

Prof. Luca Leuzzi
Facoltà di Fisica, Università di Roma Sapienza
Anno Accademico 2022-2023
Percorsi di Eccellenza



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Bocchi Dario

bocchi.2019986@studenti.uniroma1.it



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Minicorso Ising inverso

Inferenza su Ising 2D e random graph



Il modello: Ising

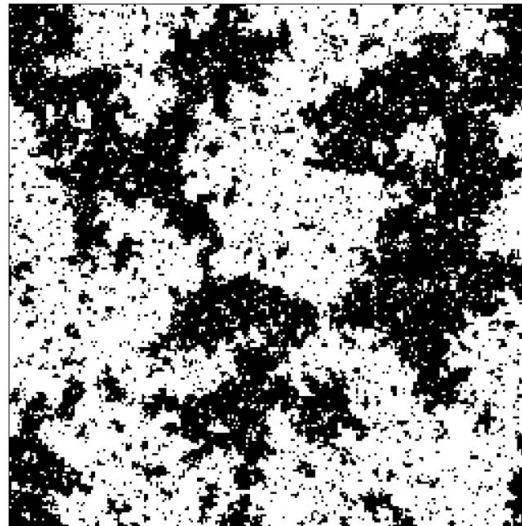
$$\mathcal{H} = - \sum_{\langle ij \rangle} J_{ij} \sigma_i \sigma_j - \sum_i h_i \sigma_i$$

H = energia

J = termine di accoppiamento

h = campo esterno

σ = spin

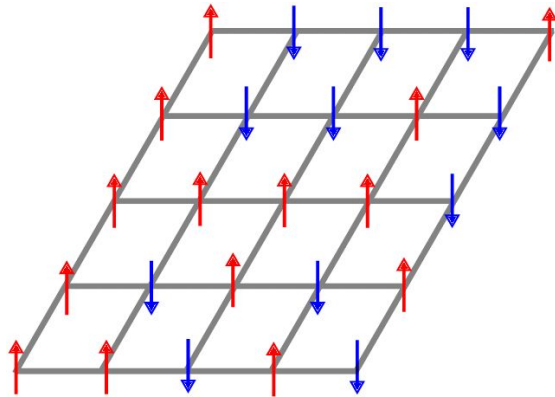


<https://mattbierbaum.github.io/ising.js/>



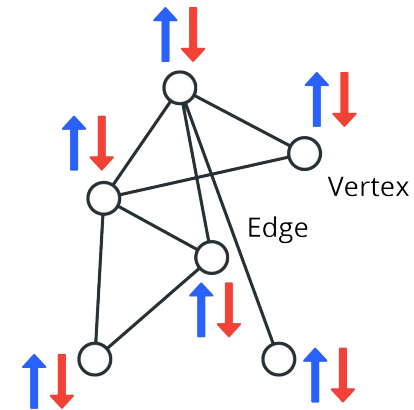
Topologia del modello

Reticolo 2D



Ogni spin interagisce esattamente con i 4 spin
adiacenti

Random Graph (Erdős–Rényi)



Ogni coppia di spin ha probabilità p di avere un edge
(ossia di interagire) e probabilità $1-p$ di non averlo.
Scegliamo p in modo che **IN MEDIA** ogni spin
interagisca con altri 4 spin.

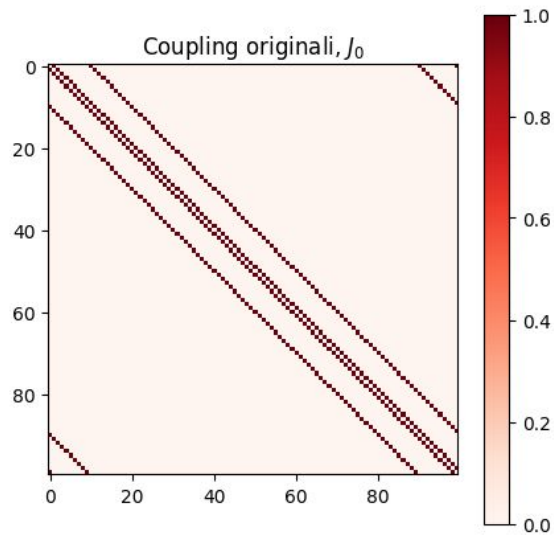


Termini di accoppiamento

Modello ordinato

Per ogni coppia di spin interagenti

$$J = 1$$



Esempio sul reticolo 2D

Modello disordinato (spin glass)

Per ogni coppia di spin interagenti

$$J = N(0, 1),$$

ossia un numero estratto da una distribuzione gaussiana a media nulla e varianza unitaria

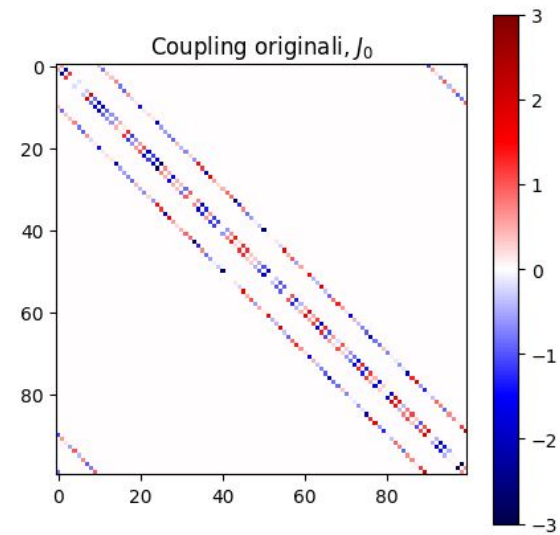
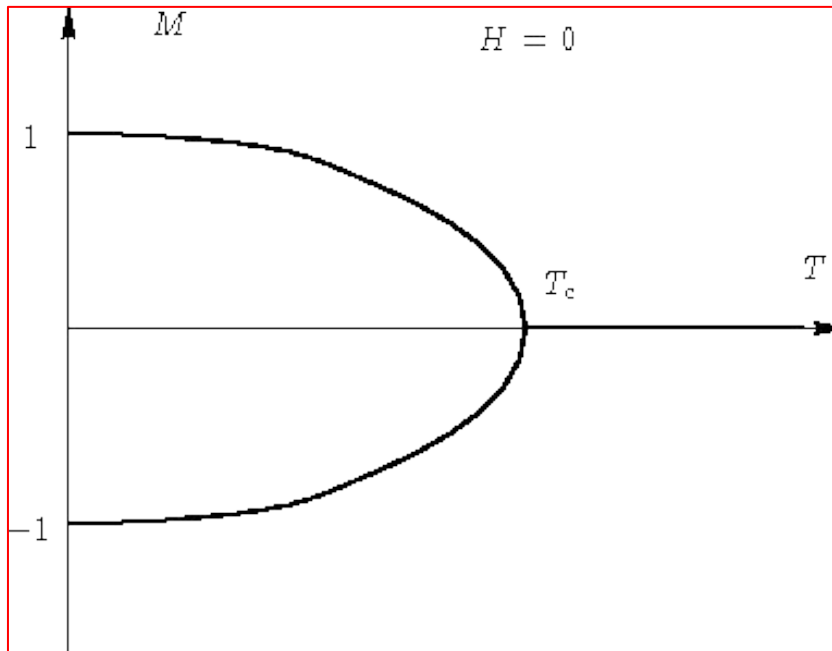




Diagramma di fase (Ising ordinato)



Per Ising 2D, $T_c \sim 2.27$



Come si scarica la repository Github?

The screenshot shows the GitHub interface for the repository 'WaitingPigeon Caricamento dati Ising'. The repository has 2 branches and 0 tags. The 'main' branch is selected. The repository contains files: 'Ising', 'blumecapel', 'potts_model', and 'README.md'. The 'README.md' file is open, showing the title 'bc_inference'. A red arrow points to the 'Download ZIP' button in the 'Clone' dropdown menu. The repository description states: 'Questa repository contiene due programmi, uno per generare dati da un modello noto di meccanica statistica (Blume Capel) e l'altro per inferire sulle interazioni utilizzare a partire dai dati generati. Il modello utilizzato Blume-Capel, che è una generalizzazione del modello di Ising. La sua hamiltoniana è data da: $H(s) = - \sum_{\{i,j\}} s_i s_j + \mu \sum_i s_i^2$ '. The text continues: 'La somma è da intendersi come somma sui nodi di un grafo. Ad esempio in un reticolo 2D i nodi connessi al nodo s0'. A diagram of a 2D grid graph is shown below the text.

bc_inference

Questa repository contiene due programmi, uno per generare dati da un modello noto di meccanica statistica (Blume Capel) e l'altro per inferire sulle interazioni utilizzare a partire dai dati generati. Il modello utilizzato Blume-Capel, che è una generalizzazione del modello di Ising. La sua hamiltoniana è data da: $H(s) = - \sum_{\{i,j\}} s_i s_j + \mu \sum_i s_i^2$.

La somma è da intendersi come somma sui nodi di un grafo. Ad esempio in un reticolo 2D i nodi connessi al nodo s0



Che ci sta dentro alla cartella di Ising?

Actions	Projects	Security	Insights
mf_inference / Ising /			Add file ...
WaitingPigeon Caricamento dati Ising			bb3c457 · 4 days ago History
Name	Last commit message	Last commit date	
..			
.vscode	Cose si spostano	5 days ago	
data_graph	Caricamento dati Ising	CARTELLA CON I DATI RELATIVI AI RANDOM GRAPH	
data_lattice	Caricamento dati Ising	CARTELLA CON I DATI RELATIVI AL LATTICE 2D	
analyzer.ipynb	Caricamento dati Ising	NOTEBOOK JUPYTER PER L'ANALISI DATI	
states_generator.cpp	Cose si spostano	FILE C++ PER GENERARE NUOVE CONFIGURAZIONI	
states_generator.exe	Caricamento dati Ising	FILE EXE (COMPILAZIONE DEL FILE C++)	



Come sono salvati i dati?

Parametri di Ising 2D:

L = lato del reticolo

T = temperatura

ord/dis = ordine/disordine

Parametri di Ising random graph:

N = numero di spin

T = temperatura

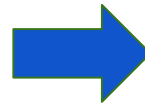
p = probabilità di formazione dei link

ord/dis = ordine/disordine

Esempi di file:

config_N100_T1.00_p0.04_ord.dat

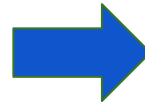
200000 righe di 100 spin (± 1) separati da spazi



Le righe coincidono alle configurazioni di spin ottenute dopo ciascun montecarlo sweep.

interaction_N100_T1.00_p0.04_ord.dat

100 righe di 100 couplings (double) separati da spazi



La matrice (simmetrica) corrisponde alle interazioni usate per generare i dati



Come si generano i dati?

states_generator.cpp

```
284     }
285
286     }
287
288 };
289
290 int main(int argc, char *argv[]){
291
292     //Possiamo scegliere tra Lattice e random graph attivando il corrispondente define
293
294     #define LATTICE_2D
295     #define RANDOM_GRAPH
296
297     #ifdef LATTICE_2D
298
299     if(argc != 4){
300         cout << "usage: " << argv[0] << " <T> <L> <is_dis>"<< endl;
301         return 1;
302     }
303
304     const int NUM_SWEEPS = 200000; //Numero di sweep montecarlo
305     const double T = atof(argv[1]); //Temperatura
306     const int L = atoi(argv[2]); //Lato del reticolo
307     const bool is_dis = atoi(argv[3]); //true se è uno spin glass
308     int N = L * L; //Numero di spin
309
```

*Utilizzo del generatore per il
lattice:*

states_generator.exe <T> <L>
<0|1>(ord/dis)

*Utilizzo del generatore per il
random graph:*

states_generator.exe <T> <N>
<0|1>(ord/dis)



Come si analizzano i dati?

analyzer.ipynb

```
File Modifica Visualizza Inserisci Runtime Strumenti Guida Tutte le modifiche sono state salvate

+ Codice + Testo

• 02:30 (senza download)

▼ Caricamento dei dati

1 #Eseguiamo questa cella solo se si sta utilizzando il notebook da Google Colab (impiega circa 2 minuti)
2 #In caso contrario i dati sono già nella cartella della repository
3 try:
4     import google.colab
5     IN_COLAB = True
6 except:
7     IN_COLAB = False
8
9 #Scarichiamo l'intera repository da github
10 if IN_COLAB:
11     !git clone https://github.com/bsfn1844815/mf_inference
12     %cd mf_inference/Ising

Cloning into 'mf_inference'...
remote: Enumerating objects: 443, done.
remote: Total 443 (delta 0), reused 0 (delta 0), pack-reused 443
Receiving objects: 100% (443/443), 980.32 MiB | 19.69 MiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (289/289), done.
Updating files: 100% (296/296), done.
/content/mf_inference/Ising

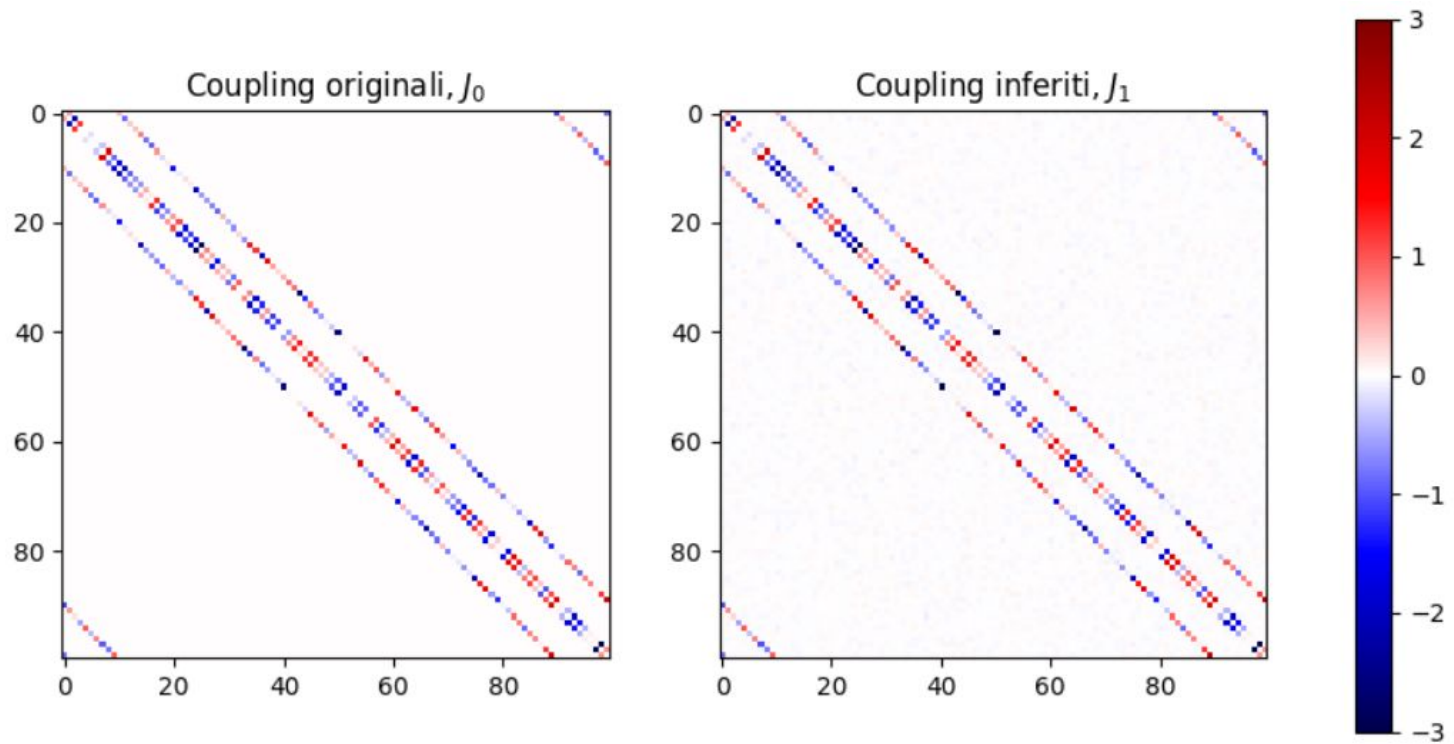
[14] 1 #Import delle librerie necessarie
2
```

Link Colab:

https://colab.research.google.com/github/bsfn1844815/mf_inference/blob/main/Ising/analyzer.ipynb?hl=it



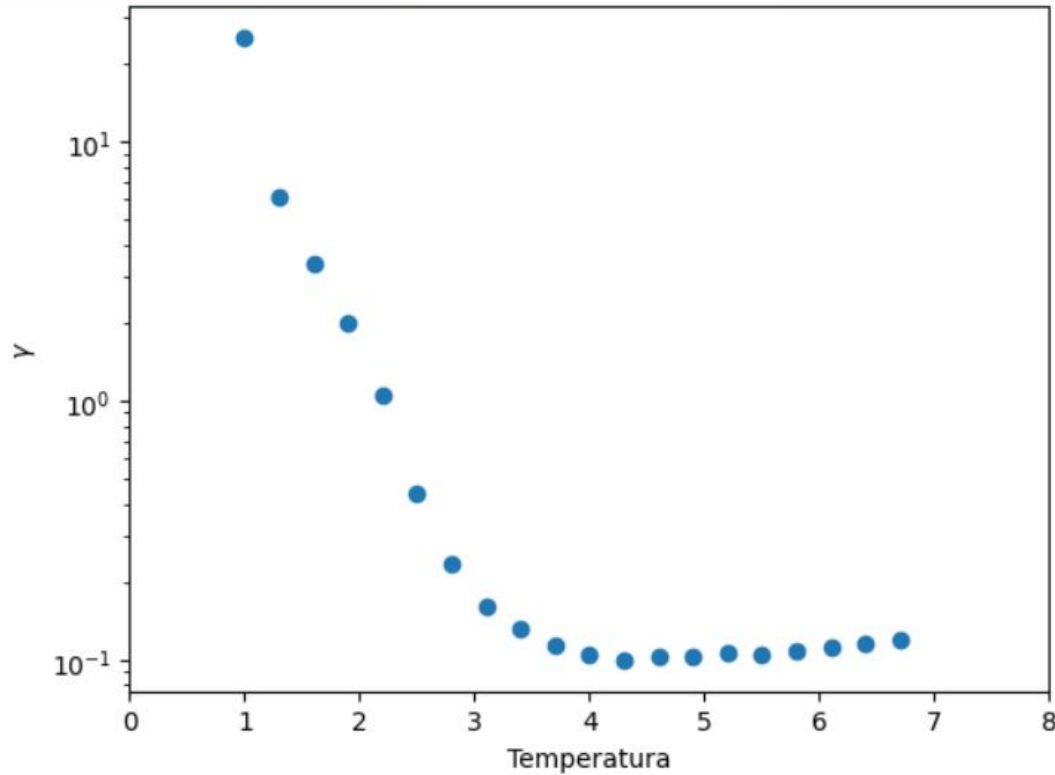
Come si analizzano i dati?



$$\beta J_1 = -\mathcal{C}^{-1} \text{ dove } \beta = 1/T$$



Come si analizzano i dati?



$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum_{ij} (J_{0,ij} - J_{1,ij})^2}{\sum_{ij} J_{0,ij}^2}}$$

Prof. Luca Leuzzi
Facoltà di Fisica, Università di Roma Sapienza
Anno Accademico 2022-2023
Percorsi di Eccellenza



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Per dubbi, errori e altro sulla parte Ising del github



Bocchi Dario
bocchi.2019986@studenti.uniroma1.it