, relazioni o interrelazioni. È proprio la differenza tra due associazioni o interrelazioni o relazioni che mi consente la discriminazione. In altre parole un oggetto non può essere riconosciuto uguale o diverso da un altro se si osservano da “soli”. La differenza è determinata da variazioni nella struttura associativa, di interrelazione, di relazione che i due oggetti hanno. Il riconoscimento tra due colori è possibile analizzando la differente interrelazione figura/sfondo. Il verde è diverso dal giallo, giacché è diverso il rapporto figura/sfondo che hanno i due colori.

Il confronto avviene su enti mentali su cui non è possibile l’associazione attributiva. Essi, infatti, non sono mai uno la caratteristica dell’altro. Non si possono confrontare un colore con un oggetto,

oppure una posizione con un oggetto. È possibile confrontare due colori, due oggetti, due movimenti, ecc.

I confronti, al momento della loro realizzazione coinvolgono la memoria di lavoro che mantiene in presenza alternativamente le due figure che, concomitantemente alla loro realizzazione, si memorizzano nella corteccia. Nella corteccia temporale sono memorizzate le associazioni; nella corteccia prefrontale è memorizzata la *funzione* associativa, e la *funzione* di confronto da attivarsi con il sistema dorsale.

4.2 Aree concettuali

Per “aree concettuali”, intendiamo aree mnestiche della corteccia temporale nelle quali le figure sono *associate, relate e/o interrelate* l’una all’altra ai fini di riconoscimenti e di confronti, realizzabili quest’ultimi, dalla corteccia prefrontale e dal sistema dorsale.

La concettualizzazione è un processo di memorizzazione delle relazioni che si originano dai confronti. Partiamo da un esempio semplice di concettualizzazione modale, ossia la concettualizzazione dei colori. Berlin e Kay (1967) scoprirono che in tutte le culture i colori sono percepiti secondo categorie distinte in relazione al livello di sviluppo della lingua. Nelle culture più povere linguisticamente esistono solo due categorie (e relativi nomi) che differenziano l’area chiara (detta bianca) dall’area scura (detta nera). Man mano che si arricchisce il lessico dei colori si formano aree sempre più ristrette. Così una cultura più avanzata avrà il nome per il rosso; un’altra cultura, ad uno stadio linguistico ancora più progredito, anche il verde e così via secondo una progressione precisa.

Una possibile modalità di concettualizzazione dei colori potrebbe essere la seguente. Supponiamo di osservare per la prima volta degli oggetti. In tal caso la semplice selezione alternata della figura “chiaro” e di quella “scuro”, genera una struttura di relazione di confronti. Alla formazione di questa struttura concorre la memoria di lavoro che tiene presente le figure nelle brevi frazioni temporali intercorrenti tra una percezione e l’altra. In tal modo nella corteccia temporale, area di proiezione della V4 (preposta alla costruzione dei colori), si forma un’area di relazione concernente il bianco e il nero percepiti in precedenza. Tale area partecipa, assieme alla corteccia prefrontale ed al sistema dorsale, alla riattivazione in output del confronto discriminativo.

È proprio questa capacità di realizzare in output una funzione, ciò che chiamiamo “concetto”. Il concetto di “bianco” è la duplice capacità funzionale di percepire e riconoscere la figura nonché di generare in output la figura del “bianco”.

A proposito del riconoscimento, giova ribadire che il colore è riconosciuto anche perché possiamo confrontarlo in output con un altro colore utilizzando l’associazione memorizzata nella

corteccia temporale. Ovviamente il confronto in output richiede l'intervento del sistema dorsale che agisce nel contesto spazio/temporale in cui avvengono i confronti.

Con l'esercizio aumentano le relazioni di colori funzionali a processi in output. Ciò si traduce nel fatto che, anche a livello di rappresentazione mentale, possiamo confrontare e discriminare sfumature di rosso, oppure sfumature di verde, ecc.

Analogamente ai colori, si formano le aree concettuali del caldo/freddo, liscio/ruvido, asciutto/bagnato, dolce/salato, trasparente/opaco, leggero/pesante, sordo/sonoro, duro/molle, immobile/in moto, ecc. L'area concettuale del leggero/pesante è formata dalla associazione di una "figura" corrispondente al "pesante" con una figura concernente il leggero e con una serie di "figure" intermedie relative ai diversi gradi di pesantezza/leggerezza memorizzati dal soggetto (Figura 43a). In modo analogo si forma l'area concettuale relativa al caldo/freddo (Figura 43b). Tali strutture di relazione possono determinare confronti in output con l'intervento della corteccia prefrontale ed il sistema dorsale.

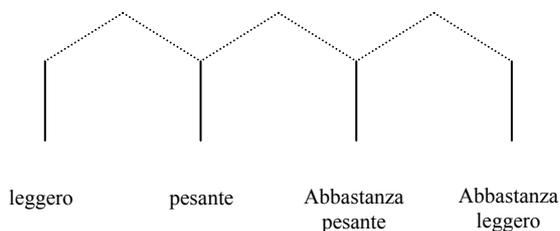


Figura 43a. Area concettuale del pesante/leggero

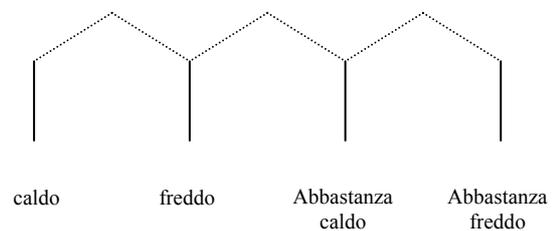


Figura 43b. Area a concettuale del caldo/freddo

4.3 Concetti complessi

Le aree concettuali riguardano *figure semplici* come il pesante/leggero. Differenziamo dalle aree concettuali le *aree semantiche*, che concernono associazioni di "concetti complessi". Consideriamo l'*oggetto complesso* "arancia" (che percepiamo con una singola fissazione). L'insieme degli attributi relati a tale oggetto, che sono, a loro volta, relati ad altri attributi analoghi ai fini dei confronti, sono rappresentati nella Figura 44. Si tratta di una struttura a stella, al centro della quale c'è l'oggetto e tutt'intorno le caratteristiche specifiche di quell'oggetto. Ciascuna caratteristica fa

parte dell'area concettuale. Tale struttura memorizzata nella corteccia temporale concerne le relazioni attributive del “concetto complesso”.

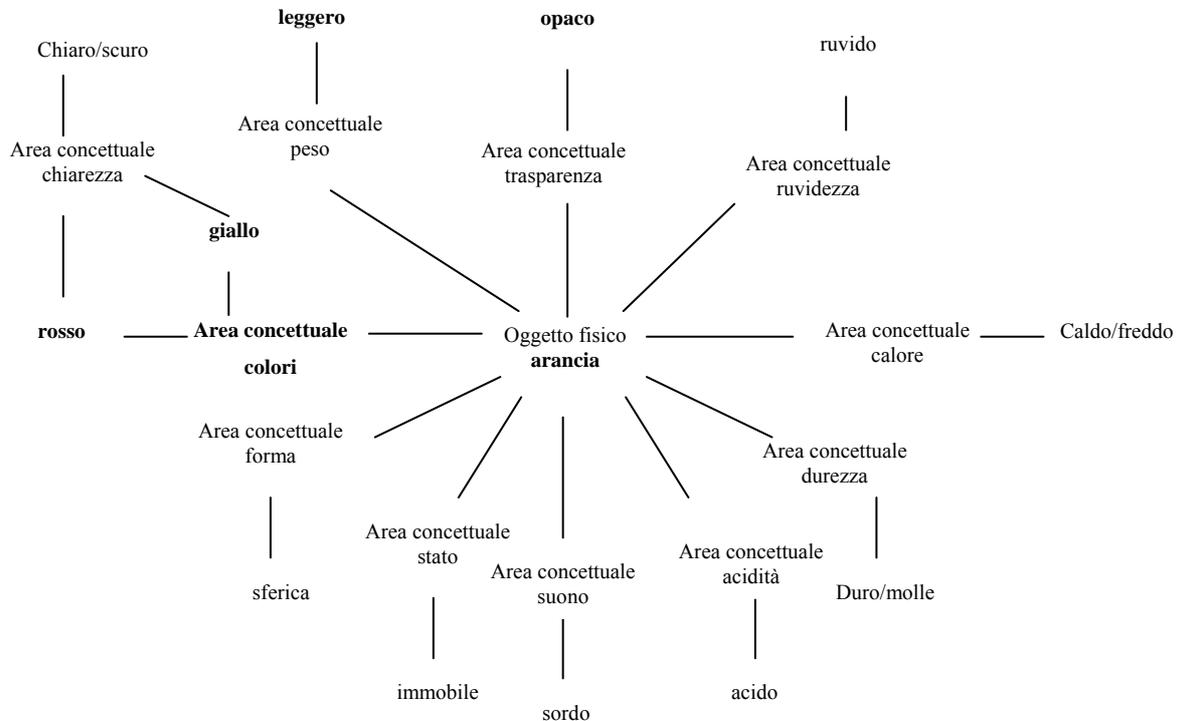


Figura 44. Relazioni attributive del “Concetto complesso”

Lo schema di Figura 44 non è totalmente completo. Relativamente alla percezione uditiva, infatti, si considera il rumore (sordo) prodotto da un'arancia che cade al suolo; si potrebbero aggiungere altri suoni come quello prodotto da un'arancia mentre si sprema. Del gusto è inserito solo l'attributo relativo all'acido/basico; mancano gli attributi dell'olfatto. Ciascuno di questi attributi, può, inoltre, variare nel tempo.

Il “concetto complesso” non è costituito solo da relazioni attributive. Esso è, innanzi tutto, una rete d'interrelazioni. La percezione visiva, con singola fissazione dell'arancia fa percepire contemporaneamente forma, colore, dimensione, stato. Questa struttura d'interrelazione visiva si associa con analoghe strutture d'interrelazione di altri sensi. La quasi totalità degli oggetti fisici che percepiamo e riconosciamo, inoltre, hanno una struttura complessa a livello spaziale e/o temporale. Si pensi per esempio al volto. Esso comprende occhi, mento, fronte, capelli, orecchie, naso, ecc. Ciascuno di questi “oggetti”, inoltre, ne comprende altri: gli occhi, per esempio, sono formati

dall'iride, dalla pupilla, dalle ciglia, ecc. Tali oggetti sono in specifiche relazioni spaziali e tutti sono interrelati ai fini della percezione e riconoscimento unitario. La posizione degli occhi rispetto al naso, alle orecchie, ecc. può variare all'interno di un "range" specifico al di fuori del quale il volto cessa di essere tale e diviene qualcos'altro. Altro oggetto fisico complesso è una parola che ascoltiamo (lessico fonologico). Essa è costituita da più suoni in specifici rapporti temporali, nonché interrelati.

Per la memorizzazione degli oggetti complessi e delle loro "componenti" la mente procede frazionando spazi e/o tempi e stabilendo relazioni oggetto-componente e componente-componente. Facciamo qualche esempio. Supponiamo di guardare la parola scritta "legno". Essa, se guardata con una sola fissazione, corrisponde ad una singola figura separata dallo sfondo (inteso come contesto spaziale) e quindi decontestualizzata spazialmente. Lo spazio di questa figura può essere frazionato in due unità significative: le-gno, essendo essa stessa lo sfondo delle due figure. Tra l'oggetto e la componente si può stabilire una relazione, tra le due componenti un'associazione, mentre oggetto e componenti possono essere interrelati tra di loro. Queste attività mentali danno origini alle seguenti strutture memorizzate nella corteccia temporale come "figure" e come rapporti spaziali nella corteccia parietale (Figure 45a, 45b, 45c, 45d).

Relazione oggetto-componente

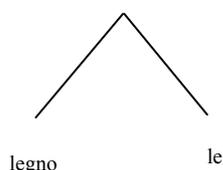


Figura 45a. Relazione oggetto-componente

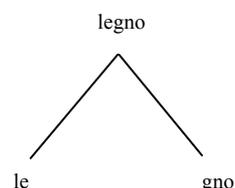


Figura 45d. Interrelazione tra le sillabe e la parola legno

Associazione componente-componente

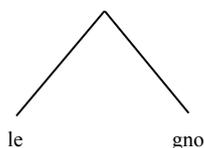


Figura 45c. Associazione componente-componente

Relazione oggetto-componente

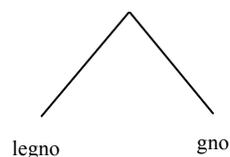


Figura 45b. Relazione oggetto componente

Utilizzando lo stesso procedimento con le sillabe "le" e "gno", abbiamo le interrelazioni, le associazioni e le relazioni sintetizzate nella Figura 46.

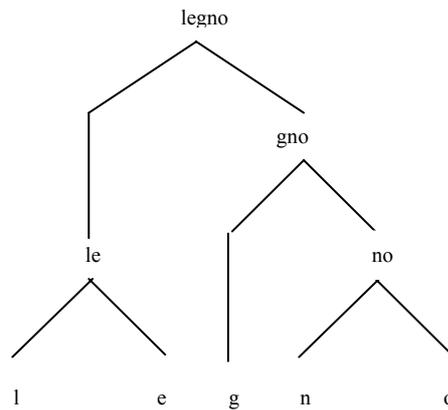


Figura 46. Interrelazioni di lettere e sillabe nella parola "legno"

Le strutture di relazione, di associazione e di interrelazione della corteccia posteriore sono due, una fa parte del sistema ventrale, l'altra fa parte del sistema dorsale. La relazione attributiva *oggetto-componente*, l'associazione *componente-componente*, e l'*interrelazione* determinano la struttura di relazione del "concetto complesso" finalizzata al riconoscimento ed alla rappresentazione mentale. Per capire tali rapporti si integrano con le relazioni *attributive* modali soffermiamoci ancora sulla parola "legno". La struttura di tale parola, raffigurata nella Figura 46, per quanto concerne il "che cosa", è memorizzata nella corteccia temporale; per quanto riguarda i rapporti spaziali, è memorizzata nella corteccia parietale.

L'attributo del colore si può relare attributivamente ai vari "nodi" (vedi sotto), che rappresentano l'intera parola o le sillabe, oppure si può relare ad una singola lettera; inoltre si può relare a uno o più componenti. La parola scritta in tal modo: "legno", genera una relazione attributiva di "rosso" al nodo superiore (Figura 47a). La parola scritta in tal modo: "legno", genera la relazione attributiva di "rosso" al nodo della sillaba "le" e di "nero" al nodo della sillaba "gno". (Figura 47b)

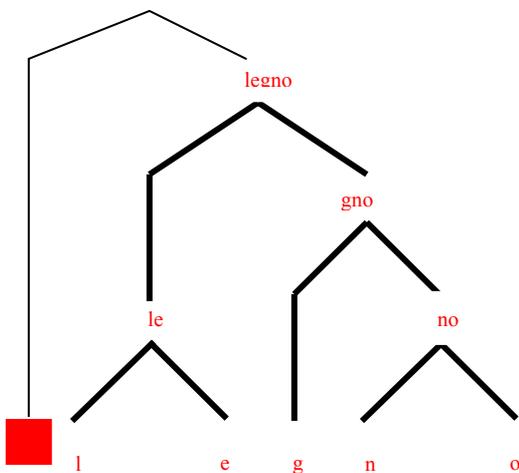


Figura 47a. Struttura di relazione, associazione e interrelazione della parola scritta "legno"

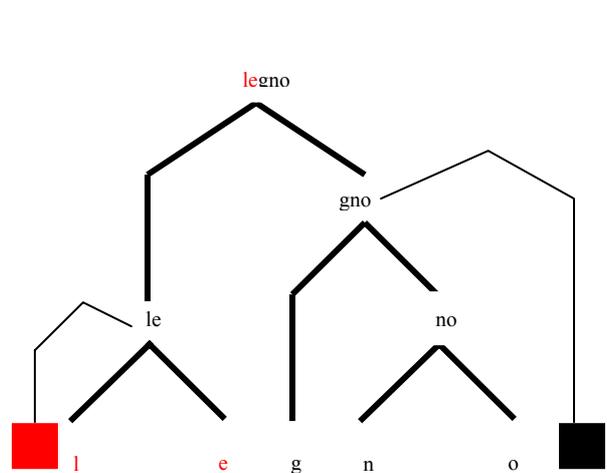


Figura 47b. Struttura di relazione, associazione e interrelazione della parola scritta "legno"

4.4 Aree semantiche

Ciascun “concetto complesso” si pone in relazione con “concetti complessi” analoghi. Ciò deriva dal fatto che queste relazioni si originano da operazioni di confronto e noi, analogamente agli animali pluricellulari, nella vita quotidiana, siamo portati a confrontare “oggetti” tra di loro simili, al fine di riconoscerli differenziandoli. Se effettuo il confronto tra due tavoli (separati dallo sfondo) che vedo per la prima volta, senza soffermarmi su colore, forma, dimensioni, componenti, ecc. posso notare che sono tra di loro diversi o uguali, poiché varia il rapporto figura/sfondo. L’osservazione dei dettagli genera strutture attributive. Ciascun tavolo è associato con la sua forma, dimensione, colore, durezza, ruvidezza (se lo tocco) e componenti. Un attributo di un tavolo può essere *confrontato* con l’attributo analogo dell’altro tavolo. I due tavoli sono così differenziati sulla base degli attributi e delle componenti. Questi processi mentali danno origine alle *aree semantiche*. Nella Figura 48 sono rappresentate solo le relazioni attributive. In particolare, le relazioni oggetto-attributo sono indicate con una linea continua, le relazioni attributo-attributo con una linea tratteggiata.

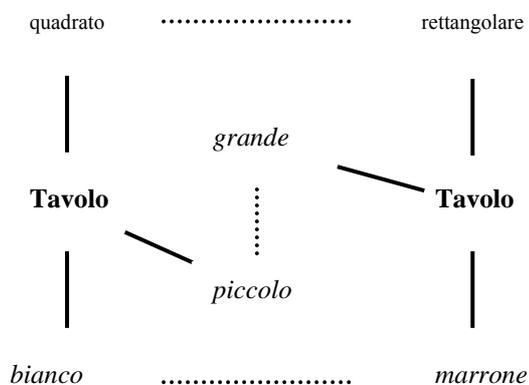


Figura 48. Area semantica di due concetti complessi (tavoli)

Tutti gli oggetti complessi sono inseriti in un’immensa rete semantica che li collega nei modi più disparati. Il riconoscimento di un oggetto attiva dapprima quelli che hanno con esso una legame stretto, poi quelli che hanno con lo stesso un legame debole. La corteccia prefrontale recupera da questa memoria semantica i vari oggetti. I legami del sistema ventrale non possono essere scissi dallo stesso sistema. Se la corteccia prefrontale recupera nella corteccia temporale un volto, non può separare le componenti (occhi, orecchie, labbra, ecc.) Questa è funzione del sistema dorsale che

agisce dopo il recupero semantico. Il sistema dorsale inserisce l'oggetto nella dimensione spazio/temporale rendendolo una figura specifica con la sua grandezza, il suo specifico colore, ecc. Su questa figura sono possibili le varie attività di confronto, selezione, associazione. È il sistema dorsale che ci fa vedere l'oggetto con "l'occhio della mente". Esso può recuperare i rapporti spaziali e temporali tra le componenti di un oggetto e alterarli. In altre parole i due sistemi operano in perfetta sincronia. Il sistema ventrale recupera e riconosce; il sistema dorsale effettua selezioni, associazioni, confronti, utilizzando il sistema motorio e la memoria dei rapporti spazio/temporali. Chiamiamo "*sintesi cognitiva*" il costrutto del sistema ventrale più o meno complesso che può essere recuperato e riconosciuto con una singola fissazione.

4.5 I nodi di attivazione

Nell'ambito dei riconoscimenti e dell'organizzazione riguardante il "che cosa", l'elemento di base è la "figura" che si stacca dallo sfondo. Tale "figura" può concernere una "scena", un "oggetto complesso" un "oggetto semplice", una "caratteristica". Parliamo di "figura" poiché ci riferiamo a quanto selezionato dal sistema dorsale. La memoria della figura è la "*sintesi cognitiva*". Supponiamo di leggere la parola "pane". Con la selezione attenzionale possiamo staccare dallo sfondo le seguenti figure *significative*: "p", "a", "n", "e", "pa", "ne", "pane". Inoltre, per ognuna di queste figure possiamo staccare dallo sfondo le caratteristiche: colore, forma, ecc. Quando selezioniamo con una singola fissazione l'intera parola "pane", si attiva l'organizzazione di relazioni e di interrelazioni riguardo al "che cosa" di tutta la parola (*sintesi cognitiva*) e si attivano pure le caratteristiche attributive della parola (nero, grande, ecc.). Nel caso in cui selezioniamo la sillaba "ca", si attiva l'organizzazione di relazioni e di interrelazioni della sillaba e le caratteristiche attributive.

Chiamiamo *nodi di attivazione* le componenti di una struttura mnestica (*sintesi cognitiva*) che all'atto della percezione con una singola fissazione, partecipano al riconoscimento. Tali nodi di attivazione dipendono dalla selezione attenzionale effettuata e dalla memoria semantica del soggetto percepente. Nella Figura 49 sono mostrati i *nodi di attivazione* mnestici relativi alla parola pane. La relazione attributiva con il colore nero, evidenziata dalle linee più sottili, è mostrata solo con l'intera parola; essa, ovviamente si realizza per qualsivoglia selezione attenzionale.

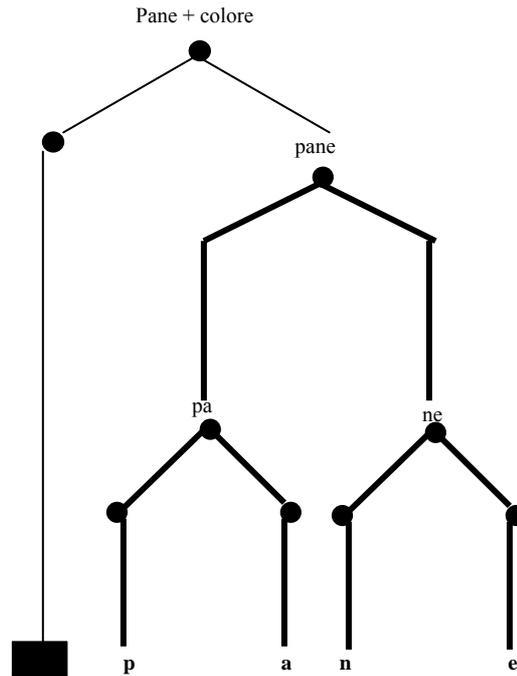


Figura 49. Nodi di attivazione

Se leggiamo con singola fissazione l'intera parola, automaticamente sono riconosciute le sillabe, le lettere e il colore. Il riconoscimento della parola è *conscio*, il riconoscimento delle sillabe, delle lettere e del colore è *inconscio*. La percezione ed il relativo riconoscimento sono *consci* quando si realizzano attraverso il circuito cognitivo di base. Nella lettura della parola, il circuito cognitivo è applicato su di essa. È l'intera parola, infatti, ad essere selezionata, ipotizzata e percepita. Per la percezione ed il riconoscimento conscio delle sillabe, delle lettere e del colore si deve spostare l'attenzione su di essi con l'intervento del circuito.

4.6 Il concetto

In precedenza, parlando di categorie motorie e di concetti, li abbiamo definiti come processi in input ed in output "a priori". Un oggetto, costruito attraverso complessi processi in parallelo relativi a colore, forma, movimento, durezza, sapore, componenti, ecc. è, prima dell'atto percettivo, un "a priori concettuale"; dopo la percezione si ha la *figura* specifica con quel colore, quella forma, quella dimensione, ecc. Questa definizione è un po' semplicistica, poiché non considera le funzioni delle aree mnestiche e dei "nodi di attivazione mnestici". Questi ultimi possono essere utili a differenziare meglio la *figura* dal *concetto*. Consideriamo il volto. Esso è un oggetto molto

complesso essendo formato da numerose componenti e da numerosi attributi. Il nodo di attivazione di un volto racchiude numerosissime associazioni e relazioni che si attivano automaticamente alla percezione dello stesso. Tali associazioni e relazioni concernono le componenti e gli attributi e all'atto della percezione del volto essi sono riconosciuti inconsciamente.

Il riconoscimento inconscio dipende dalla frequenza con cui le componenti e le caratteristiche sono state percepite prima e memorizzate dopo. Infatti, se un europeo guarda i volti di alcuni cinesi ha più difficoltà a differenziarli l'uno dall'altro rispetto alla percezione dei volti di alcuni occidentali. Questo è dovuto al riconoscimento inconscio che è più preciso nel secondo caso piuttosto che nel primo. Se consideriamo una componente del volto, per esempio, le labbra, esse sono riconosciute inconsciamente alla sola percezione del volto nel suo insieme. Da questo punto di vista le labbra sono un "concetto" essendo una potenziale figura che può essere percepita focalizzando l'attenzione su di essa.

Con i nodi di attivazione si può spiegare il fatto paradossale che due "oggetti" possano essere tra di loro "uguali" e "diversi". Se guardiamo con singola fissazione in successione due volti mai visti prima, riconosciamo inconsciamente le labbra. Esse sono tra di loro *uguali*, trattandosi di "concetti", ossia *potenziali figure*. Se, però ci soffermiamo con l'attenzione sulle labbra delle due persone, ne cogliamo le *differenze* poiché esse sono diventate "figure" di fatto.

4.7 Le classificazioni

L'oggetto complesso con la sua rete formata dalle interrelazioni e dalle relazioni oggetto-attributo, attributo-attributo, oggetto-componente, componente-componente, si pone in relazione con altri oggetti complessi costituendo le "classi". Anche le classi si originano da confronti.

Il confronto tra due oggetti, come già detto, si realizza attraverso il confronto di relazioni o associazioni (relazione oggetto-componente, associazione oggetto-caratteristica) o di interrelazioni (interrelazione figura-sfondo, interrelazione oggetto-componenti). A tal proposito, analizziamo le funzioni mentali che si realizzano confrontando un fonema con un altro attraverso alcune caratteristiche che li contraddistinguono. Un fonema possiamo definirlo come un oggetto complesso che ha per caratteristiche i suoi tratti distintivi, anche se alcuni tratti distintivi non sono caratteristiche dell'intero fonema ma di parte di esso (come accade quando riferiamo il colore verde agli occhi, anche se tale colore è caratteristica dell'iride che è una parte dell'occhio). Quando effettuiamo il confronto tra due fonemi, il confronto può non essere globale (figura/sfondo), ma concernere uno o più tratti distintivi che rispetto ai fonemi sono attributi. Per esempio, se il confronto tra i fonemi avviene sul tratto distintivo consonantico e sillabico, abbiamo fonemi

consonantici e fonemi sillabici. Nello schema di Figura 50 i fonemi “p” “a”, “d”, “e” sono confrontati tra loro. Il confronto avviene sul tratto distintivo consonantico, che è attribuito dei fonemi stessi.

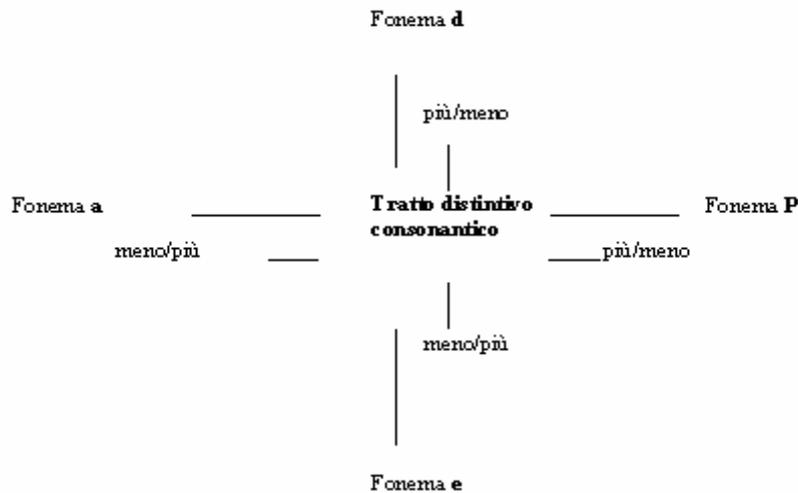


Figura 50. Confronto tra i fonemi “a”, “d”, “p”, “e” sulla caratteristica relativa al tratto consonantico

Dopo questo confronto, il fonema “d” e “p” sono uguali avendo lo stesso tratto consonantico (più); anche i fonemi “a”, “e” risultano uguali, avendo, ambedue tratto consonantico meno. Le due coppie sono tra loro diverse per il diverso tratto consonantico. Come si può constatare, il confronto tramite i tratti distintivi di due figure, consente non solo di differenziare ma anche di renderle uguali. Il confronto pone una relazione tra i fonemi confrontati. Anche in questa circostanza, le relazioni sono di uguaglianza e di diversità.

I fonemi che possiedono il tratto distintivo consonantico formano la *classe* delle consonanti, cui la mente può riferire le singole consonanti p, d, r, (elementi). C’è da dire, però, che le operazioni che portano alla classificazione generano una classe solo nel caso in cui gli “elementi” che sono classificati siano ben circoscritti spazialmente e/o temporalmente dalla selezione attenzionale. Al fine di chiarire quest’affermazione, giova ricordare la distinzione linguistica tra nomi numerabili e nomi non numerabili. Al primo gruppo appartengono i nomi che indicano persone, animali e cose che si possono contare ed hanno il plurale. Al gruppo dei “non numerabili” appartengono nomi indicanti “entità” che non si possono numerare e non hanno plurale. I nomi non numerabili si chiamano anche “nomi massa”. Esempi di nomi numerabili sono “cane”, “tavolo”, “computer”. Di

essi si può dire “i cani”, “due tavoli”, “cinque computer”. Esempi di nomi non numerabili sono “sale”, “sangue”, “pazienza”. Di essi non si può dire “tre sali”, “i sangui”, “le pazienze”. Accanto ai “nomi massa” sono non numerabili i nomi propri, ossia quei nomi che indicano uno specifico individuo (Salvi e Vanelli, 2004).

I nomi numerabili hanno due caratteristiche. La prima è di designare, riferendosi a due o più “enti”, la stessa “classe”. Per esempio: gatto + gatto = due gatti; gatto + felino = gatto + felino (in questo caso la numerazione è impossibile in quanto le classi sono diverse). La seconda caratteristica è di designare qualcosa che può essere circoscritto spazialmente (sedia) o temporalmente (ora, istante). Anche nomi astratti numerabili quali “idea”, “pensiero”, ecc. possono ricondursi ad eventi circoscritti spazio/temporalmente. Posso dire: “Per la festa di giovedì mi sono venute due idee: comprare rustici, e attaccare palloncini al soffitto”. Le due azioni che le idee esprimono, possiamo rappresentarcele mentalmente e sono circoscritte nello spazio e nel tempo.

Possiamo definire la classificazione come un processo di circoscrizione spaziale e/o temporale (realizzato dalla selezione attenzionale), riservato agli enti raggruppati sulla base di attributi e/o componenti comuni.

4.8 L'individualizzazione

Se ad un “ente” si riferiscono una o più caratteristiche, che non possono essere riferite a nessun altro “ente”, si ha l'individualizzazione. Francesco, Luigi, la Sicilia, sono “enti unici”. Per la loro costruzione la mente seleziona ed attribuisce loro alcune caratteristiche peculiari. Si può trattare di un sorriso, del tono della voce, di un modo strano di camminare, di una particolare forma, ecc.

Gli “enti unici” possono essere riconosciuti attraverso un singolo senso particolarmente sviluppato. Molti animali si servono, per esempio, dell'odorato. Ciascuno di noi ha un particolare odore che un cane percepisce e può riconoscere tra tanti. Quest'odore, attribuibile ad un unico “ente”, consente all'animale di individualizzare gli esseri viventi.

Nello schema di Figura 51 un ragazzo (Giovanni) è individualizzato attraverso il confronto per uguaglianza e differenza della caratteristica “sorriso”, tratta dall'area concettuale delle espressioni facciali. Quel particolare sorriso lo rende unico, essendo tutti gli altri sorrisi diversi.

5. I numeri

5.1 I numeri cardinali

La circostanza che gli enti cui si riferiscono i nomi numerabili sono circoscrivibili nel tempo e/o nello spazio ci induce a pensare che i numeri siano riconducibili a attività mentali che abbiano a che fare con lo spazio ed il tempo. A mio avviso, i numeri sono gli spazi e/o i tempi virtuali con gli sfondi virtuali. Essendo i numeri spazi o tempi virtuali possono essere *riferiti* all'oggetto o agli oggetti, di cui sono una caratteristica.

I numeri sono organizzati per strutture correlative. Essi sono costrutti del circuito logico-cognitivo. La loro memoria è quindi circuitale. Nella Figura 52 sono illustrati i costrutti circuitali dal numero "uno" al numero "quattro".

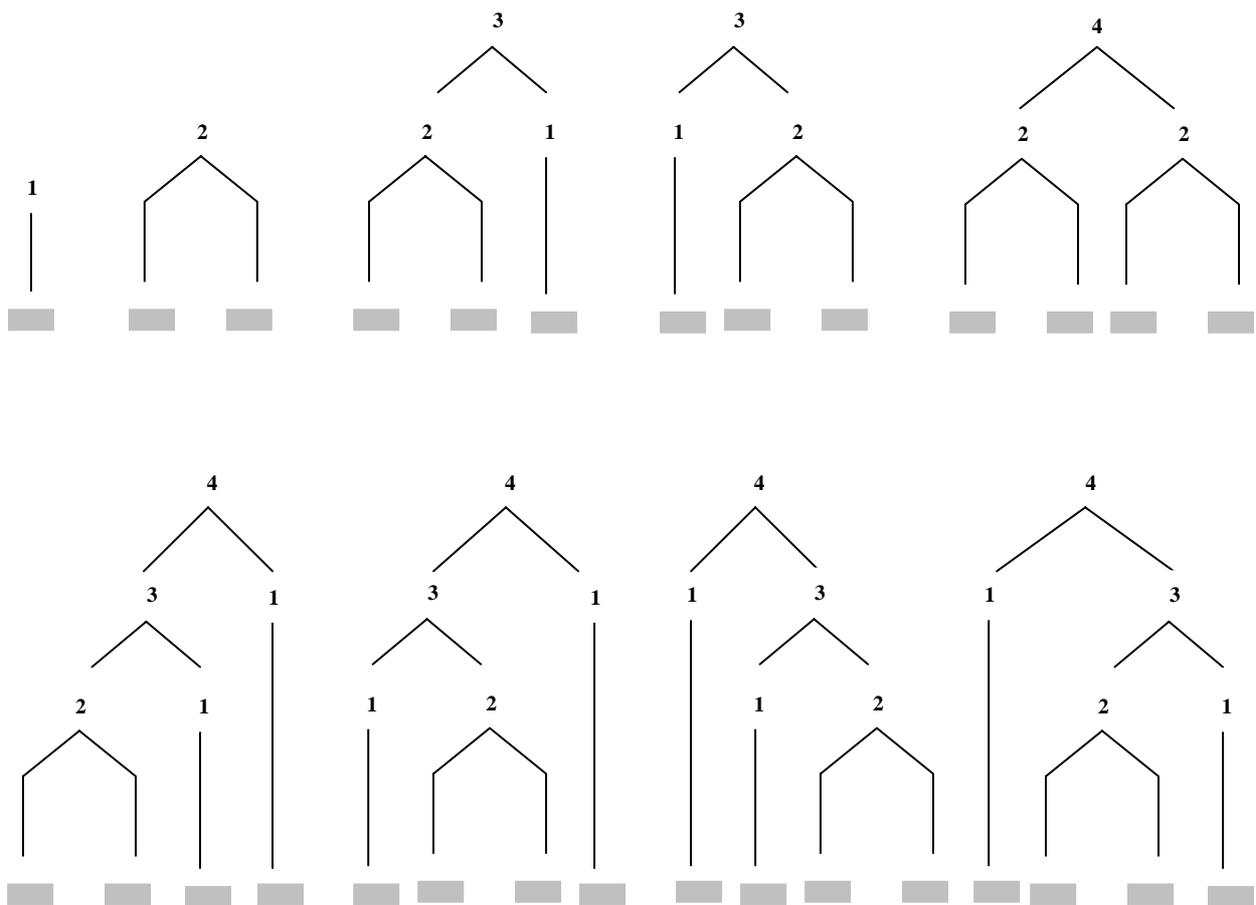


Figura 52. Strutture correlative dei numeri 1, 2, 3, 4

Osservando le due strutture del numero tre e le cinque strutture del numero quattro, si può evincere la proprietà commutativa dell'addizione. L'addizione, mentalmente, è l'atto di associare. La sottrazione corrisponde alla selezione che separa. La somma: $1+1=2$ e la sottrazione: $2-1=1$ sono rappresentate nella Figure 53a e 53b.

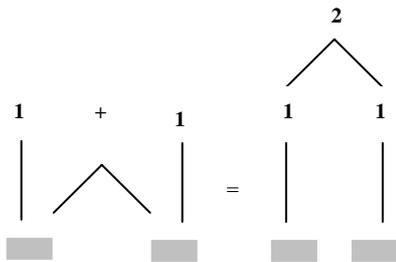


Figura 53a. Addizione

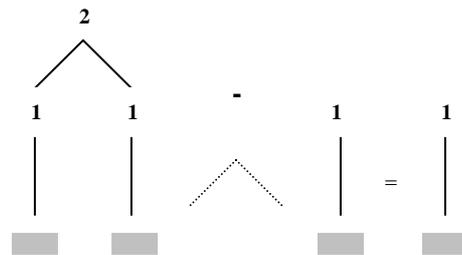


Figura 53b. Sottrazione

La proprietà commutativa è illustrata nella Figura 54.

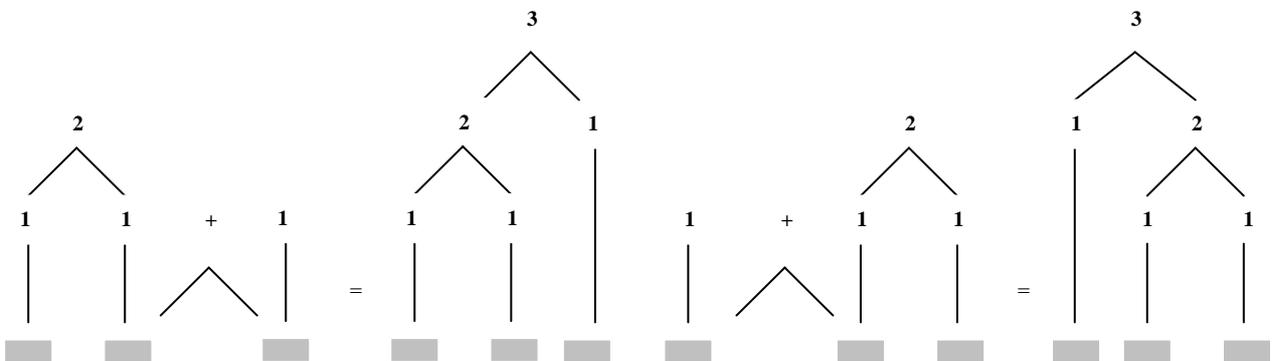


Figura 54. Proprietà commutativa

I diversi modi con cui si possono correlare i numeri consentono di costruire strutture correlative atte alla moltiplicazione ed alla divisione. Nelle Figura 55a e 55b sono rappresentate le strutture correlative del 3×2 e del 2×3 .

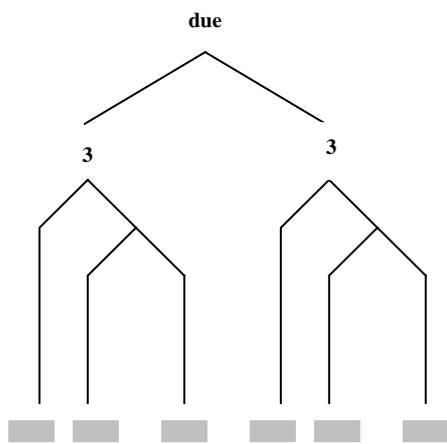


Figura 55a. Struttura correlativa del 3x2

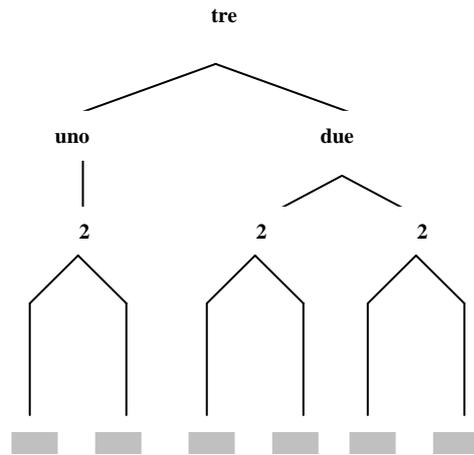


Figura 55b. Struttura correlativa del 2x3

Nella Figura 56 è rappresentata la struttura correlativa della potenza 2^3 .

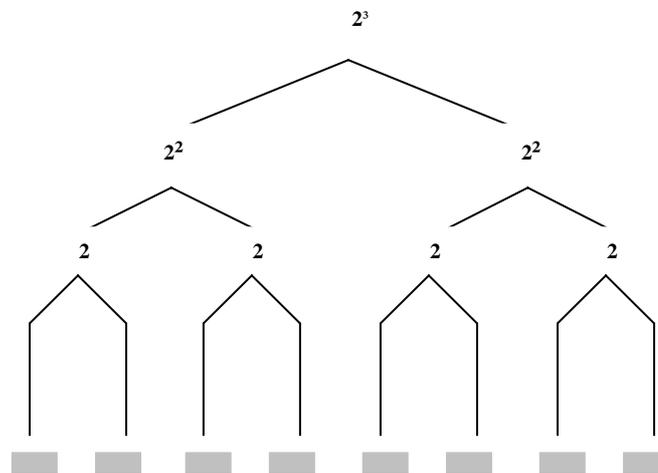


Figura 56. Struttura correlativa della potenza 2^3

L'analisi della struttura correlativa dei numeri ci dà lo spunto per mettere in evidenza l'importanza del linguaggio ai fini cognitivi. Consideriamo le strutture correlative del numero "quattro" (Figura 57).

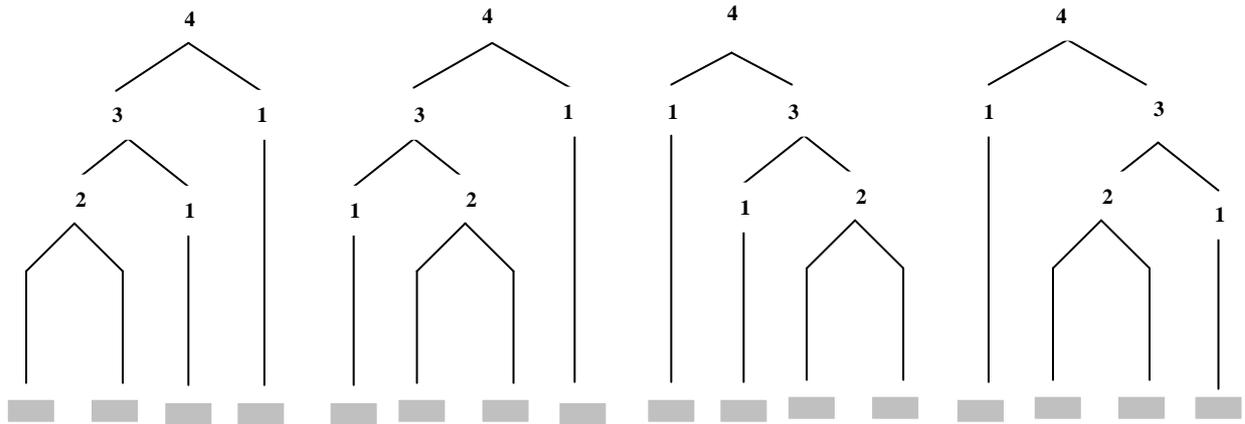


Figura 57. Strutture correlative del numero 4

Essa illustra l'attività del circuito che si può mostrare attraverso la parentesi:

$$\{[(\blacksquare + \blacksquare) + \blacksquare] + \blacksquare\}, \{[\blacksquare + (\blacksquare + \blacksquare) +] + \blacksquare\}, \{[\blacksquare + [\blacksquare + (\blacksquare + \blacksquare)]]\}, \{\blacksquare + [(\blacksquare + \blacksquare) + \blacksquare]\}$$

Si tratta di un'attività nella quale la corteccia prefrontale tiene presente i costrutti man mano che il circuito procede nelle associazioni.

Se un'associazione è sostituita da un numero scritto in codice arabico si facilita l'operare della corteccia prefrontale che con maggior facilità può tenere in presenza il numero, piuttosto che un'associazione. È più facile, infatti, l'attività mentale coi numeri piuttosto che con gli spazi e/o i tempi virtuali. Per esempio, invece del circuito relativo a $[(\blacksquare + \blacksquare) + \blacksquare]$, si può attivare il circuito numerico più semplice: (2+1); analogamente, invece di $\{[(\blacksquare + \blacksquare) + \blacksquare] + \blacksquare\}$ si può attivare (3+1). I numeri in codice arabico, inoltre, consentono la loro memorizzazione nella corteccia parietale. I tre simboli, infatti, "2+1" hanno precise relazioni spaziali che possono essere memorizzate. Inoltre nella corteccia temporale, ciascun numero può essere concettualizzato e memorizzato proprio come succede con le parole.

5.2 I numeri ordinali

Mentre i numeri cardinali possono avere strutture diversificate, quella dei numeri ordinali è unica. Essa rispecchia il procedere "ordinato" (uno dopo l'altro o dietro l'altro) nello spazio e/o nel tempo,

che si realizza attraverso un relazione spaziale e/o temporale ternaria: “secondo *dopo* primo”, “terzo *dopo* secondo”, ecc. (Figura 58).

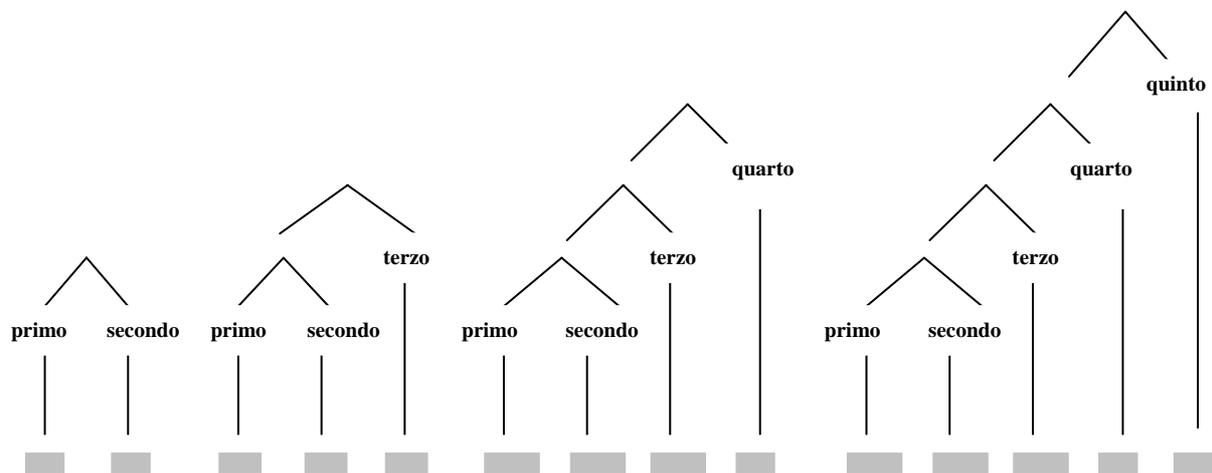


Figura 58. Strutture correlative dei numeri ordinali

5.3 I numeri arabi

I numeri scritti in codice arabo, rispetto ai numeri romani sono più semplici e rendono più facili i calcoli. Ciò si deve al fatto che per esprimere le unità (da 0 a 9), le decine (da 10 a 99) le centinaia (da 100 a 999), le migliaia (da 1000 a 9999) si utilizzano precise strutture correlative. Con i numeri romani questo era impossibile. Al livello più basso abbiamo le singole unità separate dallo sfondo, al secondo livello le decine, ed al terzo livello le centinaia, al quarto le migliaia, ecc. Tra le possibili strutture che si possono realizzare, quella dei numeri segue una precisa configurazione (Figura 59). Ciascun numero può essere letto con una singola fissazione, separandolo dallo sfondo. Se il numero è composto da più cifre, attiva, in memoria, il nodo superiore con l'intera struttura sottostante ed avviene il riconoscimento. Se il numero è piuttosto grande, quale “2345678”, la mente procede selezionando da destra a sinistra tre unità alla volta: 2/345/678. Il numero 345 consta di “migliaia” dopo il riferimento con il “678”. Quest'ultimo, infatti, è costituito da tre cifre. Il numero “2” consta di milioni dopo il riferimento con il numero “345678”, formato da sei cifre. Dopo questo procedimento si può comprendere e leggere il numero.

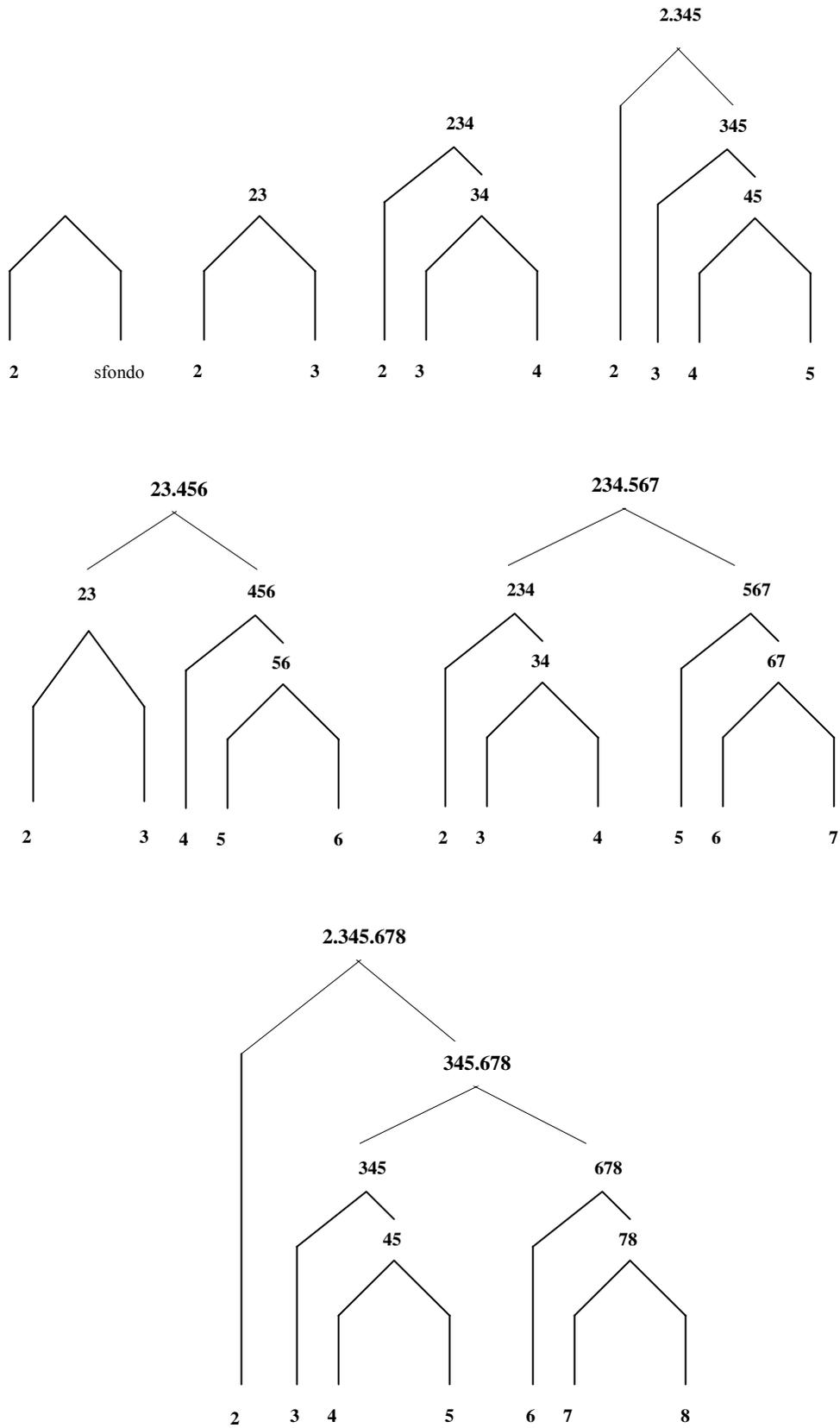


Figura 59. Strutture correlative dei numeri arabi ad una e più cifre

5.4 Poligoni

Una delle due strutture correlative degli angoli del triangolo equilatero è illustrata nella Figura 60a, del triangolo rettangolo isoscele nella Figura 60b. La struttura correlativa del quadrato è illustrata dalla Figura 60c.

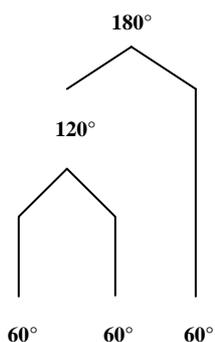


Figura 60a. Struttura correlativa del triangolo equilatero

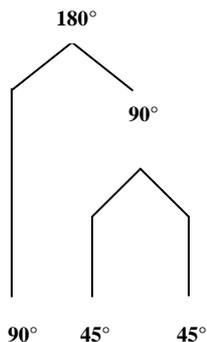


Figura 60b. Struttura correlativa del triangolo rettangolo isoscele

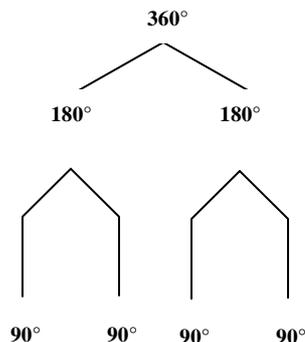


Figura 60c. Struttura correlativa del quadrato

Il quadrato (Figura 61a) possiamo considerarlo equivalente (Figura 61c) alla correlazione di due triangoli rettangoli isosceli (Figura 61b).

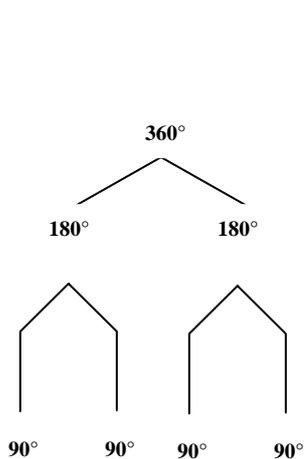


Figura 61a. Struttura correlativa del quadrato

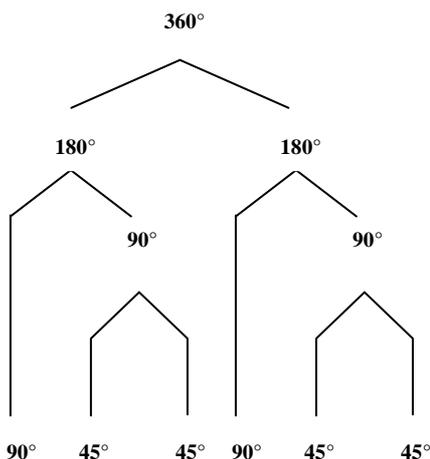


Figura 61b. Struttura correlativa di due triangoli rettangoli isosceli

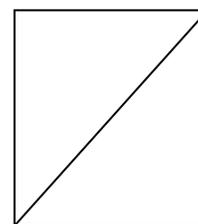


Figura 61c. Due triangoli rettangoli isosceli ed un quadrato

5.5 La scala metrica decimale e sessagesimale

Al fine di effettuare misurazioni, si utilizzano specifiche strutture correlative ripartite in unità decimali e sessagesimali. Le unità decimali si utilizzano soprattutto per le superfici. Le unità sessagesimali sono per lo più usate nella misurazione di angoli e di tempi (ore, minuti, secondi, ecc.). Nelle Figure 62a e 62b è illustrata la scala sessagesimale dell'ora ripartita in sessanta minuti (m). Nella Figura 63 è illustrata la scala decimale da uno a venti.

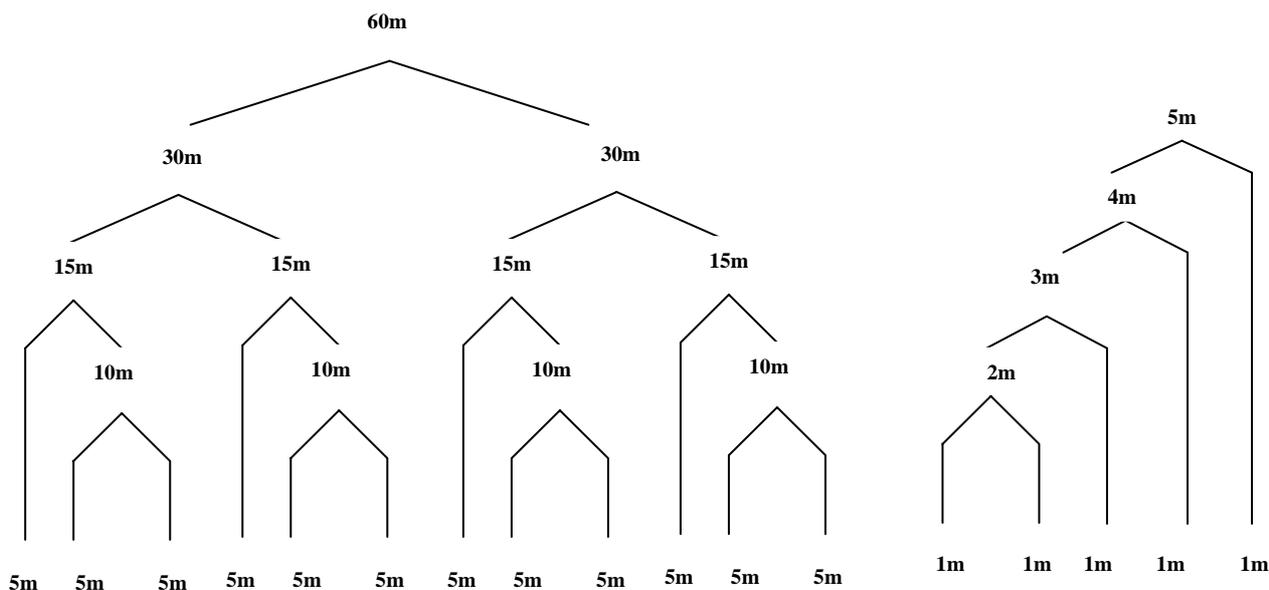


Figura 62a. Struttura correlativa della scala sessagesimale dell'ora fino a 5 minuti

Figura 62b. Struttura correlativa della scala sessagesimale dell'ora relativa ai cinque minuti

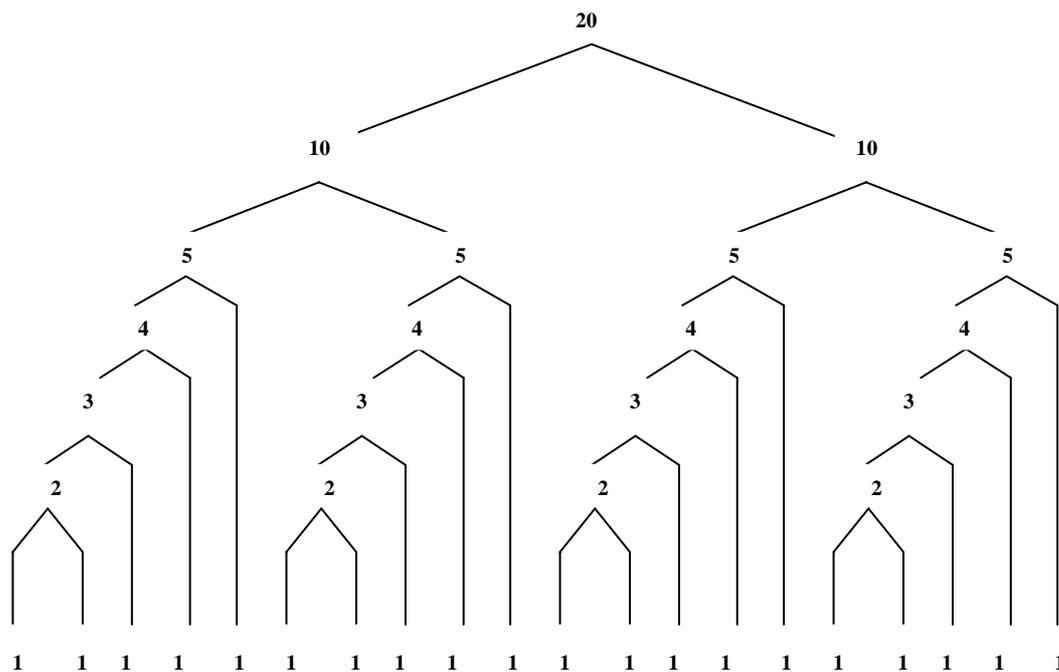


Figura 63. Struttura correlativa della scala decimale da 1 a 20

Anche il ritmo musicale, dei passi di danza, ecc. ha una struttura correlativa. Nelle Figure 64a, e 64b sono rappresentati i ritmi di 3/4 e 4/4 (f = forte, p = piano, mf = mezzo forte).

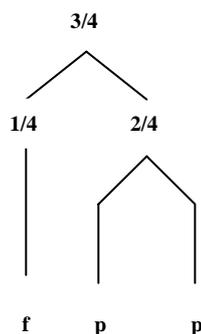


Figura 64a. Struttura correlativa del ritmo 3/4

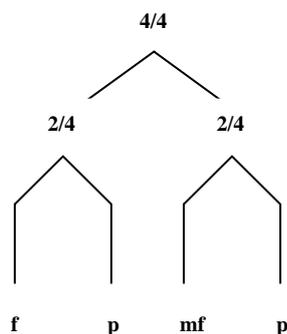


Figura 64b. Struttura correlativa del ritmo 4/4

6. Il linguaggio

6.1 I due lessici: fonologico e ortografico

Nell'ambito del linguaggio operano i due sistemi, ventrale e dorsale. Il sistema ventrale (semantico-concettuale) è preposto al riconoscimento ed al recupero delle sintesi cognitive. Il sistema dorsale è preposto ai movimenti, al riconoscimento ed al recupero delle relazioni, associazioni e interrelazioni spaziali e temporali. Il sistema dorsale, a sua volta, è ripartito in due componenti: la prima concerne la memoria percettiva delle strutture spazio/temporali degli "elementi" che entrano a far parte del circuito; la seconda componente è funzionale. Essa organizza i movimenti sulla base delle strutture memorizzate. Sede della memoria percettiva del sistema dorsale è la corteccia parietale; sede della memoria funzionale del sistema dorsale è la corteccia premotoria.

Anche il sistema ventrale è ripartito in due componenti: la prima si occupa della memoria percettiva della "strutture cognitive" che consentono il riconoscimento e l'attribuzione di un significato; la seconda componente è funzionale. Essa recupera e modifica (con l'intervento del sistema dorsale) le strutture cognitive percettive per elaborare i significati. Sede della memoria percettiva del "sistema ventrale" sono la corteccia temporale superiore (per quanto riguarda il lessico fonologico) e la corteccia temporale inferiore (relativamente al lessico ortografico); sede della memoria funzionale del "sistema ventrale" è la corteccia prefrontale.

Il lessico del linguaggio può essere “fonologico” (linguaggio orale) e ortografico (linguaggio scritto). Nella Figura 65 sono illustrate le due vie (dorsale e ventrale del lessico fonologico e le loro funzioni.

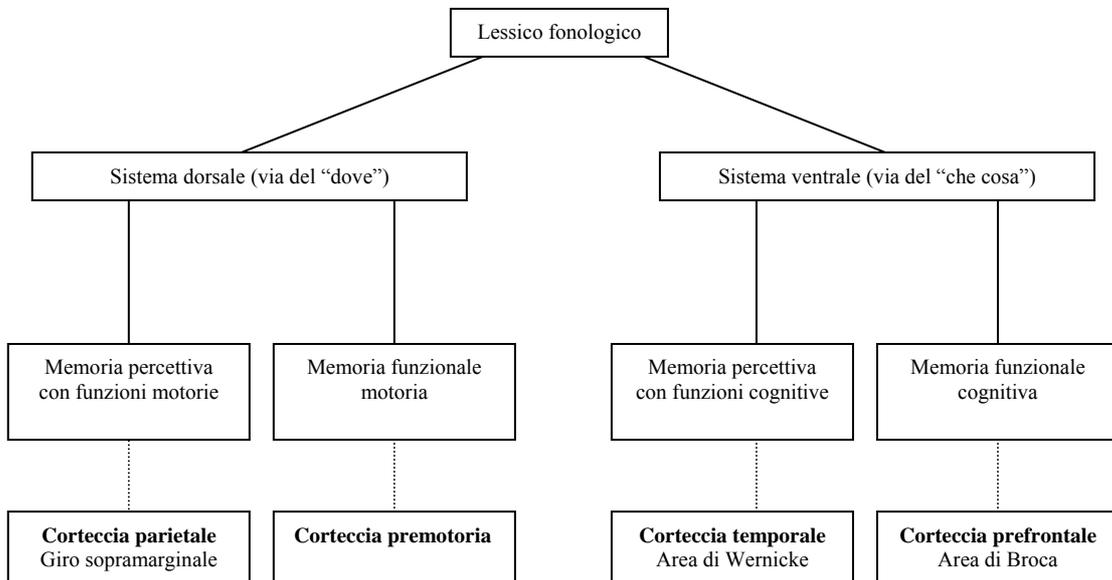


Figura 65. Il lessico fonologico ripartito in due sistemi e in quattro tipologie di memoria

Come già detto, anche il lessico ortografico (lettura, scrittura, ecc.) è ripartito in due sistemi: dorsale e ventrale. Ciascuno di questi è organizzato con due tipologie di memoria: percettiva e funzionale (Figura 66).

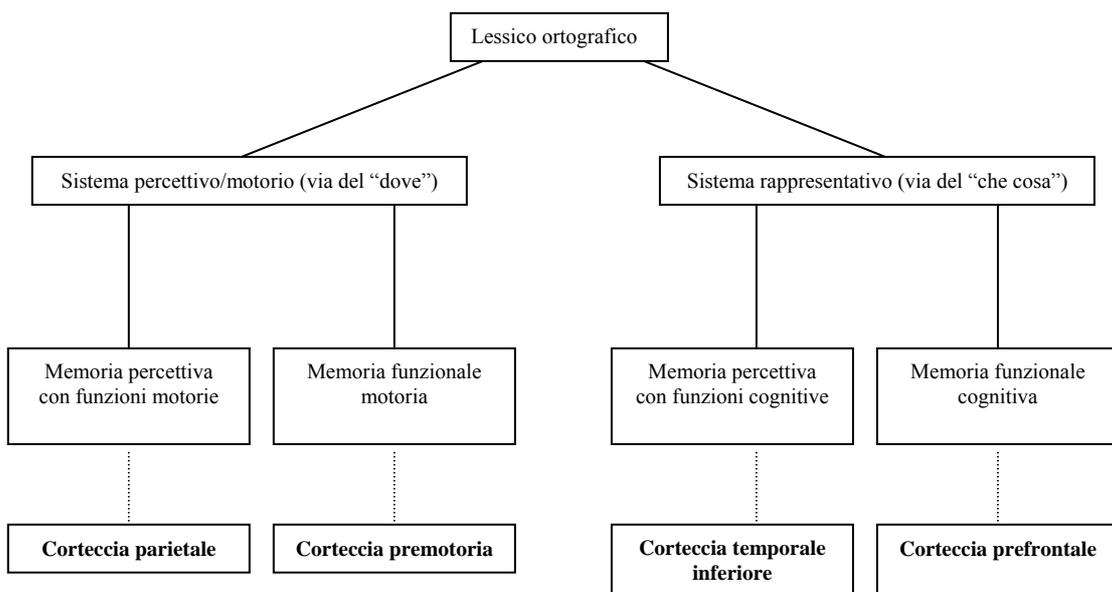


Figura 66. Il lessico ortografico ripartito in due sistemi e in quattro tipologie di memoria

6.2 Articolazione dei suoni e scrittura

Alla base del linguaggio, c'è la capacità di articolare i suoni. Tale capacità s'impara ascoltando i suoni prodotti da consimili. Dopo la percezione/riconoscimento di un suono, per esempio "a", il soggetto impara ad interiorizzare quest'esperienza, rievocando il suono ascoltato. Per fare ciò, il sistema ventrale del circuito cognitivo impara ad ipotizzare il suono (che ha già sentito) ed a verificarlo, dopo la rappresentazione mentale del sistema dorsale. Quest'ultimo sistema inoltre ipotizza e verifica la fonte sonora costituita dalla persona che ha pronunciato il suono (Figura 67).

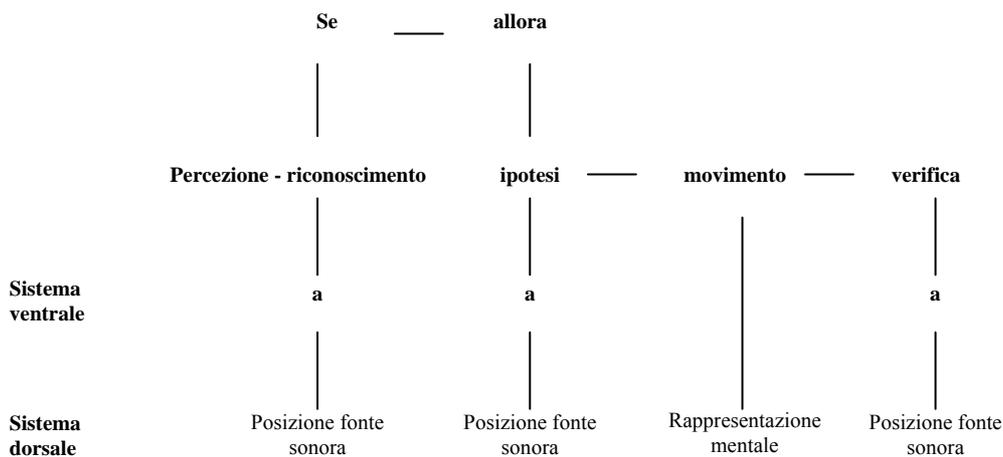


Figura 67. Interiorizzazione del suono attraverso la rappresentazione mentale

Il passo successivo è quello di articolare il suono interiorizzato (cioè che si riesce a rappresentare mentalmente e che si riconosce all'ascolto). Indichiamo la fonoarticolazione con un rettangolo grigio. In questa circostanza il sistema dorsale oltre ad effettuare la fonoarticolazione ipotizza la posizione della sorgente sonora negli organi fonoarticolatori (Figura 68).

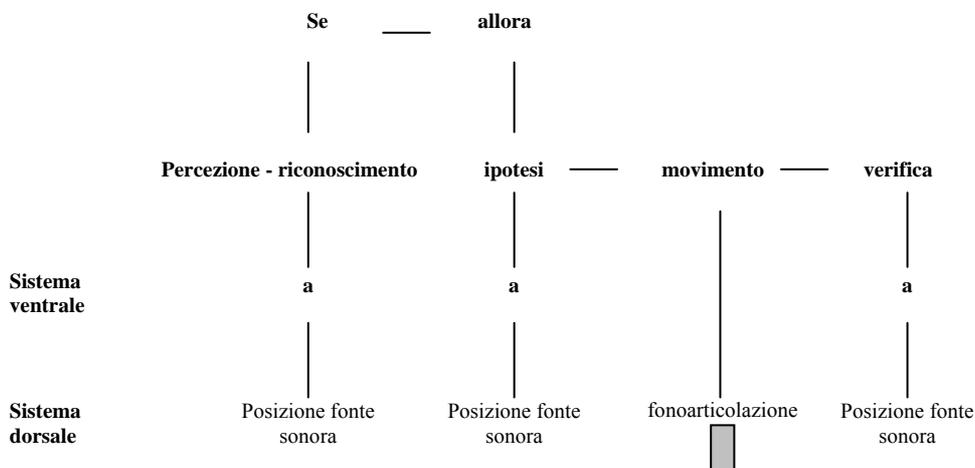


Figura 68. Fonoarticolazione dopo riconoscimento

Con i due semplici circuiti delle Figure 67 e 68, la mente impara, con il sistema ventrale, a recuperare (ipotesi) il suono ed a verificarlo (la verifica altro non è che la percezione - riconoscimento); col sistema dorsale impara ad articolare il suono e a rappresentarlo mentalmente.

Un analogo circuito visivo, consente alla mente di recuperare e verificare un “grafema”. Se il soggetto non sa scrivere, il sistema dorsale, interviene solo con la rappresentazione mentale. Nel caso in cui ha imparato a scrivere, si hanno due circuiti, uno per la rappresentazione mentale ed uno per la scrittura. Nella Figura 69, la “sottolineatura” differenzia la vocale scritta rispetto a quella orale.

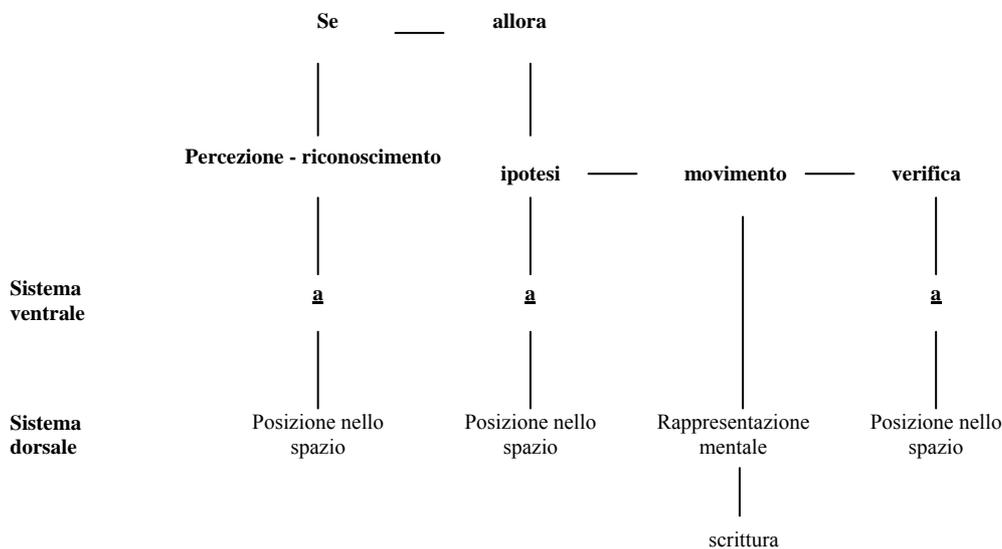


Figura 69. Interiorizzazione, attraverso rappresentazione mentale e scrittura, di un grafema

6.3 Passaggio dal lessico ortografico al lessico fonologico

Il processo che consente di passare automaticamente dalla percezione della “a” al recupero della “a”, si realizza per gradi. Dapprima i due circuiti lavorano autonomamente. Se si guarda la “a” e successivamente si ascolta il suono “a”, il circuito del lessico scritto, dopo la percezione della “a” attiva automaticamente l’ipotesi e la rappresentazione mentale della “a”; mentre la susseguente percezione del suono “a” attiva automaticamente l’ipotesi e la fonoarticolazione con la rappresentazione mentale dello stesso suono. In un secondo momento si realizza il passaggio da una percezione all’altra (Figura70).

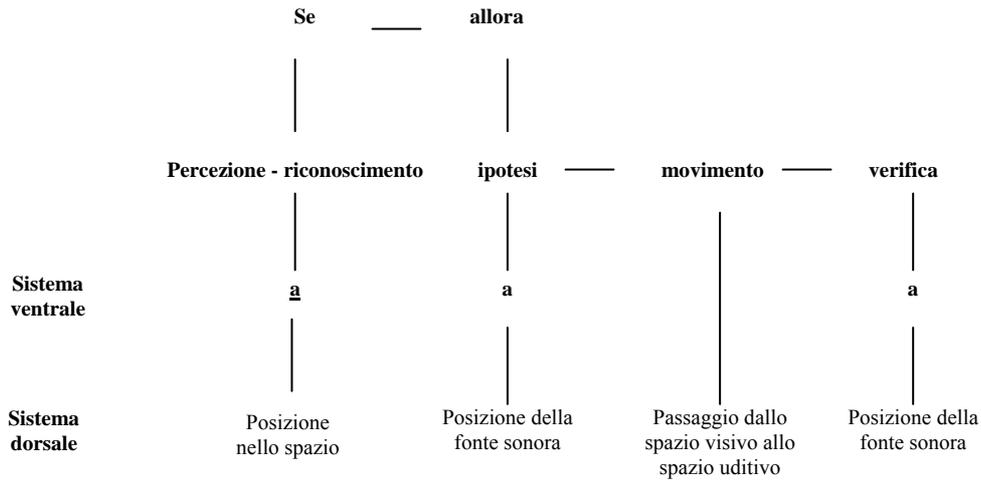


Figura 70. Passaggio da una percezione visiva ad una percezione sonora

Questo circuito consente al sistema ventrale di associare una percezione visiva con un'ipotesi uditiva. Nella corteccia temporale è memorizzata l'associazione ("a" – "a"), realizzata da questo circuito. Dopo quest'apprendimento, non è più necessario il passaggio dorsale da uno spazio all'altro. Nella corteccia temporale, infatti, la percezione–riconoscimento della "a" attiva direttamente l'ipotesi "a" ed il sistema dorsale si può occupare della rappresentazione mentale oppure della fonarticolazione. Abbiamo i due seguenti circuiti della Figura 71.

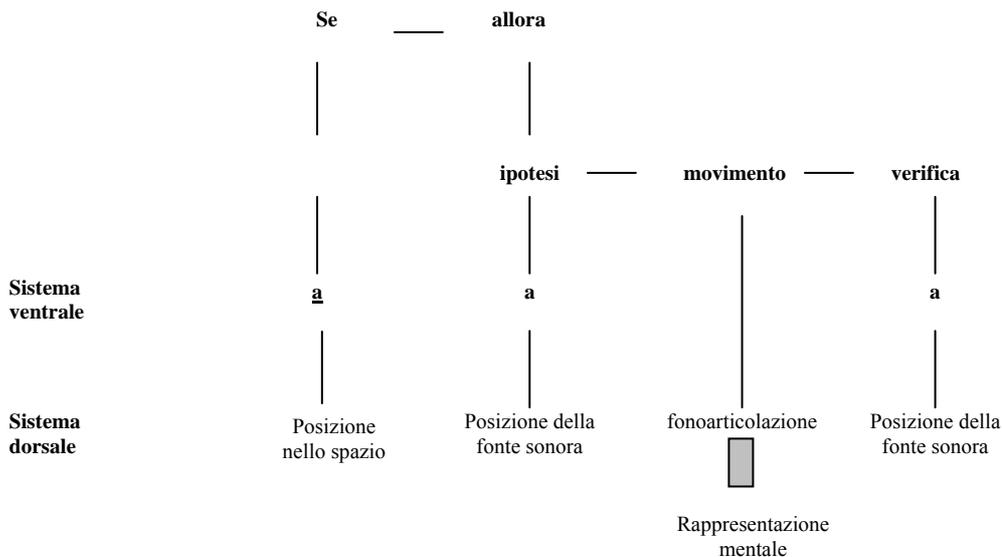


Figura 71. Rappresentazione mentale sonora e fonarticolazione dopo percezione visiva

6.4 Alessia occipitale e transcodificazione

Consideriamo una patologia del sistema ventrale, cioè l'alessia occipitale. Si tratta di una patologia, detta anche "alessia pura". Non si accompagna, infatti, ad altri disturbi afasici. I pazienti affetti da "alessia occipitale" possono presentare da un'incapacità totale ad identificare singole lettere e parole, ad una difficoltà di lettura ad alta voce e comprensione di parole mentre riescono a denominare spesso le lettere che le compongono. In genere, la lettura di cifre è conservata come pure la lettura per via somatoestesica. In tali casi la scrittura sia spontanea che su dettato è generalmente mantenuta. Particolarmente difficili appaiono in questi pazienti le operazioni di transcodificazione (passaggio dallo stampato al corsivo o dal maiuscolo al minuscolo) (Denes, Cipollotti, Zorzi, 1996).

Il processo di transcodificazione richiede la memoria associativa tra grafemi. Tale memoria associativa si forma, quando, a scuola, s'impara a passare da un grafema all'altro, percependo il primo grafema e rappresentandosi mentalmente il secondo, oppure scrivendo quest'ultimo (Figura 72). I due grafemi "a" (sottolineato) ed "A" (sottolineato) si associano nell'area occipito/temporale preposta al riconoscimento-recupero (o ipotesi). La percezione dell'uno (o dell'altro) attiva automaticamente la memoria associativa che consente l'immediata scrittura o rappresentazione mentale del secondo. È quindi plausibile che uno dei disturbi dell'alessia occipitale sia dovuto al danneggiamento del circuito di transcodificazione.

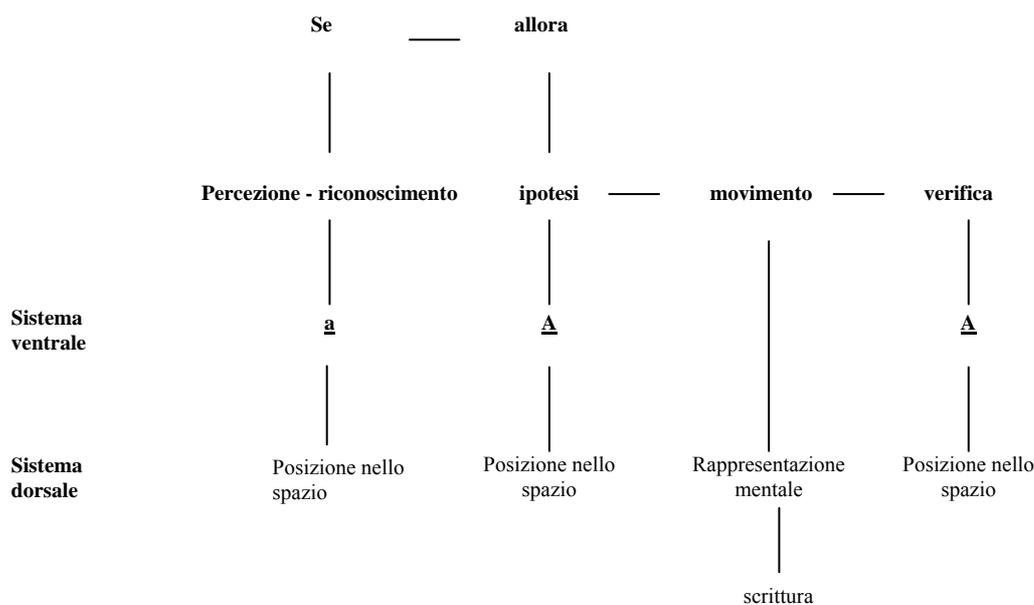


Figura 72. Transcodificazione minuscolo-maiuscolo

6.5 Sintesi percettiva e cognitiva

Più complesso è il discorso relativo alla lettura di una sillaba. Affinché tale lettura sia possibile, la mente deve attivare due sintesi percettive, una visiva, una uditiva, nonché l'unione di due articolazioni tramite la coarticolazione. Quando percepiamo, col sistema visivo, la sillaba “ca”, il circuito visivo con una singola fissazione la riconosce. Ciò accade perché in precedenza il circuito visivo ha percepito, riconosciuto ed anticipato alternativamente la “ca”, la “c” e la “a”. Ad ogni passaggio, nella corteccia temporale si generano associazioni, relazioni e interrelazioni di “concetti”, nella corteccia parietale si generano analoghe strutture relative agli spazi. Semplifichiamo il circuito utilizzando solo i termini ipotesi, movimento, verifica e ricordando che l'ipotesi corrisponde all'anticipazione ed al recupero, mentre la verifica corrisponde al “se” ed alla “percezione/riconoscimento”. Supponiamo di percepire visivamente, la sillaba “pa” e di passare alla lettera “p”, successivamente di passare dalla “pa” alla “a”. La Figura 73 illustra l'attività del circuito percettivo – motorio visivo.

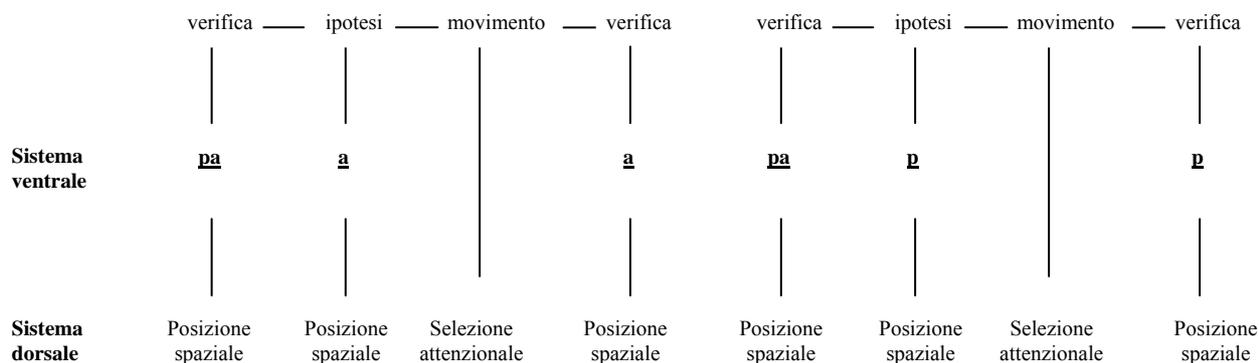


Figura 73. Passaggio dalla “pa” alla “a” e dalla “pa” alla “p”.

Il reiterarsi di questi passaggi genera una relazione “sillaba”-“lettere” nella corteccia temporale ed una “relazione” spaziale tra la posizione della “p” e della “a” rispetto a “pa”. In altre parole la mente impara, dopo la percezione della “pa” (interrelazione), a passare automaticamente allo spazio “p” ed allo spazio “a”, nonché di passare dalla sillaba a ciascuna delle due lettere. L'attivazione automatica delle due lettere dopo la percezione ed il riconoscimento della sillaba “pa”, è quello che noi chiamiamo “sintesi percettiva”. La sintesi percettiva consente di avere una percezione ed un riconoscimento conscio della sillaba accompagnato da una percezione ed un riconoscimento inconscio delle due lettere.

Quanto abbiamo detto relativamente al lessico scritto, vale anche per il lessico orale. Alla percezione del suono “pa” (interrelazione), si attiva automaticamente il riconoscimento inconscio del suono “p” e del suono “a”. Questo processo si può realizzare anche attraverso la rappresentazione mentale; in questa circostanza dobbiamo parlare di “sintesi mnestica”, poiché è assente l’attività percettiva.

Più in generale, con il termine di “sintesi cognitiva” intendiamo un processo che consente attraverso una singola fissazione percettiva o una rappresentazione mentale rendere cosciente un oggetto complesso con l’attivazione inconscia delle componenti.

6.6 Coarticolazione

Quando parliamo, i singoli foni prodotti dal sistema fonoarticolatorio si legano l’uno all’altro attraverso la coarticolazione. La coarticolazione è un meccanismo basato sull’“anticipazione” del “fono” successivo a quello già prodotto. Il processo di “anticipazione” è un processo circuitale. Ciò vuol dire che il sistema ventrale partendo dal fono prodotto anticipa quello che segue e su questa base il sistema dorsale effettua la coarticolazione.

Al fine di chiarire in che modo il sistema dorsale realizza le coarticolazioni facciamo alcuni esempi. Consideriamo la sillaba “por”. Supponiamo che un bambino stia imparando a parlare e che riesca a produrre separatamente i suoni “p”, “o”, ed “r”(per semplificare il discorso tralasciamo di occuparci della struttura complessa del singolo “fono”). La produzione di un singolo suono comporta l’attivazione del circuito cognitivo che anticipa il fono e lo verifica dopo che è stato prodotto. Indicando con un rettangolo l’articolazione del suono da parte del sistema fonoarticolatorio, la Figura 74 mostra il processo circuitale durante la pronuncia in successione dei due suoni “o” ed “r”.

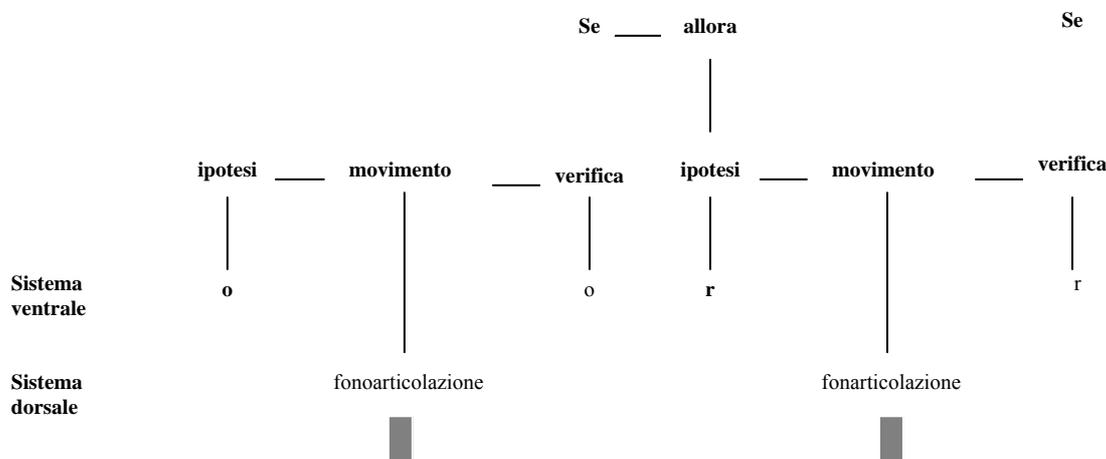


Figura. 74. Produzione dei suoni “o” ed “r” in successione

Il sistema ventrale, che coinvolge la corteccia prefrontale (area di Broca) e la corteccia temporale superiore (area di Wernicke), realizza l'ipotesi cognitiva relativa all'anticipazione ed alla verifica dei singoli foni "p" ed "o". L'attività del sistema dorsale che fa capo alla corteccia premotoria ed alla corteccia parietale è quella di organizzare ed eseguire l'articolazione complessiva del "fono". Istante per istante il sistema ipotizza e verifica la posizione reciproca degli organi fonatori durante l'emissione del suono (Figura 75).

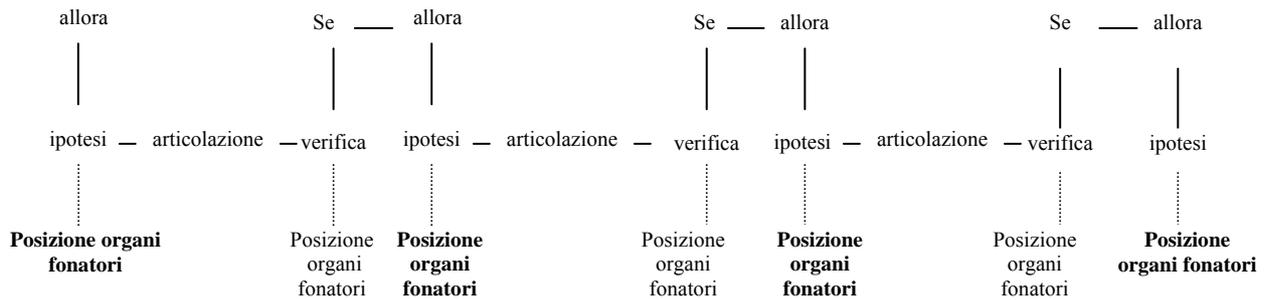


Figura. 75. Circuito correlativo logico-cognitivo

Con l'esercizio i due suoni si uniscono formando una "sintesi cognitiva" a livello del sistema ventrale ed una "coarticolazione" a livello dorsale. Indicando la "coarticolazione" con un trattino, possiamo rappresentare il processo di produzione del suono come nella Figura 76.

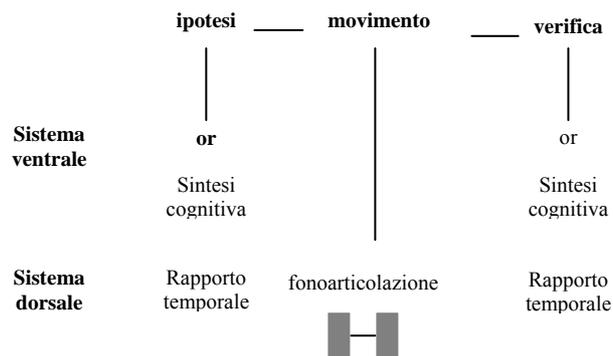


Figura. 76. Produzione del suono "or"

Il "rapporto temporale", memorizzato come memoria percettiva nella corteccia parietale e come memoria motoria nella corteccia premotoria, concerne i due foni "o" ed "r". In modo analogo si memorizza la sintesi cognitiva e il movimento articolatorio di "por".

La struttura sillabica, costituita da tre elementi “onset”, “nucleo” e “coda”, dove il “nucleo” e la “coda” sono legati e formano la “rima”, indica il modo con cui il circuito dorsale procede alla coarticolazione. Dapprima si legano “nucleo” e “coda”, successivamente avviene il legame con l’“onset”.

Per costruire l’articolazione di una parola il circuito dorsale costruisce dapprima le coarticolazioni interne alle sillabe, successivamente le coarticolazioni delle sillabe. Se la parola è polisillabica le coarticolazioni procedono in modo inverso alla pronuncia. La coarticolazione di una parola a tre sillabe, per esempio “partenza”, avviene legando la seconda sillaba con la terza, quindi la prima con le altre due (Figura 77).

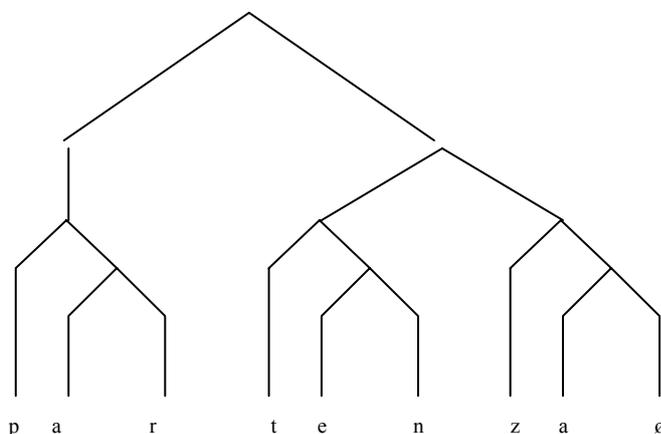


Figura 77. Struttura di coarticolazione della parola “partenza”

In seguito alle sintesi cognitive ed alle coarticolazioni, i due sistemi dorsale e ventrale possono recuperare anticipando, produrre e verificare, con specifici circuiti, i seguenti suoni della parola “partenza”: p, a, r, t, e, n, z, a, ar, par, en, ten, za, tenza, partenza. Durante l’eloquio questo circuito cognitivo–motorio recupera, con la corteccia prefrontale, nella memoria percettiva temporale, la “sintesi cognitiva di “sillabe, “parole” e “frasi”, che sono articolate dal sistema dorsale.

Lesioni estese all’area di Wernicke sono devastanti per il linguaggio poiché si danneggia la “struttura di relazioni, interrelazioni ed associazioni” (sintesi cognitiva) di foni, sillabe, parole e frasi. Senza queste strutture è impossibile qualsiasi forma di eloquio (eloquio spontaneo, lettura, ripetizione, ecc). Inoltre, poiché la sintesi cognitiva è funzionale al riconoscimento, tali pazienti non capiscono ciò che è loro detto. Lesioni all’area di Broca generano problemi soprattutto nel settore della produzione piuttosto che in quello della comprensione.

6.7 Lettura

Quando si è imparato a realizzare sintesi cognitive relative al lessico ortografico e al lessico fonologico, nonché coarticolazioni di suoni prodotti dall'apparato fonoarticolatorio, è possibile leggere non solo lettera per lettera, ma sillaba per sillaba e parola per parola. La lettura sillaba per sillaba è chiamata “lettura sublessicale” e si differenzia dalla lettura parola per parola, chiamata “lettura lessicale”.

I circuiti relativi alla lettura si caratterizzano per l'associazione dei due lessici, scritto ed orale, che avvengono a livello del recupero (ipotesi). Tale associazione può realizzarsi con lettere, sillabe, parole e frasi. Nella Figura 78, l'associazione concerne la parola “cane” nel lessico scritto e la stessa parola nel lessico orale.

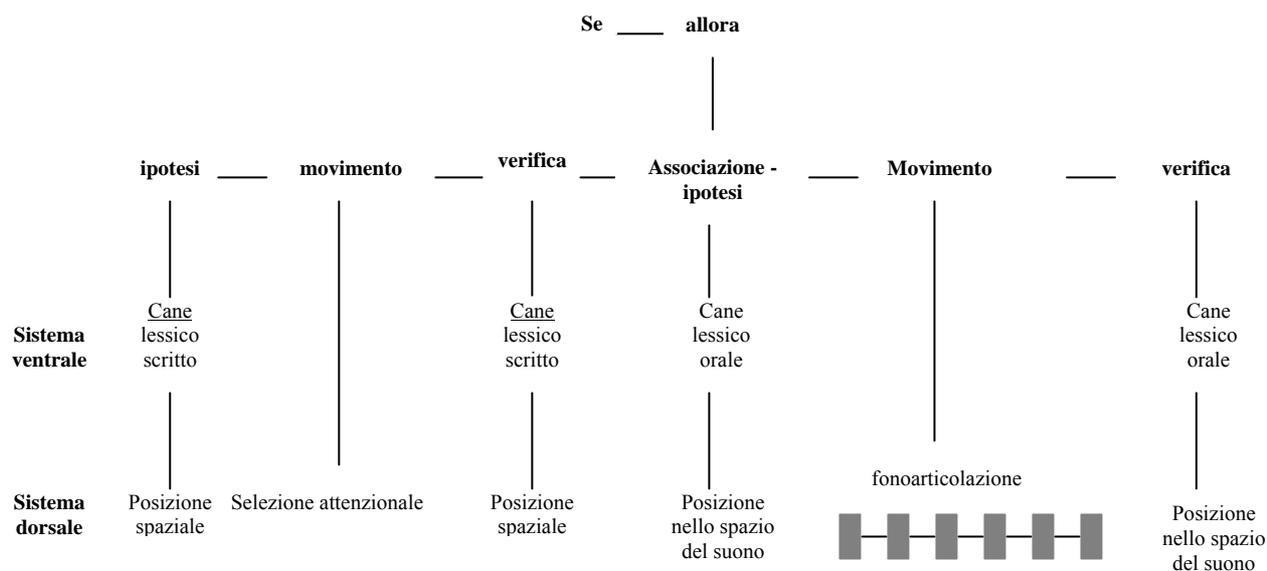


Figura. 78. Lettura della parola “cane”

Sono stati riconosciuti tre tipi di lettura: lettura lettera per lettera, lettura sublessicale, lettura lessicale. L'utilizzo dell'uno o dell'altro dipende in prima istanza dal sistema ventrale che ipotizza il “che cosa” sarà percepito e riconosciuto dal sistema visivo. Sulla base di quest'ipotesi interviene il sistema dorsale percettivo visivo. Questo sistema agisce nel contesto spazio/temporale in cui è collocato il libro che stiamo leggendo, la pagina del libro, il rigo, la parola, le sillabe e le lettere. Spostando l'attenzione percettiva, il sistema dorsale può selezionare una singola lettera, una sillaba,

una parola. Supponiamo di osservare lo scritto “rana”. I movimenti oculari, che spostano l’attenzione sull’intera parola oppure sulle due sillabe o su ciascuna delle quattro lettere, dipendono dalla struttura correlativa premotoria/parietale della Figura 79.

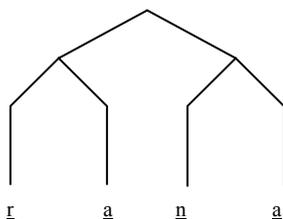


Figura 79. Struttura correlativa del sistema dorsale nella lettura della parola “rana”

Questa figura rappresenta i possibili passaggi selettivi che il circuito dorsale può realizzare durante la lettura della parola “rana”, delle sue sillabe e delle lettere che la compongono. Il sistema dorsale può staccare dallo sfondo le seguenti figure della corteccia visiva primaria: “r”, “a”, “n”, “a”, “ra”, “na”, “rana”. La figura “an”, non è selezionata perché non costituisce una sillaba di questa parola.

Il riconoscimento e l’ipotesi relativa al “che cosa” sono realizzati dal sistema ventrale. Il riconoscimento visivo di una lettera, una sillaba o di una parola avviene allo stesso modo, con l’intervento del circuito ventrale che ipotizza e verifica. C’è da dire, però, che il riconoscimento di una parola è facilitato dalla memoria semantico/concettuale cui la parola è associata. Diverso è il discorso per quanto riguarda il passaggio dal lessico scritto al lessico orale. Esso può avvenire per sintesi cognitiva oppure per rapporti spazio/temporali. Supponiamo di leggere la parola irregolare inglese “come” pronuncia “kam”. Il sistema ventrale percepisce e riconosce “come” attivando automaticamente il suono “kam” memorizzato nella corteccia temporale che è l’ipotesi cognitiva su cui lavora il sistema dorsale che produce la fonoarticolazione “kam” (Figura 80).

Nel caso in cui leggiamo la parola regolare “go” (che si pronuncia come si scrive: “go”), c’è una perfetta corrispondenza tra le lettere ed i suoni. Questo rende importanti l’ordine spaziale dei grafemi del lessico scritto e l’ordine temporale dei fonemi del lessico orale. La memoria di quest’ordine è codificata nella corteccia parietale. Poiché la pronuncia dipende dalla struttura fonologica della sillaba, la corrispondenza tra l’ordine spaziale dei grafemi e l’ordine temporale dei fonemi avviene su base sillabica. Il circuito cognitivo, preposto alla lettura, agisce, passando dallo scritto all’orale sulle sillabe. La lettura è quindi sillabica o sublessicale. Nella Figura 81 non è

inserita la percezione, l'ipotesi e la verifica della posizione del suono nello spazio realizzata dal sistema dorsale. Essa, comunque, avviene, anche se in modo automatico.

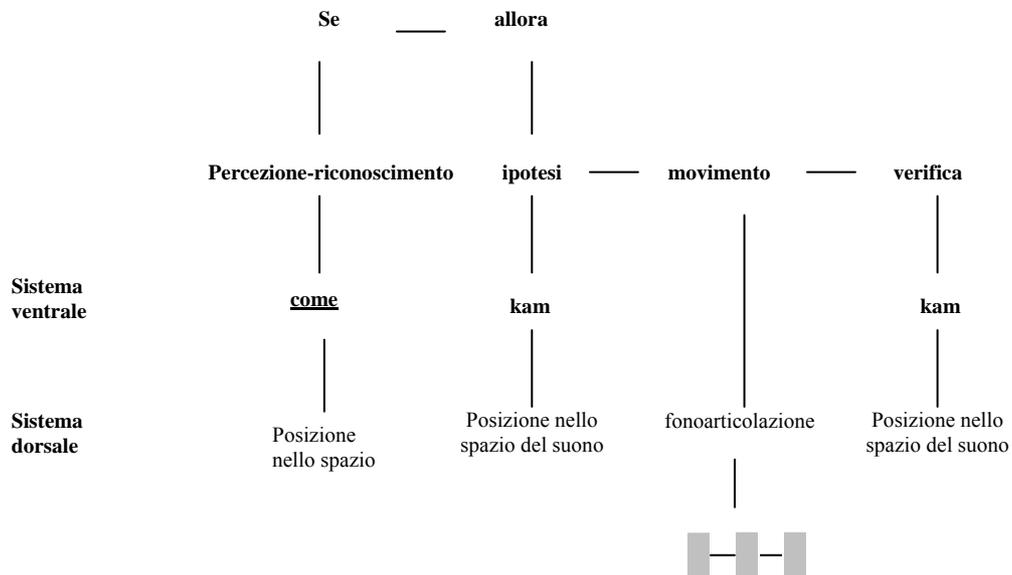


Figura 80. Lettura della parola "come"

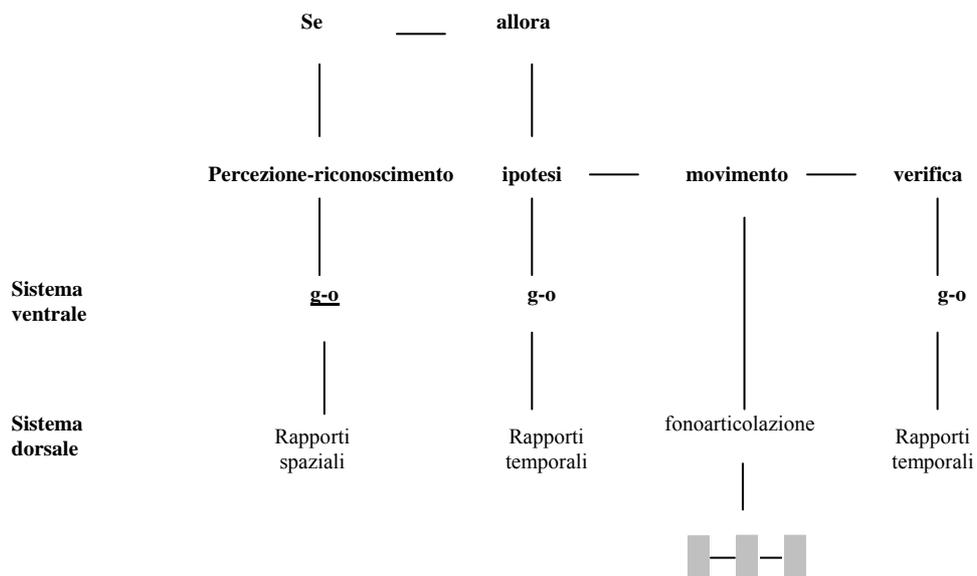


Figura 81. Lettura della parola "go"

Nel processo di lettura sono importanti le associazioni che collegano la percezione-riconoscimento dello scritto e l'ipotesi del suono. Tali associazioni codificate dall'esperienza consentono l'attivazione automatica dell'ipotesi orale, dopo il riconoscimento dello scritto. Le associazioni possono riguardare il sistema ventrale e il sistema dorsale.

Nella lettura lessicale, l'associazione ventrale è fondamentale. Il sistema ventrale ipotizza l'intera parola e la fonarticolazione del sistema dorsale dipende dall'ipotesi ventrale.

Nella lettura sublessicale il sistema ventrale effettua le sue ipotesi cognitive, ad esse si aggiungono i rapporti associativi che si instaurano tra il riconoscimento delle relazioni spaziali e l'ipotesi sulle relazioni temporali.

In altre parole, nella lettura lessicale il sistema dorsale anticipa la fonarticolazione della parola da pronunciare sulla base dell'ipotesi ventrale; nella lettura sublessicale il sistema dorsale anticipa la fonarticolazione anche sulla base dei rapporti temporali ipotizzati.

Nella lettura lessicale, ad ogni parola del lessico scritto, deve essere associata un'analogia parola del lessico orale. Nella lettura sublessicale è memorizzata una regola che consente il passaggio da una serie di lettere ordinate nello spazio ad una serie di suoni, ordinati nel tempo. La lettura lessicale sovraccarica la memoria ventrale, la lettura sublessicale sovraccarica la memoria dorsale.

6.8 Spelling

Un'altra attività mentale che richiede l'intervento della memoria dorsale è lo spelling. Lo spelling, molto utilizzato da studenti di lingua inglese, consiste nel ripetere, lettera per lettera, una parola ascoltata nella sua interezza. Lo spelling è importante per le persone che parlano e scrivono in inglese, perché, in questa lingua, molte parole sono irregolari e non si leggono così come sono scritte. Non si può scrivere sotto dettatura senza essere in grado di fare lo spelling delle parole. Lo spelling è realizzato dalla mente attraverso due distinte procedure, a seconda se la parola di cui si richiede lo spelling è regolare o irregolare. Se la parola è regolare, lo spelling è realizzato sulla rappresentazione mentale del lessico fonologico (spelling per mezzo del suono). Nella circostanza in cui la parola è irregolare, lo spelling avviene sul lessico ortografico (spelling basato sul vocabolario). Se si ascolta la parola irregolare "said" (pronuncia sed), la mente recupera la rappresentazione ortografica (said), quindi procede a "leggere" nella propria mente lettera per lettera. Nel caso in cui si ascolta la parola "go", che si pronuncia come si scrive, lo spelling avviene sul lessico fonologico (la rappresentazione mentale fonologica della parola). Per realizzare lo spelling basato sul vocabolario occorre passare dall'intera parola scritta a ciascuna singola lettera. Questa serie di passaggi circuitali è possibile solo se si ha in memoria la posizione spaziale delle

lettere che compongono la parola. Per realizzare lo spelling per mezzo del suono, occorre passare dall'intera parola ascoltata alla posizione nel tempo di ciascun fono. Questa serie di passaggi circuitali è possibile solo se si ha in memoria la posizione nel tempo dei fonemi che compongono la parola. Roeltgen e Heilman (1984) descrissero quattro pazienti che realizzavano lo spelling utilizzando le corrispondenze suono-spelling, che avevano, quindi, difficoltà ad utilizzare la rappresentazione mentale ortografica. Essi avevano lesioni che coinvolgevano una piccola area a livello della giunzione tra il giro angolare posteriore ed il lobulo parieto-occipitale. Nel caso di pazienti che eseguono lo spelling basandosi esclusivamente sulla rappresentazione mentale ortografica, le regioni coinvolte sembrano regioni parietali vicine al giro sopramarginale (Roeltgen e Heilman, 1984).

6.9 Alessia con agrafia

Ritorniamo alla funzione del sistema dorsale che interagisce col lessico ortografico. Come già detto, tale sistema è quello che ci consente di spostare lo sguardo da una lettera all'altra, oppure da una sillaba all'altra o da una parola all'altra, per effettuare la decontestualizzazione. Questa serie di movimenti è possibile perché nella corteccia parietale sono memorizzate rapporti spaziali relative alle componenti di frasi, parole, sillabe e lettere. Per esempio il lessico ortografico della parola "mela" è memorizzato nella struttura illustrata nella Figura 82 (si tratta della consueta struttura già ripetuta più volte).

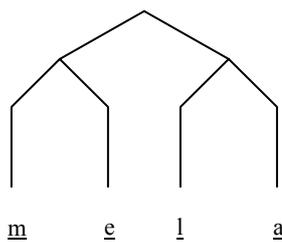


Figura 82. Struttura correlativa della parola "mela"

Tale struttura è utilizzata dal sistema dorsale per spostare lo sguardo lungo le lettere e le sillabe della parola. Quando scriviamo abbiamo bisogno di una struttura analoga. Infatti, per scrivere una parola dobbiamo conoscere la posizione reciproca delle lettere e delle sillabe. A mio avviso, le due

strutture, quella per la scrittura e quella per la lettura, pur essendo uguali non sono realizzate dalla stessa popolazione di neuroni, ma da due popolazioni diverse poste in aree limitrofe della corteccia. Comunque l'area dove sono memorizzate tali strutture del lessico ortografico ai fini motori (movimento oculare e movimento per la scrittura) è il giro angolare sinistro. Lesioni in quest'area danno luogo ad alessia (difficoltà di lettura) con agrafia (difficoltà di scrittura) (Déjerine, 1891).

6.10 Riconoscimento e Alessia frontale

C'è accordo tra gli studiosi nel ritenere che le aree posteriori siano sede della memoria percettiva e che lesioni in tali aree determinino problemi nel riconoscimento. In particolare, lesioni nelle aree posteriori del sistema dorsale (corteccia parietale) possono causare agnosia appercettiva; lesioni nelle aree posteriori del sistema ventrale (corteccia temporale) possono dare origine all'agnosia associativa (Lissauer, 1890). L'agnosia appercettiva, in generale, si può ricondurre a deficit nelle relazioni spazio/temporali che un oggetto ha con altri oggetti presenti sulla scena (l'oggetto inserito in uno specifico contesto spazio/temporale). L'agnosia associativa si può ricondurre a deficit nelle relazioni semantico-concettuali. L'agnosia appercettiva è agnosia delle figure così come ci appaiono o ce le rappresentiamo mentalmente. L'agnosia associativa è agnosia di figure staccate (dopo la separazione dallo sfondo) dal contesto spazio/temporale. Se, per esempio, vogliamo riconoscere la grandezza di un animale rispetto ad un altro animale, dobbiamo rappresentarci mentalmente le due figure inserite nel contesto spazio/temporale che ci consente il "confronto". Per realizzare il confronto devo sapere "che cosa" sono il primo ed il secondo animale di cui mi si chiede la grandezza relativa. Prima di realizzare il confronto, quindi, attivo il sistema ventrale che "conosce" gli animali, successivamente il sistema dorsale realizza il confronto tra due animali che mi rappresento mentalmente. Se ci si chiede di riconoscere una figura percepita da prospettive insolite, il riconoscimento è possibile solo se col sistema dorsale facciamo ruotare la figura nel contesto spazio/temporale in cui si trova.

L'attivazione del sistema ventrale e del sistema dorsale in processi di output comporta gli interventi delle aree anteriori di tali sistemi. Per ruotare l'immagine, infatti, occorre la corteccia premotoria. Ciò significa che problemi di riconoscimento si possono avere anche dopo lesioni anteriori. Gli studiosi, di solito, pur in presenza di difficoltà nel riconoscimento da parte di pazienti con lesioni anteriori, ricercano aree posteriori coinvolte nella lesione, cui attribuire le difficoltà di riconoscimento. Interessante, a tal proposito è l'alessia frontale o "third alexia". Si manifesta con difficoltà nella lettura associata a incomprensione del linguaggio scritto. Essa è presente in un considerevole numero di afasici di "Broca", con lesioni, quindi, anteriori. Lichtheim (1885) ipotizzò

che l'alexia negli afasici di Broca fosse dovuta ad una seconda lesione nel "giro angolare" (corteccia parietale). Studi più recenti mostrano, invece, che la "third alexia" si può riscontrare in pazienti con "sole" lesioni anteriori (Boccardi, Buzzone e Vignolo, 1984). La difficoltà di denominare le lettere nei pazienti con "third alexia", si può ricondurre al fatto che nelle aree posteriori del sistema ventrale sono memorizzate strutture associative, di relazione e di interrelazione di figure decontestualizzate, non singole figure. Una singola figura, come una lettera, può essere riconosciuta solo per le strutture all'interno delle quali si inserisce. In questa circostanza il riconoscimento è difficile. Supponiamo di leggere con singola fissazione la parola "mare". La separazione figura-sfondo (decontestualizzazione) di tale figura attiva nella corteccia temporale le strutture associative tra le lettere e tra le sillabe, di relazione oggetto/componente, di interrelazione. Se, invece, leggiamo la sola lettera "r", la separazione figura-sfondo attiva strutture nelle quali la lettera è una componente (Figura 83).

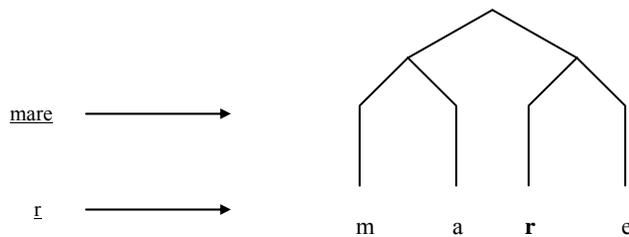


Figura 83. Percezione di una parola e di una lettera con attivazione delle strutture posteriori

Al fine del riconoscimento della singola lettera, non bastano le strutture posteriori ventrali, ma si rende necessario l'intervento di circuiti cognitivi che possono agire in svariati modi. Con tali circuiti si può realizzare la rappresentazione mentale della lettera; si può recuperare la lettera ricavandola da una parola, ecc. Lesioni anteriori possono impedire l'attivazione circuitale adeguata al riconoscimento, che non avviene.

A proposito dell'interessamento di aree anteriori nei processi di riconoscimento, ricordiamo lo studio di revisione di numerosi casi presenti in letteratura realizzato da Wheeler, Stuss e Tulving (1995). Essi hanno riscontrato che, nella maggior parte degli studi sul riconoscimento, pazienti frontali hanno fornito prestazioni peggiori rispetto ai controlli (soggetti senza lesioni).

6.11 Ripetizione

Ripetere parole, non-parole e frasi ascoltate è un processo piuttosto complesso. Questo processo ha inizio con l'attivazione del sistema ventrale che sceglie (anticipa) ciò che il sistema dorsale deve

scandire attentionalmente durante l'ascolto. Supponiamo di ascoltare la parola "gita". I suoni in ingresso possono essere scanditi dal sistema dorsale in due modi: "-gita-" e "-gi-ta-". Nel primo caso il sistema ventrale anticipa e riconosce il lessico fonologico "gita"; nel secondo caso, il sistema ventrale anticipa e riconosce le sillabe "gi", "ta". Realizzato il riconoscimento lessicale, ciascuna parola attiva le associazioni plurisensoriali inserendosi nel sistema semantico-concettuale. La parola gita, per esempio, può essere associata automaticamente ad un pullman con cui di recente si è andati a visitare un castello. La Figura 84 illustra il processo cognitivo realizzato dal circuito preposto alla ripetizione.

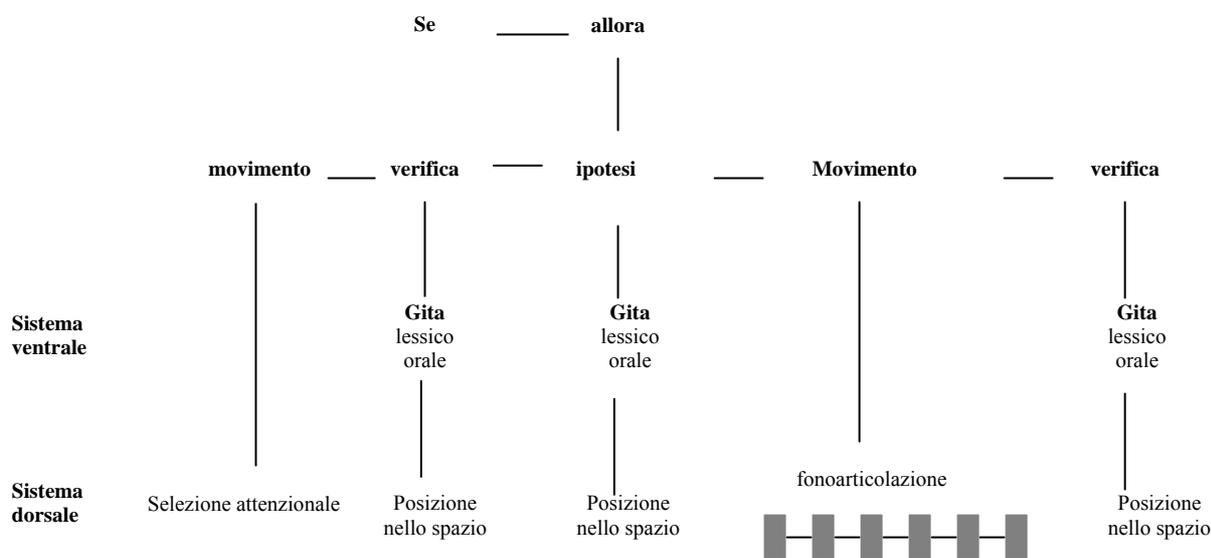


Figura. 84. Ripetizione della parola "gita"

La figura ci può aiutare a spiegare il comportamento di qualche paziente che presenta difficoltà selettiva nella ripetizione di non-parole (Caramazza, Miceli e Villa, 1986). Quando ripetiamo una "non-parola", infatti, la selezione attenzionale fraziona la non-parola in sillabe. Durante l'ascolto ciascuna sillaba, selezionata, è mantenuta in presenza dalla memoria di lavoro ventrale (che cosa) e parietale (rapporto temporale tra una sillaba e l'altra). Il movimento fonoarticolatorio si realizza su due ipotesi, una ventrale relativa alle sillabe che formano la parola e l'altra dorsale relativa al rapporto temporale delle stesse sillabe. Nella Figura 85 è rappresentato il circuito che consente la ripetizione della non-parola "catevo".

Spesso, anche nel ripetere "parole", invece della via lessicale, utilizziamo questa via sublessicale, efficace per le "non-parole". Rispetto alla ripetizione delle "non-parole", la via sublessicale per le "parole" è avvantaggiata dal fatto che nella corteccia parietale sono contenuti in

memoria i rapporti temporali delle sillabe, che formano una “parola”. Ciò semplifica l’agire della memoria di lavoro.

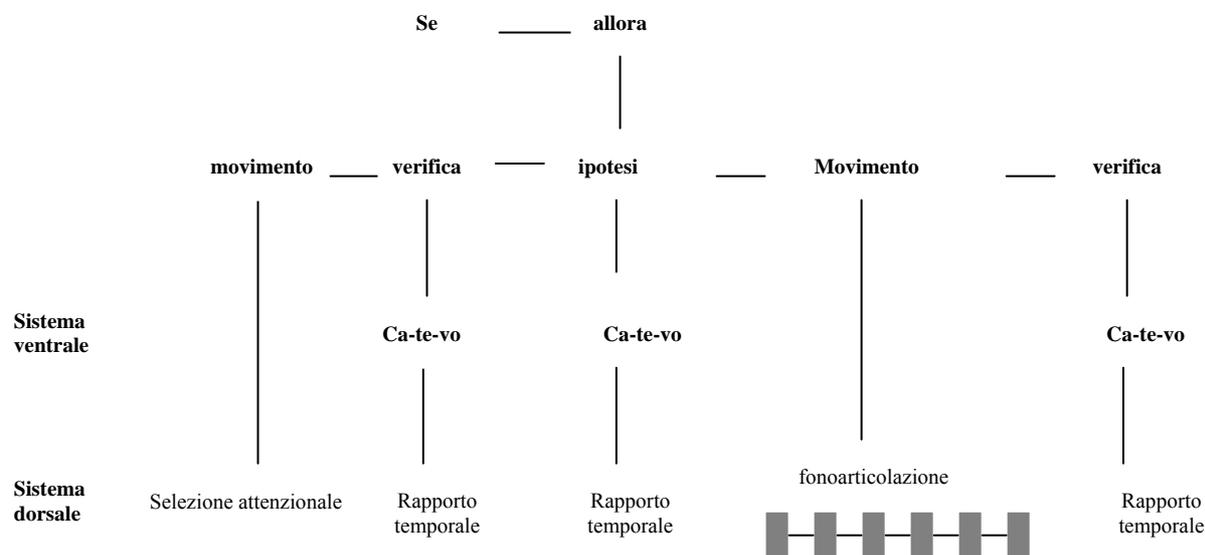


Figura 85. Circuito attivo nella ripetizione della non-parola “catevo”

Per quanto riguarda la ripetizione di frasi, ricordiamo che McCarthy e Warrington (1984) hanno mostrato, esaminando due pazienti, che la ripetizione può avvenire per via semantica e per via non-semantica. Alcuni afasici di conduzione mostrano di ripetere bene frasi ad alto contenuto semantico rispetto a frasi con contenuto semantico non trasparente come i clichés (È sordo come una campana). Al contrario un afasico transcorticale motorio era avvantaggiato nei clichés rispetto ad altri tipi di frasi. La differenza di un cliché rispetto ad una frase è il fatto che nel primo le parole che lo compongono ed i rapporti temporali tra le parole sono fissi. Nella frase vi è più flessibilità. Non possiamo sostituire il cliché: “È sordo come una campana”, con la frase: “Una campana è sorda quanto lui”. Possiamo, invece, sostituire la frase: “È sordo quanto Luigi” con: “Luigi è sordo quanto lui”. Il cliché è come una “parola”, nella quale le lettere ed i loro rapporti temporali sono imm modificabili. Analogamente a quanto accade nella ripetizione sublessicale, nel ripetere il cliché si ha una selezione attenzionale delle parole che lo compongono, che sono mantenute in presenza dalla memoria di lavoro, con i loro rapporti temporali. Su queste due ipotesi, ventrale e dorsale, si attiva il sistema fonoarticolatorio.

Diverso è il discorso da fare sulla frase. Le parole che formano una frase hanno un legame “attributivo”, che genera costrutti significativi. La frase “Andrea è sordo” attribuisce ad Andrea la

caratteristica di essere sordo. Accanto a questi legami attributivi di natura ventrale agiscono anche legami temporali tra le parole che non si applicano direttamente sulle parole ma sulle loro categorizzazioni (nome, verbo aggettivo, ecc.). Per realizzare la relazione riferito/riferimento che determina la relazione attributiva e la relazione spazio/temporale bisogna mantenere in presenza il riferimento passando al riferito.

7. Analisi dei significati

7.1 Le preposizioni

Abbiamo già accennato alle “preposizioni” quando ci siamo occupati della relazione spaziale e temporale. Si è scritto che la preposizione “sopra” si origina da una relazione spaziale di “spazi virtuali”. A mio avviso ogni “preposizione” designa una relazione fra “spazi virtuali” o “tempi virtuali”. Consideriamo il “sintagma nominale” “gli occhi di Andrea”. In questa circostanza la relazione tra gli spazi virtuali possiamo chiamarla “relazione parte/tutto”, essendo lo spazio virtuale di Andrea “tutto” rispetto allo spazio virtuale degli occhi (parte). Se indichiamo con “di” la “relazione parte/tutto” essa può correlare “Andrea” con “gli occhi” in tal modo: [Gli occhi → (di → Andrea)].

La preposizione “di” si usa spesso per indicare possesso. Quando usiamo il sintagma: “L’orologio di Andrea” è come se lo spazio virtuale del corpo di Andrea fosse espanso al punto da contenere gli indumenti che lo ricoprono, gli oggetti che indossa, il cane con cui gioca, la macchina su cui viaggia, ecc.

La preposizione “a” spesso indica la relazione tra due spazi virtuali di cui il riferimento è in moto di avvicinamento, il riferito è immobile (“vado a casa”).

La preposizione “da” indica spesso la relazione tra due spazi virtuali di cui il riferimento è in moto di allontanamento, il riferito è immobile (“vengo dal cinema”).

La preposizione “con” spesso indica la relazione tra due movimenti, ovvero tra due spazi virtuali in moto rispetto ad una scena (“passeggio con Giovanni”).

Noi attribuiamo il movimento all’oggetto. A livello mentale, però, il movimento concerne la relazione spaziale dello “spazio virtuale” dell’oggetto. Esso può essere in quiete o in moto rispetto allo sfondo e può essere in quiete o in moto rispetto allo spazio virtuale di un altro oggetto.

7.2 I verbi

Nella vita di tutti i giorni, movendoci nell'ambiente che ci circonda, le "figure" selezionate dall'attenzione variano continuamente al variare delle condizioni di luminosità, di prospettiva, di condizione psicofisica. Supponiamo di aver selezionato e percepito una "figura", per esempio il colore di una foglia. Possiamo mantenerla in presenza percettiva grazie all'intervento della corteccia premotoria che tiene fissi gli occhi sull'oggetto, sia che noi e/o la foglia ci spostiamo, sia che noi e/o la foglia stiamo fermi. Il colore della foglia spostandosi in una zona di minore luminosità, si modifica, diventando più scuro (l'affermazione che il colore si modifica non si deve intendere in chiave realistica: diciamo così a fini esplicativi. A livello di costruzione mentale tale modifica può essere o non essere realizzata. Dipende anche dal frazionamento attenzionale). Per "notare" la differenza occorre attivare il circuito che realizza il confronto tra il primo verde che è chiaro ed il secondo verde che è scuro. La realizzazione di questo confronto è possibile solo se la percezione è frazionata in due unità temporali percettive, la prima delle quali racchiude temporalmente la percezione del "verde chiaro", la seconda delle quali racchiude temporalmente la percezione del "verde scuro". Due "unità spaziali" non possiamo costruirle perché lo spazio è sempre lo stesso. Ciò significa che le due percezioni sono inserite in un contesto temporale da cui sono separate dalla selezione attenzionale.

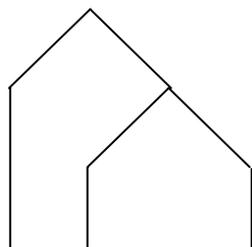
Il colore verde è un attributo della "foglia", ciò significa che tra la "foglia" ed il "verde" la mente pone una correlazione attributiva. Il colore verde è percepito due volte (in due unità temporali diverse) e "riconosciuto" dal sistema ventrale come verde chiaro e verde scuro. La variazione (o non variazione) dell'attributo nel tempo è a fondamento dei verbi (in questa definizione dei "verbi" non rientrano "i verbi impersonali" e quelli che si costruiscono impersonalmente (piove, nevicata, è tardi, ecc.), nei quali manca la funzione attributiva).

Se affermiamo che "la foglia è diventata verde scuro", intendiamo dire che, tra le due unità temporali percettive del colore verde, ho riconosciuto differenza (verde chiaro \neq verde scuro). Il sintagma verbale "diventare verde scuro" indica un processo di trasformazione nel quale si mette in evidenza il risultato conclusivo, appunto "verde scuro".

Nella circostanza in cui tra due o più percezioni dei medesimi attributi in tempi diversi non percepisco e riconosco differenze, utilizzo il verbo "essere". Con la frase: "la foglia è verde chiaro", affermo che, in due o più percezioni diverse del medesimo attributo, non ho riscontrato differenze.

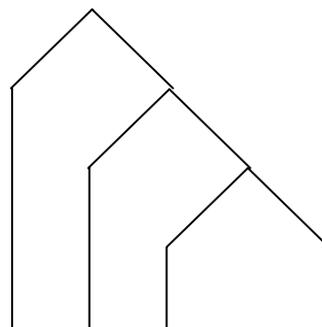
In precedenza si è detto che anche la posizione "sopra la poltrona" è un attributo di un oggetto, per esempio, "quadro". Cioè che tra "il quadro" e "sopra la poltrona" c'è una correlazione attributiva.

Anche l'attributo posizionale "sopra la poltrona" può essere percepito più volte in scansioni temporali diverse. Se non si riscontrano differenze, manifestiamo questa invarianza col verbo essere: il quadro è sopra la poltrona (Figure 86a e 86b).



Il quadro sopra la poltrona

Figura. 86a. Struttura correlativa "Il quadro sopra la poltrona"



Il quadro è sopra la poltrona

Figura 86b. Struttura correlativa "Il quadro è sopra la poltrona"

Per quanto riguarda i tempi dei verbi, le varianze o invarianze temporali avvengono in un arco di tempo che è posto in relazione temporale (relazione riferito/riferimento) con l'arco temporale in cui una persona comunica le sue esperienze. In questa relazione, l'arco temporale della comunicazione funge da riferimento all'arco temporale in cui si percepisce la varianza o invarianza. Da questa relazione si origina la ripartizione dei tempi in presente, passato, futuro. "Presente", "passato" e "futuro" si originano da correlazioni/relazioni tra due "tempi". Per costruire il tempo "presente" la mente attiva due tempi virtuali che possono essere quello dell'eloquio e quello della percezione visiva. Correla e pone la relazione riferimento/riferito tra questi due tempi ed ottiene il "presente" se la relazione temporale tra il riferito ed il riferimento è di contemporaneità; nel caso in cui la relazione è "prima/dopo" (riferimento/riferito) abbiamo il futuro; nel caso in cui la relazione è "dopo/prima" (riferimento/riferito), abbiamo il passato. Un tempo virtuale può avere più riferimenti temporali. Così un tempo virtuale può essere futuro rispetto al tempo dell'eloquio e passato rispetto ad un altro tempo, anch'esso futuro rispetto al tempo dell'eloquio. Siamo in presenza del "futuro (rispetto al tempo dell'eloquio) anteriore (rispetto ad un altro tempo).

Interessante è il fatto che, attraverso il linguaggio, una serie di attività mentali piuttosto complessa come quella di determinare i rapporti temporali, può essere sintetizzata con un solo suffisso flessionale. Per esempio, nella lingua latina, il "futuro anteriore" è espresso dai suffissi "-

ero (laudav-ero = avrò lodato), -eris (laudav-eris = avrai lodato), -erit (laudav-erit = avrà lodato), ecc.

Abbiamo affermato che i verbi si originano da un confronto. Tale confronto frammenta l'esperienza in più tempi ed il verbo esprime la varianza o invarianza di tali esperienze. Per percepire e riconoscere queste differenze o uguaglianze la mente deve notare variazioni nell'ambito di relazioni, e/o associazioni. Infatti, non si può affermare che un oggetto è diverso o uguale rispetto a come era prima, se esso non è associato o relato con un altro oggetto o caratteristica. Per accorgerci che il limone da "giallo chiaro" è diventato "giallo scuro" ho bisogno della relazione "tinta-luminosità". Tale relazione mi consente di percepire il variare della luminosità che è riferita alla tinta.

I verbi di movimento si dividono in verbi inaccusativi, intransitivi, transitivi. I verbi intransitivi non hanno l'oggetto diretto e nella lingua italiana, si esprimono, nei tempi composti, con l'ausiliare "avere". Sono verbi intransitivi: passeggiare (ho passeggiato), correre (ho corso), ecc. I verbi inaccusativi non hanno l'oggetto diretto e nella lingua italiana, si esprimono con l'ausiliare "essere". Sono verbi inaccusativi: andare (sono andato), giungere (sono giunto), ecc. I verbi transitivi hanno l'oggetto diretto e, nella lingua italiana, si esprimono con l'ausiliare "avere". Sono verbi transitivi: mangiare (ho mangiato il pane), aprire (ho aperto la porta), ecc.

Quando utilizziamo la costruzione intransitiva il verbo esprime la variazione della relazione figura/sfondo che si realizza attraverso il movimento. Nella frase: "ho passeggiato nel parco", il parco funge da sfondo alla mia figura. Il passeggiare modifica il rapporto tra la figura e lo sfondo stesso. Nella costruzione intransitiva si ha un'interrelazione, ossia un variare concomitante nel tempo tra un "oggetto" e l'ambiente circostante.

Quando utilizziamo la costruzione inaccusativa, il verbo esprime le variazioni posizionali tra il soggetto ed un secondo elemento presente nella scena. Nella frase: "Luigi è andato a casa", il verbo esprime le variazioni tra la posizione di Luigi e la casa, variazioni che non avvengono istante per istante, poiché non c'è interrelazione.

Quando utilizziamo la costruzione transitiva il verbo esprime le variazioni istante per istante del rapporto tra l'oggetto diretto ed il soggetto. Nella frase: "Anna apre la porta" il rapporto tra Anna e la porta si modifica istante per istante. Anche in questo caso siamo in presenza di un'interrelazione. Nelle due frasi: "Giovanni ha passeggiato nel parco" e "Giovanni è andato nel parco", la posizione "nel parco" funge da "sfondo" nella prima frase, da riferimento esterno nella seconda.

Alcuni verbi hanno una doppia costruzione: inaccusativa e intransitiva. Per esempio, il verbo correre si può costruire con l'ausiliare "avere" e con l'ausiliare "essere". Possiamo dire: "Paolo ha corso tutto il giorno" e "Paolo è corso subito a casa". Nel primo caso le variazioni riguardano la

figura di Paolo rispetto allo sfondo non espresso (che potrebbe essere la spiaggia: ha corso nella spiaggia). Nel secondo caso le variazioni riguardano la posizione che Paolo ha con la casa.

Consideriamo adesso la formazione di verbi transitivi da verbi intransitivi dovuto a spostamento correlativo della preposizione. Nella frase “Manuele è passato sopra l’ostacolo”, il verbo è costruito intransitivamente perché la posizione “sopra l’ostacolo” funge da riferimento esterno per verificare la variazione della posizione di Manuele nel tempo. Se sposto la preposizione che è correlata con il nome, correlandola con il verbo, ottengo la frase transitiva “Manuele ha sor (= sopra) passato l’ostacolo”. In questo caso, il verbo non indica il variare della posizione di Manuele rispetto all’ostacolo, bensì il variare del rapporto spaziale tra Manuele e l’ostacolo istante per istante (interrelazione).

I verbi, come già detto, il più delle volte indicano varianza o invarianza nel tempo di una o più caratteristiche di una figura complessa. Una foglia, per esempio, è sintesi di forma, colore, grandezza, stato, ecc. Ciascuna componente può variare o non variare nel tempo. Tramite il verbo esprimiamo in quale di questi attributi la foglia varia o non varia nel tempo e come varia (Figura 87).

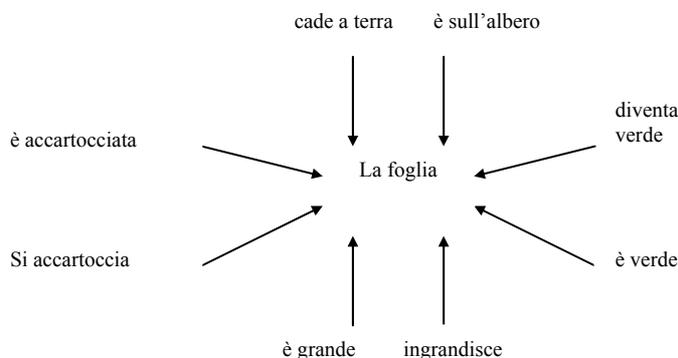


Figura 87. Variazioni possibili degli attributi di una foglia nel tempo

- La foglia è verde (invarianza nel tempo del colore);
- La foglia diventa verde oppure inverdisce (variazione nel tempo del colore);
- La foglia è accartocciata (invarianza nel tempo della forma);
- La foglia si accartoccia (variazione nel tempo della forma);
- La foglia è sull'albero (invarianza nel tempo della posizione);
- La foglia cade a terra (variazione nel tempo della posizione);

- La foglia è grande (invarianza nel tempo della grandezza);
- La foglia ingrandisce (variazione nel tempo della grandezza).

7.3 Le congiunzioni

Utilizzando le congiunzioni coordinative, la mente esplicita una serie di relazioni spazio/temporali poste dal sistema dorsale su due “figure”. Per esempio, la congiunzione “e” in “il libro e la penna” indica la selezione attenzionale di ciascuna delle due figure e la selezione di ambedue congiuntamente (tali selezioni possono essere anche immaginate). Possiamo far corrispondere la congiunzione “e” all’interrelazione.

Al fine di capire i significati di alcune congiunzioni coordinative è opportuno fare riferimento al circuito logico esplicito. Questo circuito rende consapevole la relazione logica: dato questo → allora ... ipotesi → verifica. In particolare, il processo di anticipazione, reso consapevole, spiega abbastanza bene il significato della congiunzione “o”. Se tiro in aria una moneta, anticipo le due possibilità che - tramite l’esperienza - so che possono uscire: “testa o croce”. Ovviamente una esclude l’altra.

L’uso del circuito logico consapevole può spiegare la congiunzione correlativa “non...ma”. Se anticipo l’ipotesi che la ragazza di nome Cinzia che mi accingo a conoscere sia bella e questa ipotesi è contraddetta dalla percezione che mi informa che Cinzia è brutta, utilizzo la congiunzione correlativa “non ... ma” per tenere insieme le due caratteristiche: “non bella ma brutta”.

Per quanto riguarda le congiunzioni subordinative, la maggior parte sono strutture correlative: affinché = al fine che, perché = per che; ciononostante = non ostante ciò, ecc. Altre designano relazioni temporali tra le azioni espresse nelle frasi o fra figure. Le congiunzioni “quando” e “mentre”, per esempio, indicano una relazione riferito/riferimento tra i due tempi delle due frasi: “Quando sono entrato, lui non c’era”; “Mentre uscivo, ho incontrato Andrea”.

Nella lingua italiana si usa spessissimo il “funtore” subordinante “che”. Esso da solo introduce diverse proposizioni subordinative:

- Mi chiedo “che” hai contro di me = interrogativa indiretta;
- Penso “che” ormai Manuele non verrà più = oggettiva;
- Sembra “che” non sia felice = soggettiva.

Tale funtore, assieme a preposizioni, avverbi e locuzioni interviene in tutti i tipi di subordinate: per-ché = causale; affín-ché = finale; ben-ché = concessiva; dopo-ché = temporale; ecc. Non è

facile chiarire la funzione mentale che sta dietro la congiunzione (funtoe subordinante) “che”. Essa, come tutte le congiunzioni subordinanti, subordina la frase dipendente alla frase reggente. Nella subordinazione l’elemento subordinante è riferimento, mentre l’elemento subordinato è riferito. Così “di Luigi” designa una correlazione nella quale “Luigi” è riferito a “di” (subordinante). Nel periodo “Ti dico che è tardi”, la frase “è tardi” è riferita alla congiunzione subordinante “che” (non tutte le relazioni riferito/riferimento generano una subordinazione. Se il riferito è una “caratteristica” del riferimento non si ha subordinazione. La relazione verde/foglia non è subordinante poiché “verde” è una caratteristica della foglia).

Per dare una possibile spiegazione della congiunzione “che”, consideriamo il seguente periodo: “Ho saputo che sei stato promosso”. A me sembra che, in questa circostanza, il termine “che” corrisponda a “sei stato promosso”. Si tratterebbe di un profrase (un pronome che prende il posto di una frase) che invece di collegarsi a qualcosa di già detto e di conosciuto all’interlocutore, si colleghi a qualcosa che sarà detto in seguito, ossia un’anticipazione di ciò che sta per essere esplicitato. In questa circostanza il profrase è l’oggetto diretto della principale ed è il riferimento della frase che segue. Questo genera la subordinazione (Figura 88).

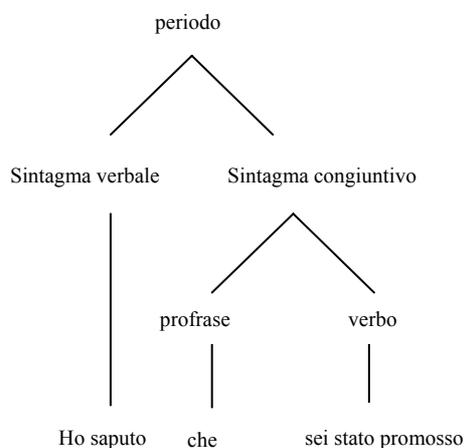


Figura 88. Struttura correlativa del periodo “Ho saputo che sei stato promosso”

La congiunzione “perché” dovrebbe avere la struttura correlativa evidenziata in Figura 89. Tale struttura sarebbe uguale per tutte le congiunzioni composte da “preposizione + che”.

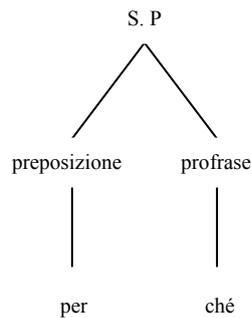


Figura 89. Struttura correlativa della congiunzione “perché”

7.4 Regole inconse

Tramite le congiunzioni subordinate è possibile tenere insieme due pensieri in modo tale che uno sia l’espansione dell’altro. Questo tipo di legame dà origine ad un nuovo singolo pensiero. Supponiamo di rappresentarci mentalmente due pensieri di cui uno corrisponde al “dato che” e l’altro all’“ipotesi/recupero”. Per esempio: “piove (dato che), Giovanni non esce (ipotesi/recupero)”. Strutturando l’intera sequenza con la congiunzione “se”, abbiamo: “se piove, Giovanni non esce”. Essa va intesa col seguente significato: “se accade il fatto che piove allora accade anche il fatto che Giovanni non esce”. Questo pensiero può essere inteso come un’ipotesi di quanto accadrà in futuro o come una regola. Se conosco poco Giovanni e non so come si comporta in caso di pioggia, la mia affermazione è una semplice ipotesi. Se lo conosco bene ed ho constatato che, ogniqualvolta piove, lui non esce, la mia affermazione è una regola sulle sue abitudini. Questa regola interiorizzata, diviene un flusso inconsapevole che accompagna inconsciamente alcuni stati mentali. Se, per esempio, vedo Giovanni sotto la pioggia, mi meraviglio. Questo mio stato d’animo nasce dall’evento percepito che contraddice la regola inconscia. Se la regola è contraddetta, è possibile constatare ciò tramite una concessiva: “Anche se piove, Giovanni è uscito”.

Spesso si introduce una causa per spiegare il non rispetto della regola. Può essere una causa deterministica o finale: “È uscito con la pioggia perché era stato chiamato dal figlio”, “È uscito con la pioggia per portare a spasso il cane”.

Una frase è formata da elementi nucleari (in genere obbligatori) e da eventuali elementi extranucleari (facoltativi) (Salvi e Vanelli, 2004). Per esempio nella frase “Giovanni, il venerdì, compra il pesce” ci sono tre elementi nucleari: “Giovanni compra il pesce” ed un elemento extranucleare “il venerdì”. L’elemento extranucleare può essere tolto senza che la frase perda significato. Al contrario se si toglie un elemento nucleare la frase diventa agrammaticale. Alcuni

elementi extranucleari, in particolare le espansioni temporali, consentono di strutturare pensieri che possono essere utilizzati come regole inconsce. “Giovanni compra pesce” non può essere una regola, ma “Giovanni compra pesce il venerdì” può esserlo. Dipende da quante volte abbiamo visto Giovanni realizzare quest’azione il venerdì.

La regola interiorizzata ci consente di fare previsioni e di costruire pensieri con espansioni finali, causali, concessive, conclusive, esplicative, avversative, ecc.

- Questo venerdì Giovanni non ha comprato il pesce affinché la moglie gli cucinasse qualcosa di diverso;.
- Questo venerdì Giovanni non ha comprato il pesce perché era stufo di mangiare sempre la stessa cosa;
- Ieri era venerdì ma Giovanni non ha comprato il pesce;
- Benché fosse venerdì Giovanni non ha comprato il pesce;
- È venerdì quindi ecco Giovanni col pesce appena acquistato;
- È venerdì perciò Giovanni è andato a comprare il pesce;
- Giovanni ieri, venerdì, stava male, infatti, non ha comprato il pesce;
- Oggi, venerdì, Giovanni ha comprato non solo il pesce ma anche la carne.

References

- AAVV. (1991a). "Anatomia del sistema somatosensitivo". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- AAVV. (1991b). "I sistemi sensoriali cerebrali: sensazioni e percezioni". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- Berlin, B., Kay, P. (1967). *Basic color terms: Their universality and evolution*. University of California Press. Berkeley.
- Boccardi, E., Buzzone, M.G., Vignolo, L.A. (1984). "Alexia in recent and late Broca's aplesia". *Neuropsychologia*, 22: 745-751.
- Caramazza, A., Miceli, G., Villa, G. (1986). "The role of the (output) phonological buffer in reading, writing and repetition". *Cognitive neuropsychology*, 3: 37-76.
- Catani, M., Howard, R. J., Pajevic, S., Jones, D. K. (2002). "Virtual in vivo interactive dissection of white matter fasciculi in the human brain". *Neuroimage*, 17: 77-94.
- Catani, M., Jones, D.K., Ffytche, D.H. (2005). "Percy's language networks of the human Brain". *Annals of Neurology*, 57: 8-16.
- Coté, L., e Crutcher, M. D. (1991). "I nuclei della base". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- Déjerine, J. (1891). "Sur un cas de cécité verbale avec agraphie suivi d'autopsie". *Mém. Soc.Biol.*, 3: 197-201.
- Denes, G., Cipollotti, L., Zorzi, M. (1996). "Dislessie e disgrazie acquisite". In *Manuale di Neuropsicologia*, a cura di G. Denes e L. Pizzamiglio. Zanichelli Bologna.
- Denes, G., Semenza, C., Magno, Caldonetto, E. (1996). "Disturbi fonologici nell'afasia". In *Manuale di Neuropsicologia*, a cura di G. Denes e L. Pizzamiglio. Zanichelli. Bologna.
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. (1992). "Understanding motor events: A neurophysiological study". *Experimental Brain Research*, 91: 176-180.
- Faglioni, P. (1996). "Il lobo frontale", pp. 70-750, in: *Manuale di neuropsicologia*, a cura di Gianfranco Denes e Luigi Pizzamiglio. Zanichelli. Bologna.
- Ghez, C. (1991). "Il controllo del movimento". In *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- Goldberg, E. (2001). *The Executive Brain. Frontal Lobes and the civilized Mind*. Oxford University Press.
- Gouras, P. (1994), "La visione dei colori". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- Heilman, K. M., Barret A., Adair J. C. (1998). "Possible mechanisms of anosognosia: A defect in self-awareness". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Biological Sciences*, 353: 1903 – 1909.
- Kandel, E., Jessel, T. M. (1991). "Il tatto". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- Kelly, J. P. (1991). "Le basi nervose della percezione e del movimento". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- Kosslyn, S. M. (1983). *Ghosts in the mind's machine. Creating and Using Images in the Brain*. W. W. Norton and Co. New York.
- Lichtheim, L. (1885). "On Aphia". *Brain*, 7: 433-484.
- Lissauer, H. (1890). "Ein Fall von Seelenblindheit nebst einen Beitrag ur Theorie derselben". *Archiv fur Psychiatrie*, 21: 222-270.
- Livingstone, M., Hubel, D. (1988). "Segregation of form, colour, movements and depth: Anatomy, physiology and perception". *Science*, 240: 740 – 749.
- Marchetti, G. (2007). "Time is energy. A hypothesis on the attentional origin of the conscious experience of time". www.mind-consciousness-language.com
- Martin, J. H., (1991). "Codificazione ed elaborazione delle informazioni sensoriali". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Elsevier Science Publication Co. Ambrosiana. Milano.
- Mason, C., Kandel, E. R. (1991). "Le vie visive centrali". In: *Principi di neuroscienze*, a cura di E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel. Ambrosiana. Milano.
- Mc Carthy, R. A., Warrington, E. K. (1984). "A two-route model for speech production. Evidence from aphasia". *Brain*, 107: 463-485.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., Macko, K. A. (1983). "Object vision and spatial vision: Two cortical pathways". *Trends in Neuroscience*, 6: 414 – 417.
- Pavlov I., (1982). "Il riflesso condizionato". In: *Antologia degli scritti*. Il Mulino. Bologna.
- Posner, M.I., Petersen, S.E. (1990). "The attentional system of the uman brain", *Annual Review of Neuroscience*, 13: 25-42.
- Rizzolatti, G., Gentilucci, M. (1988). "Motor and visual-motor functions of the premotor cortex". In: *Neurobiology of Neocortex*, a cura di P. Rakic e W. Singer. Wiley & Sons. New York.

- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2006). *So quel che fai. Il cervello che agisce ed i neuroni specchio*. Raffaello Cortina Editore. Milano.
- Roeltgen, D. P., Heilman K. M. (1984). "Lexical Agraphia. Further support for the two strategy hypothesis of linguistic agraphia". *Brain*, 107: 811–827.
- Rugg, M. D. (1995). "ERPS studies of memory". In: *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*, edited by M. D. Rugg and M.G. H. Coles. Oxford University Press. New York.
- Salzano, R., (2003). "Taming stress". *Scientific American*, 289: 88–98.
- Salvi, G., Vanelli, L. (2004). *Nuova grammatica italiana*. Il Mulino. Bologna.
- Skynner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*. Appleton-Century-Crofts. New York.
- Tolman, E. C. (1948). "Cognitive Maps in Rats and Men". *Psychological Review*, 55: 189-208.
- Wheeler, A. M., Stuss, D.T., Tulving, E. (1995). "Frontal lobe damage produces episodic memory impairment". *Journal of the International Neuropsychological Society*, 1: 525-536.
- Yucel, M., Wood, S., Fornito, A., Riffkin, J., Velakoulis, D., Pantelis, C. (2003). "Anterior cingulate dysfunction: Implications for psychiatric disorders?". *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 28: 350–354.