

Filosofia della mente-II parte
Problemi epistemologici delle scienze
cognitive

Alfredo Paternoster

Scienza cognitiva

- È lo studio trans-disciplinare delle capacità mentali (linguaggio, pensiero, percezione, emozioni, ...)
- È costituita da 6 macrodiscipline (“esagono cognitivo”)

L'esagono cognitivo

- Psicologia cognitiva
- Informatica (intelligenza artificiale)
- Linguistica
- Filosofia (della mente, del linguaggio, della conoscenza)
- Neuroscienze
- Antropologia cognitiva

Scienzaa cognitiva o scienzee cognitive?

Problema: la SC è davvero qualcosa di unitario, al di là del vastissimo oggetto di indagine?

Due ragioni per pensare che lo sia:

- 1) I processi mentali sono *elaborazioni di informazioni* (codificate in qualche modo nel nostro cervello)
- 2) Un modo particolarmente efficace di spiegare il comportamento di un sistema consiste nel riprodurlo, cioè nel simularlo (al computer).

1+2 =

I processi mentali sono descrivibili come programmi in esecuzione sul “computer cerebrale” → la mente può essere studiata in modo indipendente dal cervello (*funzionalismo computazionale*)

Scienzaa cognitiva?

«La scienza cognitiva è lo studio dei processi cognitivi al livello degli algoritmi» (Marconi 2001)

I processi mentali sono computazioni su rappresentazioni mentali.

Obiezioni:

- 1) Non tutti pensano che i processi mentali siano operazioni su rappresentazioni (→ critica della “concezione linguistica” del mentale)
- 2) Non tutti gli scienziati fanno simulazioni al computer

I fattori determinanti per la nascita della SC

- sviluppo della grammatica generativa
- sviluppo dell'intelligenza artificiale e della teoria della computazione
- declino del comportamentismo psicologico e di quello logico/filosofico
- graduale affermazione di un atteggiamento naturalistico in filosofia (→ riduzionismo, funzionalismo)

IA e teoria della computazione

Turing:

- 1) Anche le macchine possono pensare
- 2) Modello formale di pensiero meccanico (→ Macchina di Turing)

IA: Metodo simulativo → Le attività “intelligenti” possono essere riprodotte al computer e queste riproduzioni possono essere considerate modelli empirici del funzionamento dei processi mentali.

(processi mentali sono elaborazioni di informazioni)

Il concetto di computazione

Un determinato compito intelligente (ad esempio, un ragionamento) può essere “meccanicamente” portato a termine se il compito viene scomposto in una successione di passi, ciascuno dei quali è ben specificato, privo di ambiguità e sufficientemente elementare da poter essere svolto senza difficoltà da un “esecutore” qualsiasi.

Definiamo “*computazione*” (o *algoritmo*) un procedimento *finito e totalmente esplicito* per risolvere un problema. “Totalmente esplicito” significa appunto che tutti i passi del procedimento vanno specificati in modo preciso e particolareggiato. Una computazione è un procedimento (finito) *effettivo*, nel senso che deve produrre un risultato.

Proprietà fondamentali degli algoritmi/computazioni

- **Finitezza**

- a)* dei passi necessari

- b)* della quantità di dati in ingresso

- c)* del tempo richiesto per l'esecuzione

- **Effettività:** deve essere prodotto un risultato (output)

- **Non-ambiguità/elementarità**

Formalizzazione del concetto di computazione

Esistono diversi *modelli formali* del concetto di computazione, vale a dire specificazioni matematiche rigorose della nozione intuitiva di procedimento effettivo.

Tutti questi modelli si sono dimostrati equivalenti, nel senso che catturano esattamente la stessa classe di procedimenti.

Il modello di riferimento per le scienze cognitive è la *Macchina di Turing* (1936)

La Macchina di Turing

E' definita da:

- a) un insieme di input specificati in un certo codice (es. 0, 1).
- b) Un insieme di stati
- c) Un insieme di regole o istruzioni che determinano il comportamento della macchina.

Le istruzioni hanno la forma:

$$S_i \text{ a } A S_j$$

dove S_i è lo stato corrente (all'istante i), a è il simbolo in input, A è l'azione della macchina e S_j è lo stato successivo.

La Macchina di Turing

Descrizione “hardware” :

La macchina ha una testina di lettura che scorre un nastro virtualmente infinito su cui sono memorizzati sia gli input sia gli output della macchina.

Ad ogni istante la macchina può fare una delle seguenti tre azioni:

- 1) Leggere un simbolo e spostarsi a destra di una casella
- 2) Leggere un simbolo e spostarsi a sinistra di una casella
- 3) Leggere un simbolo e sovrascriverlo con un altro simbolo (= produzione di un output)

La macchina di Turing per l'addizione

$S_0^*RS_0$

$S_0/^*S_1$

$S_1^*RS_2$

S_2/RS_2

S_2^*/S_3

S_3/RS_3

$S_3^*LS_4$

$S_4/^*S_4$

$S_4^*LS_5$

S_5/LS_5

$S_5^*LS_6$

(L = left; R = right)

Il concetto di stato

Abbiamo introdotto un nuovo stato solo quando “serviva”, e cioè ogni qual volta dovevamo differenziare un comportamento a parità di input.

→ Lo stato corrisponde alla memoria che la macchina ha della successione dei suoi ingressi. È una memoria *cumulativa*, nel senso che non c'è ricordo di ogni singolo ingresso, bensì del risultato finale della successione di ingressi, l'“esito della storia”.

Essere in un certo stato non è altro che avere la disposizione a comportarsi in un certo modo (*L, R, scrivo simbolo*) a fronte di un certo ingresso in un certo istante.

Grammatica generativa

- linguaggio (= grammatica) è una facoltà mentale
 - a) la linguistica è una branca della psicologia
 - b) la linguistica è una scienza della natura
- grammatica come sistema formale
- contributo determinante allo smantellamento del comportamentismo psicologico
- modello per le successive teorie della SC (nozioni di competenza, modulo, regole e rappresentazioni ecc.)

Chomsky

Il linguaggio è una facoltà mentale, la conoscenza *innata* (= biologicamente determinata) della **Grammatica**

(→ la linguistica è una parte della psicologia o più in generale della scienza cognitiva)

La caratteristica essenziale della grammatica è la *produttività*: con un repertorio finito di elementi atomici si possono generare infiniti elementi complessi.

Grammatica Universale

La facoltà del linguaggio consiste nella conoscenza tacita delle regole della grammatica.

Tale conoscenza è innata nel senso che nell'arco dei primi tre anni di vita il bambino giunge, sulla base di strutture interne, a padroneggiare le regole.

(anche se sono necessarie certe condizioni esterne, il linguaggio non si impara ma si acquisisce)

La linguistica è lo studio della GU, quindi è una branca della psicologia.

Il meccanismo generativo

Grammatica =

1) Insieme di simboli terminali o vocabolario

(es.: {a,m})

2) Insieme di simboli non terminali o categorie grammaticali
("sintagmi")

(es.: {S,X})

3) Regole di riscrittura

(es. $S \rightarrow mX$; $S \rightarrow m$; $X \rightarrow aS$; $X \rightarrow a$)

Linguaggio = tutte le espressioni della forma $(ma)^*m$ e della forma $(ma)^*$

Es. ma; mama; mamam,... Invece mma non appartiene al linguaggio

Il meccanismo generativo

Esempio: frammento dell'italiano

Lessico = {il, cane, gatto, insegue, corre, beve, latte}

Sintagmi = {F,SN,SV,N,V,DET}

Regole = { F → SN SV

SN → DET N

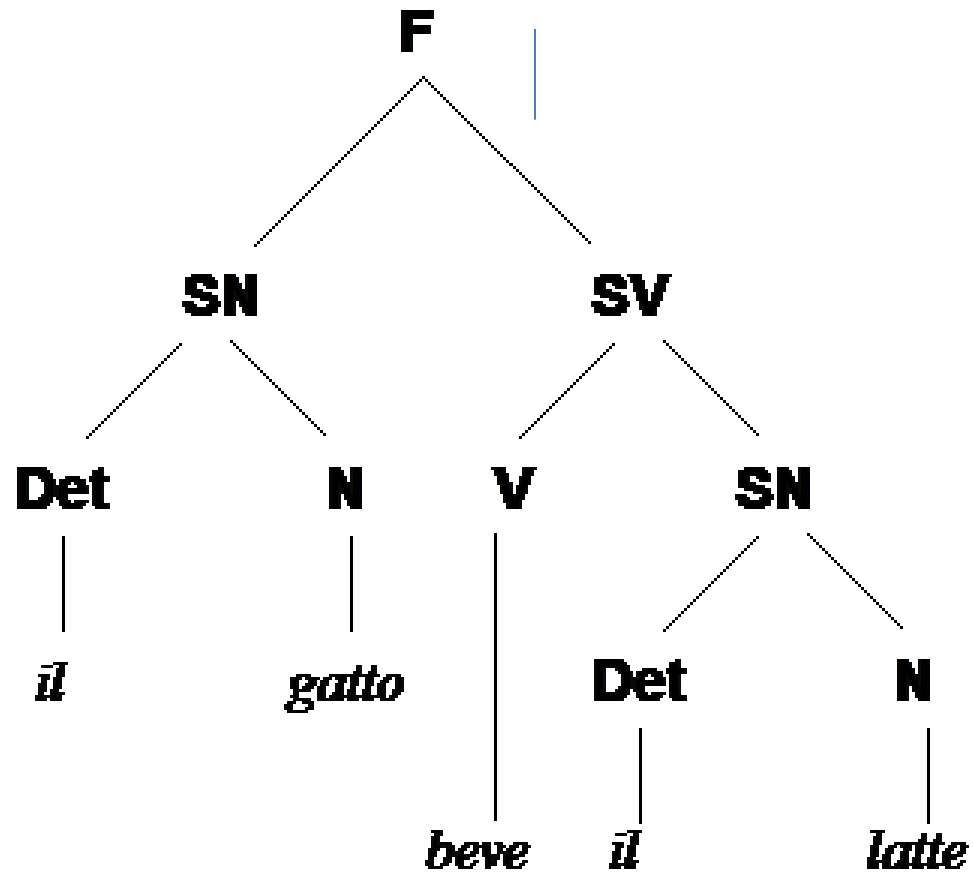
SV → V SN

SV → V

N → cane; N → gatto; N → latte; V → beve;

V → corre; V → insegue; DET → il }

L'albero sintattico



Il funzionalismo computazionale

L'idea è che i processi mentali sono processi di elaborazione di informazioni, ovvero sono *computazioni*.

→ **Gli stati mentali sono stati di una Macchina di Turing**
(Putnam 1960; Fodor 1975).

Stati mentali = ruoli funzionali

Processi mentali = computazioni

Funzionalismo computazionale

Natura astratta della computazione:

una computazione è definita dalla relazione tra ingresso e uscita, indipendentemente da come essa è realizzata materialmente (posso realizzare una moltiplicazione in molti modi, ma si tratta sempre della stessa computazione)

→ La mente può essere studiata in modo indipendente dal cervello.

(cfr. la natura degli stati mentali non è materiale bensì causale-funzionale).

Funzionalismo: mente come *funzione* (del cervello)

Computazionalismo: mente come computazione (eseguita dal cervello).

Funzionalismo computazionale e funzionalismo

Il funzionalismo computazionale è una forma di funzionalismo perché gli stati di una macchina di Turing sono definiti dal loro ruolo causale.

Essere in un certo stato computazionale non vuol dire nient'altro che avere la disposizione a eseguire una certa azione (e a portarsi in un nuovo stato) dato un certo input.

Computazionalismo → Funzionalismo

ma non viceversa: si può pensare che gli stati mentali siano ruoli funzionali senza pensare che siano stati computazionali.

Che cos'è una rappresentazione mentale?

Il concetto di rappresentazione mentale è *vago* e in esso confluiscono esigenze diverse:

- Per produrre un comportamento è necessaria una mediazione mentale (caratterizzazione minimale: rifiuto del comportamentismo)
- strutture dati indispensabili per realizzare una certa funzione (ruolo funzionale-computazionale)
- modelli del mondo esterno (credere che P richiede rappresentarsi P)

Che cos'è una rappresentazione mentale?

'rappresentazione' «significa semplicemente configurazione associata in modo regolare a qualcosa» (Damasio 1999).

rappresentazione mentale = costrutto esplicativo in una teoria computazionale della cognizione (Cummins 1997): una rappresentazione è qualcosa che un processo mentale descritto in termini algoritmici deve costruire – computare – per dare luogo a un certo comportamento.

Quando certe proprietà del mondo non sono presenti o manifeste, possono in taluni casi essere rappresentate: “qualcos'altro può stare per esse, con il potere di guidare il comportamento in loro vece” (Haugeland 1998).

Che cos'è una rappresentazione mentale?

Alcuni criteri:

- covarianza con proprietà del mondo esterno
- capacità di innescare comportamenti *in vece* di stimoli esterni
- ruolo causale-funzionale
- identità con, o almeno sopravvenienza su, strutture fisiche
(senza un realizzatore fisico parlare di rappresentazioni diventa metafisicamente molto impegnativo)

Tassonomia delle Rappresentazioni Mentali

- simboliche (= proposizionali) vs. analogiche
- dichiarative vs. procedurali
- semanticamente trasparenti vs. *non* trasparenti

- esplicite vs. implicite? (in questa opposizione confluiscono aspetti delle due precedenti)

Simboliche / Analogiche

SIMBOLICHE = arbitrarie, discrete, composizionali
(modello: linguaggio)

ANALOGICHE = non arbitrarie (somiglianza),
continue, non composizionali
(modello: fotografie, immagini)

Dichiarative / Procedurali

DICHIARATIVE = l'informazione è veicolata da entità statiche discrete

PROCEDURALI = l'informazione è veicolata da un frammento di programma in esecuzione (rappresentazioni "come se")

Trasparenza semantica (Clark 1989)

“Un sistema verrà definito *semanticamente trasparente* solo nel caso in cui sia possibile descrivere una netta corrispondenza tra una descrizione semantica simbolica (livello concettuale) del comportamento del sistema e qualche interpretazione semantica (...) della sua attività formale computazionale.”

“In breve, un sistema è semanticamente trasparente se c'è una chiara corrispondenza tra stati che vengono trasformati computazionalmente e tratti di frasi interpretabili semanticamente.”

Esplícite / Implícite (tacite)

Dennett:

- “Un’informazione è rappresentata esplicitamente se (...) esiste un oggetto strutturato fisicamente ... per cui esiste una semantica, o interpretazione, o una norma per legger[lo] o analizzar[lo]”
- Un’informazione è rappresentata implicitamente se è implicata da una rappresentazione implicita

Solo ciò che è rappresentato esplicitamente ha un ruolo causale?

Il modello a 3 livelli (Marr)

Livello 1 (“della teoria computazionale”):
specificazione delle funzioni di un sistema (*Che cosa*
computa)

Livello 2 (“degli algoritmi e rappresentazioni”):
specificazione degli algoritmi che computano le
funzioni e delle strutture dati (= rappresentazioni)
su cui gli algoritmi operano (*come* computa)

Livello 3 (“dell’implementazione hardware”):
individuazione delle aree cerebrali/circuiti neuronali
che realizzano gli algoritmi

Cfr. il modello di Dennett...

Marr vs. Dennett

Liv. 0

Psicologia del senso comune (no corrispettivo esplicito in Marr)

Liv. 1

Teoria computazionale = Teoria dei sistemi intenzionali

Liv. 2

Teoria degli algoritmi/rappresentazioni = psicologia cognitiva subpersonale

Liv. 3

Implementazione (no corrispettivo esplicito in Dennett)

Teoria Computazionale-Rappresentazionale della **M**ente (Fodor 1975; 1980; 1987)

È la versione paradigmatica del funzionalismo computazionale:

- Gli stati mentali sono stati *computazionali*: sono relazioni con rappresentazioni mentali di natura linguistica (enunciati di un *linguaggio del pensiero*, o “mentalese”).
 - I processi mentali (pensare, percepire, comprendere ecc.) sono successioni causali di rappresentazioni; ogni passaggio da una rappresentazione a un'altra è determinato dall'applicazione di una regola formale (un'“istruzione”)
- I processi mentali sono computazioni su rappresentazioni simboliche (come i programmi in esecuzione su un computer)

TCRM: il “mentalese” (LoT)

Rappresentazioni mentali = simboli del linguaggio del pensiero

Il “linguaggio del pensiero” è un linguaggio in quanto:

- (i) Ha una struttura in costituenti e una sintassi
- (ii) I costituenti atomici sono interpretati (= hanno un significato)
- (iii) Composizionalità: significato di un enunciato complesso dipende dal significato dei costituenti e dalla sintassi
- (iv) Gli enunciati sono semanticamente valutabili (= hanno un valore di verità)

Primo argomento per il LoT

Perché le rappresentazioni mentali devono essere di natura linguistica? Non potrebbero essere, ad esempio, immagini ?

P1) Gli stati mentali hanno proprietà causali e (in quanto intenzionali) proprietà semantiche

P2) Solo i simboli di un linguaggio hanno sia proprietà causali (in quanto segni *fisici*) sia proprietà semantiche.

→ C) Gli stati mentali devono essere relazioni con simboli

Realismo intenzionale

- Fodor interpreta le regolarità espresse dalla psicologia del senso comune alla stregua di vere e proprie leggi psicologiche.
- Secondo Fodor, per poter dire che gli stati mentali sono *cause* del comportamento è necessario che un singolo nesso causale sia l'esemplificazione di una *legge* generale.
- Le leggi in questione sono *ceteris paribus*, cioè ammettono eccezioni. P. es. se X desidera una birra e crede che ci sia della birra in frigorifero, aprirà il frigorifero, *a meno che* non sia immobilizzato a letto
- Poiché, sempre secondo Fodor, soltanto ciò che è fisico è dotato di poteri causali, allora gli stati mentali devono essere stati fisici (o devono essere *realizzati* da stati fisici)

L'argomento per il realismo intenzionale

P1) Gli stati mentali sono cause del comportamento

P2) Soltanto ciò che è fisico può avere poteri causali

→ C) Gli stati mentali devono avere una realizzazione fisica

In altre parole, credenze e desideri devono essere proprietà della mente **realizzate fisicamente nel cervello delle persone.**

Rappresentazioni mentali

Dunque avere una credenza (desiderio ecc.) è avere una rappresentazione mentale codificata nel cervello:

- Credere che P è avere un'iscrizione che codifica P nella “scatola delle credenze”
- Desiderare che P è avere un'iscrizione che codifica P nella “scatola dei desideri”
- ...

NB Le scatole sono delle metafore. Il punto è che la stessa iscrizione può avere diverso ruolo funzionale (o causale) diverso → ha cause ed effetti diversi.

LoT

E' simile a un linguaggio logico:

- ha simboli che stanno per oggetti individuali, proprietà e relazioni;
- ha simboli corrispondenti ai connettivi logici (e, o, non, ...);
- ha regole di inferenza, cioè regole che specificano quale formula è consequenziale a una formula data
(Es. se penso che P e penso che P implica Q , allora penserò che Q).

NB Nella TCRM Le relazioni causali sono relazioni inferenziali (o computazionali):

- pensare che $(P \ \& \ (P \ \& \ Q \rightarrow Q))$ **causa** pensare che Q .
- Q **segue logicamente** da P e $P \rightarrow Q$

LoT e linguaggio naturale

Il linguaggio del pensiero è universale: il suo lessico non coincide col lessico di questa o quella lingua naturale: diverse lingue codificheranno con un suono diverso uno stesso concetto, a cui corrisponde un unico simbolo del linguaggio del pensiero (in alcune lingue quel concetto non sarà nemmeno lessicalizzato);

Il linguaggio pubblico è un calco del linguaggio del pensiero. Il LoT è una sorta di linguaggio pubblico depurato da fenomeni superficiali che mascherano la struttura logica.

Riassumendo...

- Il LoT è un linguaggio (un codice) mentale con cui vengono codificate tutte le informazioni elaborate dalla mente.
- È simile a un linguaggio logico.
- Avere uno stato mentale è avere un certo tipo di relazione con un simbolo del LoT
- Gli stati mentali ereditano dalle espressioni del LoT con cui sono in relazione le loro proprietà sintattiche e semantiche.
- Il LoT è universale e innato

Il vincolo di formalità

Le computazioni sono sensibili esclusivamente alle proprietà formali delle espressioni o *simboli del linguaggio del pensiero, non al loro significato.*

In questo senso il ragionamento (così come ogni altro processo cognitivo) è un processo *formale*, sintattico.

Cfr. Dennett: «il cervello è un motore sintattico che simula un motore semantico».

SC classica: alcuni esempi

- Teoria della visione (Marr 1982)
- Teoria dei modelli mentali (Johnson-Laird 1983)
- Teoria delle immagini mentali (Kosslyn 1983)

Nessuna di queste si conforma in modo puro e semplice alla TCRM. Ma le analogie sono molto più importanti delle differenze.

Teoria della visione (Marr 1982)

Vedere = identificare oggetti sulla base della loro forma. (individuare una forma 3D nell'ambiente e ricondurla a una categoria visivo-spaziale).

Input del sistema visivo: stimolo esterno

Input del modulo della visione propriamente detto:
immagine retinica

Output del modulo della visione: descrizione
strutturale della porzione di mondo proiettata
sulla retina

Teoria della visione

Tre stadi di elaborazione

Std. 1 + Std. 2 = Visione primaria (modulare, bottom-up)

Std. 3 = Visione di alto livello (non modulare, top-down)

Concetto preteorico-intuitivo di visione si colloca forse tra lo stadio 2 e lo stadio 3.

Dati empirici: neuropsicologia (dissociazioni tra compiti puramente visivi e compiti inferenziali); implementazione su calcolatore; neurofisiologia (Hubel & Wiesel 1962: cellule on-center e off-center)

Livello 1

Input: immagine retinica

Output: schizzo primario (= distribuzione spaziale di primitive di basso livello)

Metodo: zero-crossing

Primitive: angoli, parti di contorni, macchie, configurazioni geometriche elementari potenzialmente significative

Schizzo primario grezzo → schizzo primario ricco

Applicazione ricorsiva di tecniche di risoluzione dell'immagine

Grado di conferma empirica: abbastanza buono

Zero-crossing

Algoritmo che evidenzia le zone a più alta discontinuità della funzione di luminanza (= differenze molto elevate di luminanza).

Dove ci sono discontinuità di luminanza più forti, è probabile che passi un contorno (ma anche un'ombra...)

È un operatore matematico che consiste nel calcolare la derivata seconda della funzione di luminanza (che è una funzione di due variabili) -- è sostanzialmente un *filtro* dell'immagine).

Livello 2

Input: schizzo primario

Output: schizzo a due dimensioni e mezzo (2½ D)

Metodi: profondità da disparità binoculare, *shape from shading, shape from motion, ...*

Primitive: vettori-profondità e vettori-orientamento

Lo schizzo 2½ D è una rappresentazione delle *superfici* dell'oggetto centrata sull'osservatore (view-dependent)

Grado di conferma empirica: grossolano

Livello 3

Input: schizzo 2½ D

Output: descrizione strutturale (3D) dell'oggetto

Metodo: ricerca di sottografi in un grafo

Una descrizione strutturale è un grafo in cui i nodi corrispondono a parti significative dell'oggetto e gli archi a relazioni spaziali tra le parti.

(es. tavolo = superficie, gamba1, gamba2, gamba3)

Grado di conferma empirica: pressoché nullo (“speculazione computazionale”)

Marr: conclusioni

- Grande potenza teorica
- Sottolineatura eccessiva della visione orientata al riconoscimento
- Sottovalutazione del movimento (ma vedi Ullman)
- Sottovalutazione del riconoscimento in 2-D?
- Fondamentale come paradigma; superato nei dettagli.

La teoria della mente modulare

La mente è *almeno in parte* articolata in sottosistemi distinti, geneticamente selezionati, che eseguono funzioni molto specifiche in modo in larga misura autonomo, cioè indipendentemente gli uni dagli altri.

La teoria della mente modulare

Più precisamente:

- Un modulo *epistemico* è un sistema caratterizzato da una base di conoscenze innate rappresentate internamente, specifico per dominio, che guida l'esecuzione di una determinata capacità cognitiva.
- Se al modulo epistemico si aggiunge un meccanismo specifico, che cioè esegue *computazioni* specifiche, si ottiene un modulo *computazionale*. Un modulo computazionale è un meccanismo innato specializzato nell'eseguire una certa classe di compiti.

La teoria della mente modulare

- *Incapsulamento informativo (o impenetrabilità cognitiva):*

Le computazioni eseguite da un modulo non hanno accesso alla conoscenza generale del sistema (alle credenze). Le uniche informazioni sfruttabili dalla computazioni sono “locali” al modulo

- *Specificità di dominio:*

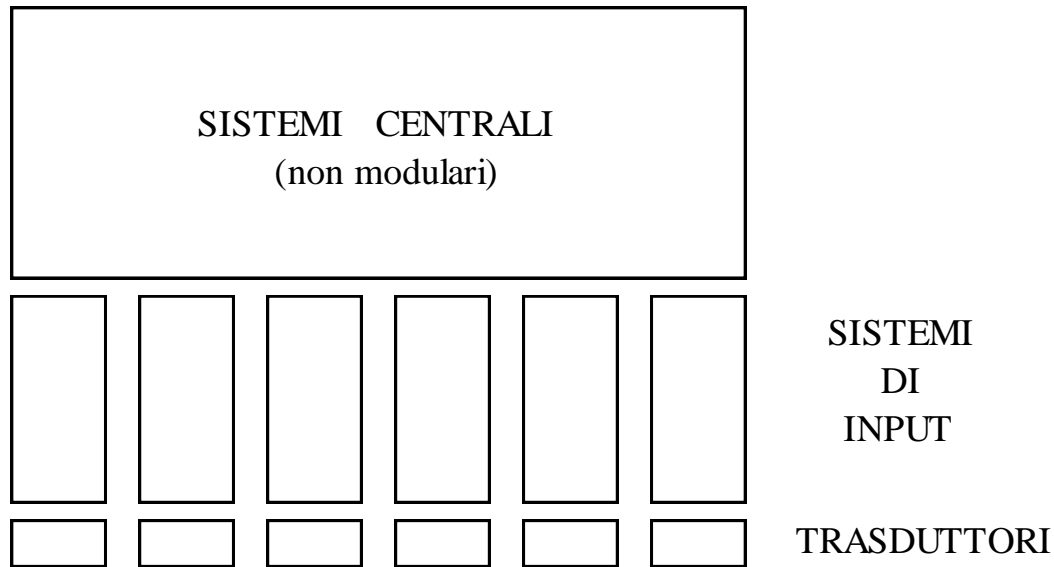
I dati elaborati da un modulo riguardano esclusivamente una ristretta area di conoscenza; in altre parole ci sono meccanismi psicologici distinti corrispondenti a domini di stimolazioni distinte (i moduli sono *specializzati*)

La teoria della mente modulare

Altre proprietà dei moduli:

- Obbligatorietà,
- Velocità di esecuzione,
- Accessibilità limitata,
- Realizzazione neuronale relativamente fissa
- Danneggiabilità selettiva

La modularità della mente (Fodor)



→ Cesura molto netta tra
PROCESSI PERCETTIVI (incapsulati, altamente modulari) e
PROCESSI CONCETTUALI (isotropico-quineani, non
modulari)

La modularità della mente (Sperber)

Tutta la mente è modulare: esistono anche moduli concettuali-inferenziali (“modularità massiva”).

Esempi di moduli concettuali-inferenziali:

- Fisica ingenua
- Psicologia ingenua
- Biologia ingenua

Modelli mentali

- Teoria del ragionamento sillogistico e per estensione della comprensione del linguaggio.
- La competenza logica non deriva dall'applicazione di regole formali, ma da un tipo di valutazione (o comprensione) semantica
- La “comprensione semantica” avviene tramite la costruzione di modelli degli stati di cose descritti dalle premesse.

Modelli mentali

- Un modello mentale è una struttura dati a formato misto (sia elementi percettivi, sia elementi proposizionali) isomorfa allo stato di cose descritto dal discorso. È amodale.
- I modelli mentali sono costruiti da procedure effettive
- Tipi di modelli: relazionali, spaziali, cinematici, dinamici, monadici, metalinguistici ... + immagini mentali

Modelli mentali: requisiti

- finitezza
- computabilità
- ricorsività
- struttura (costituenti discreti in relazione)

... una sorta di via di mezzo tra immagini e proposizioni

Modelli mentali: un esempio

“Gianni è seduto a destra di Anna; di fronte a lui c’è Carlo; a sinistra di Carlo c’è Elena”.

1) A G

2) A G

C

3) A G

E C

Modelli mentali: sillogismi

Nessun autista è un bandito; alcuni cuochi sono dei banditi; quindi alcuni cuochi non sono autisti.

Passo 1

a

a

a

b

b

b

Passo 2

a

(c) = a

a = (c)

c = b

c = b

b

Modelli mentali: le procedure

- 1) Creazione di un nuovo modello
- 2) Integrazione di uno o più elementi in un modello già esistente
- 3) Integrazione di due o più modelli
- 4) Verifica che proprietà e relazioni asserite valgano nel modello corrente
- 5) (se 4 ha dato esito positivo): Revisione del modello in modo da tentare di falsificare l'ultima asserzione
- 6) (se 4 ha dato esito negativo): Revisione del modello in modo da tentare di rendere l'ultima asserzione congruente

Immagini mentali

Informazioni in LTM → costruzione di una struttura nel buffer visivo-spaziale

Il buffer funziona come uno spazio (isomorfismo spaziale)

Le immagini non sono figure statiche immagazzinate nel cervello, ma sono (simili a) percezioni “povere” attivate top-down in aree visive.

Immagini e modelli mentali: una valutazione conclusiva

Immagini e modelli creano un equivalente cognitivo del mondo la cui struttura si presta a trattamenti analoghi a quelli che si applicano al mondo stesso →

- Pensare è in parte vedere (udire, ecc.) con “l’occhio della mente”
- Pensare è in parte *simulare*