

Riassunto

Dinamica di reti neurali con disordine

Candidato: Stefano Polizzi

L'analisi elettrofisiologica della corteccia cerebrale ha messo in evidenza un comportamento irregolare sia a livello microscopico, ovvero nella sequenza di emissione degli impulsi dei singoli neuroni, sia a livello macroscopico, ovvero nell'attività elettrica media generata localmente dall'attività di molteplici neuroni. La presenza di oscillazioni collettive spontanee e di ritmi è in generale osservata in molte aree del cervello ed è stata messa in relazione con vari processi cognitivi, come ad esempio la percezione ed il consolidamento della memoria. Molti sforzi nelle neuroscienze computazionali sono stati in particolare rivolti a riprodurre con modelli minimali tali caratteristiche di irregolarità, utilizzando sia modelli stocastici che deterministici. Nell'ambito dei modelli deterministici l'irregolarità del comportamento è realizzata ad esempio introducendo forme di disordine nella connettività della rete e/o nelle proprietà dei singoli neuroni, che costituiscono i nodi della rete.

Il contenuto di questa tesi riguarda lo studio del comportamento di un modello deterministico di rete neuronale eterogenea, estensivamente analizzato nell'articolo *Phys. Rev. Lett.* 105, 158104, del 2010. L'eterogeneità è costituita dal fatto che ogni neurone possiede una diversa frequenza naturale di emissione degli impulsi. In particolare il modello è costituito da una rete di neuroni *leaky-integrate-and-fire* globalmente accoppiati con accoppiamento inibitorio di tipo impulsivo (dove gli impulsi sono schematizzati come una δ di Dirac). Inoltre è previsto un ritardo tra l'emissione di un impulso da parte di un neurone della rete ed il suo ricevimento. Tale ritardo tiene conto della velocità finita di propagazione del segnale attraverso le sinapsi.

Il comportamento dinamico fondamentale della rete è costituito dal fatto che all'aumentare della forza dell'accoppiamento sinaptico si assiste ad una transizione verso uno stato collettivo non banale. In particolare, quando l'accoppiamento è inferiore ad un valore critico, i neuroni si trovano in un regime di emissione di impulsi asincrono. Ciò corrisponde ad un'attività macroscopica della rete, costante a meno di fluttuazioni dovute alla taglia finita del sistema. Invece, per valori del parametro di accoppiamento maggiori del suddetto valore critico, l'attività neurale complessiva è non costante e mostra oscillazioni collettive irregolari, non periodiche. Si osserva inoltre che, oltre la transizione, anche l'attività microscopica della rete, ovvero la sequenza di emissione degli impulsi dei singoli neuroni, risulta irregolare. È importante sottolineare le rilevanti differenze rispetto alla transizione al variare dell'accoppiamento osservata nel modello di Kuramoto, il quale descrive la dinamica di un insieme di oscillatori di fase accoppiati, e che costituisce il modello paradigmatico per studiare fenomeni di sincronizzazione. In primo luogo, la transizione qui osservata non corrisponde ad una semplice sincronizzazione degli oscillatori. Inoltre, il modello qui studiato è non caotico e quindi il sistema converge asintoticamente verso uno stato periodico. Tuttavia il tempo necessario al raggiungimento dell'orbita periodica (ovvero il *transiente*) cresce esponenzialmente con il numero dei neuroni. Ciò significa che per popolazioni grandi di neuroni, come quelle studiate in questa tesi, il regime dinamico rilevante è quello del *transiente*, piuttosto che l'orbita periodica, raggiunta su scale di tempo astronomiche e quindi praticamente irraggiungibile. Questo particolare regime dinamico è un esempio del cosiddetto *stable chaos*. Nell'ambito delle neuroscienze lo studio dello *stable chaos* è sempre più visto con interesse in quanto permette di spiegare l'irregolarità dei *pattern* degli impulsi di ogni neurone, senza fare ricorso al caos deterministico standard. Il comportamento osservato oltre la transizione si mantiene invariato all'aumentare della taglia del sistema.

L'analisi mostra dunque che, anche utilizzando un modello di singolo neurone ed un modello di rete semplificato, come quello proposto, per effetto dell'eterogeneità dei nodi della rete, si possono ottenere comportamenti dinamici complessi. Tali comportamenti possono contribuire a spiegare i meccanismi alla base dell'insorgenza delle oscillazioni collettive non banali osservate nella corteccia cerebrale.

Relatore: S. Luccioli
stefano.luccioli@fi.isc.cnr.it

Correlatore: R. Livi
roberto.livi@unifi.it