

LA MENTE COME EMERGENZA

Eliano PESSA

Department of Brain and Behavioral Sciences

Università di Pavia

COSA SIGNIFICA AFFERMARE CHE LA MENTE È UN FENOMENO EMERGENTE ?

Per rispondere occorre prima rispondere a queste altre due domande :

- COSA SI INTENDE PER 'MENTE' ?**
- COSA SI INTENDE PER 'EMERGENZA' ?**



LE DEFINIZIONI DELLA MENTE

Da un punto di vista scientifico non esistono definizioni precise del concetto di 'mente'.

Esistono invece molti fenomeni e processi comportamentali che sono difficilmente comprensibili e spiegabili se non si ammette l'esistenza di processi aventi luogo ad un livello – per l'appunto quello dei **PROCESSI MENTALI** - differente da quello dei comportamenti fisicamente osservati.

Il problema diventa dunque quello di definire il livello dei processi mentali.

GLI APPROCCI AI PROCESSI MENTALI USATI IN PSICOLOGIA

Storicamente si distingue tra due approcci :

- l'**APPROCCIO COMPORTAMENTISTA**, secondo il quale il livello dei processi mentali non è oggetto della scienza (in pratica non esiste). Nonostante il successo iniziale tale approccio si è rivelato filosoficamente e scientificamente insostenibile
- l'**APPROCCIO COGNITIVISTA**, che, pur ammettendo l'importanza del livello dei processi mentali, si limita a descriverlo da un punto di vista solamente **LOGICO**, ricorrendo ad opportuni **MODELLI**

GLI APPROCCI MODELLISTICI DEL COGNITIVISMO

Nell'ambito del Cognitivismismo si è a lungo usato l'approccio COMPUTAZIONALE SIMBOLICO.

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

LA NATURA DEI PROCESSI MENTALI

Dato che i modelli usati dai cognitivisti hanno una funzione quasi esclusivamente EPISTEMOLOGICA, essi lasciano del tutto irrisolta la questione della NATURA DEL LIVELLO DEI PROCESSI MENTALI.

- Sono forse una particolare forma di organizzazione dei processi chimico-fisici che hanno luogo nel cervello ?**
- Sono forse una particolare forma di organizzazione della materia in generale (e non solo del cervello) ?**
- Sono forse qualcosa di ancora differente ?**

LA NECESSITÀ DI UNA TEORIA DELL'EMERGENZA

Per rispondere alle domande precedenti occorre disporre di una opportuna TEORIA DELL'EMERGENZA.

Infatti le forme di organizzazione possibili sia nella materia che a livello dei costituenti biologici del cervello sono talmente complesse da far pensare che, almeno intuitivamente, non sia impossibile che la mente EMERGA in qualche modo da queste forme di organizzazione spazio-temporale.

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**

DIPENDENZA DALL'OSSERVATORE

Un processo o un'entità non sono emergenti in senso OGGETTIVO, ma solo relativamente ad un osservatore dotato di appositi strumenti di osservazione e di descrizione, nonché di scopi per i quali utilizza questi strumenti

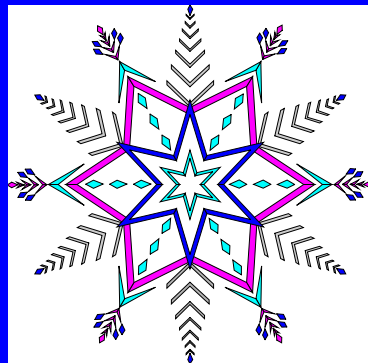
Una misura dell'emergenza è la SORPRESA provata dall'osservatore quando gli capita di rivelare fenomeni che risultano INASPETTATI rispetto agli scopi per i quali egli si era fornito di quegli strumenti

ESISTENZA DI DIFFERENTI LIVELLI DI DESCRIZIONE

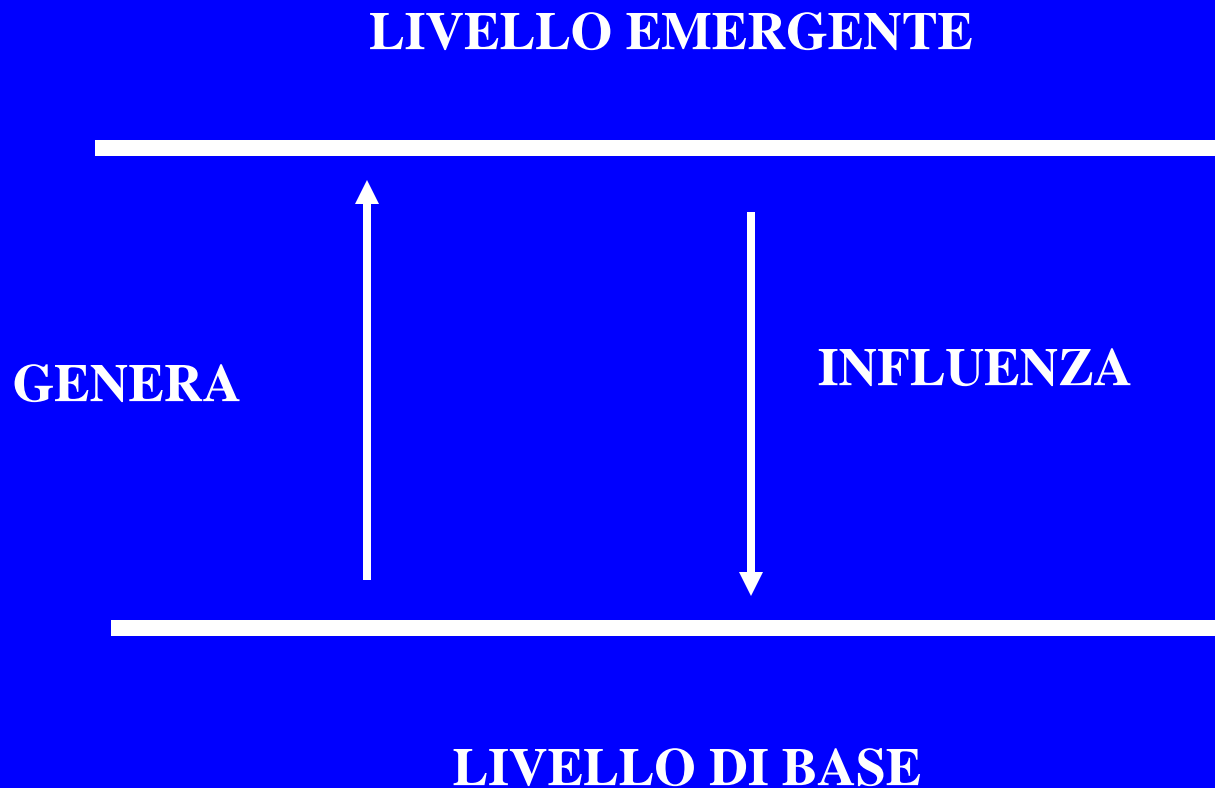
Tipicamente l'emergenza è associata alla comparsa di nuovi livelli di descrizione, rispetto ai quali i fenomeni assumono un aspetto più semplice

Esempio:

Le OSCILLAZIONI COLLETTIVE di un cristallo che emergono dalla dinamica dei singoli atomi che lo costituiscono



Normalmente le relazioni tra un nuovo livello emergente e il livello di base che l'ha originato sono del tipo:



COMPARSA DI ENTITÀ COERENTI

I fenomeni emergenti danno luogo alla comparsa di entità che si comportano come UN TUTTO

- **CRISTALLI**
- **FERROMAGNETI**
- **RADIAZIONE LASER**
- **ESSERI VIVENTI**
- **SCHEMI COGNITIVI**
- **STRUTTURE SOCIALI**

TIPI DI EMERGENZA

J. CRUTCHFIELD (1994) ha introdotto una distinzione tra tre tipi fondamentali di emergenza:

- **INTUITIVA**
- **PATTERN FORMATION**
- **EMERGENZA INTRINSECA**

L'emergenza INTUITIVA corrisponde semplicemente al fatto che un comportamento appare INASPETTATO.

Tuttavia non è connessa ad una definizione precisa

PATTERN FORMATION

Questo tipo di emergenza consiste nella comparsa di comportamenti o strutture ORDINATE a partire da situazioni di ASSENZA DI ORDINE

Tali fenomeni sono conseguenze NON OVVIE dei modelli adottati, ma possono, in linea di principio, essere previsti ricorrendo ad una teorizzazione matematica sufficientemente sofisticata

In questo contesto:

ASSENZA DI ORDINE = OMOGENEITÀ, SIMMETRIA

ORDINE = DISOMOGENEITÀ, DISSIMMETRIA

Ingredienti indispensabili per ottenere una emergenza di questo tipo:

- UNA LEGGE DI EVOLUZIONE (LOCALE O GLOBALE)**
- OPPORTUNE CONDIZIONI INIZIALI E/O AL CONTORNO**
- UNO O PIÙ PARAMETRI DI CONTROLLO**
- UNO O PIÙ LIVELLI DI OSSERVAZIONE**

PRINCIPALI RISULTATI RELATIVI ALLA PATTERN FORMATION

In generale le strutture ordinate che si vengono a formare in questo modo risultano INSTABILI rispetto a FLUTTUAZIONI indotte dall'ambiente e rispetto a VARIAZIONI DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

- Anche se nei fenomeni di biforcazione nascono contemporaneamente differenti soluzioni ordinate tutte stabili, si può sempre stabilire, con una opportuna analisi, QUALE DI ESSE VERRÀ SCELTA DAL SISTEMA. L'emergenza risulta così SEMPRE PREVEDIBILE**

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.

SOLO LE TEORIE QUANTISTICHE FORNISCONO MODELLI DELL'EMERGENZA INTRINSECA ?

Oggi sappiamo che la risposta è NO.

Certi sistemi descritti da leggi deterministiche, cui è stato aggiunto un RUMORE STOCASTICO DI FONDO, presentano comportamenti identici a quelli dei sistemi quantistici:

Comparsa di correlazioni a lungo raggio, effetti collettivi, ecc.

Per essi si può addirittura introdurre una COSTANTE DI PLANCK 'EFFETTIVA', il cui valore differisce da quello della costante di Planck tradizionale

Conviene quindi distinguere tra:

MODELLI IDEALI DELL'EMERGENZA

- **basati su principi generali e studiati analiticamente**
- **operanti su volumi infiniti**
- **indipendenti da condizioni iniziali e/o al contorno**

MODELLI NON IDEALI DELL'EMERGENZA

- **basati su scelte 'fortunate' di leggi particolari**
- **legati alle condizioni al contorno**
- **studiati tramite simulazioni su computer**

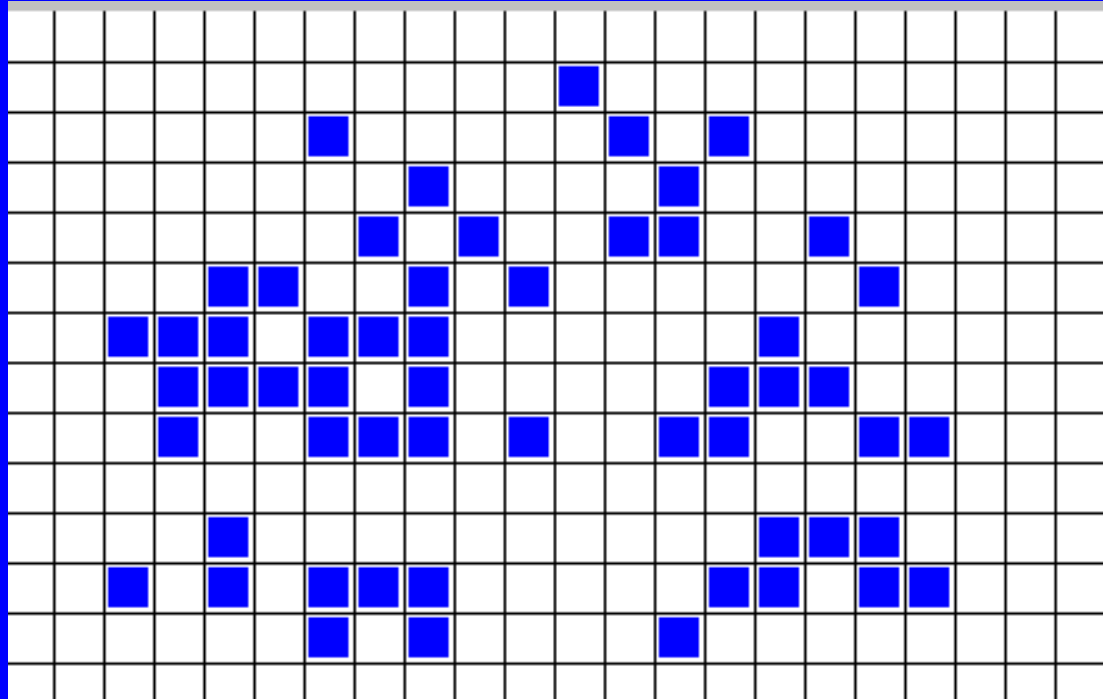
ESEMPI DI MODELLI IDEALI:

- **la Teoria Quantistica dei Campi**

ESEMPI DI MODELLI NON IDEALI:

- **Automi cellulari**
- **Reti neurali**
- **Vita Artificiale**
- **Algoritmi Genetici**
- **Modelli basati su Agenti**

ESEMPI DI SISTEMI DI VITA ARTIFICIALE: GLI AUTOMI CELLULARI



Modelli matematici di tipo evolutivo discretizzati sia nello spazio che nel tempo, inventati da VON NEUMANN negli anni '50

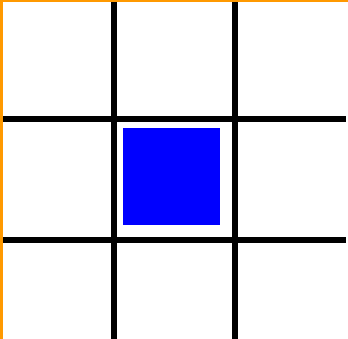
COS'È UN AUTOMA CELLULARE ?

Si tratta di un sistema caratterizzato da:

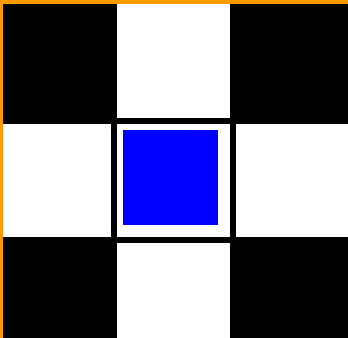
- 1) Un INSIEME DI CELLE (associato ad una opportuna geometria e ad una opportuna topologia)**
- 2) Una LEGGE DI VICINATO, che stabilisce quali celle siano da considerarsi VICINE di una cella data**
- 3) Una LEGGE DI TRANSIZIONE, che stabilisce come calcolare lo stato di una data cella al tempo $t+1$ in funzione degli stati delle celle vicine al tempo t**

**L'aggiornamento degli stati delle celle viene effettuato
IN PARALLELO**

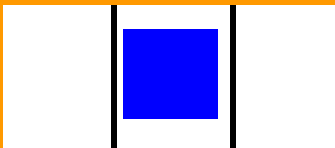
Esempi di vicinato



Il vicinato di MOORE, costituito dalle 8 celle adiacenti, oltre alla cella centrale



Il vicinato di VON NEUMANN, costituito dalle 4 celle adiacenti, oltre alla cella centrale



Il vicinato tipico di un automa cellulare 1-dimensionale

Un esempio di legge di transizione

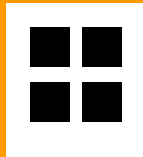
LIFE

Due soli stati possibili per ogni cella: 0 o 1

Legge di vicinato: MOORE

- Se una cella al tempo t si trova nello stato 1 e se meno di due degli altri suoi vicini sono nello stato 1, allora al tempo $t+1$ la cella va nello stato 0**
- Se una cella al tempo t si trova nello stato 1 e se più di tre degli altri suoi vicini sono nello stato 1, allora al tempo $t+1$ la cella va nello stato 0**
- Se una cella nello stato 0 al tempo t ha tre vicini nello stato 1, allora al tempo $t+1$ va nello stato 1**
- In tutti gli altri casi lo stato della cella non muta**

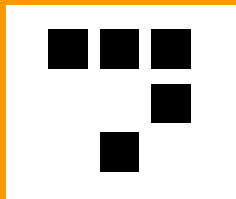
Esempi di configurazioni interessanti in LIFE



Pattern invariante



Pattern oscillante



**Pattern che si sposta a
velocità costante**

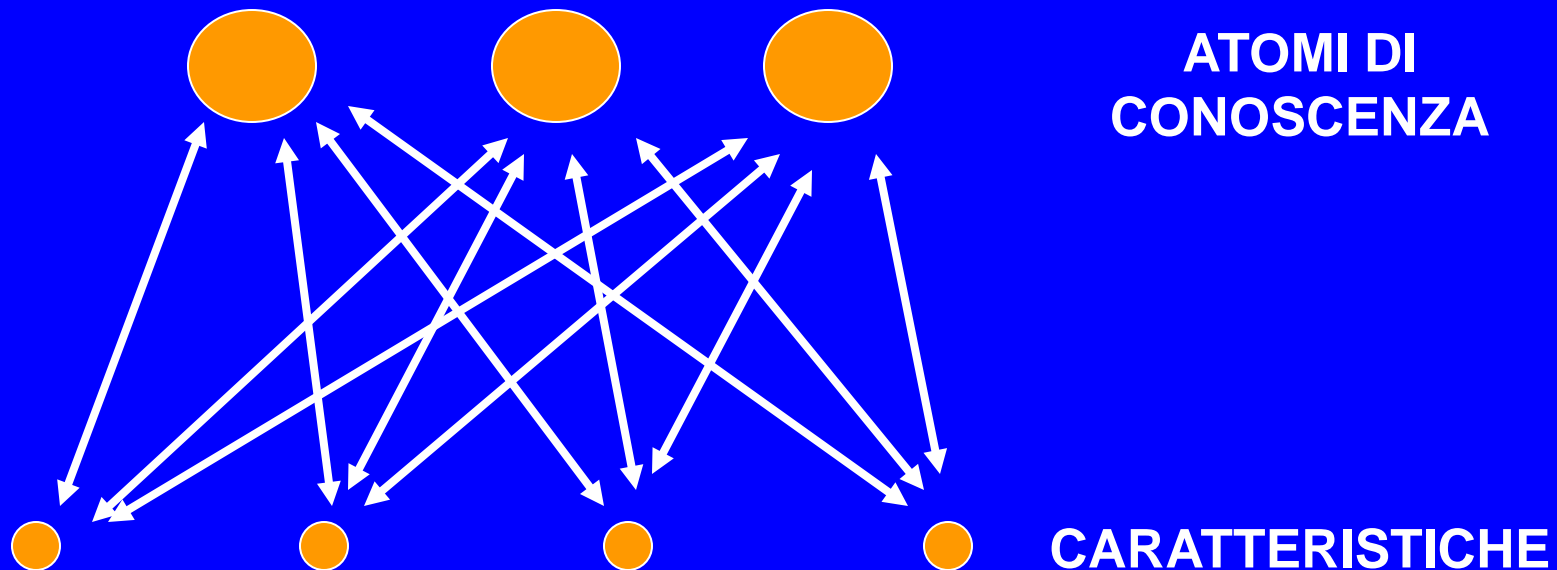
UN MODELLO DELL'EMERGENZA DELLA SCELTA BASATO SU RETI NEURALI

Tra i modelli di reti neurali uno dei più adatti a descrivere l'emergenza di una scelta è fornito dalla cosiddetta TEORIA DELL'ARMONIA (Smolensky, 1986)

In esso la scelta è il risultato di un processo di ADATTAMENTO ALL'AMBIENTE, rappresentato sotto forma di un insieme di VINCOLI DA SODDISFARE

Questo processo avviene gradualmente e in modo stocastico e tende verso la massimizzazione di una opportuna funzione, chiamata ARMONIA, che misura il grado di soddisfacimento dei vincoli da parte del decisore

LA STRUTTURA DELLA RETE



Ogni caratteristica, nella implementazione più semplice, ha due soli valori possibili: +1 o -1

GLI ATOMI DI CONOSCENZA

Ogni atomo di conoscenza costituisce una unità della rete che, nella versione più semplice, può essere **ATTIVATA o NON ATTIVATA**

Ogni atomo di conoscenza è definito dai valori dei pesi delle connessioni che esso invia alle unità delle caratteristiche

Tali pesi possono essere solo di tre tipi: **+1 (eccitatori), -1 (inibitori) e 0 (assenza di connessione)**

Inoltre ogni atomo di conoscenza può essere attivato dai valori presenti sulle singole caratteristiche da cui riceve segnali

IL FUNZIONAMENTO DELLA RETE

Inizialmente vengono fissati i valori di alcune caratteristiche (e normalmente tenuti fissi fino al termine dell'evoluzione): essi costituiscono i VINCOLI posti dall'ambiente

Segue poi una evoluzione di tipo probabilistico delle attivazioni sia degli atomi di conoscenza che delle unità delle caratteristiche lasciate libere, dovuta al fatto che le connessioni bidirezionali permettono ad atomi di conoscenza e a caratteristiche di scambiarsi dei segnali

Tuttavia, man mano che l'evoluzione procede, il carattere probabilistico delle leggi di attivazione (caratterizzato da una grandezza chiamata TEMPERATURA) decresce continuamente

Al termine di questa evoluzione (quando la TEMPERATURA è diventata quasi zero) i valori presenti sulle caratteristiche lasciate libere (o su una particolare di esse) costituiscono il RISULTATO DELLA SCELTA

Quest'ultima dunque EMERGE dalla interazione tra i vari atomi di conoscenza, in funzione dei vincoli presenti

Naturalmente occorre far diminuire la TEMPERATURA con una legge di tipo adatto, per evitare che il sistema si cristallizzi su scelte non adattive rispetto ai vincoli esistenti

GLI INGREDIENTI DELL'EMERGENZA FISICA NEI MODELLI IDEALI

- BIFORCAZIONE**
- DIPENDENZA SPAZIALE**
- FLUTTUAZIONI**

Questi ingredienti consentono una possibilità di CONTROLLO LIMITATO dell'emergenza (farla comparire oppure no)

IL CONTROLLO 'FORTE' DELL'EMERGENZA NEI MODELLI IDEALI

Avviene tramite l'introduzione di opportuni VINCOLI o CONDIZIONI AL CONTORNO, che danno luogo alla formazione di CONFINI, DOMINI, DIFETTI, ecc.

Le fasi iniziali dell'evoluzione in presenza di questi vincoli hanno un carattere CAOTICO

Esse inoltre possono essere associate alla comparsa di fenomeni di propagazione di strutture localizzate (SOLITONI)

L'EMERGENZA BIOLOGICA

Purtroppo i modelli ideali dell'emergenza fisica non riescono a descrivere l'emergenza biologica caratterizzata da:

- CORRELAZIONI A MEDIO RAGGIO**
- METASTABILITÀ**
- RUOLO DELL'INDIVIDUALITÀ**
- ORGANIZZAZIONE GERARCHICA**
- BASSA ENERGIA**
- RELAZIONE CON L'AMBIENTE**

Queste caratteristiche sono invece descrivibili tramite modelli non ideali, che però sono:

- NON FACILMENTE CONTROLLABILI**
- COSTRUITI 'AD HOC'**
- TROPPO COMPLESSI PER ESSERE STUDIATI ANALITICAMENTE**

STRATEGIE POSSIBILI:

- Cercare di dimostrare che i modelli non ideali sono riconducibili a quelli ideali**
- Introdurre nei modelli non ideali alcune caratteristiche dei modelli ideali**

LE EQUIVALENZE TRA MODELLI

La prima strategia si basa sullo studio delle equivalenze tra modelli

La prima di esse è quella tra teoria quantistica dei campi e sistemi dinamici con RUMORE

L'EQUIVALENZA TRA SISTEMI DINAMICI E MODELLI NON IDEALI

Va ora ricordato che esiste una seconda equivalenza tra sistemi dinamici e certi tipi di modelli non ideali, come le RETI NEURALI

Come conseguenza di entrambe le equivalenze si ottiene la catena:



ESISTONO ANCHE RELAZIONI TRA AUTOMI CELLULARI E RETI NEURALI

Nel 1988 sono stati introdotti da Chua e Yang dei tipi di reti neurali che incorporano alcuni aspetti degli automi cellulari. Queste reti vengono chiamate RETI NEURALI CELLULARI (Cellular Neural Networks o CNN)

Le CNN hanno tipicamente una struttura a strati. Le differenze principali con le reti neurali convenzionali sono:

- ogni unità è associata ad una ben precisa posizione spaziale entro un reticolo di forma predefinita, proprio come un atomo di un cristallo**
- le connessioni sono LOCALI e TRASLAZIONALMENTE INVARIANTI, ovvero i loro pesi dipendono solo dalla DIFFERENZA TRA LE POSIZIONI delle unità**

Nel caso di strati monodimensionali la legge di attivazione di una generica unità di una CNN si scrive sotto la forma:

$$dv^m_i(t)/dt = -g[v^m_i(t)] + \sum_q \sum_k a^{qm}_k [u^q_{i+k}(t), u^m_i(t); P^{qm}_{ak}]$$

$$u^m_i(t) = f[v^m_i(t)] \quad .$$

dove:

$v^m_i(t)$ = stato interno dell'unità nello strato m

$u^m_i(t)$ = uscita dell'unità nello strato m

a^{qm}_k = funzioni di connessione

P^{qm}_{ak} = parametri usati nella definizione delle funzioni di connessione

LE CAPACITÀ DELLE CNN

Le CNN costituiscono un PONTE tra il mondo degli automi cellulari e quello delle equazioni differenziali.

Infatti:

- discretizzando le CNN e trasformando le loro funzioni in funzioni booleane si ottengono particolari tipi di automi cellulari**
- ogni equazione differenziale (o sistema di equazioni) alle derivate parziali si può rappresentare (opportunamente discretizzando le variabili spaziali) tramite una opportuna CNN**

UN ESEMPIO...

Consideriamo l'equazione di Korteweg-De Vries:

$$\partial \varphi / \partial t + \varphi (\partial \varphi / \partial x) + \delta^2 (\partial^3 \varphi / \partial x^3) = 0$$

Se introduciamo una discretizzazione della coordinata spaziale basata su intervalli di ampiezza Δx , essa si può scrivere come:

$$dv_i / dt = - v_i [(v_{i+1} - v_{i-1}) / \Delta x] - \delta^2 [(v_{i+2} - 2 v_{i+1} + 2 v_{i-1} - v_{i-2}) / (\Delta x)^3]$$

Questa legge descrive una CNN con funzioni di connessione:

$$a_k = w_k v_{i+k} + r_k v_i v_{i+k}$$

che agiscono su un vicinato che va da $i+2$ a $i-2$. I valori espliciti dei coefficienti w_k e r_k si ottengono direttamente dalla forma dell'equazione stessa.

Va ricordato che le CNN hanno anche trovato numerose applicazioni nell'ambito dell'ingegneria, specie nel dominio della progettazione di sistemi di elaborazione di immagini.

Inoltre esistono molte implementazioni dirette delle CNN su schede hardware

Le CNN sono state oggetto di numerosi studi matematici che hanno mostrato come questi sistemi presentino una fenomenologia di comportamento molto interessante: biforcazioni, comportamenti oscillatori, andamenti caotici deterministici, ecc.

LA SECONDA STRATEGIA: L'IMPOSIZIONE DI CARATTERISTICHE DEI MODELLI IDEALI A QUELLI NON IDEALI

Caso studiato:

LA TEORIA DELLE RETI NEURALI QUANTISTICHE

Applicazioni connesse:

QUANTUM COMPUTING

IL PROBLEMA FONDAMENTALE DI UNA TEORIA DELL'EMERGENZA

Al di là dei problemi tecnici dei modelli dell'emergenza rimane il fatto che la valutazione dei fenomeni come EMERGENTI rimane un fatto legato all'esistenza di un OSSERVATORE UMANO che effettua tale valutazione.

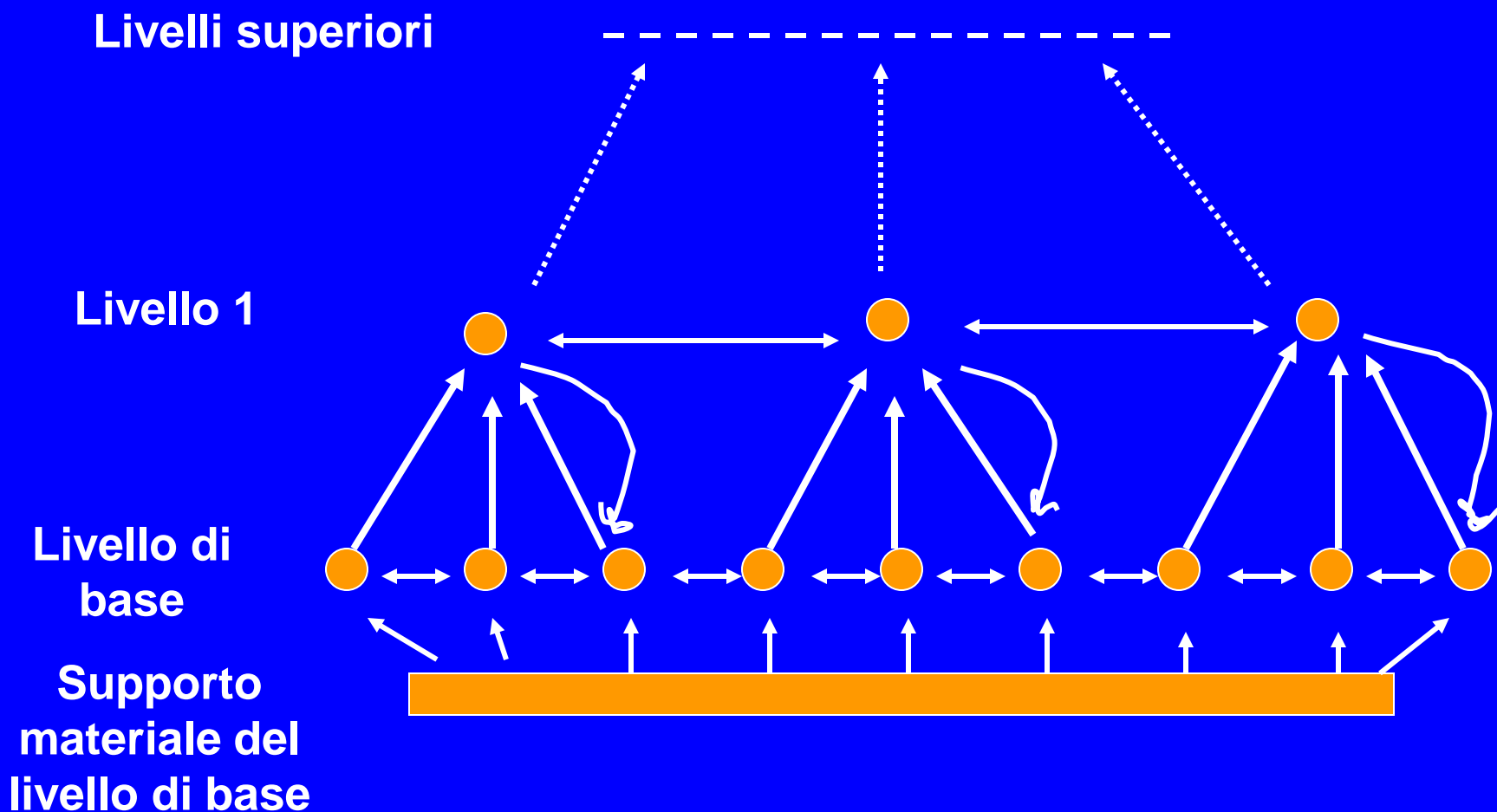
L'emergenza sembrerebbe dunque un fatto PSICOLOGICO, in quanto legata ad un PRESUPPOSTO ESTERNO, non dimostrabile nell'ambito della teoria stessa.

Naturalmente la questione assumerebbe un aspetto diverso se si potesse dimostrare che, qualora l'emergenza dia luogo a differenti livelli di descrizione, ognuno emergente da quelli immediatamente inferiori, può comparire un livello che **CONTINUA AD ESISTERE** anche se quelli inferiori **SCOMPAIONO**.

Nei modelli finora costruiti ciò non può verificarsi per ipotesi, ma sarebbe possibile immaginare modelli di altro tipo che prevedono circostanze di questo genere ?

Quali ingredienti dovrebbero essere contenuti in tali modelli ?

UN MODELLO ASTRATTO DELLA FORMAZIONE DI LIVELLI EMERGENTI



Questo modello ha le seguenti caratteristiche :

- tutte le unità che in esso compaiono sono immerse in un AMBIENTE DI BASE UNIVERSALE E ATTIVO (come ad esempio il VUOTO QUANTISTICO)**
- le unità di uno stesso livello interagiscono tra loro e tale interazione fornisce ingressi alle singole unità**
- le unità di ogni livello (eccettuato il livello di base) ricevono ingressi anche dalle unità del livello immediatamente inferiore che le hanno generate**
- le unità di un nuovo livello si formano grazie al CLUSTERING di unità del livello inferiore (effetto collettivo)**
- le unità del livello di base ricevono un ingresso supplementare prodotto da un opportuno supporto esterno**

- le unità di un dato livello (eccettuato il livello di base) forniscono segnali di controllo sulle interazioni tra le unità del livello immediatamente inferiore, ma non inviano a queste ultime ingressi diretti
- ogni unità sopravvive se e solo se la somma o una opportuna funzione della somma degli ingressi che provengono sia dalle unità dello stesso livello che eventualmente da quelle di livello immediatamente inferiore è superiore ad una certa soglia, tipica del livello preso in considerazione
- le interazioni tra unità di uno stesso livello sono supportate anche dall'ambiente universale

In queste condizioni si possono trovare delle leggi specifiche che garantiscono la comparsa di unità di livello più elevato a partire da un insieme dato di unità del livello di base e la comparsa di nuovi livelli può progredire dinamicamente con il passare del tempo

MA ...

Se si scelgono in modo opportuno e differenziato le soglie di sopravvivenza dei singoli livelli

NON È IMPOSSIBILE CHE ...

Togliendo il supporto materiale alle unità del livello di base e facendole quindi **scompare, le unità di un livello **superiore** possano **continuare a sopravvivere** grazie alle sole interazioni con le unità dello stesso livello, ovviamente supportate dall'ambiente universale**

CONCLUSIONI

- **La modellizzazione della mente come emergente dai processi di organizzazione della materia sembra attualmente un'impresa assai difficile da portare a termine**
- **In questo ambito la Teoria Quantistica dei Campi sembra fornire strumenti assai interessanti, ma anche modelli di altro tipo, come quelli della Vita Artificiale, forniscono utili indicazioni**
- **Uno studio approfondito dei modelli di formazione di livelli gerarchici emergenti di organizzazione dei sistemi sembra la via principale da seguire per conseguire qualche risultato**