

# **MEMORIA E COMPLESSITÀ NELLE SCIENZE COGNITIVE**

Eliano PESSA

Department of Brain and Behavioural Sciences

Università di Pavia

# GLI APPROCCI DELLA SCIENZA

## DINAMICO

Leggi  
deterministiche  
Soluzioni esatte  
Meccanicismo  
Riduzionismo

## ASINTOTICO

Leggi valide  
solo in  
condizioni al  
limite

Metodi  
probabilistici

$$T \rightarrow \infty$$

$$N \rightarrow \infty$$

$$V \rightarrow \infty$$

## RETI COMPLESSE

Previsione di  
scenari

Importanza  
della topologia

Leggi di scala

**I cambiamenti di approccio sono indotti dalla complessità dei problemi da risolvere.**

# **RISPETTO A QUESTI APPROCCI DOVE È SITUATA E COS'È LA SCIENZA COGNITIVA ?**

**Data di nascita: 1979**

**Scopo: studiare in modo unificato la CONOSCENZA e le sue trasformazioni negli esseri umani, negli animali e nelle macchine**

**Ambito di studio: qualunque fenomeno**

**Impostazione: TRANSDISCIPLINARE**

**Metodi adoperati: esperimenti, costruzione di modelli, simulazioni su computer**

# GLI APPROCCI NELLA SCIENZA COGNITIVA

**Nell'ambito della Scienza Cognitiva continua ad esistere il tradizionale approccio COMPUTAZIONALE SIMBOLICO o COMPUTAZIONALISMO.**

**Tuttavia, dati gli inconvenienti che esso presenta in alcuni domini, viene spesso affiancato o sostituito da altri approcci.**

**Tra questi ultimi vanno citati:**

- IL CONNESSIONISMO**
- IL DINAMICISMO**
- LA CONOSCENZA SITUATA (EMBODIED COGNITION)**

**Questi approcci hanno forti relazioni reciproche**

## ***Il computazionalismo (In breve)***

**Questo termine indica un approccio allo studio dei processi mentali basato sulla seguente ipotesi:**

- I processi mentali consistono in processi di CALCOLO agenti su SIMBOLI esattamente equivalenti a quelli effettuati da un COMPUTER DIGITALE**

**Nonostante tale approccio abbia ISPIRATO un gran numero di modelli dei processi cognitivi sia nell'ambito della PSICOLOGIA che dell'INTELLIGENZA ARTIFICIALE, tuttavia molti psicologi tuttora svolgono le loro ricerche senza utilizzare direttamente le idee di questo approccio (o, almeno, SONO CONVINTI DI NON UTILIZZARLE!)**

**DATO CHE IL FUNZIONAMENTO DELLA MENTE VIENE REGOLATO DA UNA SPECIE DI SOFTWARE, DIVENTA POSSIBILE IMPLEMENTARE QUESTO STESSO SOFTWARE SU COMPUTER ARTIFICIALI, I QUALI, IN LINEA DI PRINCIPIO, POTREBBERO ACQUISTARE LE STESSE CAPACITA' DELLA MENTE UMANA.**

**IL COMPITO DI ATTUARE QUESTA IMPLEMENTAZIONE SPETTA APPUNTO ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE, IL CUI SCOPO E' QUELLO DI PROGETTARE DISPOSITIVI ARTIFICIALI "INTELLIGENTI" E, PER ALCUNI, DI COSTRUIRE MACCHINE IN GRADO DI PENSARE.**

**L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE, SECONDO  
L'APPROCCIO COGNITIVISTA ORIGINARIO,  
RAPPRESENTA UN POTENTE STRUMENTO DI  
INDAGINE DEI PROCESSI COGNITIVI:**

**SE SI RIESCE A PROGETTARE UN PROGRAMMA  
CHE FA ESEGUIRE AD UN COMPUTER COMPITI IN  
MODO "INTELLIGENTE", IN MODO INDISTINGUIBILE  
DA COME FAREBBE UN ESSERE UMANO, ALLORA  
QUESTO COSTITUISCE UNA PROVA CHE ANCHE I  
PROCESSI MENTALI UMANI SOTTOSTANTI QUESTI  
COMPITI SONO GOVERNATI DALLO STESSO  
PROGRAMMA.**

**Nell'ambito dell'approccio computazionale simbolico originario il problema della complessità NON ESISTE.**

**Infatti si suppone tacitamente che le regole del 'software mentale' siano semplici e facili da scoprire.**

**La potenza del 'computer mentale' dovrebbe infatti dipendere quasi esclusivamente dalle dimensioni della MEMORIA, concepita come un immenso SERBATOIO privo di qualsiasi complessità.**

**MA LE COSE STANNO VERAMENTE COSÌ ?**



# **LA COMPLESSITÀ DELLA MEMORIA**

**La memoria umana, al contrario, appare, in base sia agli studi sperimentali che modellistici, un sistema ALTAMENTE COMPLESSO.**

**Qui citeremo tra i tanti tre ambiti in cui questa complessità si presenta in modo particolare :**

- la MEMORIA AUTOBIOGRAFICA**
- L'EFFETTO PUNTA-DELLA-LINGUA**
- LA MEMORIA PER L'ORDINE SERIALE**

# **LA MEMORIA AUTOBIOGRAFICA**

**Nonostante la memoria autobiografica possa essere studiata solo tramite un metodo naturalistico, le numerose ricerche che sono state svolte su questo tema a partire dagli anni Settanta hanno condotto a risultati scientifici attendibili, per spiegare i quali sono stati proposti numerosi modelli**

**In tempi recenti questi studi sono stati condotti anche in riferimento all'attività cerebrale dei soggetti, in modo da individuare le aree del cervello responsabili dei vari processi legati alla memoria autobiografica**

# LE FALSE MEMORIE

**Esistono molti effetti di questo tipo. I più famosi sono stati evidenziati dalla Loftus nelle sue ricerche sulla testimonianza. L'esperimento tipico prevede che dei soggetti vedano, ad esempio, un filmato che ritrae un incidente automobilistico. I soggetti devono poi riferire a loro modo l'incidente visto e rispondere ad alcune domande. In particolare ad un primo gruppo di soggetti viene chiesto di stimare la velocità delle due auto quando si sono 'urtate'. Per un secondo gruppo la richiesta di stima della velocità riguarda le due auto quando si sono 'spiaccicate' una contro l'altra. Al terzo gruppo non vengono fatte richieste di stima della velocità.**

**Il modo con cui sono state poste le domande ha notevoli effetti sul successivo ricordo dell'evento. I soggetti che hanno ricevuto la domanda relativa alle auto 'spiaccicate' forniscono una stima più elevata delle velocità. Inoltre, se dopo una settimana si chiede loro se avevano notato nelle immagini vetri rotti, rispondono erroneamente in modo affermativo (nel filmato non ce n'erano).**

**Questi e molti altri esperimenti mostrano che i soggetti non riferiscono tanto quello che hanno visto, ma quello che sono stati condotti a CREDERE DI AVER VISTO.**

**E la credenza è di pertinenza della Memoria Semantica !**

# **RICORDI AUTOBIOGRAFICI INVOLONTARI**

**A volte si hanno ricordi autobiografici involontari, ovvero in assenza di indizi evidenti o di intenzioni esplicite di richiamo**

**Tali ricordi involontari sono stati studiati da vari autori (ad es. BERNSTEN) col metodo dei diari**

**Le ricerche hanno mostrato che:**

- essi riguardano quasi sempre eventi specifici**
- essi riguardano più spesso eventi a valenza positiva**
- essi riguardano di solito eventi abbastanza recenti**

**Dato che i ricordi involontari hanno caratteristiche assai differenti da quelle dei ricordi intenzionali, alcuni autori hanno ipotizzato che esistano due distinti sistemi di memoria autobiografica:**

- VOLONTARIO, in grado di produrre descrizioni di tipo generale**
- INVOLONTARIO, in grado di produrre ricordi specifici**

**Non esiste tuttavia alcuna prova sicura dell'esistenza di entrambi i sistemi**

# **LE FUNZIONI DELLA MEMORIA AUTOBIOGRAFICA**

- **ADATTIVA**
- **EMOTIVA**

**La maggior parte degli approcci terapeutici si serve della memoria autobiografica per comprendere il funzionamento psicologico del soggetto ed eventualmente offrirgli le occasioni per gestire o risolvere i suoi problemi**

**Tuttavia la memoria autobiografica appare soprattutto come un processo di RICOSTRUZIONE dipendente da numerosi fattori non sempre identificabili**

## **L'EFFETTO 'PUNTA DELLA LINGUA'**

**Questo effetto (detto anche TIP-OF-TONGUE EFFECT) consiste nella difficoltà a ricordare informazioni ben conosciute e familiari, associato al fatto che, tutte le volte che si cerca di ricordarle, vengono in mente informazioni dello stesso tipo, ma diverse da quelle cercate.**

**La causa di questo effetto consiste in un fenomeno noto come INIBIZIONE INDOTTA DAL RECUPERO.**



# L'INIBIZIONE INDOTTA DAL RECUPERO

**Questo fenomeno consiste nel fatto che il richiamo di un elemento appartenente da una data categoria INIBISCE temporaneamente il richiamo di altri elementi appartenenti alla STESSA categoria**

**Se, quindi, l'elemento recuperato non è quello cercato, diventa assai difficile richiamare quest'ultimo**

**Fortunatamente il sistema cognitivo umano non colloca ciascun elemento nell'ambito di UNA SOLA categoria**

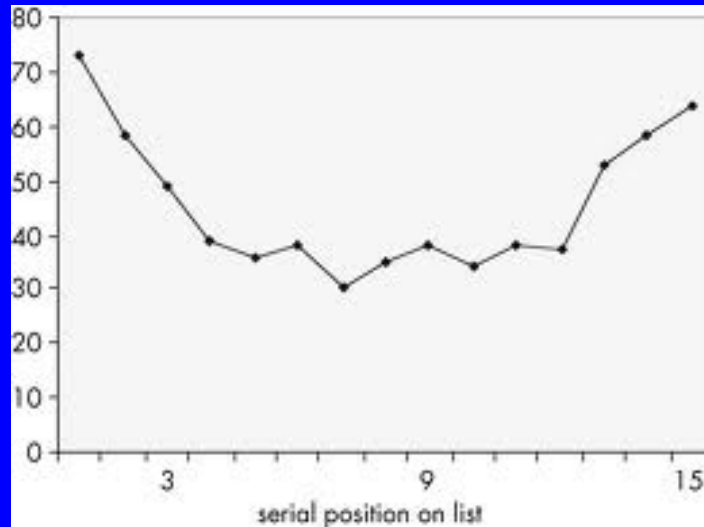
# **LA MEMORIA PER L'ORDINE SERIALE**

**Questa espressione denota un numero di EFFETTI DI POSIZIONE SERIALE evidenziati da opportuni COMPITI DI MEMORIA.**

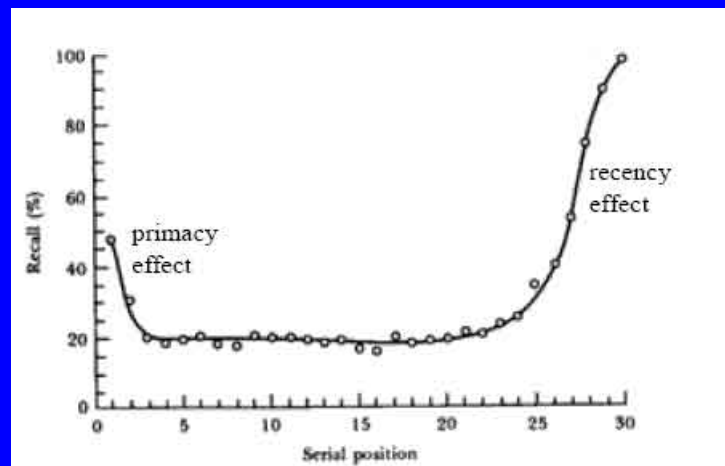
**Tra questi citiamo il RICHIAMO SERIALE e il RICHIAMO LIBERO, IMMEDIATO o RITARDATO.**

**Molta gente pensa che tutti questi effetti abbiano una origine comune e possano essere spiegati da una teoria generale della memoria per l'ordine seriale basata su principi generali, implementabili tuttavia solo tramite modelli che siano almeno basati su RETI NEURALI ARTIFICIALI.**

**Tra questi effetti citiamo l'EFFETTO DI POSIZIONE SERIALE, evidenziato dalla CURVA DI POSIZIONE SERIALE ...**

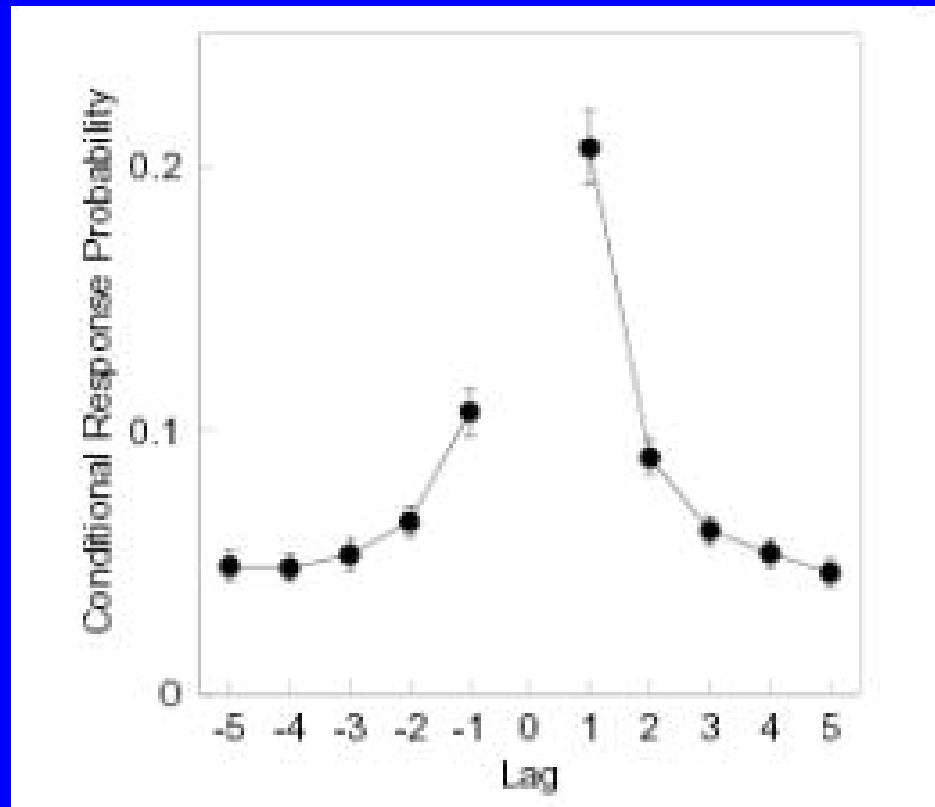


**Primo  
Esempio**

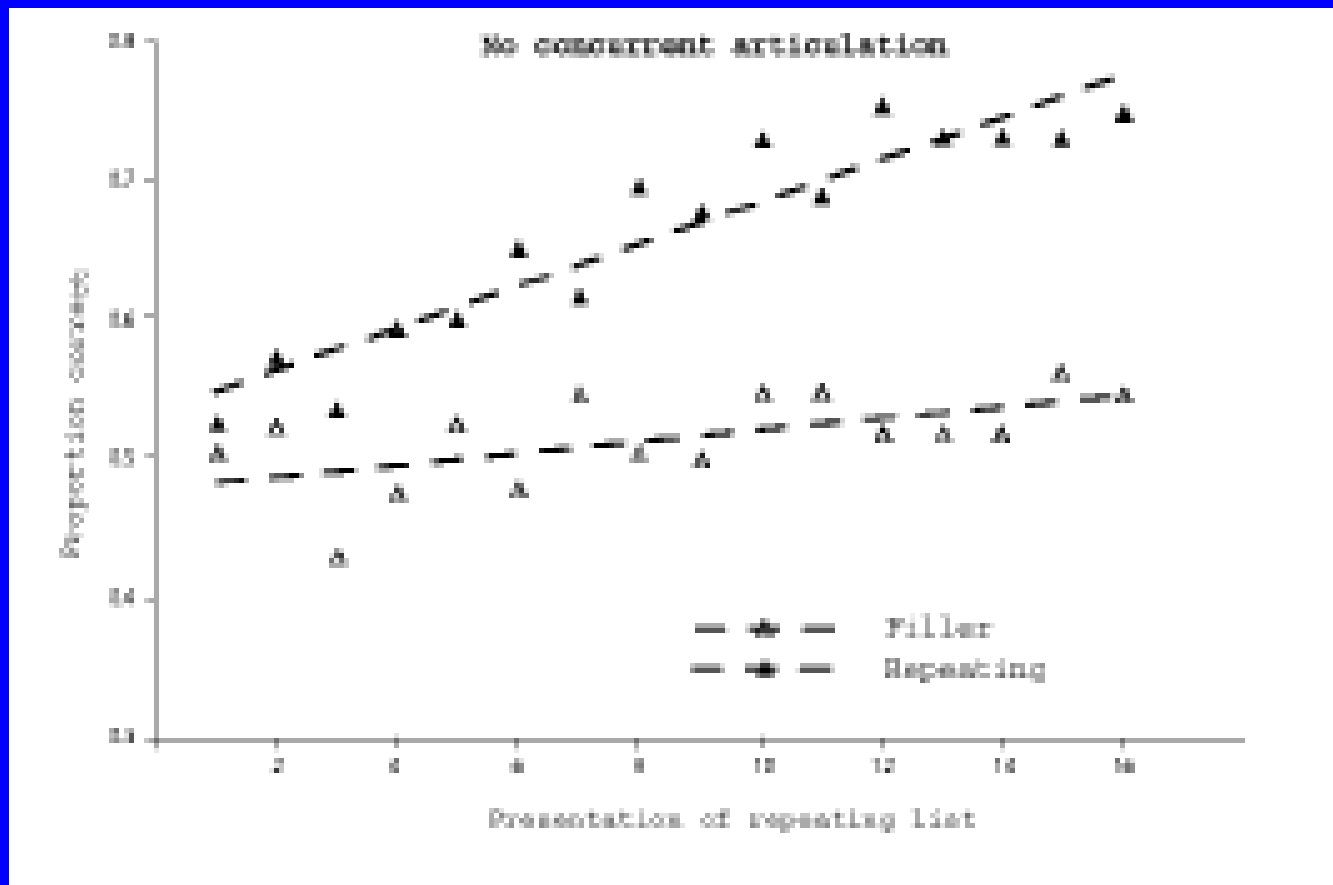


**Secondo  
Esempio**

## ...o il LAG RECENCY EFFECT...



# ...o I'HEBB REPETITION EFFECT



# **CARATTERISTICHE GENERALI DELLA MAGGIOR PARTE DELLE PERFORMANCES NEI COMPITI DI ORDINE SERIALE**

- 1) MEMORIA TEMPORALE – La memoria per l'ordine seriale è essenzialmente dipendente dal tempo, collegato all'ordine temporale di presentazione del materiale**
- 2) SIMILARITÀ DI SCALA – In un certo numero di casi gli effetti sono simili su differenti scale di tempo**
- 3) INFLUENZA LOCALE – La performance su un dato item può essere influenzata dalle interazioni con altri item psicologicamente vicini**
- 4) IL RICHIAMO SOMIGLIA AD UNA DETECTION O AD UN RICONOSCIMENTO**

# **MA QUANTO SONO COMPLESSI I MODELLI DELLA MEMORIA BASATI SULLE RETI NEURALI ARTIFICIALI ?**

**Per rispondere a questa domanda occorre disporre di una definizione operativa di COMPLESSITÀ e scegliere un particolare modello basato su reti neurali.**

**Qui nel seguito ci riferiremo al più semplice di questi modelli, ovvero il MODELLO DI HOPFIELD.**

# LA PIÙ SEMPLICE MEMORIA ASSOCIATIVA BASATA SU UNA RETE NEURALE : IL MODELLO DI HOPFIELD (1982)

## STRUTTURA DEL MODELLO :

- Una rete monostrato di neuroni **TOTALMENTE INTERCONNESSI** (ogni neurone è collegato con tutti gli altri tranne che con se stesso)
- Connessioni bidirezionali simmetriche (il peso della connessione da A a B è identico a quello della connessione da B ad A)
- neuroni a soglia zero, con uscite pari a +1 o -1



## **PATTERN MEMORIZZABILI :**

Elenchi di valori +1 o -1, aventi tanti posti quanti sono i neuroni della rete

## **DUE FASI DI FUNZIONAMENTO :**

### **- FASE DI MEMORIZZAZIONE**

In cui i pesi vengono fissati in funzione dei pattern da memorizzare tramite una opportuna formulazione quantitativa dell'ipotesi di Hebb

### **- FASE DI RICHIAMO**

In cui, in seguito, alla presentazione di un opportuno INDIZIO (PATTERN DI RICHIAMO), si innesca una dinamica di DIFFUSIONE DELL'ATTIVAZIONE, che termina in uno STATO DI EQUILIBRIO, coincidente con il PATTERN RICHIAMATO DALLA MEMORIA

# CARATTERISTICHE IMPORTANTI DEL MODELLO DI HOPFIELD

La forma esplicita della legge di memorizzazione (legge di Hebb) è :

$$w_{ik} = \eta \sum_s v_i^{(s)} v_k^{(s)}$$

Se la dinamica di richiamo è di tipo SEQUENZIALE, ovvero viene aggiornato lo stato di uscita di un solo neurone alla volta, e se il neurone si comporta come un neurone di McCulloch-Pitts, allora questa dinamica equivale alla minimizzazione di una funzione ENERGIA, data da:

$$E = - (1/2) \sum_{ik} w_{ik} x_i x_k + \sum_r s_r x_r$$

**In generale la funzione ENERGIA dipende in modo molto complicato dai valori dei pesi e questo implica che essa sia caratterizzata da un gran numero di MINIMI LOCALI**

**Di conseguenza il pattern richiamato dalla memoria dipende strettamente (anche se in modo non facilmente prevedibile a priori) dal pattern usato come INDIZIO DI RICHIAMO**

**Un sistema del genere appare dunque come il prototipo di un SISTEMA DISORDINATO, in cui INDIZI SIMILI possono dar luogo a RICHIAMI PROFONDAMENTE DIVERSI**

# DIFFICOLTÀ DEL MODELLO DI HOPFIELD

In effetti in alcuni casi il modello di Hopfield si comporta come una memoria associativa, ma soffre di gravissimi inconvenienti :

- Non sempre il processo di diffusione dell'attivazione termina in uno stato di equilibrio (anche comportamenti oscillatori sono possibili)
- Non è detto che lo stato di equilibrio coincida con uno dei pattern immagazzinati precedentemente in memoria (presenza di **PATTERN SPURI**)
- Se il numero dei pattern immagazzinati supera il 14% del numero di unità della rete, la probabilità che lo stato di equilibrio coincida con uno dei pattern precedentemente immagazzinati è **NULLA (CAPACITÀ LIMITATA)**

# LA DEFINIZIONE DI COMPLESSITÀ

Tra le molte definizioni di complessità qui adotteremo quella di López-Ruiz, Mancini e Calbet (Phys. Lett. A, 209 (1995) 321), che si riferisce ad un sistema con N stati, ciascuno dei quali caratterizzato da una probabilità di occupazione  $P_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ), che dipende dalle caratteristiche del sistema e dalla legge dinamica che lo regola.

La formula esplicita per il calcolo della complessità è :

$$C = - (1/\log N) (\sum_i P_i \log P_i) \{ \sum_i [P_i - (1/N)]^2 \}$$

**Applicando la formula ad una rete di Hopfield e precisamente agli stati ottenuti dopo un processo di richiamo dalla memoria, innescato da tutti i possibili pattern di richiamo, si ottengono risultati del tipo :**

**$C = 0.109375$  con una rete di 5 elementi, 32 stati possibili, 3 stati usati per la memorizzazione**

**$C = 0.125$  con una rete di soli 3 elementi, 8 stati possibili, 2 usati per la memorizzazione**

**In confronto una memoria basata su registri avrebbe un valore dei  $C$  praticamente nullo !**

## **COME ANDARE OLTRE ?**

**È chiaro che la complessità insita nello studio della memoria rende impossibile l'approccio tradizionale della Scienza Cognitiva.**

**Tuttavia anche i modelli di reti neurali più sofisticati faticano a far fronte ad una complessità del genere.**

**Servirebbe una teoria avanzata dei processi di memoria come fenomeni EMERGENTI, ma come costruirla e con quali elementi di base ?**

# **OLTRE LE RETI NEURALI TRADIZIONALI: GLI SPIKING NEURONS**

**Questo termine denota unità in grado di elaborare segnali ricevuti in ingresso, dotate delle seguenti caratteristiche:**

- le loro leggi di funzionamento si ispirano direttamente a quelle che regolano l'attività dei neuroni biologici**
- la loro uscita non consiste semplicemente nel valore dell'output, ma piuttosto nel modo con cui sono distribuiti nel tempo gli SPIKES che caratterizzano le brusche variazioni del potenziale di membrana**

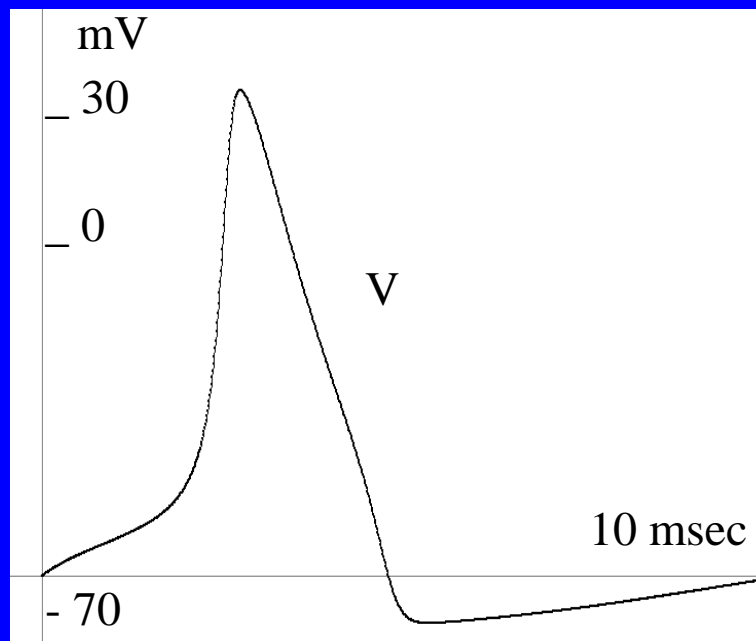


# **TIPI DI COMPORTAMENTI DEI NEURONI BIOLOGICI**

**I neuroni biologici possono essere stimolati direttamente da segnali elettrici esterni forniti tramite opportuni elettrodi comunicanti con specifiche parti della membrana neuronale. Queste stimolazioni possono produrre particolari tipi di andamenti temporali del potenziale di membrana. Gli studi compiuti hanno mostrato, per quanto riguarda la relazione tra andamento del segnale elettrico esterno e andamento del potenziale di membrana, una grande varietà di comportamenti differenti.**

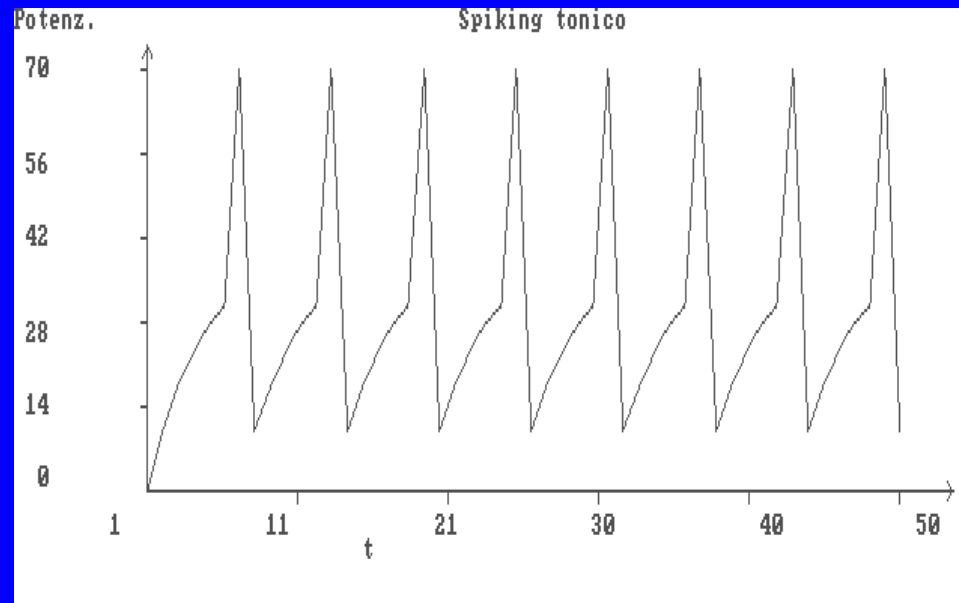
# LO SPIKE

**Lo SPIKE, o POTENZIALE D'AZIONE, rappresenta la modalità fondamentale di risposta di un neurone. Esso consiste nel rapido aumento della differenza di potenziale elettrico tra l'interno e l'esterno della membrana cellulare, seguito da un altrettanto rapido ritorno della differenza di potenziale al valore di riposo.**



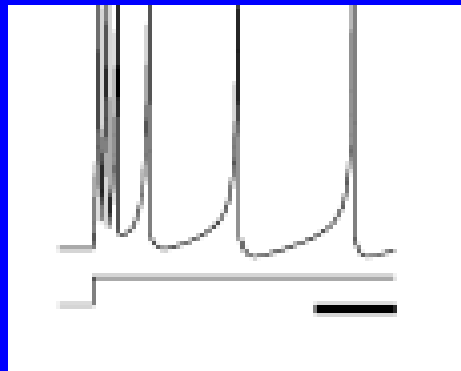
# LO SPIKING TONICO

È il tipo di comportamento più semplice. Consiste nel fatto che, in presenza di un segnale di ingresso costante, il potenziale di membrana ha un andamento temporale costituito da una serie di SPIKES di uguale ampiezza, intervallati tra loro nel tempo in modo più o meno regolare. Non appena l'ingresso esterno viene tolto, il comportamento scompare.



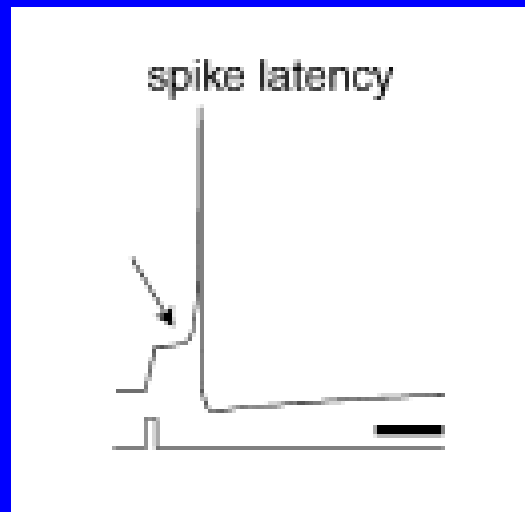
# ADATTAMENTO DELLA FREQUENZA DEGLI SPIKES

Esso consiste nel fatto che in molti neuroni la frequenza degli spikes è relativamente alta all'inizio della stimolazione e decresce man mano che la stimolazione perdura.



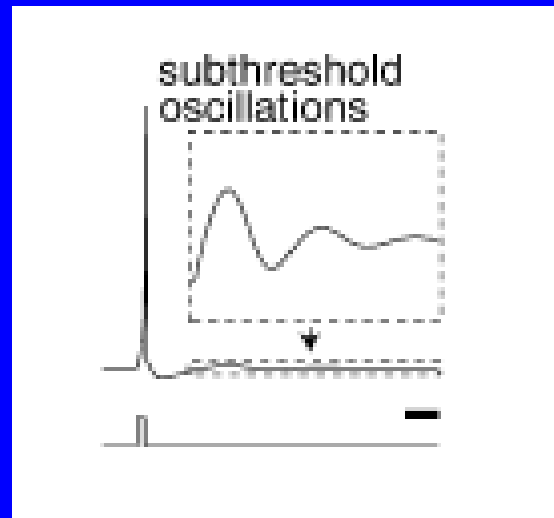
# LATENZA DEGLI SPIKES

Molti neuroni emettono gli spikes con un ritardo legato all'intensità della stimolazione. Questi ritardi possono arrivare a decine di millisecondi.



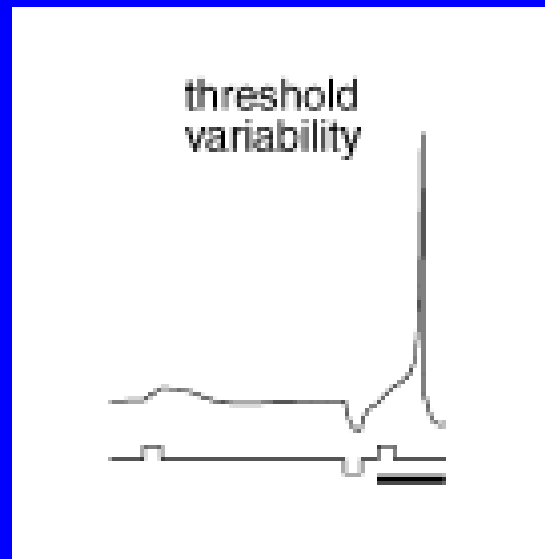
# OSCILLAZIONI SOTTO SOGLIA

Esistono neuroni in cui il potenziale di membrana anche in condizioni di riposo, ovvero sotto soglia, esibisce **OSCILLAZIONI SPONTANEE** di piccola ampiezza. Tali neuroni possono essere considerati dei neuroni **OSCILLATORI**.



# VARIABILITÀ DELLA SOGLIA

Normalmente nei neuroni la soglia varia in funzione della stimolazione ricevuta in precedenza. Se la stimolazione è stata inibitoria, la soglia si abbassa e il neurone diventa più facilmente eccitabile. Se la stimolazione è stata eccitatoria, la soglia si alza e diventa più difficile eccitarlo.



# **COSA SIGNIFICA 'EMERGENZA' ?**

**Il termine 'EMERGENZA' sembra qualificare entità o processi associati a tre caratteristiche fondamentali:**

- Dipendenza dall'osservatore**
- Esistenza di differenti livelli di descrizione**
- Comparsa di entità coerenti**



# L'EMERGENZA INTRINSECA

**Si tratta di una forma di emergenza in cui si ha la comparsa, ad un LIVELLO PIÙ ELEVATO DI QUELLO ADOTTATO PER LA DESCRIZIONE DEI COMPONENTI DEL SISTEMA, di fenomeni COLLETTIVI che:**

- SONO IMPREVEDIBILI IN LINEA DI PRINCIPIO, ANCHE SE COMPATIBILI CON I MODELLI ADOPERATI**
- MODIFICANO CON LA LORO COMPARSA IL FUNZIONAMENTO STESSO DEL SISTEMA**

# **POTREBBE ESSERE NECESSARIO RICORRERE ALLE TEORIE QUANTISTICHE PER DESCRIVERE L'EMERGENZA INTRINSECA ?**

**Sembrerebbe di sì. Infatti in queste teorie esiste uno stato fondamentale del mondo (STATO DI VUOTO) che non è statico, ma ATTIVO perché continuamente FLUTTUANTE. Queste fluttuazioni creano una CORRELAZIONE tra tutti gli eventi, per quanto distanti tra loro nello spazio e nel tempo e quindi forniscono una base per una COERENZA INTRINSECA, che supporta tutti i tipi di emergenza molto meglio che nella fisica classica, dove le fluttuazioni dovute alla TEMPERATURA finiscono prima o poi per distruggere qualsiasi struttura ordinata.**

# UNA BIOLOGIA QUANTISTICA ?

Va ricordato che esistono prove sperimentali ben precise dell'esistenza di correlazioni a lungo raggio anche nei sistemi biologici, dovute all'esistenza di **STATI COERENTI** di insiemi di molecole, sostanzialmente simili a quelli che caratterizzano un insieme di fotoni nella luce laser

Citiamo :

- Il comportamento dell'actomiosina nelle fibre muscolari
- la formazione del complesso primer/template nell'amplificazione del DNA tramite polimerasi (Bieberich, 2000)
- le proprietà di coerenza dei fotoni emessi dai sistemi biologici (Popp, 1999)

# **I SISTEMI BIOLOGICI SONO QUANTISTICI ?**

**Vari autori (ad esempio Tegmark, 2000) hanno stimato il tempo di decoerenza nelle condizioni tipiche di un sistema biologico ed hanno trovato che esso è talmente piccolo da non giustificare l'utilizzo di un framework quantistico per tali sistemi.**

**Si può tuttavia mostrare che tali stime sono affette da due problemi:**

- 1) Presuppongono la validità della Meccanica Quantistica (e non della Teoria Quantistica dei Campi)**
- 2) Sono basate su specifici modelli delle interazioni con l'ambiente (ad esempio come sistema di oscillatori)**

# MECCANISMI QUANTISTICI NEI SISTEMI BIOLOGICI

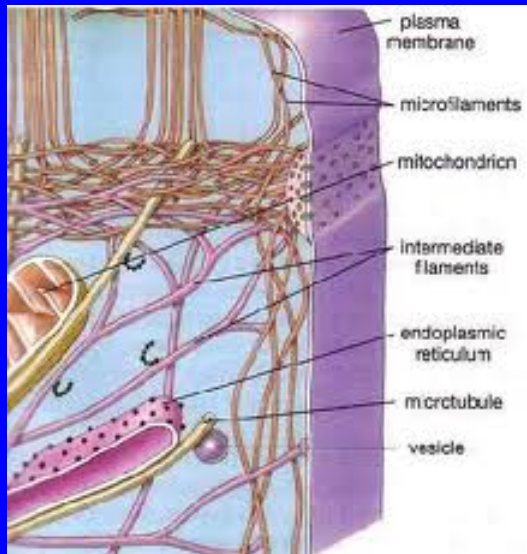
Esistono due meccanismi principali :

- l'**EFFETTO DAVYDOV**, consistente nella generazione di un'onda solitaria che propaga deformazioni reticolari in una catena polimerica lineare eccitata da una vibrazione di carattere esterno (un ingresso di natura DIFFUSA produce un fenomeno LOCALIZZATO)
- l'**EFFETTO FRÖHLICH**, consistente nella eccitazione di un modo vibrazionale collettivo in una popolazione di dipoli elettrici interagenti sollecitata da un apposito ingresso esterno (un ingresso di natura LOCALIZZATA produce un fenomeno DIFFUSO e COLLETTIVO)

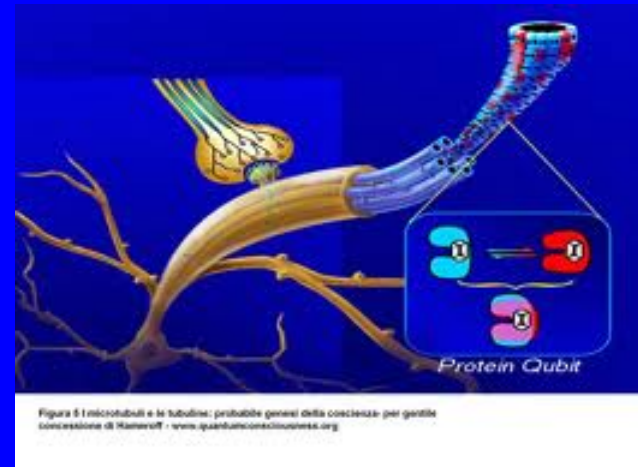
**Secondo i sostenitori delle TEORIE QUANTISTICHE DEL CERVELLO (UMEZAWA, JIBU, YASUE, VITIELLO, HAMEROFF, TUSCZINSKY) l'accoppiamento di tali meccanismi consentirebbe di spiegare il funzionamento della MEMORIA e forse di molti altri PROCESSI COGNITIVI, inclusa la COSCIENZA.**

**Molti esperimenti e calcoli teorici sono in corso per cercare di validare queste affascinanti ipotesi.**

La sede dei processi quantistici alla base della coscienza viene ipotizzata nei **MICROTUBULI**, strutture che costituiscono una delle componenti fondamentali del **CITOSCHELETRO** presente in tutte le cellule viventi.



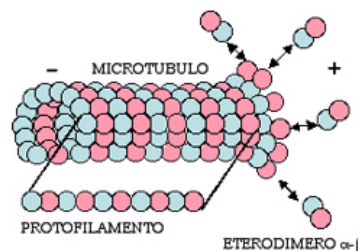
Tratto di citoscheletro



Microtubulo

La proteina che costituisce il microtubulo, ovvero la TUBULINA, può trovarsi in uno di due possibili stati configurazionali, energeticamente equivalenti e quindi ha le proprietà di un sistema con una DOPPIA POTENZIALITÀ (ovvero un **QUBIT**). Gli imprevedibili salti da una all'altra configurazione producono un'ONDA SOLITARIA (ovvero una specie di piccolo TSUNAMI) che, veicolato dal microtubulo, dà luogo ad un effetto energetico esterno.

L'intero citoscheletro può dunque essere considerato equivalente ad un **COMPUTER QUANTISTICO**.

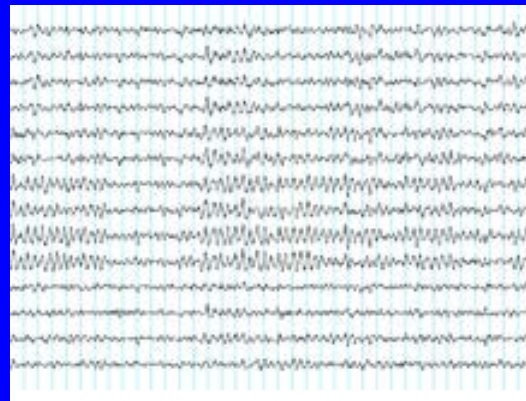


**Formazione di un microtubulo.** Gli eterodimeri di tubulina la cui subunità  $\beta$  lega GTP polimerizzano all'estremità positiva, contribuendo ad allungare i protofilamenti che formano il microtubulo stesso. Se la fase di polimerizzazione è troppo lenta, le subunità idrolizzeranno GTP in GDP, rendendo l'estremità positiva instabile e portando al suo sfaldamento, che viene presto controbilanciato da una nuova fase di allungamento (si parla perciò di "instabilità dinamica").



# COME RIVELARE QUESTI EFFETTI QUANTISTICI NEI PROCESSI MENTALI ?

La rivelazione può ovviamente essere solo **INDIRETTA**, resa possibile dalle cosiddette **BRAIN-COMPUTER INTERFACES (BCI)**, che permettono di usare i segnali elettrici emessi dal cervello per comandare dei computer esterni.



**Esistono tuttavia anche prove sperimentali, ricavate da esperimenti standard di psicologia, del fatto che alcuni processi cognitivi macroscopici (in particolare la PRESA DI DECISIONI e la FORMAZIONE DI CONCETTI) obbediscono alle regole delle teorie quantistiche anziché a quelle delle teorie classiche della probabilità.**

**Queste circostanze hanno dato luogo alla nascita sia di una QUANTUM PSYCHOLOGY che di una QUANTUM PSYCHOPATHOLOGY, cui aderiscono scienziati di tutti il mondo in un ambito di ricerca transdisciplinare.**

# CONCLUSIONI 1

- **La modellizzazione della mente come una macchina digitale non sembra un approccio molto produttivo**
- **La modellizzazione della mente come una macchina analogica è un approccio produttivo solo se si riesce a risolvere il problema di evidenziare e controllare l'EMERGENZA**
- **Una maggiore analisi di queste problematiche sarebbe di grande utilità non solo per la Psicologia e l'Intelligenza Artificiale ma anche per tutte le altre discipline**

## CONCLUSIONI 2

- Gli esperimenti sui soggetti umani mostrano che la memoria umana è un sistema molto potente; tuttavia la sua efficienza è principalmente una questione di ORGANIZZAZIONE; ha quindi senso cercare tecniche che migliorino l'efficienza nell'uso della memoria
- La memoria umana non è un serbatoio, ma agisce in modo RICOSTRUTTIVO, in funzione degli SCOPI presenti nel momento del suo utilizzo
- I modelli realistici del funzionamento della memoria, oltre che tener conto dei dati di tipo cognitivo, devono ispirarsi il più possibile a quanto sappiamo sul funzionamento del cervello