

*Fenomenologia della coscienza: complessità e creatività*

**F Tito Arcchi –Università di Firenze ([tito.arcchi@inoa.it](mailto:tito.arcchi@inoa.it))**

I due tempi della cognizione sono apprensione e giudizio. Il primo ha durata variabile (0,5-3 sec) e rappresenta un presente atemporale, esso è allungato dalle emozioni, fino a raggiungere i 150 sec nella meditazione. Il secondo implica la coscienza di sé per istituire un confronto tra le varie apprensioni. Il fatto che il giudizio non sia relativo al proprio stato mentale, ma oggettivabile, riporta in vigore alcuni aspetti esclusi dalla fisica deterministica, tra cui le cause finali.

### **1. Semiosi**

I processi di Semiosi distinguono il vivente dal non vivente. Il non vivente obbedisce alle leggi della dinamica, ed ha traiettoria unica determinata dai campi di forze in cui è immerso e dalla sua condizione iniziale. Invece il vivente riconosce i segni dell'ambiente e reagisce di conseguenza modificando l'ambiente stesso e perciò modificando gli stessi campi di forza in cui è immerso. Si pensi a un 'ameba che nuota in un brodo chimico, andando verso i nutrienti ed evitando i veleni.

In animali dotati di cervello, gli stimoli esterni sono combinati con memorie pregresse, interpretati, portando a decisioni motorie che richiedono un tempo da una frazione di secondo a qualche secondo: è quella che chiamiamo "apprensione". Essa richiede il reclutamento collettivo di folle di neuroni. Una singola apprensione è una unità pre-semantica, entro cui canali sensori (ad es. uditivo e visivo) che hanno tempi di risposta differenti si sincronizzano mutuamente.

Nel caso umano la disponibilità del linguaggio permette di richiamare e confrontare unità pre-semantiche separate, formulando "giudizi". Il passaggio da apprensione a giudizio richiede il passaggio da una semplice consapevolezza di sé alla *coscienza* di un sé giudice che confronta le diverse unità della catena semantica.

### **2. L'apprensione**

I segnali esterni (visivi, uditivi ecc) vengono codificati come impulsi elettrici che i neuroni si trasmettono uno con l'altro, entrando in comunicazione. I segnali dei neuroni sono treni di impulsi stereotipati (ampiezza sui 100 millivolt, durata attorno a 1 millisecondo).

L'informazione è codificata come intervallo temporale fra un impulso e il successivo.

Riferendoci al sistema visivo, ogni neurone ha una codifica diversa, a seconda del segnale che ha catturato nel proprio campo recettivo. Però in presenza di un oggetto definito, ad esempio un gatto su uno sfondo, i neuroni di campi recettivi diversi si "accordano" a trasmettere tutti lo stesso segnale, cioè hanno sincronizzato i loro impulsi. Questa sincronizzazione, detta "feature binding" era stata già ipotizzata dai teorici della Gestalt nei primi decenni del '900; stati di sincronizzazione sono poi stati osservati in animali di laboratorio nel cui cervello erano stati inseriti microelettrodi così sottili da localizzare il segnale di un singolo neurone (si veda W.Singer su Scholarpedia). Nel caso di soggetti umani, non potendo intervenire in modo così invasivo, ci si limita a registrare i segnali elettrici o magnetici raccolti da sonde poste all'esterno; ma queste sentono l'azione complessiva di un gran numero di neuroni, quindi non offrono il dettaglio del singolo neurone. Nel caso dell'elettro-encefalo-gramma (EEG) si applicano ad esempio 64 elettrodi esterni sul cranio; ciascuno di questi registra i potenziali locali dovuti a folle di neuroni, e non si riesce a discriminare l'attività del singolo; ma filtrando i vari segnali, si riescono ad individuare coppie di elettrodi anche distanti fra cui c'è sincronizzazione di fase attorno ai 40 hertz (il centro della cosiddetta banda gamma, cui corrisponde una intensa attività

in fase percettiva): questo vuol dire che le due regioni (ad esempio, l'area visiva primaria e la corteccia pre-frontale) si sono sincronizzate (si veda il lavoro di E. Rodriguez et al. su Nature 397, 430 (1999)). Ne dedurremo che neuroni anche molto distanti stanno rispondendo allo stesso modo, cioè - se riuscissimo a localizzare i segnali individuali - vedremmo una sincronizzazione degli impulsi corrispondenti.

Secondo Baars e Dehaene-Changeux, una specie di centrale di raccolta, detta GWS (global workspace) si attiva quando i segnali in arrivo superano una soglia critica e di conseguenza la GWS trasmette una decisione ai centri motori: è avvenuto un riconoscimento.

Questa ipotesi è rappresentata in fig. 1

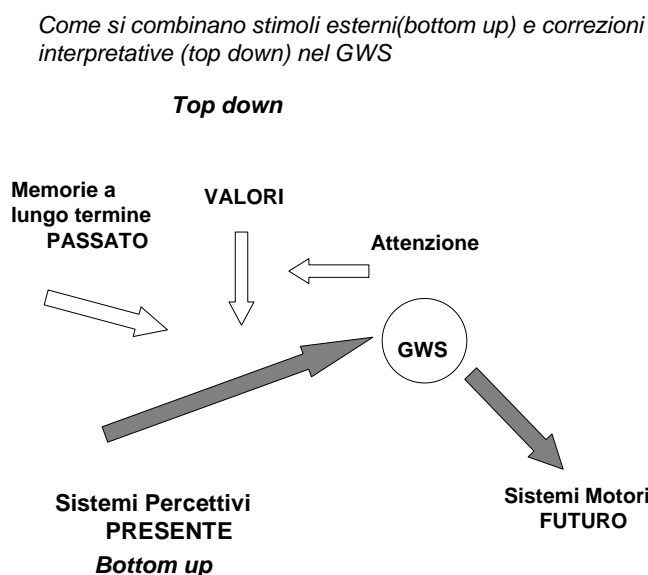


Fig.1 Lo stimolo esterno (bottom up) è modificato da ipotesi interpretative (top down) e diviene una percezione coerente, che - elaborata dal GWS - stimola una decisione motoria.

I

Attenzione però: la cognizione non è un automatismo stimolo-risposta, come riteneva il *comportamentismo* ingenuo.

Lo stimolo (bottom up) si combina con risorse interne che danno una interpretazione top down, come mostrato in fig. 1. Il GWS decide dunque sulla base del segnale interpretato.

Qual è la ragione dinamica della interpretazione? In genere il singolo neurone non è un ricevitore passivo che risponde a una eccitazione; piuttosto, si impegna in una dinamica che presenta *caos deterministico*, cioè una dipendenza sensibile dalla condizione iniziale con conseguente perdita dell'informazione iniziale nel corso del tempo, come illustrato in fig. 2. Per ritardare questa perdita, occorre attenuare la ripidità del paesaggio attorno alla traiettoria, cioè ri-formulare il problema dinamico aggiungendo variabili di controllo.

Questa aggiunta è fatta top down, ricorrendo alle risorse interne. Ogni cognizione è dunque una interpretazione, non una registrazione passiva.

E qui si passa dal determinismo a una scelta libera, compatibile con le regole dinamiche: infatti, avendo aggiunto ulteriori variabili, si è cambiato il tipo di dinamica, fuoriuscendo dalla logica causa-effetto all'interno di una dinamica pre-fissata, che regola il modo di procedere di una macchina.

La variazione di codice è la base della traduzione di un testo: infatti, tradurre Omero non vuol dire automaticamente passare da una parola del Greco antico (che aveva un lessico limitato a

poche migliaia di vocaboli) a una della lingua moderna (che ha un lessico di centinaia di migliaia di vocaboli). Ne sortirebbero delle ambiguità. Il traduttore umano è un soggetto che conosce entrambe le lingue: vive una situazione nella lingua di partenza e la “narra” nella lingua di arrivo.

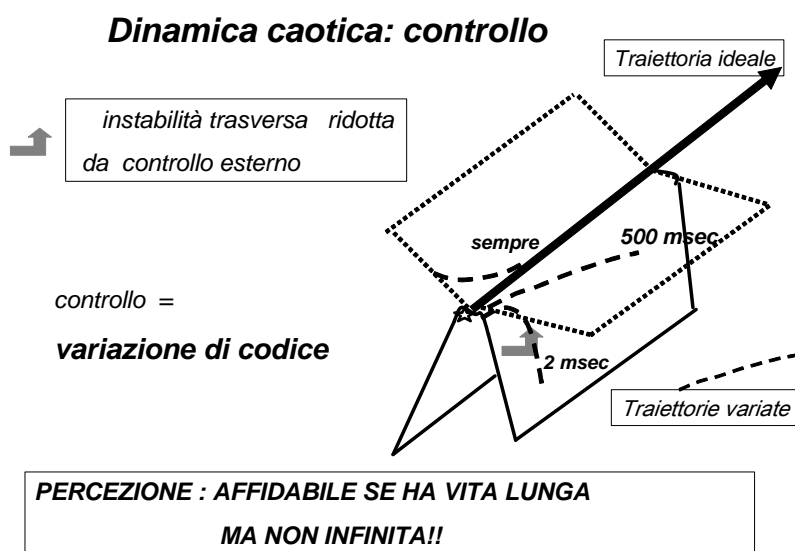


Fig. 2 *Caos deterministico* -La traiettoria (linea spessa) è unica per una data condizione iniziale, qui indicata da una stella. Le coordinate del punto iniziale sono in genere troncate a un numero finito di cifre; pertanto la condizione iniziale non è un punto ma una nube di punti. Condizioni iniziali diverse da quella ideale danno traiettorie che divergono dalla traiettoria ideale se la stabilità trasversale è di tipo *colle*. H. Poincaré mostrò che a partire dal problema a 3 corpi (ricordiamo che Newton aveva risolto solo quello a 2 corpi !) può accadere genericamente questa situazione, detta *caos deterministico*, con perdita di informazione sulla scelta iniziale che sarà più o meno rapida a seconda della ripidità del *colle*. *Controllo del caos*- Il caos può essere controllato, aggiungendo altre variabili che- senza perturbare la traiettoria longitudinale - modifichino la pendenza del *colle*. Nel caso percettivo, è plausibile pensare che i segnali top-down più opportuni siano quelli che assicurano una vita lunga alla dinamica collettiva dei neuroni. La selezione fra le possibili percezioni è perciò legata al tempo di conservazione dell'informazione. Nella figura si indicano tre paesaggi di stabilità attorno alla traiettoria ideale: quello del singolo neurone isolato, nel quale il caos dissipa l'informazione in 2 msec; quello corretto per allungare la conservazione dell'informazione a 500 msec e permettere una decisione al riguardo, lasciando dopo il campo per una successiva apprensione; quello superstabilizzato per cui l'informazione si mantiene sempre. Quest'ultimo atteggiamento -ipercauto- è una cattiva strategia cognitiva, perché una singola percezione si mantiene per sempre e preclude l'elaborazione di percezioni successive.

In una serie di lavori del mio gruppo di ricerca, abbiamo studiato gruppi di neuroni collegati in rete da mutui accoppiamenti. Quando l'accoppiamento è nullo o debole, i neuroni emettono i propri impulsi individuali senza alcuna correlazione mutua. Quando l'accoppiamento è molto forte, i neuroni emettono impulsi sincroni, indipendentemente da uno stimolo di ingresso; questa

sincronizzazione a- semantica (cioè in assenza di uno stimolo esterno) è patologica, e caratterizza le crisi epilettiche.

Dosando invece valori intermedi di accoppiamento, i neuroni sono scorrelati ma pronti a correlarsi; allora l'applicazione di un opportuno segnale esterno li può ordinare in uno stato sincronizzato che ha una durata dipendente dalle caratteristiche del segnale applicato e dal grado di accoppiamento. Formuliamo allora le seguenti ipotesi: il GWS è un lettore che somma gli impulsi individuali; quando questi arrivano scorrelati, a tempi diversi, si ha un basso segnale; se invece arrivano tutti insieme, si ha un segnale somma sufficientemente grande da stimolare l'attività del GWS. La modulazione del grado di accoppiamento mutuo rappresenta lo stimolo top-down; i vari segnali di ingresso (bottom-up) vengono codificati in durate diverse dello stato collettivo, cui possono essere associate reazioni motorie diverse. Dunque la durata della sincronizzazione risulta da una combinazione di bottom up e top down, cioè di intensità dello stimolo e grado di coinvolgimento.

Lo stato di sincronizzazione collettiva che "illumina" il GWS è atemporale, rappresenta l'istante presente, come era discusso dal filosofo H. Bergson. Dal punto di vista neuronale, anche in assenza di un oggetto esterno si può osservare la sincronizzazione nella banda gamma reclutando risorse interne. La sincronizzazione nella banda gamma – che di solito è limitata a 3 sec- può arrivare per soli stimoli top down fino a 150 sec nella meditazione priva di oggetto: esperimento su monaci tibetani di A Lutz et al, pubblicato sui Proceedings della NAS (National Academy of Sciences –US) vol 101, pp.16369 e seg. (2009).

Ne estraiamo una considerazione sul tempo soggettivo: esso non ha nulla a che vedere con il tempo scandito da un orologio; una forte emozione, indotta da un atto di amore o da uno stato meditativo, può allungare il presente. Tutto ciò era ignoto a Benedetto Croce, quando diceva che il paradiso dei cristiani era noioso perché dopo un po' si sapeva tutto e ci aspettava una eternità; il Croce ignorava che un amore molto grande blocca il soggetto su un eterno presente!

Abbiamo così formulato un modello di apprensione che non è rigido come un riflesso condizionato, ma può scegliere entro un repertorio di possibili interpretazioni. Questo repertorio è costruito nel corso della vita e aggiornato da incrementi di memoria. Ciò vale sia per l'uomo sia per gli altri animali.

La differenza fra un animale e l'uomo, è che l'uomo attraverso il linguaggio è divenuto capace di fare un uso infinito di risorse finite (si pensi alle creazioni musicali che si appoggiano sulle stesse note). Discuteremo di questo studiando il passaggio da *apprensione* a *giudizio* sotto la guida della *coscienza*; ma per far ciò dobbiamo prima classificare i diversi tempi della cognizione, e il ruolo della *memoria*.

### ***3. I vari tipi di memoria***

#### **3.1. Memoria sensibile**

All' apprensione si associa una memoria **Sensibile** essa riguarda eventi la cui durata va da frazioni di secondo fino a circa 3 sec; la durata varia con l'attivazione più o meno lunga della GWS; essa rappresenta un'isola pre-semantica in cui non ci si pone problemi di significato, ma si reagisce nel modo più opportuno. All'interno di questa isola, si "aggiustano" canali sensori che hanno diversi tempi caratteristici (ad esempio, acustico e visivo). Il limite superiore di 3 sec è stabilito da tre classi di esperimenti:

a) salto da una percezione all'altra nel caso di esposizione a figure bistabili (esempio: cubo di Necker),

b) in esperimenti di “binocular rivalry” si inviano separatamente ai due occhi due segnali diversi; il soggetto prende coscienza o dell’uno o dell’altro, con salti ogni 3 sec;  
c) la consapevolezza di una decisione è posteriore –fino a 3 sec- all’attivazione di potenziali di azione (Libet) per cui all’interno dell’isola pre-semantica, sembra non esserci libero arbitrio. Precisamente, Libet ha mostrato che ad una apprensione segue una reazione motoria pilotata da un segnale cerebrale (potenziale di azione) che è in anticipo rispetto alla consapevolezza.

3.2. **Memoria a breve termine o working memory (WM)** : versione filtrata di **Memoria sensibile**, durata 15-30 sec; capacità 7+/-2 pezzetti di informazione (ad esempio, memorizzare un numero di telefono)

In questo intervallo di 15-30 sec avviene il confronto fra isole diverse.

Tre parti di WM: a) **Fonologica**; *linguaggio*, si spegne in 2 sec se non è esercitata

b) **Visuospaziale**; *spaziale*,

c) **Esecutiva**; *coordina le altre due e lega alla LTM*;

**Superficiale** : procedura puramente sintattica

**Profonda** : interpretazione semantica in relazione a LTM

3.3. **LTM (long term memory)** durata da minuti a decenni

**Dichiarativa** (consia) **Episodica- Semantica**

**Implicita** (inconscia) **Procedurale**

L’immagazzinamento ha luogo come potenziamento a lungo termine (**LTP**) degli accoppiamenti sinaptici fra neuroni distinti, meccanismo previsto da D. Hebb.

#### **4. Il giudizio come confronto semantico; ruolo della coscienza**

Sequenze di apprensioni memorizzate e confrontate fanno un discorso; dunque **discorso** = **sequenza di isole presemantiche da connettere** (qualunque linguaggio, letterario, musicale, pittorico, fa questo). Dal confronto emerge un **giudizio di verità**.

La distinzione fra apprensione (comune agli animali) e giudizio (esclusivo dell’uomo) è il cuore di “*Insight* = l’intelligenza”, un’opera filosofica di Bernard Lonergan in cui si armonizza la teoria della conoscenza di Tommaso d’Aquino con la fenomenologia di E. Husserl e M. Merleau-Ponty.

Svilupperemo una base dinamica del giudizio, e in tal modo ci allacceremo agli approcci filosofici sulla cognizione.

E’ stata introdotta la distinzione fra **PC** (**phenomenal consciousness**) che riguarda la consapevolezza dei contenuti di un’apprensione e **AC** (**Access consciousness**) che implica un soggetto-giudice che sia cosciente di se stesso come colui che deve confrontare le diverse isole per estrarne un discorso sensato. Chiamiamo **COSCIENZA** questo secondo tipo di operazione, riservando al primo il ruolo di *consapevolezza*. E’ importante sottolineare che tutti i testi recenti sulla Coscienza e i dibattiti su **NCC** (neural correlates of consciousness = correlati neuronali della coscienza) si riferiscono a PC e non considerano l’AC, da cui il summenzionato paradosso di Libet visto come negazione del libero arbitrio.

In effetti, nella PC una apprensione è seguita immediatamente da una reazione motoria la cui consapevolezza è ritardata dall’effetto Libet. Invece in AC si confrontano sequenze di apprensioni distinte, recuperandole dalla memoria, e si elabora una decisione complessiva, che implica l’uso di procedure linguistiche; in questo percorso elaborato non ha più senso localizzare potenziali d’azione associati a un atto elementare di PC.

La differenza fra *PC*(coscienza fenomenica ,) e *AC* (coscienza di accesso) è stata introdotta da Ned Block

Per Ernst Poeppel l'intervallo di 3 sec non è determinato dal contenuto, esso stabilisce una finestra entro la quale può essere realizzata la *PC*; gli stati di essere cosciente sono invece semanticamente dipendenti e fanno la sequenza detta *AC*.

Nel confrontare brani di memoria, non possiamo ricorrere a modelli dinamici di gruppi di neuroni accoppiati, come fatto per GWS. La dinamica neuronale, caos e suo controllo, è qui rimpiazzata dall'uso della formula di **Bayes**, introdotta nel 1763 come procedura alternativa alla mera soluzione di una equazione newtoniana. Essa consiste nella seguente sequenza

- i) a partire da una situazione iniziale, come andare avanti? Formuliamo *una rosa di ipotesi h*, a ciascuna assegniamo una probabilità *a-priori*
- ii) ogni *h*, inserita in un *modello di evoluzione*, genera dati *d* con probabilità di *d condizionata* dalla *h* da cui si parte
- iii) effettuiamo una misura e *osserviamo un particolare dato d\**
- iv) la combinazione di iii) e ii) seleziona una particolare ipotesi *h\**, che acquista così una probabilità *a-posteriori* più alta rispetto ad i)

Dunque *h\** indica fra le nuove situazioni quella più plausibile, che ha cioè una maggior probabilità di accadimento; a partire da questa si ripete un ciclo di Bayes e così via. E' come la scalata di un colle di probabilità (più si sale e più aumenta la probabilità), come illustrato in fig.3. In cima abbiamo la certezza? No; se badiamo alla procedura seguita, abbiamo solo acquisita la massima plausibilità.

La procedura di Bayes ha influenzato tutta la scienza del 1800.

La evoluzione di **Darwin** è una procedura bayesiana, in cui la *mutazione* è la formulazione di una rosa di ipotesi *h*; queste –inserite in un modello di sviluppo che includa il ruolo dell'ambiente; l'ambiente che rappresenta i dati *d* con cui fare i conti, *seleziona* la variante più plausibile *h\** cioè quella che meglio si adatta (*fitness*) ai vincoli ambientali *d*.

Se pensiamo allo stile investigativo di **Sherlock Holmes**, esso è bayesiano.

Il modello -o regola procedurale- ( punto ii) è l'**algoritmo** con cui si può istruire un computer, automatizzando così in un **expert system** il duplice compito di formulare rose di ipotesi e confrontarle con i dati

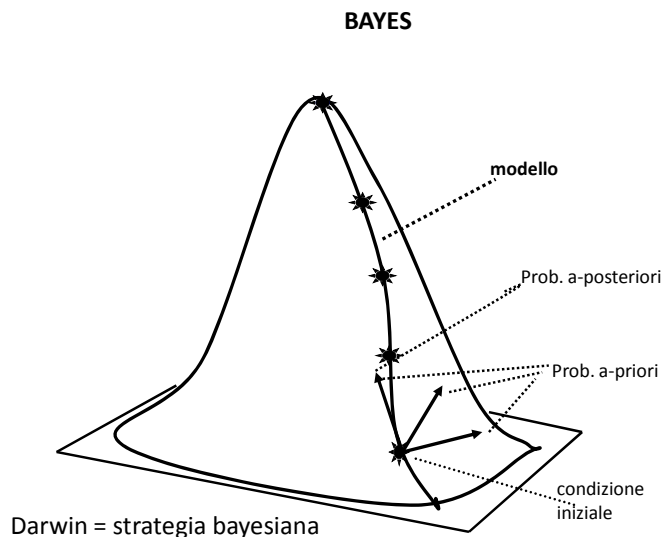


Fig.3- Costruzione di ipotesi scientifiche viepiù adeguate agli esperimenti, per applicazione successiva del teorema di Bayes. La procedura è una scalata del monte della probabilità. Le stellette indicano il progresso. Ad ogni punto sulla curva che porta al picco corrisponde un valore di probabilità. Si noti che la strategia darwiniana è una implementazione di Bayes.

### 5. Complessità e creatività, Bayes inverso

Bayes si basa su un modello prefissato (punto ii) della procedura su delineata, rappresentato dalla linea spessa in fig.2, su cui si collocano le stellette che rappresentano i dati). Invece, in un **sistema complesso**, partendo da un certo numero di variabili, c'è in genere un numero alto di possibili modelli evolutivi. Tecnicamente, i teorici chiamano complesso un sistema in cui questo numero cresce *esponenzialmente* col numero di variabili, ad esempio il numero di configurazioni spaziali che può assumere una catena di atomi in una biomolecola.

Chiamo **creatività** il salto (non-algoritmico, quindi inaccessibile a un computer) da un modello a un altro (fig. 4: linee orizzontali tratteggiate che fanno passare da un monte, cioè da una scalata con modello fisso, a un altro monte).

La formulazione di un giudizio corrisponde a un uso **non-standard** di Bayes. Le collezioni dei diversi brani di discorso (versi di un poema, frasi di un romanzo, misure di una melodia, regioni pittoriche di un dipinto che stiamo esplorando) sottoposti alla nostra coscienza contengono già sia i dati  $d$  sia le  $h^*$  che l'uso standard di Bayes ci avrebbe dovuto far ricostruire con l'ausilio del modello ii).

Possedendo già le sequenze  $d$  e  $h^*$ , possiamo invertire la procedura di Bayes e servirci di quanto già acquisito **per identificare il modello più appropriato** che interpreta i fatti a partire da certe ipotesi. Questo modello è il giudizio di verità che noi formuliamo sulla adeguatezza fra le nostre aspettative ( $h$  trasformate in  $h^*$  dal fluire del discorso) e dati  $d$  (i contenuti di realtà che ci vengono offerti).

La presenza del salto non-algoritmico implica *libera scelta*, l'ermeneutica di un testo non è deterministica. L'ermeneutica di una situazione non vincola a scelta obbligata → *libero arbitrio*.

Ci si domanda se un giorno questa procedura di scelta può essere trasferita a una macchina di calcolo, che di conseguenza acquisterebbe coscienza. Da alcuni decenni sono disponibili gli "algoritmi genetici" introdotti da John Holland (*Adaptation in natural and artificial systems*, MIT Press, 1992). Ad ogni passo di calcolo, si introducono piccole variazioni nell'algoritmo; i programmi di calcolo corrispondenti entrano in competizione come popolazioni biologiche e vince quello che meglio si adatta.

Il punto cruciale è che per fare variazioni non patologiche, occorre che l'algoritmo di partenza abbia una stabilità intrinseca in modo che le variazioni siano nel suo intorno. Riferendoci a fig. 4 è come se introducessimo piccole perturbazioni attorno alla linea in salita chiamata "Bayes senza semiosi". Invece i salti orizzontali che ci portano molto lontano dalla situazione iniziale (linee tratteggiate orizzontali chiamate *creatività*) non sono eseguibili con una procedura variazionale accessibile a un computer.

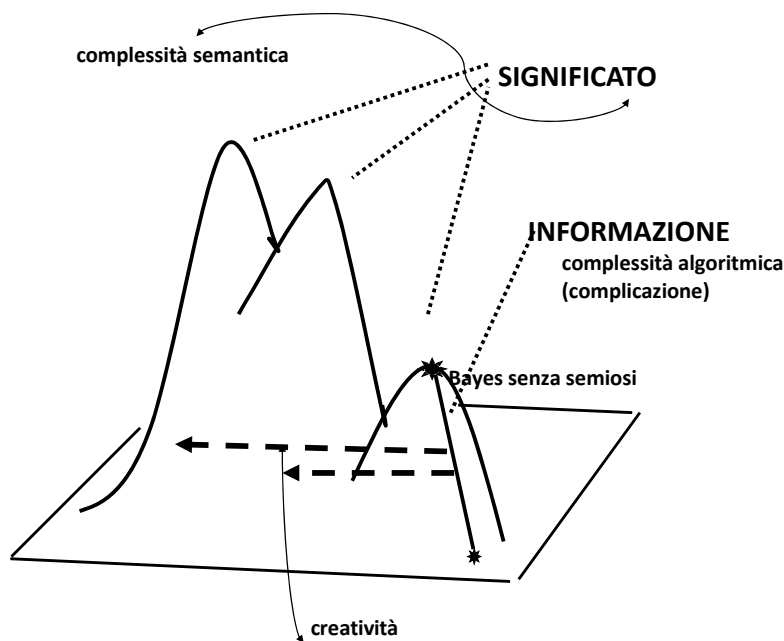


Fig.4- *Complessità semantica* -Spazio delle probabilità con più massimi. L'ascesa verso un picco può essere automatizzata in un computer, con un programma di scalata secondo il massimo gradiente. Il prendere atto che esistono altri monti, e si può ricominciare la scalata altrove, è un atto di *creatività*, corrispondente a una comprensione dei segni del mondo (*semiosi*) guidata da tutto il retroterra culturale e umano dello scienziato: operazione non delegabile a un computer. Chiameremo *significato* il fatto che esistano più picchi, esso va oltre l'*informazione*. Possiamo identificare la *complessità semantica* con il numero di picchi, cioè di strategie di Bayes distinte che possiamo intraprendere.



## 6. *Creatività e formulazione delle descrizioni scientifiche*

Nella scienza dei computer la complessità  $C$  di un problema è definita come la lunghezza in bit della più corta istruzione che permette di risolvere il problema.

D'altronde, se il problema dinamico è affetto da caos deterministico, l'informazione contenuta nelle condizioni iniziali si perde al passare del tempo e occorre rimpiazzarla con ulteriore informazione: si pensi ad esempio all'aggiornamento quotidiano dei dati meteorologici per riuscire a prevedere la situazione climatica. Denotiamo con  $K$  (in onore del matematico russo Kolmogorov) la velocità di perdita dell'informazione. Un sistema regolare come il moto Terra – Sole avrà  $K=0$ ; un sistema imprevedibile perché in continua agitazione come un gas di molecole a una certa temperatura avrà un  $K$  altissimo, che tende all'infinito; i sistemi caotici avranno un  $K$  positivo, il cui valore è inversamente proporzionale al grado di prevedibilità, cioè cresce all'aumentare del caos.

Da questo consegue che, per un computer che opera con un certo algoritmo,  $C$  cresce linearmente con  $K$ , come mostrato in fig.5.

Nei decenni passati, quando era in voga la cosiddetta *Intelligenza Artificiale forte*, si credeva che l'intelligenza umana vista come capacità di soluzione dei problemi sarebbe stata un giorno rimpiazzabile da un super-computer. Al riguardo Herbert Simon sviluppò un programma di calcolo, che chiamo *BACON*. Questo programma, alimentato con i dati astronomici noti all'inizio del '600, finiva con lo stabilire le leggi di Keplero e di conseguenza poteva arrivare al modello di Newton.

Il risultato di per sé era modesto, in quanto si affrontava un problema con  $C=K=0$ .

Appena si sale con  $C$  e  $K$ , la lunghezza dell'istruzione diventa così lunga da essere inutile (pensate di dover fare girare un computer per 48 ore per prevedere il clima di domani....).

A differenza del computer, che è vincolato a una procedura, l'uomo può fare salti non-algoritmici, cioè variare il codice descrittivo del problema, cos' come abbiamo detto per la traduzione letteraria.

In tal modo, guidato dai segni che gli vengono dal mondo, egli può effettuare una variazione di codice che lo porta a una teoria scientifica che-pur spiegando tutti i dati osservativi, sia a più bassi  $C$  e  $K$  (fig.5).

Nella fig.5 b) si presenta un tentativo di classificazione delle differenti descrizioni scientifiche che si adottano a seconda dei dati osservativi da spiegare. Come si vede, la fisica non procede attraverso una *teoria del tutto*, cioè con variabili fondamentali legate da equazioni universali da cui dedurre qualunque fenomeno, ma riformula una teoria efficace (il termine fu introdotto dal fisico russo L.Landau) in corrispondenza a fenomeni specifici, trascurando le variabili non significative e limitandosi a quelle rilevanti, in modo da affrontare problemi in cui  $C$  e  $K$  siano abbastanza bassi. L'introduzione di valutazioni legate all'uso che se ne vuol fare richiede una *semiosi*, cioè una capacità di vedere la dinamica in studio legata all'ambiente in cui si opera. Questa adattabilità va ben oltre il potere di un *algoritmo* con cui si può istruire un computer. Su ciò torneremo in dettaglio nella Sezione successiva .

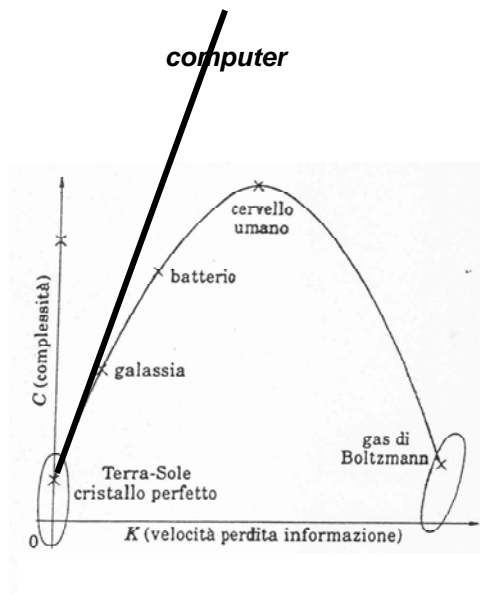
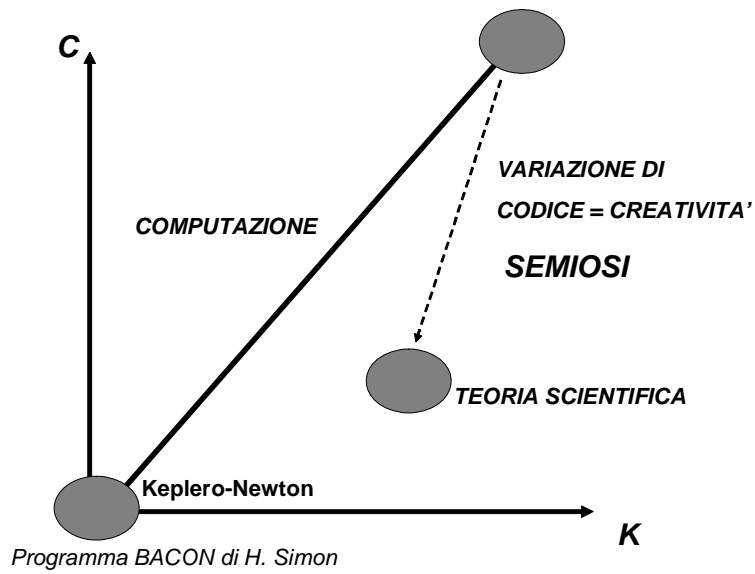


Fig.5 -Diagramma C-K :Confronto fra i modi di procedere di un computer e di un essere umano.

a) Restando dentro un unico codice, come fa il computer, la complessità  $C$  cresce linearmente con la velocità  $K$  di perdita caotica dell'informazione. Invece lo scienziato è opportunisto, e cerca il codice migliore per ridurre  $C$ . Ipotizzando nuove variabili che controllano il caos riducendo  $K$ , si introduce una teoria efficace che trascura le variabili veloci e descrive solo le variabili lente.

b) tentativo di organizzare l'insieme degli oggetti della scienza nel diagramma  $C-K$ ; il gas di Boltzmann è privo di dettagli significativi e lo riassumiamo in pochi parametri termodinamici, quindi basso  $C$  anche se  $K$  è altissimo; invece - per quanto ne sappiamo oggi - il cervello umano ci appare come l'oggetto più complesso dell'universo.

### **7-Fisica e metafisica**

La fisica ha elaborato un metodo che permette di dedurre il futuro di un sistema a partire dalla conoscenza delle leggi di forza e dalle condizioni iniziali. Questo metodo è stato ritenuto in grado di spiegare i fenomeni; una volta che siano note tutte le leggi di forza si sarebbe in possesso di una "*teoria del tutto*".

Ricordiamo le quattro cause aristoteliche, *materiale, formale, efficiente e finale*. A parte le prime due, che conservano in ogni caso una ragione, la fisica, col suo procedere deduttivo, sembra aver escluso le cause finali e ridotto la dinamica a ricerca delle cause efficienti. In base a questo *determinismo*, detto anche *chiusura causale della fisica*, i cosiddetti *eliminativisti* hanno escluso qualunque possibilità di volontà libera. Ogni nostro atto è determinato dalle condizioni iniziali dei nostri atomi e molecole e noi saremmo degli automi.

Abbiamo visto che, per effetto della *complessità*, a pari numero di oggetti interagenti corrisponde un numero altissimo di possibili scenari (si pensi a fig. 4 con un numero enorme di possibili picchi alternativi). Il risalirne uno corrisponde alla scelta di un algoritmo definito; un salto creativo da un algoritmo a un altro corrisponde a una ri-codifica, cioè a una riformulazione diversa dello stesso problema con gli stessi oggetti. La creatività dunque ci permette di scegliere un modo alternativo di descrivere un gruppo di fenomeni, attenendoci a quello più opportuno, cioè più adeguato a interpretare il flusso di apprensioni coordinate dal linguaggio.

Dunque: risalendo il singolo picco di Bayes si ottiene la *certezza*, cioè la massima plausibilità compatibile con un algoritmo fisso; saltando in modo adattivo si raggiunge la *verità*. Ma i salti adattivi, non algoritmici, fuoriescono dalle cause efficienti e reintroducono le cause finali.

Nella formulazione dei giudizi, la ricerca della verità esplorando diverse probabilità condizionate di generare dati a partire da ipotesi equivale alla ricerca di un finalismo nella sequenza semantica; si converge a una verità in virtù della *coscienza* che è in grado di confrontare diverse formulazioni e scegliere la più adeguata.

Il limitarsi alle cause efficienti, cioè all'applicazione universale di un singolo algoritmo, rappresenta un limite alla latitudine di un programma scientifico. La critica formale fu fatta da K Goedel nel 1931 con il suo teorema di incompletezza che possiamo illustrare con riferimento a Fig. 4. Se la stelletta più in basso a destra rappresenta un corpo di assiomi e la linea in salita un formalismo deduttivo, raggiungere la cima di un colle vuol dire aver enunciato tutti i teoremi dimostrabili, cioè derivabili algoritmicamente dagli assiomi. Invece un matematico creativo "vede" altri enunciati, compatibili con gli assiomi ma non dimostrabili dall'algoritmo prescelto. Questo teorema di Goedel rappresenta una critica meta-matematica alla completezza di qualunque teoria formale.

C'è un equivalente in natura di questa procedura creativa? La risposta positiva a questa domanda è stato il grande contributo filosofico di Darwin. Torniamo a fig. 4. L'arrampicarsi su un monte (linea solida) visualizza l'evoluzione "*entro una specie*", nell'ambito di una procedura standard; ma arrivati in cima, qualunque ulteriore passo è una ricaduta verso il basso, cioè una riduzione di probabilità. Forse è questo che ha segnato l'estinzione massiccia di certe specie (ad esempio, i dinosauri) senza bisogno di invocare quel "deus ex machina" che è il grosso meteorite. Invece, un salto "*al di fuori della specie*", fuori dalla procedura algoritmica, (linea

tratteggiata orizzontale) ha permesso di sperimentare altre linee procedurali (gli uccelli e i mammiferi che rimpiazzano i dinosauri).

Stiamo applicando alla evoluzione biologica quella creatività che abbiamo già attribuito al soggetto umano che formula un giudizio. In effetti, la storia della vita è ricca di creatività, cioè di scelte adattive nuove che violano procedure già stabilite. Non è vero, come propugnato da R.Dawkins e altri biologi, che ogni salto fuori dall'algoritmo finora seguito sia come lanciare un numero alla roulette. Non vale un argomento strettamente probabilistico, come quello racchiuso nella metafora dell' "orologio cieco". In un paesaggio complesso le varie scelte hanno un differente peso adattivo, in quanto innescano procedure diverse. Pertanto emergerà alla lunga una scelta vincente. Dunque, con buona pace delle letture riduttivistiche fatte dai seguaci darwiniani entusiasti, da T Huxley a R Dawkins, già in Darwin è incorporato un solido argomento finalistico, e non una catena *casuale* di cause efficienti, cioè dei salti a caso da una procedura a un'altra.

Possiamo vedere la nascita della coscienza personale e del giudizio nell'uomo come una creatività naturale ottimizzata dal confronto immediato fra i vari brani del discorso, che permette il giudizio di verità?

Questo va bene, e spiega il nostro ruolo, visto che a livello dell'apprensione (entro l'isola pre-semantica) siamo dei mediocri operatori, battuti in acutezza ad esempio da aquile (visione) cani (odorato) e linci (udito).

La restituzione di valore alle cause finali permette di considerare con estremo rispetto la tesi centrale delle religioni monoteistiche: il logos delle nostre operazioni mentali ha un corrispettivo negli eventi naturali; era quest'armonia fra noi e il cosmo che riempiva di stupore Albert Einstein e Eugene Wigner.

Nel 1921 Einstein si domandava: "Come può essere che la matematica, che dopotutto è un prodotto del pensiero umano indipendente dall'esperienza, sia così mirabilmente appropriata agli oggetti della realtà?"

:Nel 1960, Wigner pubblicava un articolo intitolato *L'irragionevole efficacia della matematica nelle scienze naturali*. Lo concludeva con questa frase: "Il miracolo dell'appropriatezza del linguaggio della matematica per la formulazione delle leggi della fisica è un dono meraviglioso che noi non comprendiamo né meritiamo". Richard Hamming nel 1980 commentava questo lavoro dicendo che gli esseri umani creano e selezionano la matematica più adatta ad una situazione.

Come mostrato prima nella fig.4, mentre una macchina di calcolo procede secondo un preciso algoritmo (o delle varianti elaborate secondo un protocollo prestabilito, come nel caso degli "algoritmi genetici" di J. Holland) il ricercatore umano può esplorare regioni apparentemente disconnesse con la situazione di partenza: è quello che abbiamo chiamato *creatività*. Ma perché questi salti non degenerino in capriccio, occorre che sia attivo un giudice in grado di mettere a confronto situazioni diverse e scartare quelle non significative. E' la presenza a se stesso di questo giudice che consideriamo come il nucleo della *coscienza*.

### ***Nota bibliografica***

Molti lavori sono stati già citati nel corso dell'esposizione.

La sincronizzazione collettiva dei neuroni come accesso al GWS si trova in lavori del mio gruppo , a partire da Phys.Rev.Letters,86, 791(2001) fino a Chaos 19, 015104 (2009). L'uso del teorema di Bayes e la sua visualizzazione in situazioni semplici e complesse , come rispettivamente in fig. 3 e 4, è stato da me discusso a partire dal 2007

(Eur.Phys. J. Special Topics, 146, 205). Si possono vedere questi e altri contributi sulla mia Homepage: [www.inoa.it/home/arecchi](http://www.inoa.it/home/arecchi)

Una sintesi di questi argomenti si può trovare nel mio libro:

F.T. Arecchi , *Coerenza, Complessità e Creatività* (S. Di Renzo, Roma 2007)