

I DUE TEMPI DEGLI ATTI DI COGNIZIONE UMANA (APPRENSIONE E GIUDIZIO)

Fortunato Tito Arecchi - tito.arecchi@ino.it, www.ino.it/home/arecchi/
Università degli studi di Firenze INO-CNR

Abstract

This paper investigates two different moments of human cognition, that is apprehension (A), where a coherent perception of the recruitment of neuronal group rises and judgment (B), where memory recalls former passages of (A) encoded in an adequate language. These passages are compared to more recent apprehension in order to formulate a judgment.

The first moment (A) has a duration of 1 sec ca., it appears as an a-temporal present in which the subjects acquires awareness of an aspect of the environment which stimulates an adequate motor response; a neuronal correlate (NCC= neural correlate of consciousness) is related with it. It can be described as an interpretation of the sensory stimuli on the bases of available algorithms, by a Bayesian procedure.

The second moment (B) implies the comparison of two apprehensions, acquired in different times, encoded in a particular language e recalled by memory. (B) lasts 3 sec ca., it needs self-consciousness because the subject which expresses the judgment has to be conscious of the fact that to his scrutiny are submitted two apprehensions and that he has to extract a mutual relationship. Unlike (A), (B) doesn't imply an algorithm, but rather it construes a new one by an inverse Bayesian procedure. The construction of a new algorithm is strictly interwoven to creativity and freedom of choice. These procedures belong to human beings and cannot be implemented in a machine.

Key words: reductionism and emergence complementarity; radical and intrinsic emergence; artificial vision; model building; observer's role in constructivist epistemology; semantic complexity; logical openness.

La Cognizione: una introduzione

Dobbiamo distinguere fra due tipi di processi cognitivi. Nel primo, uno stimolo esterno dà luogo a una percezione coerente, da cui consegue una definita reazione motoria, lo chiameremo *apprensione* (A); esso corrisponde al reclutamento di gruppi di neuroni corticali che rispondono in sincronismo. Nel secondo, una unità (A) codificata in qualche linguaggio viene richiamata dalla memoria e confrontata con una (A) più recente; il confronto porta alla formulazione di un *giudizio* (B). Ho usato i termini *apprensione* e *giudizio* per i due atti cognitivi che caratterizzano l'intelletto umano (Lonergan, 1957).

Il primo ha luogo su un intervallo di tempi attorno a 1 sec . Esso risulta dalla sincronizzazione collettiva delle oscillazioni neuronali nella banda gamma (cioè attorno ai 50 Hertz), sincronizzazione che coinvolge aree corticali estese come si desume dall'elettro-encefalo-gramma (EEG). Il risultato è una percezione coerente, in base a cui l'agente cognitivo acquista consapevolezza di un aspetto dell'ambiente che lo circonda (Rodriguez & al., 1999; Singer, 2007; Womelsdorf & Fries, 2007).

Il meccanismo di sincronizzazione neuronale non presenta differenze rilevanti fra un soggetto umano e una animale superiore (scimmia o gatto). In effetti (A) può essere studiato con vari metodi di laboratorio, e qualora esso sia identificato con la Coscienza (impropriamente, come vedremo) si parlerà di *correlati neuronali della coscienza* (NCC).

I vari (A) possono essere richiamati dalla memoria e utilizzati per decisioni motorie; ciò accade nella vita quotidiana di qualunque agente cognitivo. Anche un allungamento della scala di tempi non altera quanto detto e parleremo sempre di processi (A). Negli esseri umani (e -

per quanto ne sappiamo - solo in essi) l'informazione di (A) viene codificata in un linguaggio conveniente e conservata non come una capacità motoria ma come una unità con un significato preciso. I vari blocchi linguistici possono essere confrontati per estrarre una tendenza globale nella sequenza. Questo accade su scale di tempi oltre i 3 sec; chiamiamo (B) questa operazione che presuppone la codifica degli (A) nello stesso linguaggio. La frontiera temporale fra (A) e (B) è stata esplorata da E. Pöppel in vari lavori (Pöppel, 1997, 2004, 2009).

(B) non è più un singolo processo di sincronizzazione, in quanto il confronto implica la presenza di differenze fra le varie (A) confrontate. Affinché (B) sia efficace, occorre che il soggetto cognitivo sia conscio della propria unità che persiste nell'esplorazione di differenti pacchetti linguistici; pertanto (B) non è mera *consapevolezza percettiva*, ma *auto-coscienza*.

Spiegheremo (B) mediante quello che abbiamo chiamato "inferenza di Bayes inversa". Il Bayes inverso che verrà qui spiegato permette di formulare un *giudizio* (B) (Arecchi, 2010) , mentre (A) con la sua sincronizzazione neuronale si limita all'*apprensione*.

Il cervello caotico

Per circa 1 sec, occorre mantenere intatta l'informazione di partenza; altrimenti, i nostri resoconti sul mondo sarebbero incapaci di stimolare reazioni motorie. Si sa però che un singolo neurone isolato è affetto da caos deterministico, e dovrebbe perdere l'informazione iscritta nella propria dinamica entro qualche millisecondo (Arecchi, 2004). E' questa la correzione al determinismo di Newton-Laplace - che cioè, note le forze, le condizioni iniziali determinano tutto il futuro - dovuta a Henri Poincaré e che oggi appun-

to chiamiamo caos deterministico, indicando con un ossimoro che il caos, o perdita di informazione, non è un fatto statistico che riguardi grandi folle, ma interviene già in problemi apparentemente semplici perché retti da poche variabili dinamiche, da 3 in su. La ragione consiste in una esagerata sensibilità alle condizioni iniziali. Le condizioni iniziali sono gruppi di numeri (uno per ogni variabile del problema), ma di ogni numero reale possediamo solo una versione troncata, la cui rappresentazione geometrica è un segmento e non un punto. Nel caso caotico, traiettorie che partono da punti diversi si divaricano nel corso del tempo, sì che una trascurabile incertezza iniziale dà luogo a vistose differenze al passare del tempo; la nuova traiettoria dopo la perturbazione si allontanerà sempre di più da quella ideale, il cui contenuto d'informazione verrà perso. Questo accade nei modelli meteorologici, per cui bisogna aggiornare i dati ogni giorno. Nel caso di un neurone isolato, il tempo di perdita dell'informazione è di qualche millisecondo (Arecchi, 2004): troppo poco rispetto alle centinaia di millisecondi necessarie per decidere con una risposta motoria.

Il caos deterministico può essere controllato aggiungendo un segnale che modifichi la stabilità trasversa senza disturbare la traiettoria longitudinale (Ott, Grebogi e Yorke, 1990). Il controllo equivale a una ri-codifica del problema. Applichiamo questa strategia del controllo alla dinamica dei neuroni. Per attuare la ri-codifica, dobbiamo modificare gli stimoli bottom-up (stimoli sensoriali) con le interpretazioni top-down (modifiche suggerite dalla memoria semantica) (Grossberg, 1987). Una percezione è ben lungi dall'essere una registrazione passiva di dati esterni.

Come fa il cervello a scegliere fra segnali diversi che gli arrivano? L'ipotesi di *feature binding* (Singer, 2007) dice che tutti i neuroni coinvolti nell'elaborare i segnali che corrispondono allo stesso aspetto (*feature*) emettono treni sincronizzati di impulsi. La sincronizzazione collettiva è un comportamento robusto che può durare abbastanza a lungo da suscitare una decisione. Essa va considerata come il risultato di stimoli individuali a neuroni più un mutuo accoppiamento con altri neuroni; il tutto insieme si configura come un controllo del caos che allunga la durata di una informazione rilevante per un tempo sufficiente.

L'evidenza sperimentale di sincronizzazione in animali di laboratorio risulta correlando i segnali catturati da microelettrodi ciascuno posizionato su un singolo assonone (Singer, 2007). In soggetti umani i microelettrodi sarebbero troppo invasivi; d'altronde un comune EEG non dà risoluzione sufficiente per evidenziare l'effetto. Se però si filtra dallo EEG una quasi-sinusoide entro la banda gamma (intervallo di frequenze fra 40 e 70 Hertz, caratteristico delle computazioni corticali) si può evidenziare un accordo di fase di segnali filtrati estratti da aree corticali distanti, ad esempio V1 (corteccia visiva primaria, localizzata nella regione occipitale) e PFC (pre-frontal cortex, localizzata nella parte anteriore del cervello). Questo accordo di fase evidenzia la sincronizzazione dei neuroni che appartengono a quelle aree (Rodriguez et al., 1999).

L'apprensione come inferenza di Bayes

Fin qui, abbiamo trattato la sincronizzazione come il comportamento collettivo di una folla di neuroni, ciascuno rappresentato da un sistema dinamico caotico. In effetti, nel cervello "bagnato", cioè aperto a disturbi ambientali per effetto dei collegamenti fisiologici con tutto l'organismo, un modello dinamico per cui un risultato d discende in modo univoco da un'ipotesi h attraverso una precisa relazione funzionale appare una idealizzazione poco consona alla realtà. Per sottrarsi al semplicismo del modello dinamico, lo rimpiazziamo con un approccio statistico basato sull'inferenza di Bayes (1763). Esso 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 $P(h)$, essendo P 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.

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, riduciamo a 2 il numero di variabili del problema, in modo da muoverci 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.1) (Arecchi, 2007 a,b).

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.

Interpretiamo l'*apprensione* come una inferenza di Bayes (Arecchi, 2007 a,b) descrivendo quel che accade entro un intervallo di sincronizzazione (attorno a 1 sec) come segue (Fig. 2). 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 dato preciso d ; dunque la procedura di Bayes seleziona a-posteriori l' h^* che meglio si adatta al dato d . Il cambiare modello è una ope-

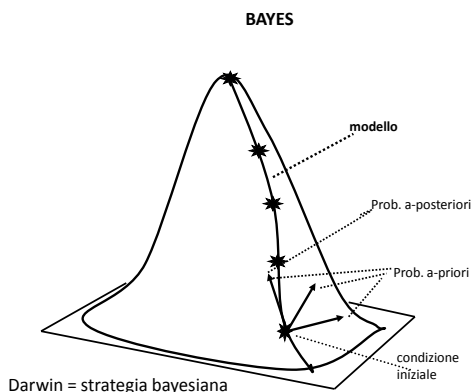


Fig.1-- Costruzione di ipotesi viepiù adeguate agli esperimenti, per applicazione successiva del teorema di Bayes. La procedura è una scalata del monte della probabilità guidati dal modello, o **algoritmo**. Le stellette indicano le posizioni successive. Ad ogni punto sulla curva che porta al picco corrisponde un valore di probabilità. Si noti che la strategia darwiniana è una implementazione di Bayes.

razione 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.

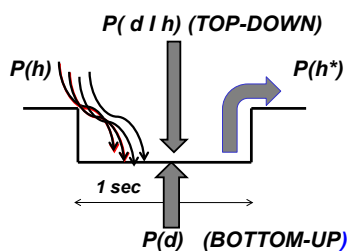


Fig.2- Apprensione come inferenza bayesiana (h =ipotesi apriori, d = dati). Selezione dell'ipotesi aposteriori h^* in base a cui agire, a partire da un ventaglio di h , per azione congiunta di uno stimolo sensorio d (bottom-up) e di un modello interpretativo o algoritmo (top-down).

La complessità: il teorema di Gödel

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.1 visualizza un processo, 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. Sintetizzando tre decenni di intensi dibattiti, possiamo definire complessa una situazione che non è esaurita da un singolo modello.

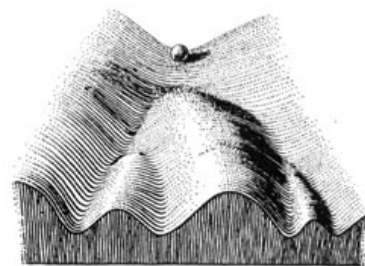


Fig. 3- Paesaggio epigenetico. Disegno di C. Waddington, 1940.

Lo scambio di algoritmo è una procedura non-algoritmica; un sistema complesso è visualizzabile come un paesaggio con molti monti di probabilità (Fig.3). 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). 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).

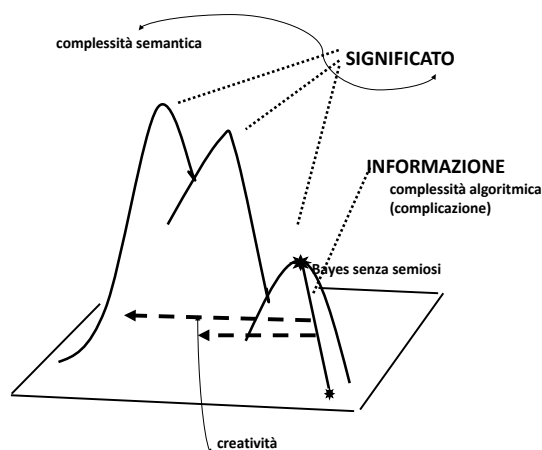


Fig.4- La complessità semantica come molteplicità di algoritmi per affrontare la stessa situazione.

Il primo teorema di incompletezza di Gödel (1931) può essere considerato come un salto creativo in un paesaggio complesso. 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 Turing (1936) ha dimostrato che un computer universale, per un generico input, non può decidere di fermarsi (*indecidibilità dello halting problem*).

Il giudizio come procedura di Bayes inversa

Abbiamo considerato un scala di tempi attorno a 1 sec in cui si realizza l'apprensione (A). (A) risulta dalla competizione di differenti gruppi sincronizzati. e va considerato come un presente a-temporale, perché una percezione coerente implica un ri-aggiustamento delle scale temporali dei diversi canali sensori (uditivo, visivo, ecc) che singolarmente evolvono con differenti velocità (Singer, 2007). Come abbiamo visto prima, (A) richiede l'implementazione di una strategia dinamica, il controllo del caos; tuttavia (A) è deterministico solo in parte, perché in un cervello vivo l'evoluzione deterministica va rimpiazzata con una procedura di Bayes. (A) è comune a tutti gli animali superiori ed infatti viene esplorato in laboratorio su scimmie o gatti (Singer, 2007).

Una seconda scala di tempi è associata con il confronto fra l'apprensione presente e una passata richiamata dalla memoria, entrambe codificate nello stesso linguaggio. E' ragionevole arguire che il confronto richiede circa 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 (*h**), e 1 sec serve a rendere *d* e *h** co-presenti, cioè a congiungerli in una sincronizzazione (feature binding) comune. Chiameremo *giudizio* (B) questo confronto che avviene su 3 sec. Entro (B) si procede sfruttando una *procedura di Bayes inversa* (Arecchi, 2010).

Illustriamo i dettagli della procedura. 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 conoscenza della probabilità $P(d)$ dei dati bottom-up, come segue

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

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 misurare successive di una melodia), l'incognita è ora l'algoritmo più appropriato per armonizzare *d* e *h**. Esso risulta come soluzione della relazione di Bayes inversa, cioè:

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

Questa procedura, che è esclusiva degli umani perché richiede la codifica degli apprendimenti in un linguaggio simbolico, è rappresentata in Fig.5

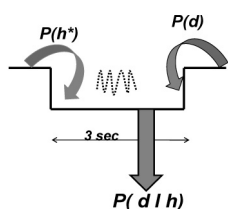


Fig. 5-Giudizio come procedura di Bayes inversa. Confronto di *d* con *h**, da cui il modello più adeguato

$P(d|h)$ emerge a posteriori, invece di essere presupposto a priori come in Fig.2.

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. Oggi, l'oggetto come una collezione di numeri è diventato la familiare nozione di codice a barre che classifica un prodotto in un negozio. Tuttavia non mi risulta che qualcuno provi piacere nel contemplare il codice a barre di una mela piuttosto che afferrare una mela reale. L'esplorazione 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. Questa era l'affermazione di Herbert Simon, supportata dal Programma Bacon, che ricava le leggi di Keplero partendo dai dati astronomici disponibili all'inizio del XVII Sec. (Langley et al.,1987). In effetti, il problema kepleriano è del tutto privo di complessità; per contro, se affrontiamo problemi complessi, non ci aspettiamo che un computer possa rimpiazzare la creatività scientifica (Arecchi, 2007 b).

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)*. Fra l'altro, il ri-aggiustamento del punto di osservazione in una sequenza di Bayes inversi provvede una soluzione alla paradossale affermazione di Platone, che i nostri sensi ci ingannano perché siamo come prigionieri in una caverna, costretti a vedere solo le ombre della realtà proiettate sul fondo della caverna. In effetti, se continuiamo ad osservare le ombre sotto diverse angolazioni, confrontando le osservazioni diverse (il confronto fra i diversi puntidi vista che facciamo in (B)), finiamo con il costruire una immagine adeguata della realtà.

La ricerca sperimentale esplora con varie tecniche i correlati neurali della consapevolezza (NCC) (Koch, 2004). Gli NCC possono visualizzare il reclutamento di gruppi neurali per compiti legati all'apprensione (intervalli di 1 sec). Nel caso del giudizio, abbiamo tre unità separate di apprensione (quella relativa alla codifica di *d*, quella corrispondente al richiamo di *h** e quella in cui le due apprensioni codificate sono messe a confronto per formulare un modello interpretativo). Dobbiamo aspettarci NCC diversi per le tre unità da 1 sec, pertanto è impossibile avere un NCC comprensivo per l'intero giudizio.

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 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 Libet, e pertanto sfugge a quella inversione di ordine riportata prima.

Bibliografia

- ARECCHI, F.T.(2004) Chaotic neuron dynamics, synchronization and feature binding. *Physica A* 338, 218-237.
- ARECCHI, F.T.(2007a) Complexity, Information Loss and Model Building: from neuro- to cognitive dynamics. *SPIE Noise and Fluctuation in Biological, Biophysical, and Biomedical Systems* – Paper 6602-36.
- ARECCHI, F.T.(2007b). Physics of cognition: complexity and creativity. *Eur.Phys.J. Special Topics* 146,205.
- ARECCHI, F.T. (2010) Dynamics of consciousness: complexity and creativity. *The Journal of Psychophysiology*, 24 (2),141-148.
- BAYES, T. (1763). An Essay toward solving a Problem in the Doctrine of Chances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 53, 370-418
- GALILEI, G.(1612).Terza lettera a M. Welsler sulle macchie solari, *Opere*,vol.V (pp.187-188).Firenze: Edizione Nazionale, Barbera 1968
- GÖDEL, K.(1931) Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme, I, *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38, 173–198.
- GROSSBERG, S. (1987) Competitive learning: from interactive activation to adaptive resonance. *Cognitive Science*, 11, 23-63.
- KOCH, C. (2004). *The quest for consciousness: a neurobiological approach*. Englewood, US-CO: Roberts & Company Publishers.
- LANGLEY P., SIMON H.A., BRADSHAW G.L. & ZYTKOW J.M. (1987). *Scientific discovery: Computational Explorations of the Creative Processes*.Cambridge, MA: The MIT Press.
- LIBET, B.(2004). *Mind time: The temporal factor in consciousness*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- LONERGAN,B. (1957). *Insight* .Toronto: University of Toronto Press.
- OTT, E., GREBOGI,C.,& YORKE,J. (1990). Controlling chaos. *Physical Review Letters*, 64, 1196-1199.
- PÖPPEL, E.(1997a) A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences*,1,56-61.
- PÖPPEL, E.(1997b). Consciousness versus states of being conscious. *Behavioral and Brain Sciences*,20, 155-156.
- PÖPPEL, E.(2004). Lost in time: a historical frame, elementary processing units and the 3-second window. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*,64, 295-301.
- PÖPPEL, E. (2009). Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing. *Philosophical Transactions of the Royal SocietyB*,364,1887-1896.
- RODRIGUEZ, E., GEORGE, N., LACHAUX, J-P., MARTINERIE, J., RENAULT, B.& VARELA F.J.(1999) Perception's shadow: long distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397, 430- 433.
- SINGER,W., (2007) Binding by synchrony, *Scholarpedia*, 2(12), 1657.
- TOMMASO D'AQUINO (attorno al 1269), *Summa theologica, Parte Prima*,Questione 16.
- TURING, A.(1936). On computable numbers with an application to the Entscheidungs problem *Proceedings of the London Mathematical Society, Series 2*, 42, pp.230-265.
- WOMELSDORF ,T. & FRIES,P. (2007) The role of neuronal synchronization in selective attention, *Current Opinion in Neurobiology*,17, 154-160.