

SISTEMI DINAMICI CAOTICI: UN ESEMPIO IN CAMPO NEUROBIOLOGICO

Serena Doria

*Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Università "G. D'Annunzio" - Chieti*

Un sistema dinamico è costituito da più variabili $h_1(t), h_2(t), \dots, h_N(t)$, funzioni del tempo, che interagiscono tra loro.

Esempi di sistemi dinamici possono essere trovati in Economia, Ecologia, Biologia.

In particolare il sistema nervoso è un esempio di sistema dinamico.

Le variabili di tale sistema sono rappresentate dai neuroni. Per capire come essi interagiscono è necessario schematizzare brevemente la struttura ed il funzionamento delle cellule nervose.

L'attività di un neurone è determinata dalla membrana neuronale, che per la sua diversa permeabilità ad alcuni ioni, determina una diversa concentrazione di cariche elettriche tra l'interno e l'esterno, producendo una differenza di potenziale elettrico nel neurone.

Quando la differenza di potenziale supera un valore soglia, il neurone emette un impulso elettrico, cioè risulta attivo. Altrimenti rimane quiescente.

L'impulso elettrico, emesso dal neurone viene trasmesso alle altre cellule nervose attraverso un prolungamento che prende il nome di assone; inoltre ogni neurone ha altri prolungamenti, i dendriti, che hanno la funzione di ricevere gli eventuali impulsi provenienti dalle altre cellule nervose.

Assoni e dendriti di differenti neuroni sono congiunti tra loro dalle sinapsi, degli ispessimenti che permettono il passaggio degli impulsi elettrici tra i neuroni.

Le sinapsi possono avere un effetto inibitorio o eccitatorio sull'impulso elettrico trasmesso. Inoltre ogni neurone non è collegato con tutte le altre cellule del sistema nervoso.

L'interazione tra le cellule neuronali è determinata da altre numerose variabili, molte delle quali ancora sconosciute. Ai fini dello studio del sistema nervoso e di una sua schematizzazione in

un modello matematico alcune variabili vengono considerate *essenziali*, cioè determinanti rispetto ad altre e prendono il nome di *componenti* del sistema.

Il sistema nervoso viene rappresentato come un sistema dinamico ad N componenti $h_1(t), h_2(t), \dots, h_N(t)$, ciascuna delle quali rappresenta il potenziale elettrico di un neurone ad un certo istante ed N è il numero totale di neuroni.

Ad ogni istante di tempo t il sistema è caratterizzato da una configurazione determinata dai valori dei potenziali elettrici assunti dai neuroni.

Tale configurazione prende il nome di *stato del sistema* ed è rappresentata da un vettore ad N componenti

$$H(t) = (h_1(t), h_2(t), \dots, h_N(t)).$$

Le configurazioni assunte dal sistema nervoso dipendono dagli impulsi esterni ricevuti.

Ad esempio un odore o la visione di una immagine producono configurazioni differenti perché diversi sono i neuroni stimolati dalle due percezioni.

Al variare del tempo variano le configurazioni assunte dal sistema, poiché i neuroni interagendo tra loro mediante le sinapsi modificano i loro potenziali.

Tutte le successive configurazioni assunte dal sistema possono essere rappresentate mediante punti di uno spazio ad N dimensioni, che prende il nome di *spazio delle fasi* o *spazio delle configurazioni*.

L'insieme delle successive configurazioni assunte dal sistema al variare del tempo forma una curva nello spazio delle fasi, che prende il nome di *traiettoria* del sistema.

Si definisce condizione iniziale del sistema la configurazione che esso assume all'istante in cui inizia l'osservazione

$$H(t_0) = (h_1(t_0), h_2(t_0), \dots, h_N(t_0)).$$

La regola che descrive l'evoluzione del sistema nel tempo e che rappresenta le modalità di interazione tra i neuroni, prende il nome di *dinamica* del sistema.

no fino ad allontanarsi esponenzialmente. Tale fenomeno prende il nome di divergenza esponenziale delle traiettorie.

Nello spazio delle fasi il comportamento asintotico di un sistema caotico è rappresentato da un ente geometrico che prende il nome di *attrattore strano o caotico*.

Generalmente la presenza di caos è interpretata negativamente perché fonte di imprevedibilità, questo accade spesso nei sistemi dinamici applicati all'economia. Tale giudizio non è in genere estendibile ai sistemi dinamici neuronali, dove la presenza di caos può essere vista come fonte di intuizione. In particolare nel modello studiato in [2] si è verificato, mediante simulazioni al computer, come il fenomeno della divergenza esponenziale delle traiettorie non alteri la capacità di riconoscimento della rete ed inoltre l'aumento del parametro di non linearità del sistema sia determinante ai fini del riconoscimento dell'informazione. L'attività caotica che caratterizza il modello teorico è stata riscontrata anche su cortecce cerebrali animali da esperimenti effettuati dal Prof. Freeman, docente di neurobiologia all'Università della California di Berkeley.

La presenza di caos potrebbe essere una delle proprietà che distingue il cervello umano dall'intelligenza artificiale.

Un notevole vantaggio che il caos può conferire al cervello è di renderlo capace di produrre continuamente nuovi tipi di attività, che potrebbero essere decisive per lo sviluppo di raggruppamenti di neuroni diversi da quelli già stabiliti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D. J. AMIT *Modelling brain function: the world of attractor neural network*, N. Y, Cambridge University Press ads., 1989
- [2] TIROZZI-DORIA *Caos in rete neuronale altamente diluita* Atti III Conferenza di Locarno "Stochastic Process - Geometry and Physics"