

## Scienza del XXI secolo : istruzioni per l'uso o ricerca di significati ?

---

di F. Tito Arecchi

Università di Firenze e INO-CNR (Istituto Nazionale di Ottica)

e.mail: [tito.arecchi@ino.it](mailto:tito.arecchi@ino.it)

### Introduzione

Storicamente, la scienza moderna si è costituita attorno a due auto-limitazioni.

La prima – enunciata da Galileo nel 1612, consiste nel “*non tentare le essenze, ma contentarsi delle affezioni quantitative*”. Si ritagliano da un fenomeno solo quegli aspetti suscettibili di misura; si ha così un pacchetto di numeri con cui si cerca di ricostruire il fenomeno, avendo eliminato tutti gli aspetti non misurati.

Qui però interviene la fede nelle leggi di natura come regole assegnate da Dio, perciò affidabili. Pertanto, il programma di Galileo è: estrarre misure e collegarle matematicamente con leggi. Galileo è credente e vede Dio nelle leggi; lo stesso vale poi per Newton.

Una manipolazione formale, puramente sintattica, di un pacchetto di simboli (come il codice a barre di un prodotto al mercato), senza attribuire ad essi un significato, è il modo di procedere di un calcolatore; ne è emersa la convinzione che la ragione operi come una macchina di calcolo sui dati misurati o percepiti, senza attribuire ad essi alcun significato.

La seconda auto-limitazione è nata con il tentativo di indovinare le carte nel gioco d'azzardo (Bayes, 1763). Nello sviluppare un ragionamento, si formula un ventaglio di ipotesi a-priori con diversi gradi di probabilità. Ognuna di queste ipotesi, introdotta in un modello di mondo, genera un dato. Il **modello** rimpiazza la **legge** di natura di Galileo-Newton; non ci si appoggia più a una fede in Dio per dar forza alle leggi, ma si considera il modello come una aspettativa probabile per il fatto che lo abbiamo verificato tante volte. Dice Hume, contemporaneo di Bayes: “non sono certo che il Sole sorgerà anche domani, ma la cosa è altamente probabile.” Misurando quali dati effettivamente si verificano, si costruisce una probabilità a-posteriori che seleziona fra tutte le ipotesi a-priori solo la più plausibile; la procedura si chiama **inferenza**.

La procedura di Bayes ha influenzato tutta la cultura scientifica del secolo successivo. Pensiamo alla macchina dell'evoluzione di Darwin : il ventaglio di ipotesi corrisponde alle **mutazioni** o varianti genetiche, il modello è la capacità di adattamento all'ambiente (in gergo: fitness) che induce la **selezione** del mutante più adatto. Allo stesso modo, nei romanzi polizieschi di A. Conan Doyle, è facile vedere che le procedure di indagine di Sherlock Holmes sono bayesiane . La procedura è trasferibile a una macchina di calcolo; in effetti, oggi negli ospedali si usano macchine di calcolo come “*sistemi esperti*” che, istruiti con un modello umano e riforniti dei dati clinici di un paziente, emettono la diagnosi più plausibile.

La scoperta recente di situazioni **complesse** indica che in presenza di molte variabili non si ha mai una soluzione unica a un problema; spesso il numero delle possibili soluzioni cresce in modo esponenziale con il numero di variabili. L'inferenza di Bayes esplora solo un possibile percorso; la ragione sintattica – o il computer per essa – si arrampica con successo su quell'unico percorso e ignora gli altri.

Pertanto, le due auto-limitazioni della ragione scientifica (Galileo e Bayes) non forniscono indicazioni procedurali in situazioni complesse. Il fatto che invece la mente umana riesca con successo ad esplorare modelli alternativi indica che la nostra visione del mondo non è bayesiana, ma cattura quei **significati** che sfuggono alla procedura scientifica.

È questo che chiamiamo **creatività**.

Più in generale, andando oltre il campo delle scienze della natura, ogni combinazione nuova e significativa di elementi lessicali (le parole di una lingua, le note musicali) è un atto di creazione. Il nostro essere immersi nel mondo in modo non auto-limitato dalle procedure scientifiche fa sì che ci sia la poesia di Leopardi o la musica di Mozart.

Dunque, il fatto che il mondo sia complesso vuol dire che in genere non è racchiudibile in un modello unico. Come scegliere allora fra più modelli alternativi? Ci si prospettano due modi di leggere i salti creativi:

- a) **relativismo** -è la scelta proposta da Platone nel mito della caverna: la realtà (che per Platone è invece nel mondo delle Idee) non è nelle cose osservate, al riguardo siamo come un prigioniero incatenato e costretto a vedere solo le ombre proiettate sul fondo della caverna, quindi ingannati dalla parzialità del “punto di vista”;

oppure:

- b) **realismo critico**- la realtà che ci circonda ha senso, ma va catturata da molteplici punti di vista, un programma che non si esaurisce mai; di conseguenza il salto creativo (il di più che acquisiamo ad ogni rivisitazione) non è arbitrario, ma guidato dalla situazione entro cui ci troviamo; nell’explorare diversi codici di lettura, ri-aggiustiamo il codice fino ad armonizzare due brani successivi del discorso in cui abbiamo codificato la nostra lettura del mondo (mettiamo cioè a confronto distinti punti di vista); questo riaggiustamento è la base della verità, definita da Tommaso d’Aquino come **conformità dell’intelletto alla cosa**.

Per supportare questa seconda scelta, analizzeremo due momenti distinti della cognizione umana, e cioè **apprensione (A)**, in cui una percezione coerente emerge dal reclutamento di gruppi neuronali, e **giudizio (B)**, in cui la memoria richiama precedenti unità (A) codificate in un linguaggio conveniente, queste vengono confrontate e dal confronto consegue la formulazione di un **giudizio**.

Il primo momento (A) ha una durata attorno a 1 sec; Esso può essere descritto come una interpretazione degli stimoli sensoriali sulla base di istruzioni (=algoritmi) **già disponibili** (appresi cioè nel corso della vita precedente) mediante una procedura di Bayes ed è finalizzato a suscitare una adeguata risposta motoria.

Il secondo momento (B) implica il confronto di due apprensioni acquisite a tempi diversi, codificate in un dato linguaggio e richiamate dalla memoria. (B) dura circa 3 sec e richiede la *auto-coscienza*, in quanto l’agente che esprime il giudizio deve essere consapevole che al suo scrutinio sono sottoposte le due apprensioni da cui estrarre una mutua relazione. A differenza di (A), (B) **non presuppone un algoritmo**, ma piuttosto ne costruisce uno nuovo. Questa costruzione di un nuovo algoritmo è intimamente legata con la **creatività** e la **libertà decisionale**.

### Guida-sommario

1- Tre tipi di lettura del mondo (“*ermeneutica*”): naturalismo; relativismo; ricerca di senso (fig.1,2).

2- La percezione coerente o **apprensione** (evidenziata da adeguata risposta motoria) come procedura guidata dalla **inferenza** di Bayes (fig.3,4,5).

3— Che cos’è la **complessità**; complessità algoritmica (solo sintattica) e semantica (guidata dai significati); esempio di come la mente “legge” un testo caotico, guidata da significati. **Creatività** come superamento di Bayes.; creatività e teoremi di **K.Goedel**(1931) e **A. Turing**(1936) come limite a qualunque formalismo (fig.6,7,8).

4- **Giudizio= Bayes inverso** come sorgente della creatività; picco di attenzione fra i 2 e 3 sec che collega due apprensioni successive da confrontare nel giudizio, confronto con testi poetici, musicali e figurativi (fig.9,10,11,12) ; il giudizio è **solo umano**: già 50.000 anni fa i nostri antenati formulavano giudizi (Fig. 13).

5- **Volontà libera** e fisica quantistica (Fig14).

6- **Due modi di dialogare con il mondo** (fig.15).

### 1-Tre modi di leggere il mondo

Possiamo prendere come data di nascita della scienza moderna il 1612, quando Galileo Galilei, in una lettera a Marco Welser di Graz, diceva che non si doveva “tentare le essenze” ma “contentarsi delle “affezioni quantitative”.

Supponiamo di dover descrivere una mela .Se ci si riferisce alle definizioni del vocabolario, queste cercano di descrivere la “natura” o “essenza” della cosa; si rischiano pertanto dissidi fra punti di vista personali (c’è ad esempio chi pensa a una mela rossa e oblunga e chi a una verde e schiacciata). Evitiamo conflitti di tal genere e riferiamoci ad aspetti su cui tutti dobbiamo concordare: scomponiamo la mela nelle sue “affezioni quantitative”, cioè nelle proprietà distinte che possiamo misurare: peso, forma, sapore, odore, colore, ecc. Ad ognuno di questi punti di vista corrisponde un apparato di misura che fornisce un numero. Se abbiamo scelto un pacchetto adeguato di indicatori, la collezione ordinata dei numeri corrispondenti a ciascuna misura dovrebbe caratterizzare la mela. A dir vero, ai tempi di Galileo si distingueva fra “qualità primarie”, quelle che sussistono indipendentemente da chi osserva (peso, altezza e larghezza), e “qualità secondarie”, legate all’osservatore (sapore, colore, odore); oggi possiamo dire che abbiamo esplorato a sufficienza i meccanismi fisiologici da cui dipendono le nostre sensazioni e possiamo concordare sui valori numerici forniti da un “saporimetro”, “colorimetro” ecc

L’approccio è motivato dalla convinzione che si possa raggiungere una descrizione completa di un oggetto di esperienza attraverso i suoi “ atomi di significato” misurabili con apparati di misura che forniscono numeri ripetibili e indipendenti dall’umore dell’osservatore .Ogni ente di natura si riduce così ad una collezione ordinata di numeri utilizzabili come dati di ingresso in una teoria matematica che permetta di prevedere il futuro. In effetti, le regole per variare i numeri al passare del tempo erano le “leggi”. Per Galileo, uomo di fede, a muovere il mondo c’è Dio che opera con leggi matematiche sui numeri che descrivono la cosa.

La procedura appena delineata può bastare per il rifornimento del magazzino di un mercato (oggi parliamo di “codice a barre”), però non esaurisce la realtà della mela. In effetti l’intero (la mela) precede le misure separate, che forniscono quantità derivate, non primitive: si appoggiano alla mela ma una volta enucleate (tecnicamente: astratte) non permettono la ricostruzione logica della mela: non siamo mai sicuri che nel futuro non compaia un ulteriore punto di vista inedito che sia misurabile e che arricchisca la descrizione della mela.

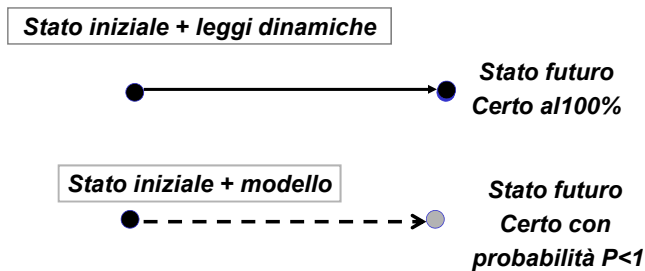
Gli esempi più convincenti vengono dalla linguistica. Prima nasce il linguaggio articolato, la poesia, le favole, e poi da queste si estrae un lessico. L’operazione inversa, partire dal vocabolario e programmare al computer un testo letterario, è fallimentare. In questo ordine di complessità rientra la traduzione da una lingua all’altra. Esistono macchinette per cavarsela alla stazione o al ristorante in Cina; ma per un testo elaborato, per esempio Omero, il traduttore non è automatico: piuttosto è un bilingue che vive le situazioni di Ulisse in Greco e le racconta in Italiano. Questo ruolo del traduttore è discusso in un bel libro: *Il grande codice (la Bibbia e la letteratura)* di Northrop Frye (Einaudi, 1986); l’autore si pone il problema: come mai la Bibbia scritta in Ebraico (lessico di 5.000

vocaboli) può essere tradotta in Inglese (il cui lessico comprende 500.000 vocaboli)? La risposta è che una procedura come la traduzione letteraria non può essere condensata in un elenco di operazioni di macchina, e perciò non può essere automatizzata.

Qualche decennio dopo Galileo, un altro uomo di fede, Isacco Newton ridusse tutte le leggi con cui Dio agisce nel mondo a una sola, la gravitazione universale, che regola il moto reciproco fra due corpi idealizzati come punti geometrici dotati di massa: ciò vale per la mela che cade dall'albero attirata dalla Terra, per la Terra che orbita attorno al Sole e così via. Per conoscere il futuro, basta assegnare ad ogni cosa-punto una posizione e velocità a un certo istante di tempo e la legge ci permette di anticipare dove sarà in un qualunque futuro.

Per tornare alla mela: tagliamola in parti sempre più piccole fino a ridurla a particelle non più divisibili (chiamiamole atomi); assegniamo ad ogni atomo una posizione e velocità istantanei, e con le regole della matematica ne sapremo il futuro. Come illustrato in fig 1, queste sono le basi del **Determinismo** (il futuro è già racchiuso nel passato) e **Riduzionismo** (ogni cosa è capita se spezzata nei suoi atomi, ognuno dei quali ha una dinamica calcolabile).

### Scienze della natura



### DETERMINISMO-RIDUZIONISMO

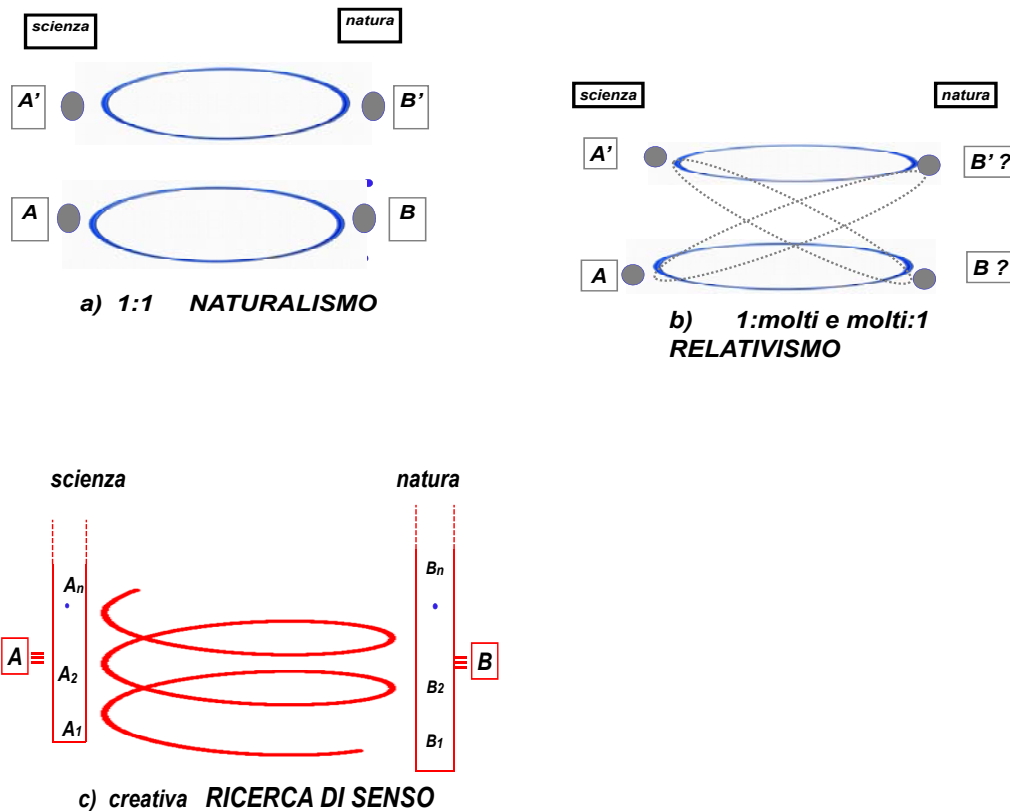
**Fig1**-Schema logico di come la scienza predice lo stato futuro di un pezzo di mondo, applicando ai numeri che descrivono lo stato iniziale (cerchio a destra) le leggi matematiche (in alto: Galileo-Newton) o i modelli (in basso: Bayes). Il risultato è la previsione dello stato futuro, certa al 100% in alto o con probabilità  $P < 1$  in basso.

Nel caso di Galileo e Newton, le regole che legano le quantità misurate sono le leggi imposte da un legislatore (Dio) e danno una previsione certa. Successivamente, per gli empiristi, le regole si riducono a modelli di comportamento che risultano dalla osservazione; se verificate molte volte, danno un'alta confidenza ma non la certezza, diremo che c'è una probabilità  $P$  ( $P$  è un numero compreso fra 0 e 1, e rappresenta il grado di confidenza, sempre inferiore ad 1) che esse si verifichino. In ogni caso, anche se più debolmente, siamo sempre nell'ambito del Determinismo-Riduzionismo, cioè l'Universo è una macchina il cui futuro è determinato dal presente, mediante l'applicazione di leggi-modelli fatta sui pezzi elementari in cui abbiamo spezzato una cosa. Si tratta di un automatismo che può essere delegato a una macchina di calcolo, come già intravide Laplace nel 1812.

Questa procedura è puramente sintattica e non esplora il significato dell'oggetto di studio: basta misurare le affezioni quantitative a un certo istante, operare con la sintassi di Fig.1 e trovare il futuro.

Al di là della sintassi, abbiamo un problema di comprensione: non ci basta rispondere al "come" ma vogliamo sapere il "perché".

Possiamo rispondere con tre tipi di interpretazione (o “ermeneutica”) della procedura scientifica, come indicato in Fig.2.



**Fig2-** Tre tipi di ermeneutica ovvero di interpretazione del ruolo di una teoria scientifica:

a) **1:1= NATURALISMO:** ad ogni ente di natura (sulla destra: B,B' ) corrisponde un solo concetto mentale (sulla sinistra: A, A');

b) **1:molti e molti :1=RELATIVISMO:** un concetto (A) può denotare uno oppure un altro ente di natura ( B? o B'?) e viceversa un ente di natura può essere espresso da differenti concetti (A o A') a seconda di circostanze ausiliarie non considerate nel formulare la teoria scientifica;

c) **creativa = RICERCA DI SENSO:** l'approccio scientifico è graduale ; di un ente B , misure preliminari estraggono una connotazione B<sub>1</sub>, che è rappresentata nel concetto A<sub>1</sub>; forti di questa prima acquisizione, torniamo all'osservazione di B ed estraiamo una connotazione nuova B<sub>2</sub> rappresentata da A<sub>2</sub> e così via, con una procedura a spirale che prosegue arricchendo la nostra conoscenza (peraltro sempre parziale ) di B; la diciamo creativa perché implica “punti di vista” nuovi sotto cui vedere aspetti nuovi di B

Il primo tipo (NATURALISMO) presume che i nostri concetti siano rappresentazioni fedeli delle cose, che ne estraggano tutti gli aspetti una volta per tutte; è come l'interpretazione letterale di un testo fatta dai fondamentalisti, senza lasciare un margine di scelta. Nel suo ambito la scienza esaurisce il mondo e non c'è spazio per letture diverse (filosofiche o teologiche). E' questa la posizione di chi proclama apologeticamente il proprio ateismo appoggiandosi alla scienza.

Il secondo tipo (RELATIVISMO) prende atto che un ente può presentarsi sotto aspetti diversi, ma non assegna criteri di scelta. Esclude pertanto di poter arrivare a una rappresentazione fedele (“vera”) del mondo, e introduce invece criteri pragmatici (successo commerciale di un prodotto) .

Nella storia del pensiero, il mito platonico del prigioniero nella caverna è una raffigurazione del relativismo. Platone attribuisce realtà solo al mondo delle Idee e considera ingannevoli le nostre immagini del mondo sensibile :siamo-dice- come un prigioniero incatenato e costretto a vedere solo le ombre del reale proiettate sul fondo della caverna, senza poter girare la testa e osservare fuori dalla caverna.

Il terzo tipo (RICERCA DI SENSO) mette a confronto i diversi punti di vista e non li considera scorrelati, ma si arricchisce di una conoscenza vieppiù dettagliata; è come se il prigioniero di Platone non si limitasse a un solo punto di vista, ma mettesse a confronto le ombre osservate in diverse ore del giorno.

Chiamiamo “creativa” questa ermeneutica, perché, pur riconoscendo che ogni conoscenza è vera solo da un certo punto di vista, non la ritiene esaustiva ma la arricchisce confrontandola con altri punti di vista.

Preliminare al “far scienza” è dunque una indagine su come han luogo le nostre conoscenze.

## 2- L'apprensione

Come detto nella Introduzione, analizzeremo due momenti distinti della cognizione umana, e cioè *apprensione* (A), in cui una percezione coerente emerge dal reclutamento di gruppi neuronali in risposta a stimoli sensoriali, e *giudizio* (B), in cui la memoria richiama precedenti unità (A) codificate in un linguaggio conveniente (letterario, musicale, figurativo), queste vengono confrontate e dal confronto consegue la formulazione di un *giudizio*.

Il primo momento (A) ha una durata attorno a 1 sec; esso può essere descritto come una interpretazione degli stimoli sensoriali sulla base di istruzioni (=algoritmi) già disponibili (apprese cioè nel corso della vita precedente) ed è finalizzato a suscitare una adeguata risposta motoria.

Il secondo momento (B) implica il confronto di due apprensioni acquisite a tempi diversi, codificate in un dato linguaggio e richiamate dalla memoria. (B) dura circa 3 sec e richiede la *auto-coscienza*, in quanto l'agente che esprime il giudizio deve essere consapevole che le due apprensioni da cui estrarre una mutua relazione vanno sottoposte allo stesso giudice. A differenza di (A), (B) non presuppone un algoritmo, ma piuttosto ne costruisce uno nuovo.

Mentre A è comune agli animali, e può essere studiato in laboratorio su gatti o primati, B è esclusivamente umano. Una analisi di A e B è stata sviluppata nel XX secolo dal filosofo gesuita Bernard Lonergan, che in “*Insight*” ha istituito un ponte fra Tommaso d'Aquino e la Fenomenologia del '900 (Husserl e seguaci).

Il processo A è molto complesso in quanto implica l'azione coordinata di folle di neuroni della corteccia cerebrale stimolati sia dagli organi sensori (vista, udito, ecc.) sia da emozioni o segnali di attenzione provenienti da parti interne del cervello. La ricerca sull'attività dei neuroni si avvale di microsonde che leggono il segnale elettrico del singolo neurone; essendo queste invasive, tale tipo di indagine è fatta solo su animali. Nel caso umano si ricorre a segnali elettrici (EEG=elettro-encefalo-gramma) o magnetici (MEG= magneto-encefalo-gramma) raccolti su sonde applicate all'esterno del cranio. Oppure, in base al fatto che le regioni del cervello attive richiedono sangue ossigenato, si localizzano le aree dove arriva il sangue ossigenato mediante le immagini della risonanza magnetica funzionale (fMRI). Si tratta in ogni caso di metodi a scarsa risoluzione che non riescono a localizzare il singolo neurone come le microsonde.

Questi vari metodi forniscono informazione sull'attività cerebrale associata alla percezione e vengono chiamati NCC( “neural correlates of consciousness”), dove per “coscienza” si intende in senso limitativo la consapevolezza di una percezione ,senza nessun riferimento a la coscienza di se stessi che è necessaria per il giudizio e di cui parleremo più in là.

Per dare una descrizione dettagliata del processo percettivo, dovremmo riuscire a descrivere come i neuroni delle aree interessate si mettano d'accordo. Ogni neurone riceve l'informazione da un altro

sotto forma chimica (neurotrasmettitore) e la converte in treni di impulsi elettrici di ampiezza uniforme e breve durata (1 millisecondo) che viaggiano anche su grandi distanze (una specie di telegrafo Morse) . Dal cervello ai piedi un segnale viaggia per oltre 1 metro in frazioni di secondo; se si dovesse fare diffondere un segnale chimico ,occorrerebbero molti anni !

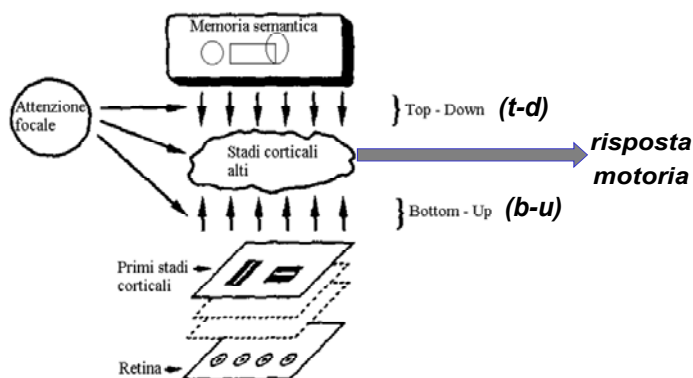
La coordinazione fra folle di neuroni avviene attraverso la sincronizzazione degli impulsi elettrici. Si è detto di codice Morse; in effetti non si conosce il preciso codice (o codici?) cerebrale.

Riassumiamo il processo percettivo attraverso lo schema di Fig. 3.

Qui mostriamo come nei primi stadi corticali si organizza un lessico elementare.

Questo lessico fatto di “parole” elementari può essere ricombinato estraendone una informazione globale sensata? Sarebbe come dire: fornisco a un sintetizzatore elettronico le parole del vocabolario italiano: ne può emergere un testo sensato, Dante o Manzoni? Questo programma della cosiddetta “Intelligenza artificiale” degli anni '60 del secolo scorso non è approdato a risultati significativi. Non basta il puro accostamento sintattico di elementi lessicali per creare un discorso sensato. Occorrono delle guide organizzative, e queste sono le memorie pregresse che agiscono come “istruzioni” (algoritmi). Il repertorio è costituito in fase di apprendimento (giochi, scuola) in un animale, esso è limitato; negli umani esso è accresciuto in fase di giudizio, come vedremo più in là.

**Cooperazione fra stimoli (b-u) e categorie memorizzate (t-d) per formare una percezione**



**Fig.3-** Schema di come il cervello elabora una percezione coerente (= apprensione), con riferimento a una percezione visiva. Un segnale esterno attiva la retina, le cui cellule rispondono con segnali elettrici che viaggiano nel cervello. Nei primi stadi visivi della corteccia, vi sono rivelatori specializzati a dare risposta elettrica solo se dalla retina arriva uno stimolo particolare, corrispondente per esempio a una barra verticale o orizzontale o con una certa inclinazione. L'informazione retinale è così spezzata in informazioni parziali che corrispondono alle uscite elettriche di cellule differenti. Queste affluiscono dal basso verso l'alto (“bottom-up”) agli stadi corticali alti dove vengono elaborate nel confronto con dei segnali dall'alto verso il basso (“top-down”) provenienti dalla memoria semantica. Si ipotizza (Teoria della Risonanza Adattiva) che un meccanismo di attenzione focale presenti differenti interpretazioni top-down, prelevate dalla memoria semantica, fino a che si giunga a quella che meglio si adatta allo stimolo bottom-up. A questo punto, ottimizzato il meccanismo di ricerca, emerge una risposta motoria adeguata allo stimolo di ingresso.

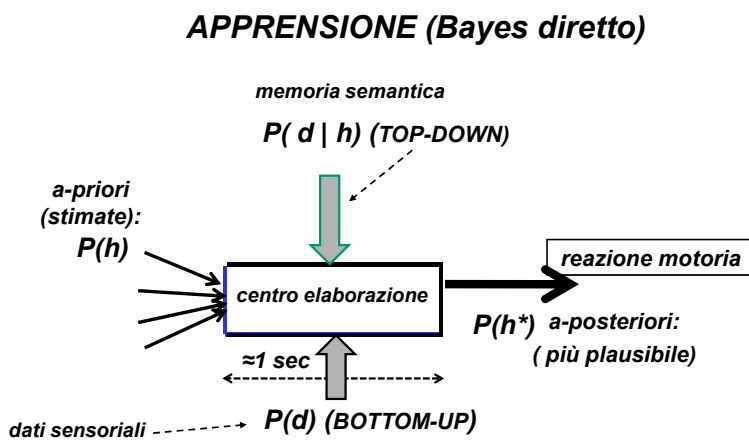
Senza cercare di esplorare i dettagli del processo che porta a una armonizzazione fra dati sensoriali bottom-up e ipotesi top-down fino a convergere in una decisione motoria, diamo una descrizione globale basata sull'inferenza di Bayes (1763). Essa consiste nella procedura seguente:

- i) Partendo da una situazione iniziale, formuliamo un ventaglio di ipotesi  $h$ , a ciascuna delle quali assegniamo una probabilità a-priori  $P(h)$ , dove  $P$  è un numero positivo compreso fra 1 (certezza assoluta) e 0 (accadimento escluso);
- ii) Ogni  $h$ , inserita in un *modello di evoluzione*, genera dati  $d$  con la probabilità condizionata  $P(d|h)$  che  $d$  risulti da  $h$  (la nozione di probabilità condizionata si esprime con una barretta verticale fra condizionato e condizionante, e- come prima- si attribuisce anche a questa probabilità un valore  $0 < P < 1$ ;
- iii) Effettuando una misura, si registra un particolare dato  $d$  da un insieme cui spetta una probabilità  $P(d)$ ;
- iv) La combinazione di iii)+ii) seleziona una particolare ipotesi  $h^*$ , cui spetta la più alta probabilità a-posteriori  $P(h^*) = P(h/d)$ .

La procedura si riassume nella formula:

$$P(h^*) = P(h/d) = P(h) \cdot P(d|h) / P(d)$$

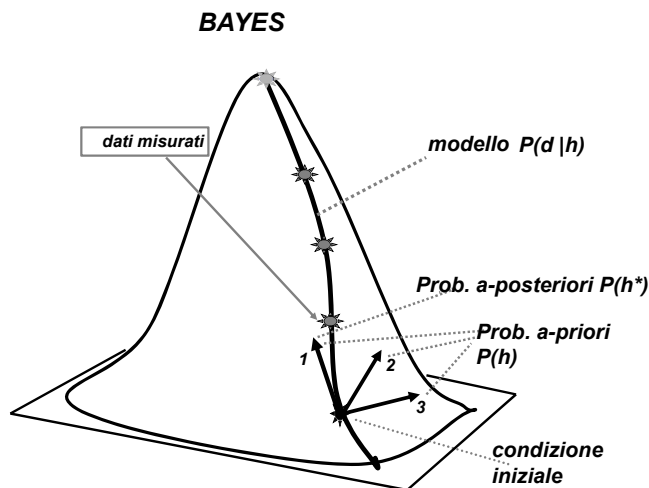
Dunque,  $h^*$  è l'ipotesi più plausibile, essendo quella cui spetta la probabilità più alta. Da questa emerge la decisione motoria (Fig.4)



**Fig.4-**Apprensione descritta globalmente come inferenza di Bayes

Nel corso di una indagine (pensiamo a Sherlock Holmes) abbiamo fatto un passo avanti in quanto abbiamo ristretto il ventaglio di ipotesi da  $P(h)$  a  $P(h^*)$ . Ripetiamo ricorsivamente la procedura, utilizzando lo stesso algoritmo che corrisponde al modello  $P(d|h)$  scelto. Per utilizzare una rappresentazione didascalica, muoviamoci su un piano, e indichiamo le probabilità con le altezze verticali. Successive applicazioni di Bayes equivalgono alla scalata di un monte di probabilità, a partire da valori bassi; il picco del monte rappresenta la massima plausibilità (Fig.5). Nel Sec.XIX, la formula di Bayes ha influenzato ogni programma scientifico. L'*evoluzione* darwiniana è bayesiana, con la *mutazione* che corrisponde alla formulazione di un ventaglio di ipotesi  $h$ ; fra queste -inserite nel *modello*  $P(d|h)$  di sviluppo che caratterizza quella particolare specie- prevale (viene *selezionata*) quella mutazione  $h^*$  che meglio si adatta ai vincoli ambientali  $d$ .





**Fig5** - Costruzione di ipotesi scientifiche viepiù adeguate agli esperimenti, per applicazione successiva del teorema di Bayes. Parto dalla situazione iniziale e formulo un ventaglio di ipotesi  $h$  (1,2,3, ecc.). Prendo ciascuna come una partenza e, servendomi del modello  $P(d|h)$ , calcolo il dato  $d$  che emerge da ciascuna ipotesi. Ma solo la  $n^{\circ}1$  mi fa prevedere i dati misurati: quindi la considero come la più plausibile ( $h^*$ ) e riparto dalla nuova posizione per riformulare altre ipotesi, che daranno altri dati, ma le misure confermano solo una ipotesi, e così via (procedura ricorsiva). 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.

Il modello  $P(d/h)$  è l'algoritmo con cui istruiamo un computer, facendone un sistema esperto (*expert system*) che seleziona le ipotesi confrontandosi con i dati.

In conclusione, abbiamo interpretato l'*apprensione* come una inferenza di Bayes descrivendo quel che accade entro un intervallo di 1 sec come in Fig.4. L'agente cognitivo deve scegliere l'ipotesi  $h^*$  più plausibile fra un gran numero di  $h$ . La memoria è equipaggiata con un modello procedurale  $P(d/h)$  che genera un dato  $d$  per ogni ipotesi  $h$ ; d'altra parte, l'ingresso sensoriale è un preciso  $d$ ; dunque la procedura di Bayes seleziona a-posteriori l'  $h^*$  che meglio si adatta al  $d$ .

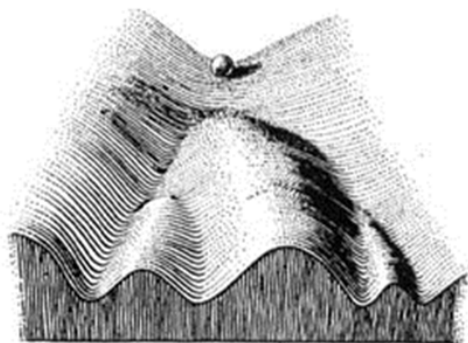
Il cambiare modello è una operazione di ri-codifica che ha luogo durante l'elaborazione di mezzo secondo che intercorre fra l'arrivo degli stimoli bottom-up e l'espressione di una reazione in termini di decisioni motorie. La ri-codifica top-down utilizza un insieme di modelli  $P(d/h)$  richiamati dalla memoria, scegliendo quello che i meccanismi interni (emozioni, attenzione, valori) suggeriscono come il più appropriato. Negli animali, questo insieme di modelli è costruito in precedenti fasi di addestramento, nei robot viene inserito come istruzioni; in ogni caso, l'insieme è limitato sia per gli animali sia per i robot.

Vedremo invece che un soggetto umano è capace di costruire nuovi algoritmi attraverso il confronto di brani linguistici correlati, e chiameremo *creatività* questa capacità.

### 3-Complessità e creatività

Un problema è complesso quando non è risolvibile nell'ambito di un singolo algoritmo (o di un numero piccolo e prefissato di algoritmi). La Fig.5 visualizza l'implementazione di un processo ecologico, in cui un agente cognitivo, equipaggiato con un modello  $P(d/h)$  del mondo, interagisce in modo ricorsivo con l'ambiente, aggiornando ad ogni passo il punto di partenza. Questa strategia non funziona più in una situazione complessa. Che cos'è la complessità?

Dal punto di vista dinamico, i vincoli del moto portano a minimizzare l'energia; possiamo figurarci un sistema dinamico come una pallina che scorre su un fondo valle (Fig.6); dunque, un fondo valle è rappresentato da un modello.



**Fig6** - *Complessità dinamica: man mano che la pallina evolve, si prospettano biforcazioni fra valli diverse, e ad ogni biforcazione è eguale la probabilità di andare a destra o sinistra. Siccome ogni valle corrisponde a un differente modello dinamico, il sistema è descritto da una pluralità di modelli*

Possiamo dunque definire complessa una situazione che non è esaurita da un singolo modello. Lo scambio di algoritmo è una procedura non-algoritmica; un sistema complesso è visualizzabile come un paesaggio con molti monti di probabilità (Fig.7a).

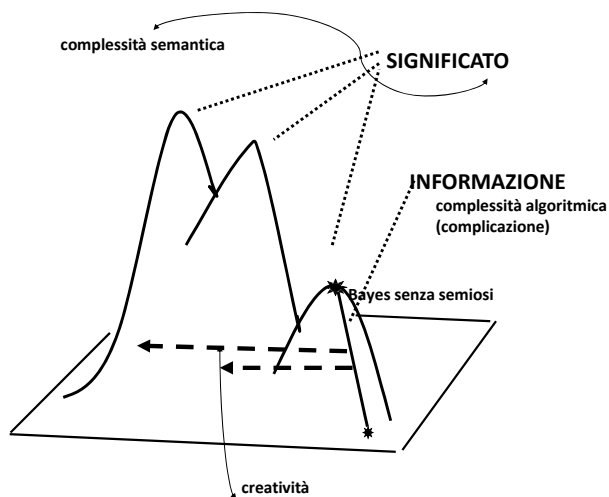
L'arrampicarsi su un singolo versante può essere automatizzato da un programma di *massimo gradiente* (che cioè segue una linea ottimale di massima pendenza). Si tratta di una procedura *non-semiotica* (che cioè non richiede l'esplorazione dei significati). Ad ogni valor di probabilità è associato un valore di "informazione", detta anche complessità algoritmica (misura il costo della computazione associata)

Al contrario il saltare su altri versanti, e continuare la strategia di Bayes scalando altri colli, è un atto di *creatività* che richiede una comprensione globale dell'ambiente circostante (*semiosi*) e non già una collezione ridotta di dati (riduzione del mondo a una collezione finita di simboli). Denotiamo il paesaggio con molti colli come "*complesso semanticamente*". Ad ogni colle va attribuito un significato diverso, in quanto si deve operare su di esso con un algoritmo diverso. Identifichiamo la *creatività* con il salto non-algoritmico (cioè non imposto da una istruzione) da un modello bayesiano a un altro. Semiosi equivale a creatività come illustrato in Fig.7a.

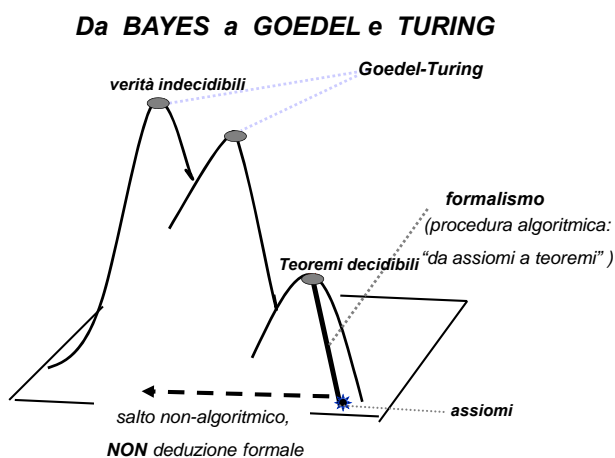
Nel campo della ricerca scientifica, la differenza fra una singola strategia bayesiana e un salto creativo è quella che è stata storicizzata da Thomas Kuhn come differenza fra *scienza normale* e *spostamento di paradigma*.

Il primo teorema di incompletezza di Kurt Gödel (1931) può essere considerato come un salto creativo in un paesaggio complesso, come illustrato in Fig 7b). Il teorema stabilisce che, per ogni teoria formalmente consistente e computazionalmente numerabile, che dimostra le verità aritmetiche, si può costruire un enunciato aritmetico vero, ma non dimostrabile nella teoria. "Dimostrabile nella teoria" significa "derivabile dagli assiomi e dalle nozioni primitive della teoria, usando la logica standard del prim'ordine".

C'è un equivalente di questo teorema nella scienza dei computer; precisamente Alan Turing (1936) ha dimostrato che un computer universale, per un generico input, non può decidere di fermarsi (*indecidibilità dello halting problem*).



**Fig7a-Complessità semantica** –Lo spazio delle probabilità di fig. 5 ora presenta più massimi. L'ascesa verso un singolo picco può essere automatizzata in un computer. 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 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.



**Fig7b- Il teorema di Gödel visto come una strategia creativa in una situazione complessa**

Il salto da un modello a un altro sotto la guida della *semiosi* è un'operazione non algoritmica peculiare di un essere vivente in interazione con l'ambiente. Ci si pone la domanda: possiamo aspettarci una evoluzione delle macchine di calcolo, fino al punto che cambino algoritmo con una procedura adattiva? La risposta è sì all'interno di uno scenario con repertorio limitato. Il cambio finora attuato è basato su una procedura *variazionale*, in base a cui il modello seguente è una versione con piccole modifiche rispetto al precedente, il quale pertanto deve essere strutturalmente stabile, cioè sopportare delle piccole varianti senza subire catastrofi (cosiddetti *algoritmi genetici* di Holland).

Invece l'applicazione di variazioni a un generico algoritmo di Bayes in una situazione complessa può dar luogo a instabilità, nel senso che una piccola variazione può indurre un salto discontinuo. Ciò richiede il ricorso a un algoritmo del tutto differente, violando la gradualità postulata sopra. Un tale *salto non algoritmico* permette al matematico creativo di catturare la

verità di proposizioni compatibili con gli assiomi ma non raggiungibili con il formalismo deduttivo: è questo il nucleo del teorema 1931 di Gödel.

Non si vede come una macchina possa violare il piano sul quale è stata progettata, andando oltre i gradualmente cambiamenti variazionali permessi dalla strategia dell'algoritmo genetico.

Invece,

per noi umani è alquanto agevole- dopo un imbarazzo iniziale-leggere la frase di Fig.8 ripristinando l'ordine all'interno di ogni parola, per poterla raccordare al contesto e quindi catturare un significato.

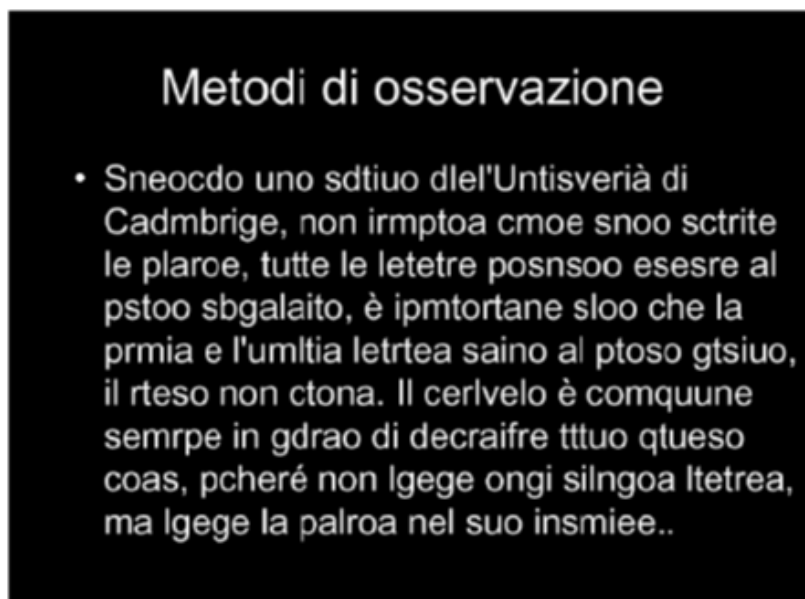


Fig8-Testo con lettere cambiate di posto all'interno di ciascuna parola

#### 4- Il giudizio

##### 4.1- Bayes inverso

Negli umani, l'apprensione può essere codificata in un linguaggio opportuno (letterario, o musicale, o figurativo). Il messaggio codificato è successivamente ripreso dalla memoria e confrontato con le formulazioni linguistiche di altri apprendimenti, modificando il modello  $P(d/h)$  in modo guidato dalla presentazione successiva di ipotesi  $h$  diverse. Ciò equivale a rivisitare la stessa situazione, ma da prospettive diverse (ricordiamo le osservazioni sul mito platonico del prigioniero nella caverna).

Anticipiamo che la strategia non è confinata ad un insieme limitato, infatti il linguaggio umano è caratterizzato dal fatto che "fa un uso infinito di un insieme finito di risorse" (Wilhelm von Humboldt, 1836) dunque, questa ri-presentazione dello stesso evento cognitivo da punti di vista diversi va considerata come un passaggio non algoritmico.

Abbiamo considerato un scala di tempi attorno a 1 sec in cui si realizza l'apprensione (A).

(A) va considerato come un presente a-temporale, perché una percezione coerente implica un ri-aggiustamento delle scale temporali dei diversi canali sensoriali (uditivo, visivo, ecc.) che singolarmente evolvono con differenti velocità.

Una seconda scala di tempi è associata con il confronto fra l'apprensione presente e uno passato richiamato dalla memoria, entrambi codificati nello stesso linguaggio. E' ragionevole arguire che il confronto richiede tre volte il tempo richiesto da una singola apprensione (A); precisamente, 1 sec è richiesto per acquistare consapevolezza dell'ultima presentazione (che chiameremo  $d$  in vista di una procedura di Bayes), un altro intervallo di 1 sec serve per richiamare una presentazione precedente (che chiameremo  $h^*$ ), e 1 sec serve a rendere  $d$  e  $h^*$  co-presenti. Chiameremo *giudizio* (B) questo confronto che avviene su 3 sec.

Entro (B) si procede sfruttando una *procedura di Bayes inversa*. Illustriamone i dettagli. L'apprensione (A) si costruisce per Bayes diretto; l'incognita è l'ipotesi più plausibile  $h^*$ , che risulta combinando l'algoritmo top-down  $P(d|h)$  con la probabilità  $P(d)$  dei dati bottom-up, attraverso la formula già data e che qui riportiamo

$$P(h^*) = P(h/d) = P(h) \cdot P(d|h) / P(d)$$

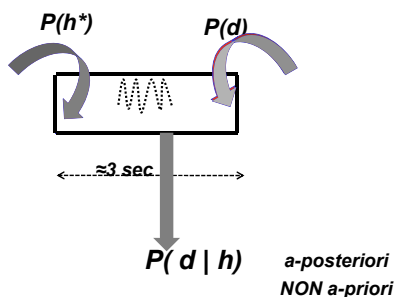
Al contrario, quando confrontiamo un brano  $d$  di un testo con un brano precedente  $h^*$  richiamato dalla memoria (si pensi a due versi successivi di una poesia o a due misure successive di una melodia), l'incognita è ora l'algoritmo più appropriato per armonizzare  $d$  e  $h^*$ . Dunque, quello che prima era incognito  $-P(h^*)-$  è ora noto; invece quello che prima era dato  $-P(d|h)-$  è ora incognito, e risulta invertendo la relazione di Bayes, cioè,

$$P(d|h) = P(d) \cdot P(h^*)/P(h).$$

Questa procedura, che è esclusiva degli umani perché richiede la codifica degli apprendimenti in un linguaggio simbolico, è rappresentata in Fig.9

### GIUDIZIO (Bayes inverso)

Confronto fra  $d$  e  $h^*$ , da cui emerge il modello più adeguato



**Fig9-** Giudizio come procedura di Bayes inversa. Confronto di  $d$  con  $h^*$ , da cui il modello più adeguato  $P(d|h)$  emerge a posteriori, invece di essere presupposto.

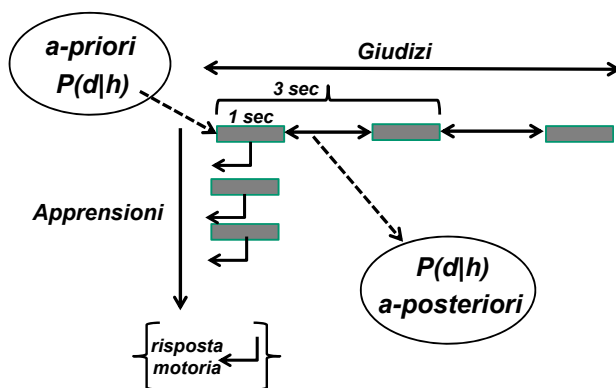
In tal modo, recuperiamo un punto cruciale della filosofia cognitiva. La formulazione cognitiva di Tommaso d'Aquino (1269) implicava il potere di cogliere le *cose*. Invece la formulazione di Galilei (1612) rigetta la nozione di *cosa* come priva di significato e la rimpiazza con la nozione di *oggetto* come collezione di "affezioni quantitative" cioè di aspetti misurati da apparati affidabili e pertanto validi per qualunque osservatore. Dal 1612, la scienza moderna è stata costruita come un insieme di relazioni matematiche fra i numeri che codificano le misurazioni.

L'introduzione della complessità ha mostrato le limitazioni della nozione di *oggetto*; la procedura inversa di Bayes recupera la *cosa* i cui aspetti  $d$  sono condizionati dal punto di osservazione  $h$  attraverso  $P(d|h)$ .

Una scienza basata su oggetti può essere delegata a un computer, nel senso che un programma di computer può ricostruire le relazioni fra i vari aspetti quantitativi; per contro, se affrontiamo problemi complessi, non ci aspettiamo che un computer possa rimpiazzare la creatività scientifica.

Il ri-aggiustamento dei nostri codici mentali alla cosa è infatti la definizione tecnica di verità in Tommaso d'Aquino: *La verità è la conformità dell'intelletto alle cose (Veritas est adaequatio intellectus et rei)*.

I due compiti cognitivi, *apprensione* e *giudizio*, richiedono un ulteriore confronto. La Fig.10 è una sinossi di quanto già discusso alle Fig. 4 e 9.



**Fig10-** L'APPRENSIONE è una selezione di  $h^*$  da un largo ventaglio di  $h$ , per azione congiunta di uno stimolo bottom-up  $d$  e di un modello interpretativo  $P(d|h)$ , assegnato a priori. Questo compito richiede circa 1 sec e la dinamica cerebrale dà luogo a eventi misurabili (correlati neuronali della consapevolezza = NCC). Il GIUDIZIO consiste in un confronto di due apprendimenti  $d$  ed  $h^*$  codificati nello stesso linguaggio; dal confronto emerge a-posteriori il legame più adeguato  $P(d|h)$ . Siccome il giudizio implica eventi neuronali distinti, non gli si può associare un NCC specifico.

La coscienza, come intesa in NCC, significa consapevolezza di una specifica apprensione. Quando decidiamo un'azione motoria, questa consapevolezza può manifestarsi con un ritardo rispetto alla comparsa dei potenziali di azione che stimolano i muscoli (Libet,2004). Questo fatto è stato considerato come evidenza sperimentale della non esistenza di una volontà libera, in quanto diveniamo consapevoli di una decisione che si è già attuata senza aspettare il nostro consenso.

Invece della precedente definizione, definiamo la coscienza, o meglio la *auto-coscienza* come la consapevolezza di un agente di essere lo stesso giudice che sottopone a scrutinio sia l'ultimo brano  $d$  di discorso sia il brano richiamato  $h^*$  per costruire a posteriori una connessione  $P(d|h)$ . Questa connessione a posteriori provvede una guida per scoprire le relazioni profonde fra i brani di un testo linguistico (poesia, musica, pittura ,ecc.) o di una situazione vissuta che richiede decisioni etiche da parte nostra. Queste decisioni, essendo il risultato di un giudizio, sono libere nel senso che dipendono da un impegno personale e non erano incluse (né esplicitamente né implicitamente) nella situazione stessa.

Da queste considerazioni emerge che una decisione etica richiede un tempo ben più lungo dei tempi di apprensione, e pertanto sfugge a quella inversione di ordine riportata da Libet.

#### 4.2- Vincoli temporali nella formulazione dei giudizi

Come discusso sopra, il giudizio consiste nell'estrazione a-posteriori dello stesso strumento inferenziale  $P(d|h)$  che nell'apprensione era stato assegnato a priori.

Nel giudizio,  $d$  e  $h^*$  sono blocchi di dati raccolti a tempi differenti, ad esempio, due versi consecutivi di una poesia, o due misure consecutive di una melodia, o due aree distinte di un dipinto messe a fuoco in due fissazioni oculari consecutive. I due blocchi a confronto devono essere codificati nello stesso linguaggio. Inoltre devono essere adiacenti, da cui il vincolo dei 3 sec. Se allunghiamo l'intervallo cognitivo a più di 3 sec, non approfondiamo il confronto, ma piuttosto introduciamo altri blocchi di dati (Poeppel, 2004). Se dobbiamo aumentare il dettaglio di  $P(d | h)$ , dobbiamo ripetere la sessione con gli stessi  $d$  e  $h^*$ , finché si abbia un risultato soddisfacente.

Questo tipo di indagine sui vincoli temporali è stato affrontato solo da Ernst Poeppel, fra il 1997 e il 2009.

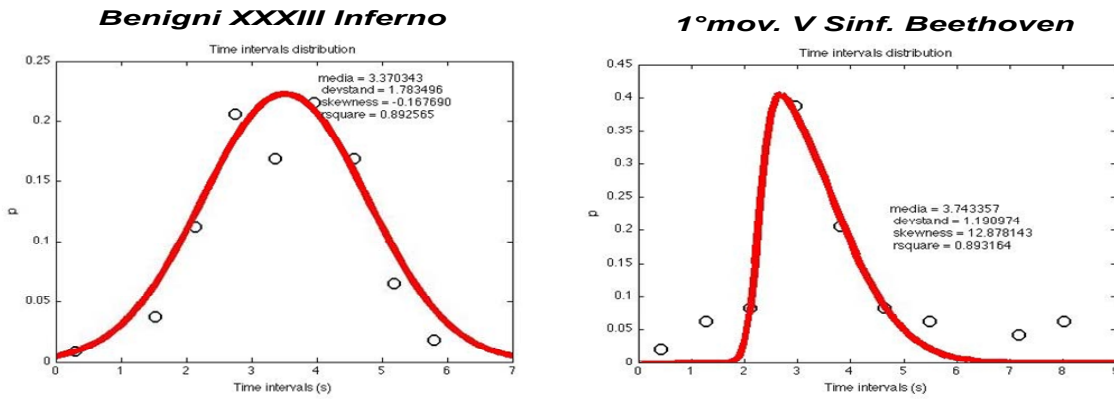
Concludiamo con alcune considerazioni sulla *creatività*. Se identifichiamo la *creatività* con la scoperta di una nuova connessione  $P(d | h)$ , allora il tempo richiesto per il confronto dei due blocchi ne rappresenta un aspetto cruciale. Finora abbiamo inteso la *creatività* come la più appropriata interpretazione della relazione fra due blocchi entrambi dati. Ciò corrisponde alla lettura sensata di un testo già disponibile. Gli stessi passaggi creativi sono anche il cuore di una nuova produzione; in altre parole, un nuovo  $P(d | h)$  ha un ruolo fondamentale non solo nel costruire un ponte fra il verso  $n$ -mo e il verso  $(n+1)$ -mo di una poesia data, ma anche nell'ispirare il verso  $(n+1)$ -mo una volta che il senso profondo del verso  $n$ -mo sia stato afferrato attraverso la sua relazione col verso  $(n-1)$ -mo.

Il ponte verso un brano ancora non esistente può essere esteso a ogni produzione artistica (musica, pittura) ed è anche la forza trainante della creatività scientifica e delle decisioni etiche. Dunque, la creatività come qui considerata suggerisce una rivisitazione dell'autonomia nella scoperta scientifica e della libertà nelle decisioni etiche.

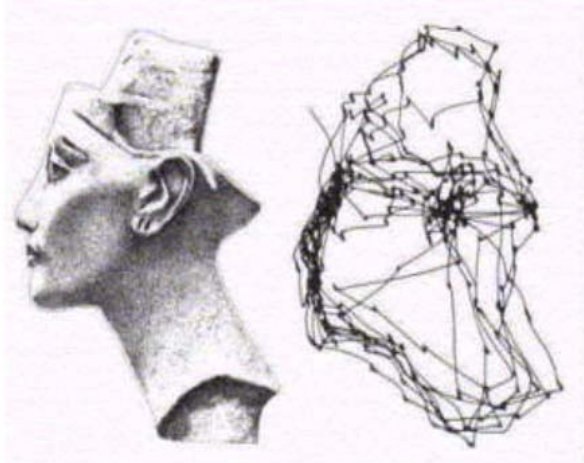
#### 4.3- L'intervallo di 3 sec caratterizza tutti i linguaggi umani

Sulla base delle notazioni di Poeppel, abbiamo misurato la distribuzione statistica della pause in testi linguistici e musicali, e abbiamo verificato che gli intervalli temporali corrispondenti sono sparpagliati, per esprimere significati diversi, ma il picco statistico è sempre sui 3 sec (Fig 11). Per le arti figurative, Lessing aveva detto nel '700 che a differenza dei testi letterari e musicali, che si snodano nel tempo e vengono recepiti sequenzialmente, le opere figurative sono tutte visibili simultaneamente. Non è vero, anche qui adottiamo una strategia sequenziale come mostrato in Fig. 12 da Noton e Stark, che nel 1970 hanno mappato i moti oculari di un osservatore della testa di Nefertiti. Allora non c'era ancora un sistema per la misurazione degli intervalli fra due fissazioni consecutive; oggi possiamo farlo con dispositivi detti "eye tracker" (inseguitori dei moti oculari) e stiamo eseguendo esperienze su molti soggetti.

Da quanto tempo noi umani ci siamo differenziati dagli altri animali, andando oltre un repertorio di comportamenti prestabilito e invece creandone di nuovi in risposta a un linguaggio? Rispondere a questa domanda rientra in quella indagine sull'Homo religiosus che ha caratterizzato l'opera di Julien Rees. Orbene, dei nostri antenati delle caverne non abbiamo testi letterari o musicali, ma i testi pittorici disponibili (Fig. 13) mostrano una capacità creativa di evidenziare aspetti significativi degli animali dipinti, non limitandosi a una registrazione "veridica" come avrebbe fatto una fotocamera.



**Fig 11 -a)** Statistica delle pause nella recita di un Canto di Dante da parte di Roberto Benigni;  
**b)** Idem nel 1° movimento della V sinfonia di Beethoven (direttore L. Berstein)



**Fig12 -** Sequenza delle fissazioni oculari registrate in un osservatore della statua di Nefertiti (cerchietti tondi); le linee che connettono due fissazioni successive corrispondono ai moti saccadici (i muscoli che orientano il bulbo oculare).







**Fig.13-**Due dipinti dei nostri antenati di 40000 anni fa (rispettivamente, dalla Caverna di Lascaux e di Chauvet)

#### 4.4- Come le modalità cognitive portano a un confronto fra le tre ermeneutiche di Fig.2

Ritorniamo alla Fig.2. L'ermeneutica 1:1, in cui ad ogni ente di natura corrisponde una precisa immagine mentale, sarebbe giustificata solo se noi costruissimo una scienza del mondo esclusivamente sulla base di *apprensioni*, cioè se fossimo ricevitori passivi che registrano una rappresentazione stereotipata per ogni percezione. Abbiamo però visto che le percezioni- con le rispettive interpretazioni mediante i modelli immagazzinati attraverso un Bayes diretto- servono solo per stimolare una adeguata reazione motoria.

Invece il fare scienza è una operazione linguistica basata sul *giudizio*, cioè sul confronto fra brani successivi di un discorso, da cui emerge a-posteriori (Bayes inverso) una adeguata interpretazione. Se questa fosse conseguenza di un unico punto di vista, saremmo come il prigioniero di Platone condannati al relativismo di Fig. 2b); non avremmo un criterio di verità, ma solo dei criteri pragmatici di successo (base delle tecnologie).

Se continuiamo ad esplorare differenti punti di vista (Fig.2c), allora miglioriamo la adeguatezza fra due brani successivi del discorso, fino a raggiungere quella *conformità* che Tommaso d'Aquino prende come definizione di verità. Si tratta di un programma in continuo progresso e che non si conclude mai del tutto. Ne abbiamo una esperienza personale ogni qual volta rivisitiamo un testo già familiare (pensiamo ad esempio a un canto di Leopardi) e dal confronto fra –ad esempio- il 6° e 7° verso cogliamo una sfumatura di significato di cui prima non eravamo consapevoli.

Ricordiamo il ruolo cruciale della *creatività*, che vuol dire che il nuovo confronto non è figlio di un algoritmo già immagazzinato, ma è nato ora da un Bayes inverso.

#### 4.5- Confusioni correnti fra apprensioni e giudizi

In Fig. 3 abbiamo genericamente indicato con *Attenzione focale* quel bagaglio di risorse interne (emozioni, capacità di attenzione, ecc.) che, all'arrivo di un certo stimolo bottom-up, presiedono a selezionare dalla memoria il modello interpretativo  $P(d/h)$  più opportuno per estrarre l'interpretazione più plausibile  $h^*$  da cui consegue la risposta motoria.

I meccanismi di *Attenzione focale* possono essere esplorati con i NCC di cui abbiamo parlato prima e sono in effetti argomenti di indagine in corso.

Qui occorre però chiarire una confusione corrente. Il fatto che uno stimolo solleciti certe emozioni NON ha niente a che vedere con il giudizio che conclude un confronto linguistico.

Sono pertanto errate le asserzioni dei poeti simbolisti (condivise dal D'Annunzio) che una singola parola isolata di una poesia abbia una valenza estetica in virtù della sua musicalità o del suo potere evocativo. Così come è errata la attribuzione –propugnata da alcuni teorici delle arti figurative- di un valore autonomo a un singola macchia di colore indipendentemente dal confronto fra brani diversi (si veda al riguardo Fig.12).

In genere, tutte quelle “eccitazioni” di aree cerebrali osservate dalla fMRI (risonanza magnetica funzionale) si riferiscono ad emozioni legate all'apprensione e sono del tutto inadeguate a gettar luce sui processi di giudizio.

In tempi recenti sono stati coniatati neologismi che cominciano per *neuro-* (ad esempio, neuroetica, neuroestetica, neuroeconomia, neuroteologia) che contrabbandano per mere reazioni emozionali decisioni prese invece in base a giudizi; si tratta di errori procedurali che ignorano la differenza fra apprensioni e giudizi .

E' attiva da alcuni anni una linea di indagine sui *neuroni specchio*, cioè sui quei neuroni che si attivano vedendo eseguire ad un altro soggetto una certa azione, e che pertanto stimolano reazioni mimetiche; probabilmente – ma è materia che richiede ulteriore indagine- anche qui siamo in presenza di meccanismi (empatia ) che riguardano la formulazione di una apprensione ma non di un giudizio.

### **5- La volontà libera è compatibile con la fisica?**

La Fig. 6 sembra aver introdotto un elemento di incertezza ad ogni biforcazione. Questa incertezza è cruciale per poter poi (Fig.7) espletare la creatività come scelta libera di un altro colle di probabilità, cioè di un nuovo gruppo di regole procedurali.

Ma l'incertezza è solo legata alla “grana” dell'osservazione; se con un microscopio ingrandiamo a sufficienza la zona attorno a una biforcazione, vediamo che la traiettoria del sistema dinamico sceglie o destra o sinistra senza le incertezze che la scala di rappresentazione della Fig.6 poteva far supporre. Questo determinismo della fisica classica (già sottolineato in Fig.1) nasce dal fatto che fissate posizione e velocità iniziale di una particella- se ne può stabilire con precisione il futuro. A partire dal 1926, la misura simultanea di posizione e velocità è stata mostrata essere impossibile da Heisenberg; dunque , la fisica quantistica –dichiarando impossibile la misura precisa di osservabili *incompatibili*- sembra introdurre quell'elemento di incertezza indispensabile per decisioni libere.

Per molti decenni, si sono esplorati fatti quantistici su oggetti microscopici isolati dall'ambiente circostante, in quanto il contatto con l'ambiente distrugge le delicate relazioni quantistiche e ripristina un comportamento classico, per cui vale il determinismo.

Dal punto di vista concettuale, è come se la fisica quantistica esplorasse tutte le potenzialità di un pezzo di mondo, mentre la fisica classica si limita a osservare il comportamento attuale che è newtoniano; orbene, è questo che viene imposto dall'immersione del pezzo di mondo nell'ambiente (cosiddetta “*decoerenza*”).

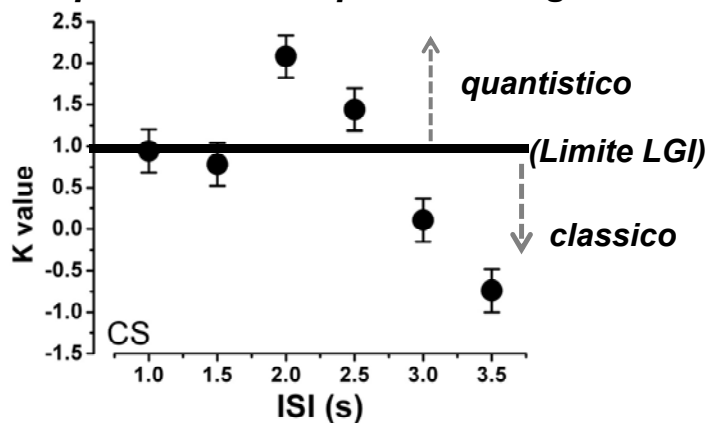
Un calcolatore quantistico esegue simultaneamente tutte le possibili operazioni compatibili con una collezione di dati di partenza, quindi velocizza il calcolo rispetto a una procedura classica, che esegue una operazione alla volta; ma – a causa della decoerenza- finora abbiamo calcolatori quantistici fatti di pochi elementi microscopici che vanno accuratamente isolati dall'ambiente.

Una novità recentissima è che gli effetti quantistici influenzano il mondo vivente. Ad esempio, è stato mostrato che l'altissimo rendimento dell'effetto fotosintetico nell'azione clorofilliana delle alghe (conversione dell'energia solare con produzione di molecole combustibili) è un effetto quantistico, che sottrae il motore clorofilliano ai vincoli dei nostri motori termici.

A Firenze abbiamo appena raggiunto evidenza di effetti quantistici nei processi cognitivi umani ( F.T.Arecchi, A.Farini and N.Megna, *Violation of the Leggett-Garg inequality in cognitive processes*). Per non essere influenzati dal valore semantico delle parole, abbiamo scelto sequenze di

parole elementari, equivalenti a +1 o -1, e le abbiamo presentate “ a caso” a un soggetto. Ripetendo per molti soggetti, abbiamo scoperto una violazione della disuguaglianza di Leggett e Garg che è specifica dei fenomeni quantistici. Questa violazione è limitata nel tempo ad una finestra di durata 1 sec centrata sui 2 sec (Fig.14). Siamo vicini alle scale di tempi tipiche dei processi linguistici; siamo tentati di affermare: come in un calcolatore quantistico, la memoria linguistica permette di esplorare TUTTE le possibili relazioni fra  $d$  ed  $h$  in Bayes inverso, e non una per volta.

### Effetto quantistico nei processi linguistici



**LGI = ineguaglianza di Leggett-Garg**

**Valori sperimentali di K per un soggetto**

**Fig.14**-In modo alquanto uniforme su molti soggetti( i dati si riferiscono a CS) abbiamo verificato una violazione di LGI ,cioè una combinazione K di correlazioni temporali che supera 1 , con un picco attorno ai 2 sec( la scala orizzontale corrisponde ai tempi di presentazione delle parole) e per una durata di circa 1 sec.

## 7-Due modi di dialogo con il mondo

Concludiamo queste considerazioni confrontando le due ermeneutiche di Fig. 2a) e 2c) come due modi opposti di dialogare con il mondo (Fig.15).

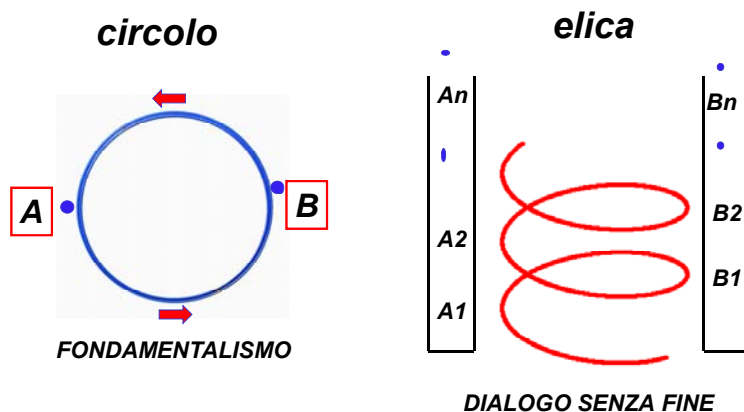
Con riferimento alla Fig.15 a destra, fondata su quanto detto sul giudizio e su Bayes inverso, possiamo dire che ritroviamo la stessa procedura creativa (= generatrice di novità) e SENZA FINE, in

- i) apprezzamento estetico (dialogo con un testo linguistico);
- ii) investigazione scientifica (dialogo con un ente di natura);
- iii) vita d'amore (dialogo fra persone);
- iv) vita oltre la morte [*vita mutatur, non tollitur*].

Come in i) dietro l'opera con cui si instaura un dialogo senza fine c'è un creatore , così in ii) dietro ogni evento c'è il Creatore che è Logos [ritrovo Dio con gli argomenti che Kant usava nella Critica del giudizio ].

Come in iii) instauro un dialogo con miei compagni di percorso, così in iv) mi aspetto un dialogo eterno con il Logos. Dunque, la vita che mi aspetta dopo la morte sarà un eterno arricchimento e non una noia ripetitiva, come temeva Benedetto Croce, che era ancorato all'ermeneutica a CIRCOLO.

**Confronto tra A e B -  
Due tipi di ermeneutica: ripetitiva; creativa**



**Fig15-** I rapporti linguistici riguardano non solo noi di fronte a un testo, ma anche noi di fronte al resto del mondo(indagine scientifica), e soprattutto noi in dialogo con un altro essere umano. In tutti e tre i casi possiamo “leggere” la situazione con due tipi opposti di ermeneutica:  
 -CIRCOLO (ripetitiva): A crede di aver estratto tutte le connotazioni dell’interlocutore B e continua a scambiare la stessa informazione senza alcun progresso (**FONDAMENTALISMO**);  
 -ELICA (creativa): A e B crescono mutuamente in un progressivo arricchimento di informazione, come mostrato in Fig.2c) per la ricerca scientifica (**DIALOGO SENZA FINE**)

**Nota bibliografica**

Dato il carattere di questa presentazione, non è sembrato opportuno appesantirla con un apparato bibliografico.

Sui vari aspetti qui trattati ,rimando ai lavori elencati sulla mia homepage:

[www.ino.it/home/arecchi](http://www.ino.it/home/arecchi)

e in particolare a un testo non tecnico, di facile lettura:

- F.T. Arecchi: Coerenza, Complessità e Creatività, S. Di Renzo, Roma, 2007.