



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO



STUDIO DI RETI NEURALI CON METODI DI TEORIA DEI GRAFI

ATTESTATO DI ALTA QUALIFICAZIONE SSST – CLASSE DI GOVERNO E SCIENZE NATURALI

CANDIDATO: MARCO RICCARDI
MATRICOLA: 778830

RELATORE: PROF. MICHELE CASELLE
DATA: 27 GIUGNO 2017

INTRODUZIONE



- ▶ Studio di due problemi:
 - ▶ Interazioni sociali
 - ▶ Citazioni accademiche
- ▶ Introduzione alla teoria dei grafi
- ▶ Reti neurali
- ▶ Percolation analysis
- ▶ Risultati
- ▶ Conclusioni

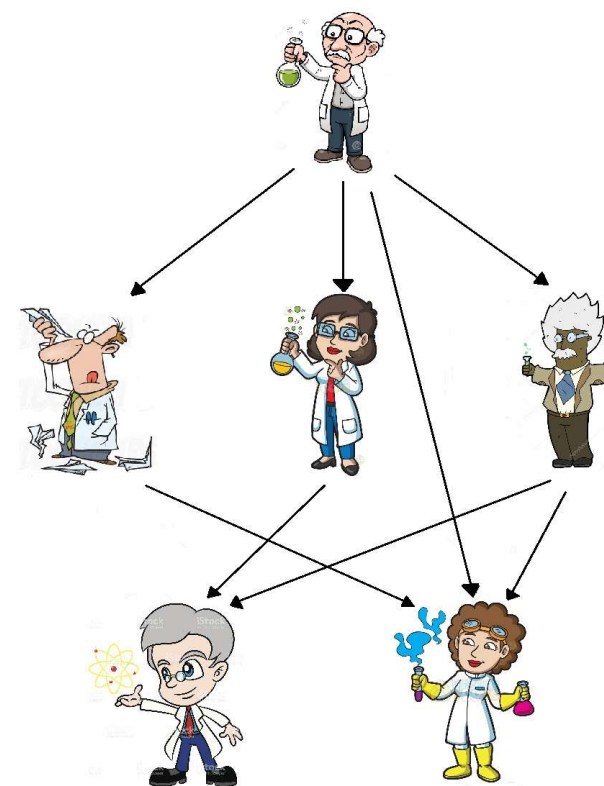
INTERAZIONI SOCIALI

- ▶ Come studiare la rete di amicizie di una persona?
- ▶ Ogni individuo è collegato ad un altro se esiste un qualche tipo di rapporto tra i due
- ▶ Più a fondo si conoscono due persone, più forte sarà la loro connessione
- ▶ SOCIAL NETWORK: network non diretto e pesato



CITAZIONI ACCADEMICHE

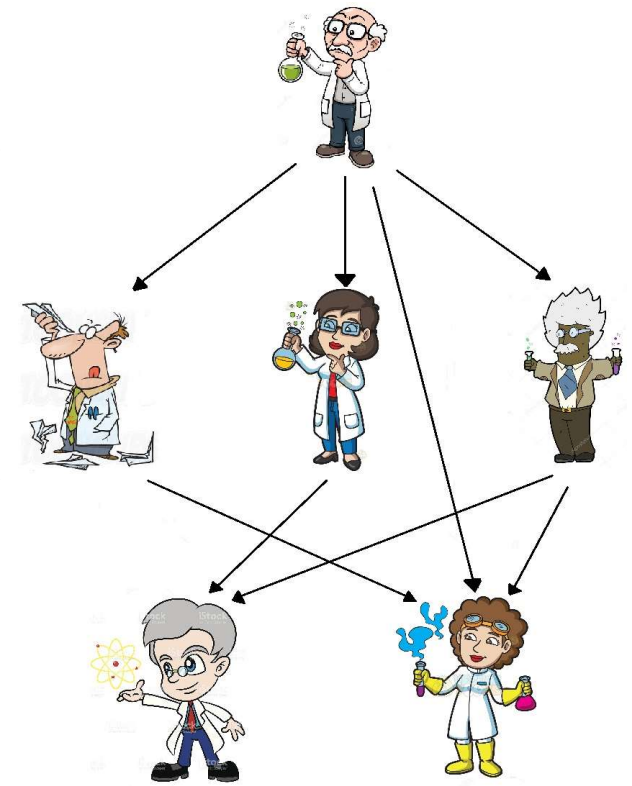
- ▶ Come studiare le citazioni ricevute da un articolo?
- ▶ Due articoli sono collegati tra loro se uno viene citato dall'altro
- ▶ CITATIONS NETWORK: network diretto e non pesato



CITAZIONI ACCADEMICHE

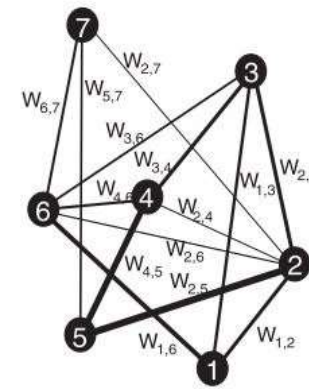
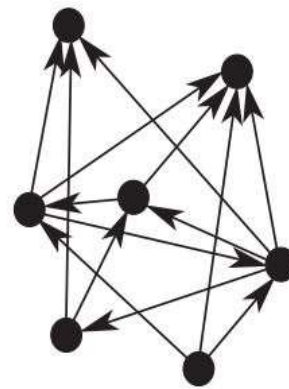
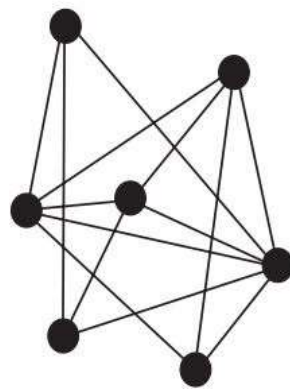
- ▶ Come studiare le citazioni ricevute da un articolo?
- ▶ Due articoli sono collegati tra loro se uno viene citato dall'altro
- ▶ CITATIONS NETWORK: network diretto e non pesato

- ▶ I social network e citations network sono due esempi di applicazioni della teoria dei grafi
- ▶ Ma...che cos'è un grafo?



GRAFI E NETWORK

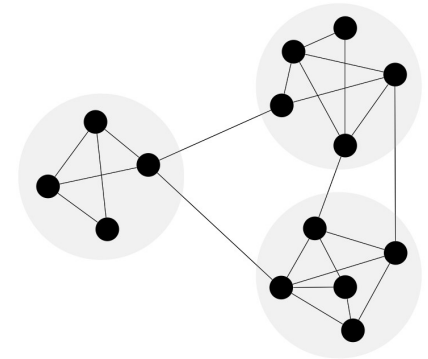
- ▶ Un grafo $G = \{N, S\}$ è rappresentato da una coppia di insiemi N e S , tali che $N \neq \emptyset$ e S è un insieme di coppie di elementi di N
- ▶ N = nodi, elementi fondamentali del grafo
- ▶ S = spigoli, connessioni tra coppie di nodi



GRAFI E NETWORK - PROPRIETÀ

- ▶ MODULARITÀ: quantifica il grado con cui un network può essere suddiviso in comunità poco comunicanti tra loro

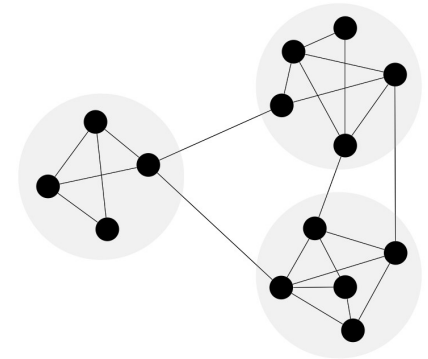
$$M = \frac{\sum_i e_{ii} - \sum_i a_i}{1 - \sum_i a_i} = \frac{\text{Tr}(e) - \|e^2\|}{1 - \|e^2\|}$$



GRAFI E NETWORK - PROPRIETÀ

- ▶ MODULARITÀ: quantifica il grado con cui un network può essere suddiviso in comunità poco comunicanti tra loro

$$M = \frac{\sum_i e_{ii} - \sum_i a_i a_i}{1 - \sum_i a_i a_i} = \frac{Tr(E) - \|e^2\|}{1 - \|e^2\|}$$

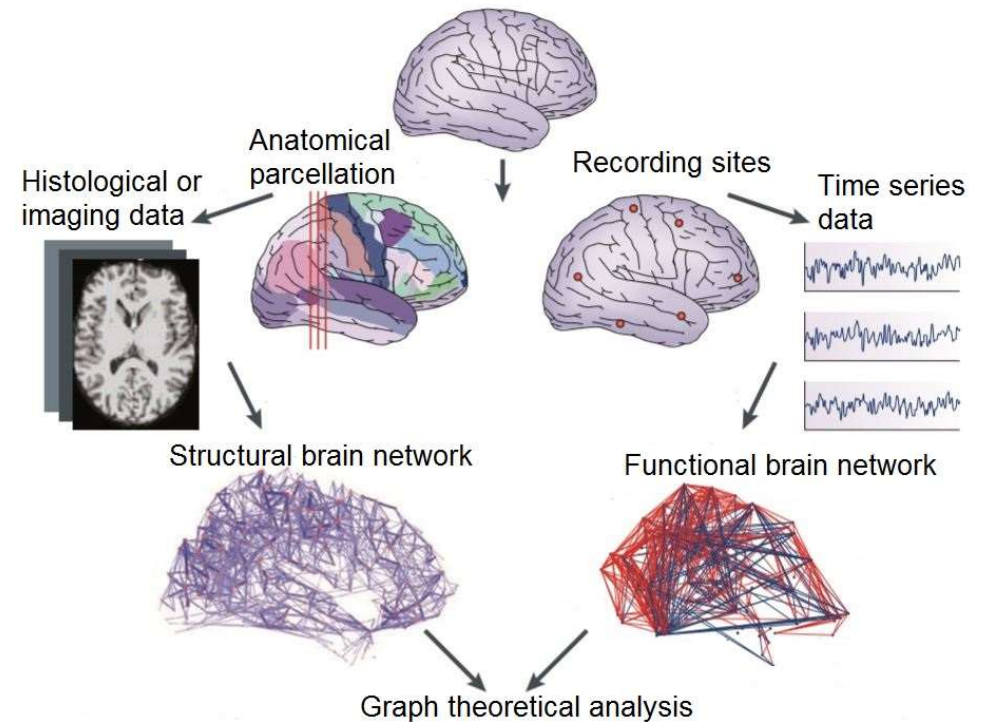


- ▶ CLUSTERING: misura la probabilità che due nodi i e m , entrambi connessi ad un nodo j , siano tra loro collegati

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i \in N} \frac{2 e_i}{k_i(k_i - 1)}$$

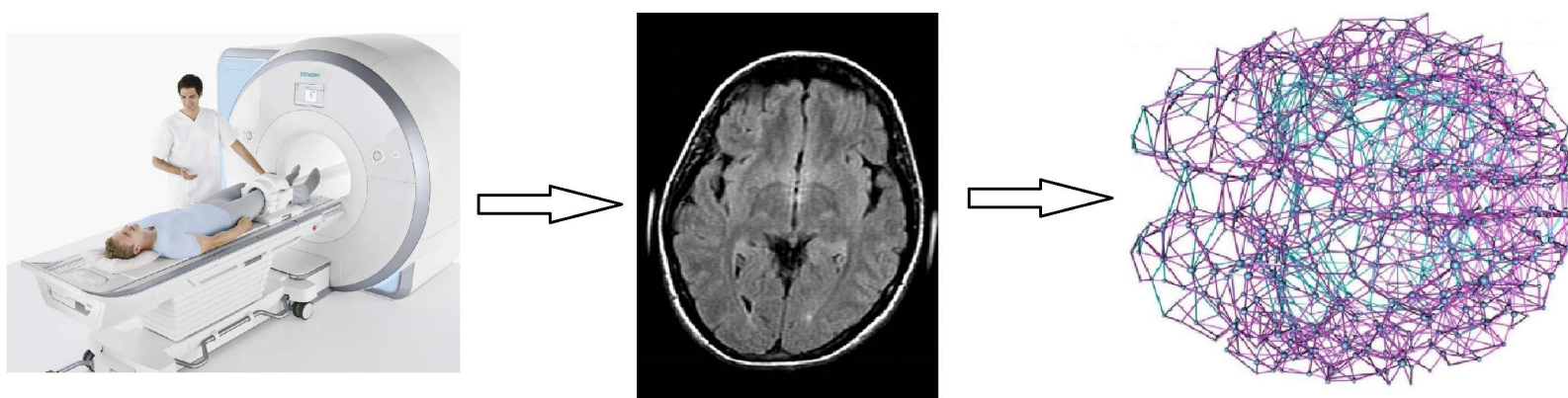
RETI NEURALI

- ▶ Molti processi cognitivi dipendono dalla mutua interazione tra aree diverse del cervello
- ▶ Si può modellare questa interazione mediante un grafo, o rete neurale
- ▶ Nodi: idealmente singoli neuroni, in pratica ROI (Regions Of Interest)
- ▶ Spigoli: connessioni, anatomiche o funzionali, tra due nodi diversi



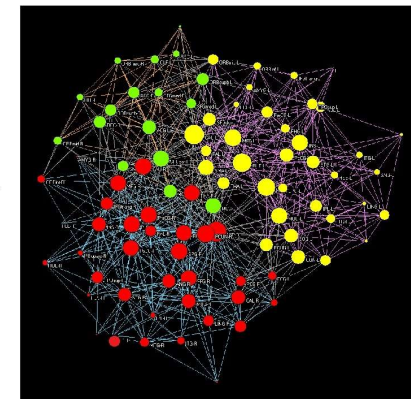
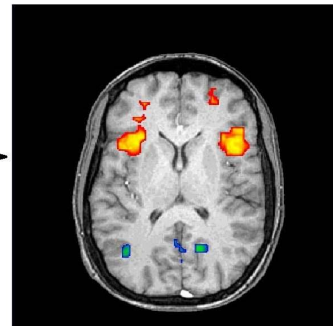
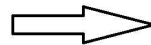
STRUCTURAL NEURAL NETWORK

- ▶ Spigoli: connessioni fisiche (sinapsi o assoni) tra due nodi
- ▶ Solitamente ricostruiti mediante Imaging a Risonanza Magnetica (MRI) o Imaging con Tensore di Diffusione (DTI)



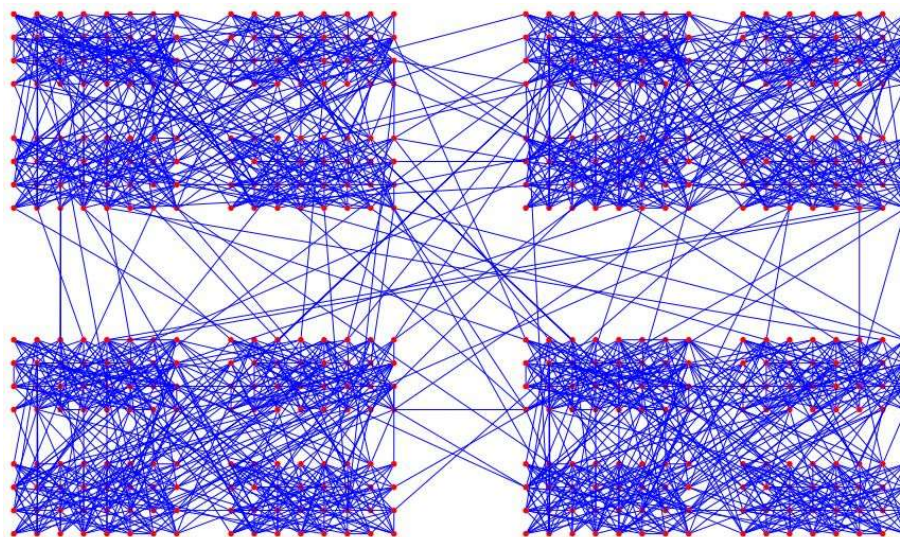
FUNCTIONAL NEURAL NETWORK

- ▶ Spigoli: connessioni funzionali tra due nodi, che tendono quindi a partecipare congiuntamente allo svolgimento di una certa attività
- ▶ Solitamente ricostruiti mediante Imaging a Risonanza Magnetica Funzionale (fMRI)



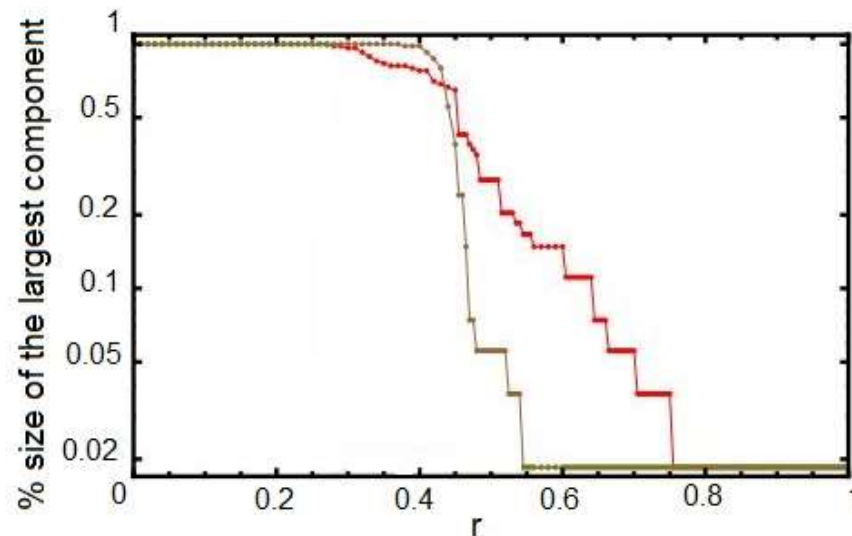
GERARCHIE TRA MODULI

- ▶ Molte reti neurali presentano una struttura modulare gerarchica
- ▶ Questa può essere studiata mediante percolation analysis

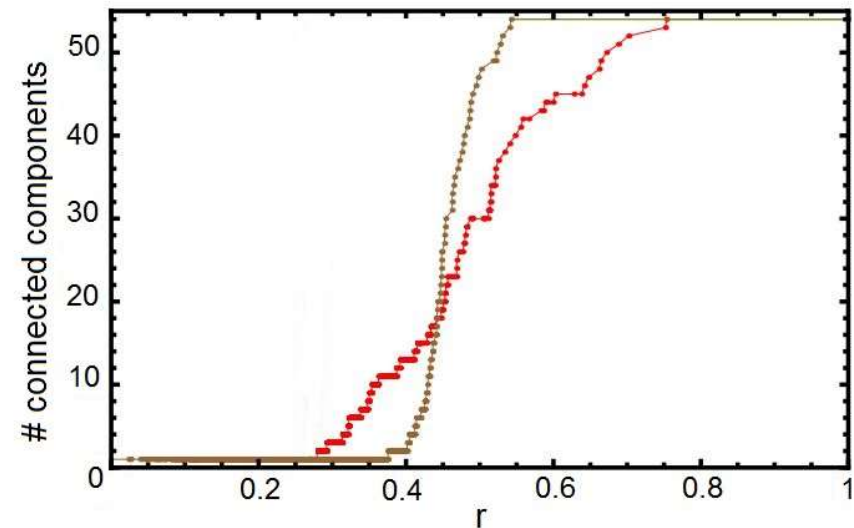


PERCOLATION ANALYSIS

► Analisi classica



► Analisi proposta da Bardella *et al.*



La traccia rossa è relativa al functional neural network di topo, mentre quella marrone si riferisce al corrispondente random network (G. Bardella et al., 2016)

METODOLOGIA



- ▶ 60 network scaricati dall'UCLA Multimodal Connectivity Database
 - 20 individui autistici, 10 maschi e 10 femmine, di età compresa tra gli 8 e i 18 anni
 - 40 individui sani, 20 maschi e 20 femmine, di età compresa tra i 7 e i 71 anni

METODOLOGIA



- ▶ 60 network scaricati dall'UCLA Multimodal Connectivity Database
 - 20 individui autistici, 10 maschi e 10 femmine, di età compresa tra gli 8 e i 18 anni
 - 40 individui sani, 20 maschi e 20 femmine, di età compresa tra i 7 e i 71 anni
- ▶ Per l'analisi, si è utilizzato il Brain Connectivity Toolbox di MATLAB

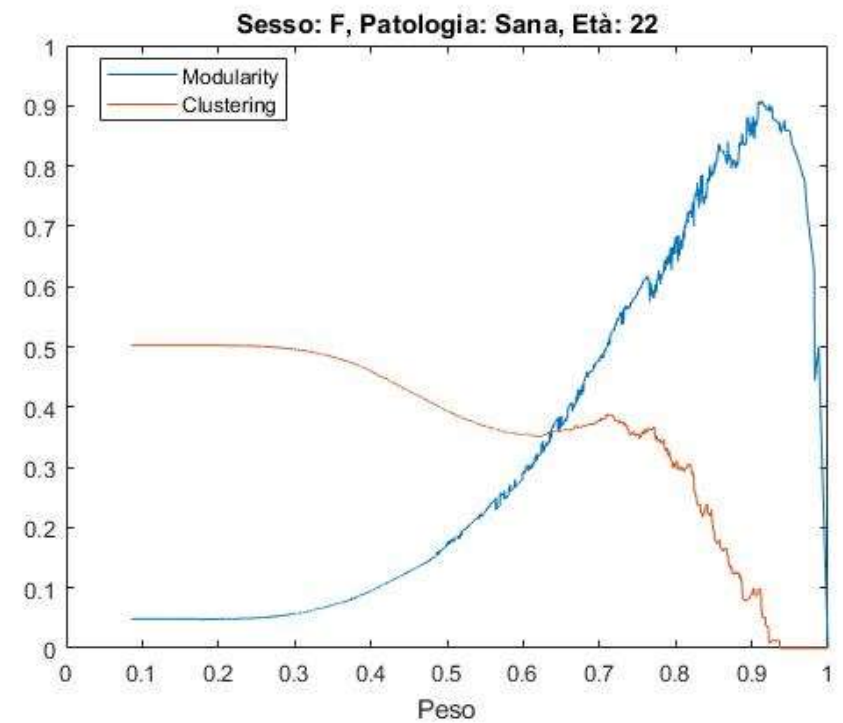
METODOLOGIA



- ▶ 60 network scaricati dall'UCLA Multimodal Connectivity Database
 - 20 individui autistici, 10 maschi e 10 femmine, di età compresa tra gli 8 e i 18 anni
 - 40 individui sani, 20 maschi e 20 femmine, di età compresa tra i 7 e i 71 anni
- ▶ Per l'analisi, si è utilizzato il Brain Connectivity Toolbox di MATLAB
- ▶ L'algoritmo utilizzato si articola in quattro fasi:
 1. I pesi degli spigoli vengono ordinati in ordine crescente
 2. Cominciando dal peso minore, ogni valore viene scelto come soglia
 3. Tutti gli spigoli con peso minore al valore di soglia vengono rimossi
 4. Vengono calcolati la modularità e il clustering del network risultante

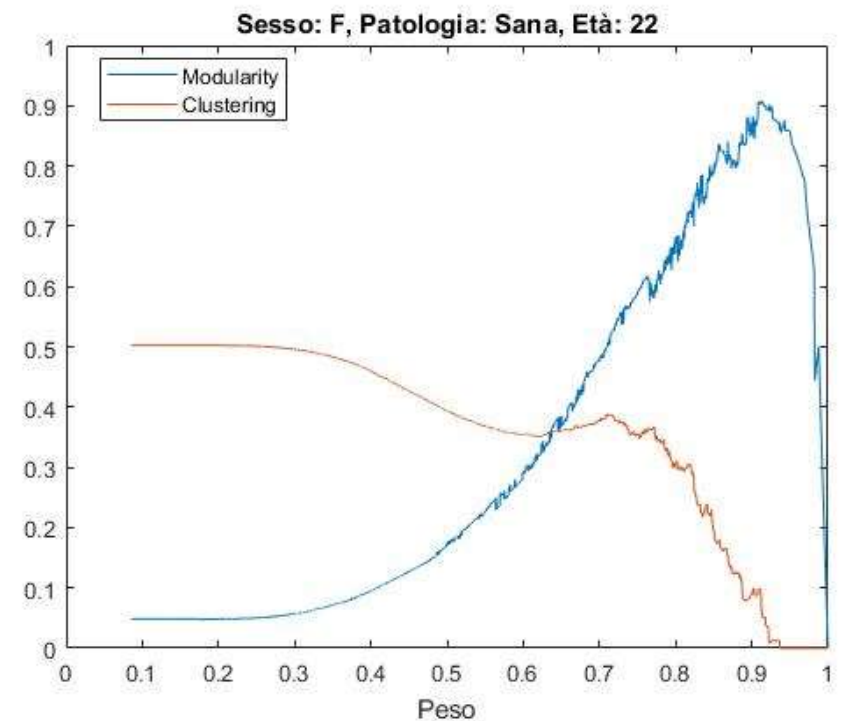
RISULTATI

- ▶ Come atteso, la modularità cresce man mano che il network viene danneggiato



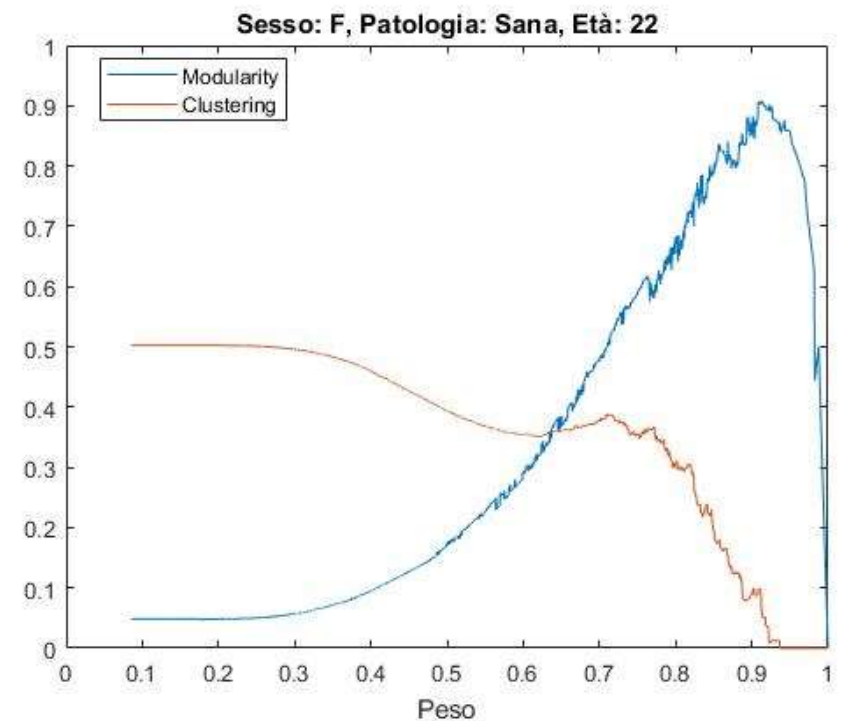
RISULTATI

- ▶ Come atteso, la modularità cresce man mano che il network viene danneggiato
- ▶ Il coefficiente di clustering rimane compreso tra 0.4 e 0.35 fino a quando vengono rimossi spigoli con peso maggiore di 0.75



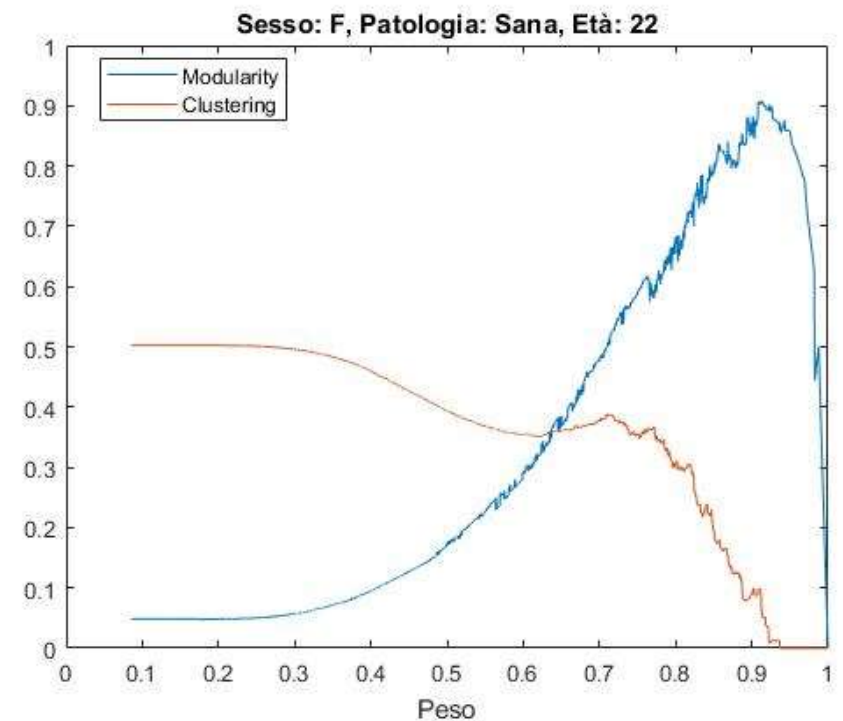
RISULTATI

- ▶ Come atteso, la modularità cresce man mano che il network viene danneggiato
- ▶ Il coefficiente di clustering rimane compreso tra 0.4 e 0.35 fino a quando vengono rimossi spigoli con peso maggiore di 0.75
- ▶ Viene quindi confermata, anche nel cervello umano, una struttura a moduli fortemente connessi al loro interno



RISULTATI

- ▶ Come atteso, la modularità cresce man mano che il network viene danneggiato
- ▶ Il coefficiente di clustering rimane compreso tra 0.4 e 0.35 fino a quando vengono rimossi spigoli con peso maggiore di 0.75
- ▶ Viene quindi confermata, anche con questo metodo, una struttura a moduli fortemente connessi al loro interno
- ▶ Tentativi di utilizzare questo procedimento per discriminare tra individui sani e autistici hanno dato esito negativo



CONCLUSIONI E LAVORI FUTURI



- ▶ La teoria dei grafi è uno strumento molto potente per lo studio di reti neurali
- ▶ Unita alla percolation analysis, permette di investigare la struttura a moduli del cervello
- ▶ Permette inoltre di studiare l'evoluzione delle proprietà del grafo mentre questo viene danneggiato

CONCLUSIONI E LAVORI FUTURI



- ▶ La teoria dei grafi è uno strumento molto potente per lo studio di reti neurali
- ▶ Unita alla percolation analysis, permette di investigare la struttura a moduli del cervello
- ▶ Permette inoltre di studiare l'evoluzione delle proprietà del grafo mentre questo viene danneggiato

- ▶ Si è confermata, anche con questo metodo, la struttura modulare del cervello umano
- ▶ Interessante applicare questa tecnica allo studio di altre proprietà delle reti neurali e utilizzarla per discriminare tra diverse patologie

RINGRAZIAMENTI



- ▶ Ringrazio il prof. Michele Caselle per gli utili suggerimenti e per la disponibilità a seguire questo lavoro «a distanza»
- ▶ Ringrazio tutte le persone stupende che ho incontrato e mi hanno supportato in questo percorso durato quattro anni, in particolare Daniele Proverbio
- ▶ Ringrazio tutti gli studenti, professori, personale amministrativo, rappresentanti e tutor che lavorano ogni giorno per portare avanti e migliorare il progetto della Scuola



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO



SSST
SCUOLA DI STUDI SUPERIORI
FERDINANDO ROSSI
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

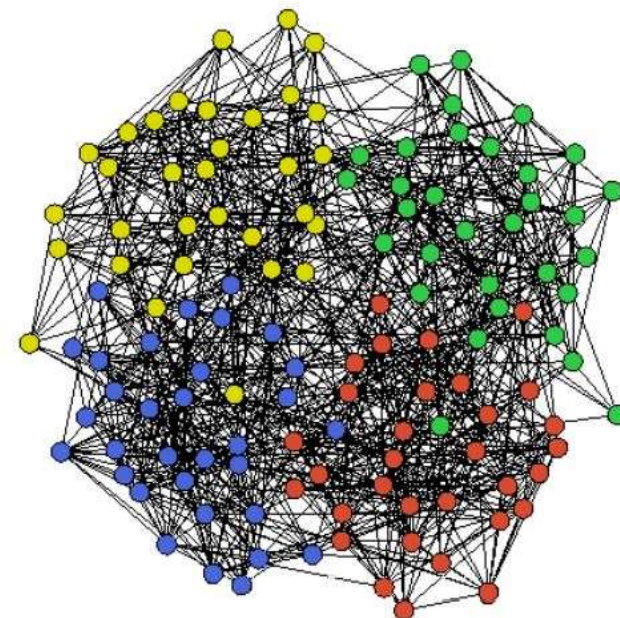
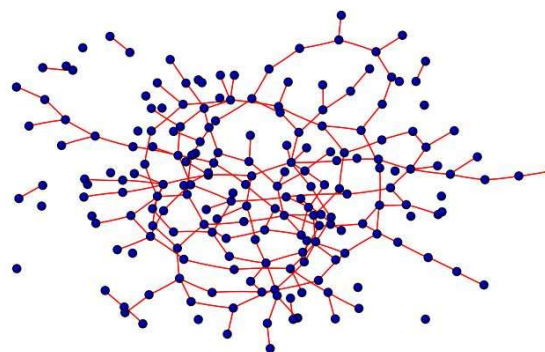
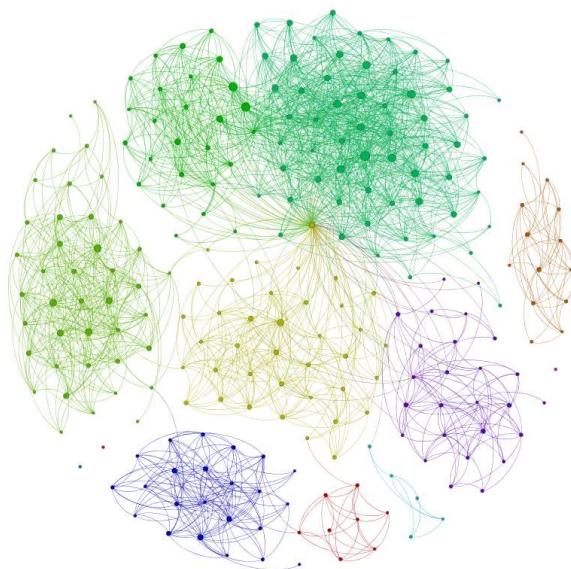


FIGURE UTILIZZATE - FONTI



- ▶ Social network: <https://goo.gl/8KfdTx>
- ▶ Grafi: S. Boccaletti *et al.*, 2006
- ▶ Modularity: <https://goo.gl/YgqhTB>
- ▶ Brain Network: E. Bullmore, O. Sporns, 2009
- ▶ MRI-fMRI:
 - ▶ <https://goo.gl/SNyrDd>
 - ▶ <https://goo.gl/RhJUwe>
 - ▶ A. Gulias *et al.*, 2015
 - ▶ <https://goo.gl/zNMn7G>
 - ▶ <https://goo.gl/N4egir>
- ▶ Gerarchie: A. Lancichinetti, S. Fortunato, 2009
- ▶ Percolation: G. Bardella *et al.*, 2016
- ▶ Chiusura:
 - ▶ S. Fortunato, 2010
 - ▶ <https://goo.gl/JoCpvB>