



**Scuola
Superiore
ISUFI**



Programma del corso “Sistemi Complessi”: A.A. 2016/2017

Docenti: Dr. Adriano Barra & Prof. Matteo Beccaria

Dipartimento di Matematica e Fisica “Ennio De Giorgi”, Università del Salento

Il corso è pensato per fornire agli studenti una prospettiva attuale (i.e., un connubio tra teoria dei grafi e meccanica statistica disordinata) con la quale guardare al “mondo della complessità” che densamente pervade molteplici branche della Scienza moderna.

Dopo un'introduzione alla meccanica statistica dei sistemi discreti, saranno discusse le transizioni di fase classiche come paradigma di “fenomeno emergente”. Tale paradigma sarà ulteriormente esteso per abbracciare le molteplici manifestazioni di comportamento collettivo emergente che l'archetipo di sistema complesso, il vetro di spin in campo medio, esibisce: tutte le caratteristiche salienti di questo sistema saranno ritrovate con naturalezza mediante un'opportuna analisi che, tacitamente, fornirà allo studente anche le tecniche matematiche necessarie per orientarsi in questo mondo.

Estensioni di questa teoria a sistemi definiti su grafi random (e.g. “small world” o “scale free”) saranno anche discusse.

Le applicazioni (dove tale quadro concettuale troverà impiego nella parte finale del corso) saranno scelte dal mondo dell'intelligenza artificiale e/o quello della biocomplexità, selezionando esempi classici in entrambe le discipline, ed evidenziandone i profondi tratti comuni che, per l'appunto, li rendono “sistemi complessi”.

Programma di massima del corso

1. Introduzione alla Meccanica Statistica (2 ore)
 - Formulazione canonica: la distribuzione di Boltzmann.
 - L'Entropia di Gibbs ed il teorema di Shannon.
 - Principi variazionali della Termodinamica.
 - La temperatura come rumore veloce.

2. Fenomeni collettivi emergenti: le transizioni di fase (4 ore)
 - Definizioni e generalità (e.g. parametro d'ordine, suscettività, etc.).
 - L'Approssimazione di Campo Medio (ACM), o di Curie-Weiss.
 - Rottura spontanea di simmetria: transizioni di fase ferromagnetiche.
 - Comportamento critico: Leggi di scala ed esponenti critici.

3. Teoria dei Sistemi Complessi: i vetri di spin (6 ore)
 - Meccanismi per la creazione del disordine: diluizione e frustrazione.
 - I vetri di spin: esperimenti classici, effetti di memoria e chaos.
 - La media sul disordine: medie annealed e medie quenched.
 - Il modello di Sherrington-Kirkpatrick: l'overlap come parametro d'ordine.
 - Il metodo delle repliche: approssimazione replica simmetrica (ARS).
 - Il metodo delle repliche: rottura di simmetria di replica e teoria di Parisi.
 - Grandezze automedianti e non: cenni alla struttura ultrametrica.
 - Vetri di spin su grafi random: sistemi frustrati e diluiti.

4. Esempi di Sistemi Complessi (A): le reti del Sistema Nervoso (4 ore)
 - Un cenno storico allo studio del neurone e del cervello.
 - Il neurone di Hodgkin-Huxley e quello di Stein.
 - La proposta di Hebb per una rete neurale: l'influenza di Pavlov.
 - Il modello di Hopfield per memoria associativa (ARS): il retrieval.
 - Reti neurali su grafi small world e scale free: calcolo parallelo.
 - Le macchine di Boltzmann per il learning: scenario supervisionato.

5. Esempi di Sistemi Complessi (B): le reti del Sistema Immunitario (4 ore)
 - Come funziona il nostro sistema immunitario? Attori e ruoli.
 - La risposta clonale di Burnet e la rete idiotipica di Jerne.
 - La proposta di Varela per la discriminazione self-nonsel.
 - La scoperta dei linfociti T: reti frustrate e sottopercolate (ARS).
 - Il two-signal model per l'anergia: coerenza con la teoria di Varela (ARS)
 - Elementi di cibernetica biologica: universalità di processazione elementare.