

INFORMATICA PER LA COMUNICAZIONE



Reti e grafi

Vulnerabilità e interconnessione

- Le **connessioni** tra elementi di un sistema
 - ▣ Permettono agli elementi di comunicare tra loro
 - ▣ Tuttavia: guasti, malfunzionamenti, virus, possono **influenzare** la rete
 - ▣ **Diffusione** su larga scala



Reti - vulnerabilità

- **Vulnerabilità/Robustezza:** aspetto fondamentale delle reti
- **Comportamento della rete a seguito di**
 - **Guasto**
 - **Attacco**



Reti - vulnerabilità

- Alcuni **sistemi complessi**, in presenza di **guasti**, conservano **funzionalità basilari**
 - ▣ Sistemi biologici, nonostante reazioni mancanti nelle cellule
 - ▣ Organizzazione, nonostante l'assenza di personale



Reti: teoria della percolazione

Reti Sociali e Grafi



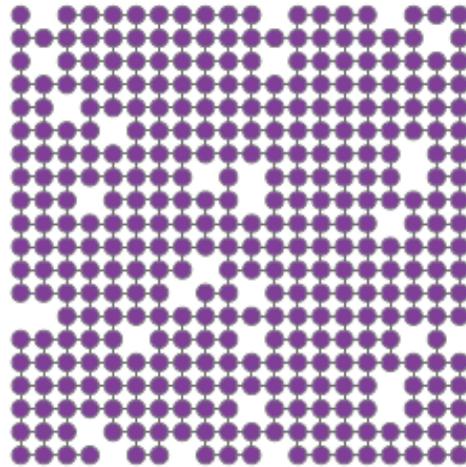
Vulnerabilità

- Studio della **vulnerabilità** di un rete: **rimozione** di nodi
- La rimozione di un numero limitato di nodi ha in genere un impatto limitato
- **Quanti nodi** devono essere rimossi per compromettere il funzionamento della rete?



Percolazione

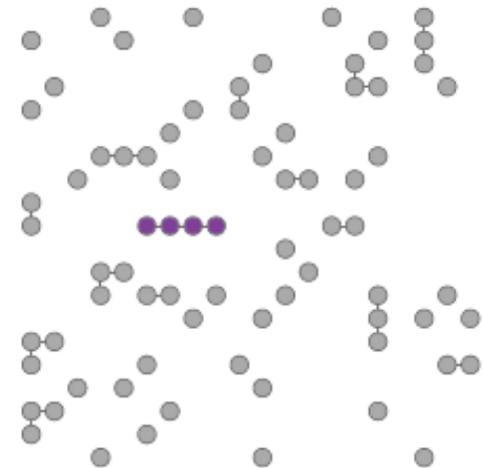
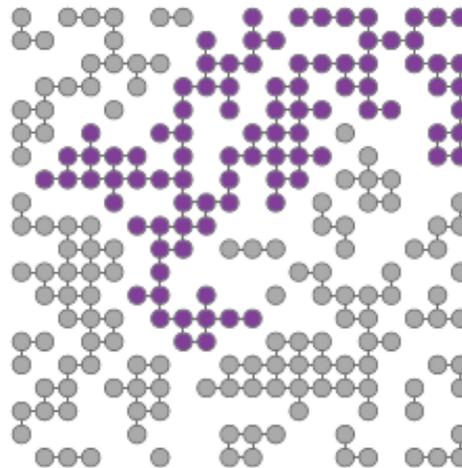
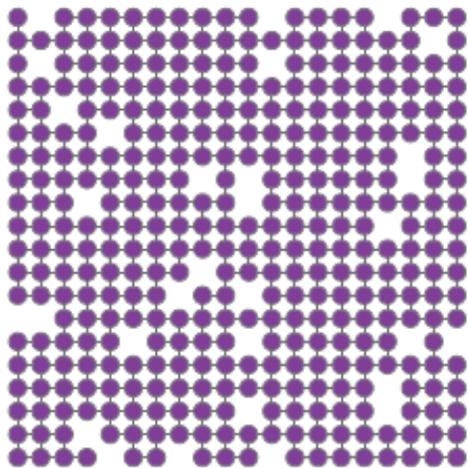
Consideriamo la rimozione di nodi su un reticolo regolare



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Percolazione

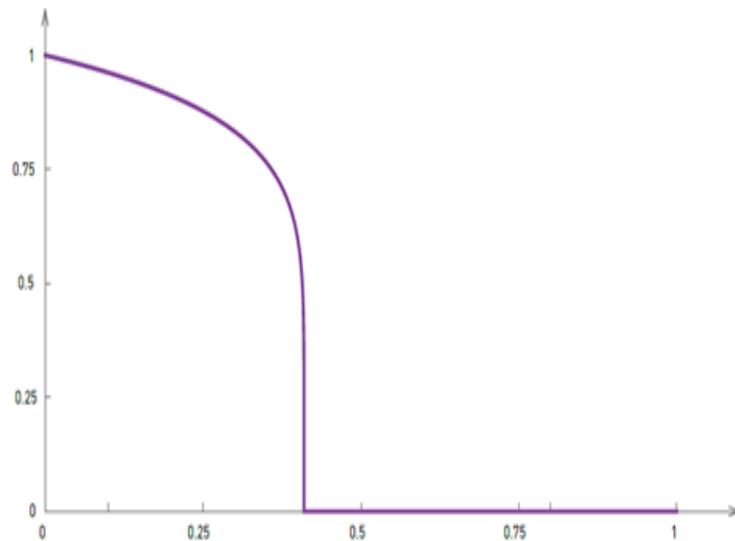
- Ad ogni passo rimuoviamo una frazione di nodi: rimozione di f nodi fino a quel punto
- Per f piccolo: danni limitati alla rete
- Al crescere di f : frammentazione



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Percolazione

- Nella frammentazione, esiste una **soglia critica c**
- Se $f < c$, esistenza di una **componente gigante**
- Quando f supera c , la componente gigante **scompare**



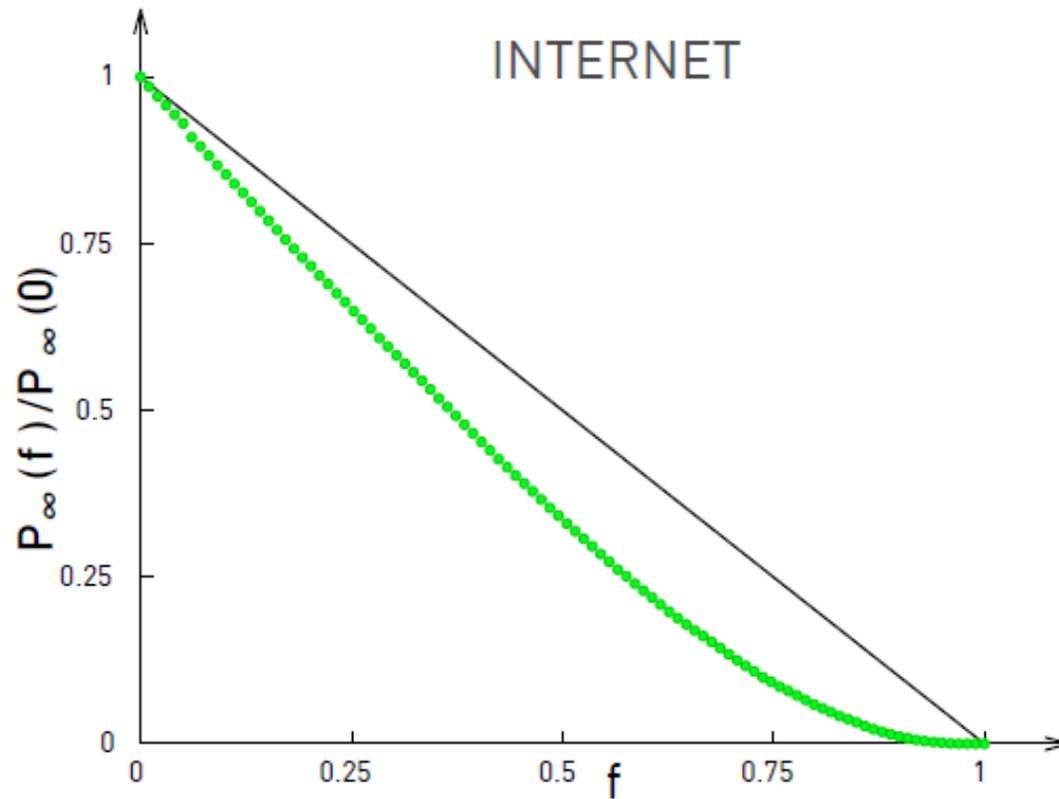
Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Vulnerabilità e reti

- Cosa accade nelle rete reali?
- Il comportamento è simile a quello delle reti regolari?
- Consideriamo la **rete Internet**:
 - Router
 - Connessioni tra router
- **Eliminiamo** gradualmente i nodi



Vulnerabilità e Internet



Vulnerabilità e reti casuali

- Cosa accade se la rete non è regolare, ma è una rete **casuale**?
- In una rete casuale, esiste una **soglia critica** che dipende dal **grado medio della rete**
- Più è alto il grado medio, maggiore è la soglia critica



Vulnerabilità e reti casuali

- In una rete casuale, esiste una soglia critica che dipende dal grado della rete
 - ▣ Più è alto \bar{k} , più densa è la rete
 - ▣ Più è alto \bar{k} , maggiore è la soglia critica



Vulnerabilità e reti casuali

- Rete Internet: maggior **robustezza** rispetto alle reti regolari
- Il motivo è la struttura della rete: **a invarianza di scala**



Vulnerabilità e reti casuali

- Criterio di Molloy-Reed per esistenza di una rete a invarianza di scala con grado k

$$MR = \frac{\bar{d}^2}{\bar{d}} > 2$$

- Se $MR < 2$, manca una componente gigante

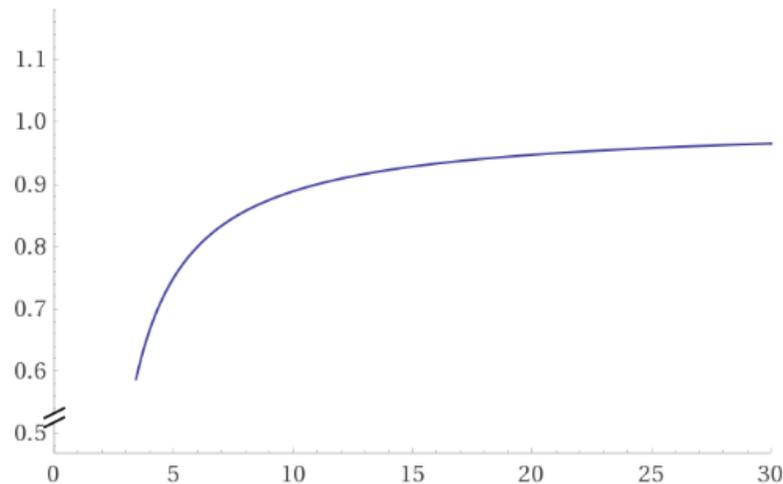


Vulnerabilità e reti casuali

- In una rete casuale, la soglia critica è:

$$c = 1 - \frac{1}{\bar{k}}$$

- Più è alto \bar{k} , maggiore è la soglia critica



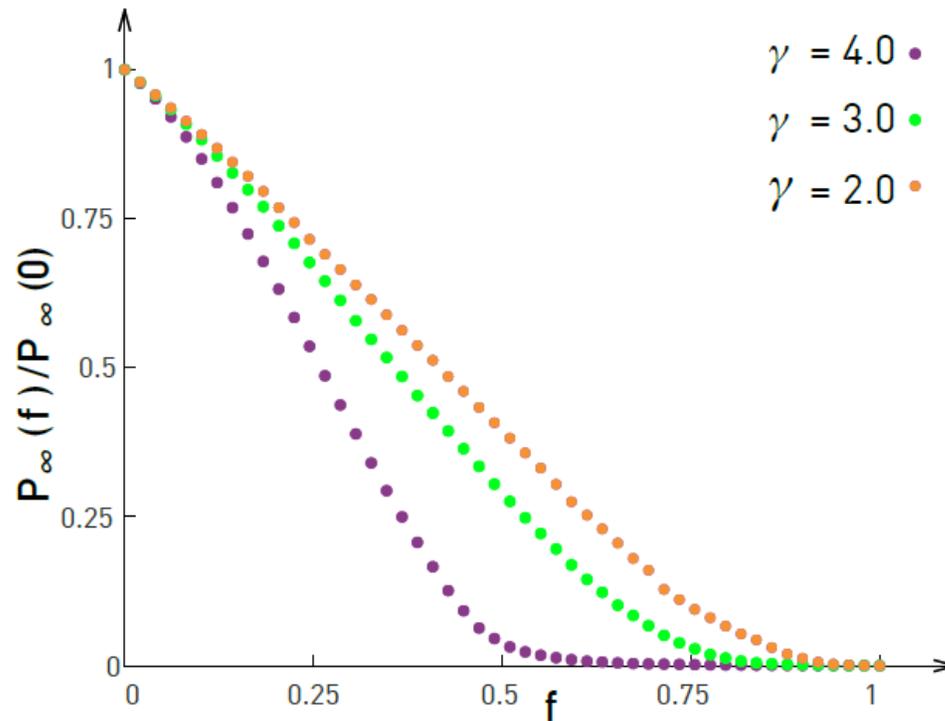
Vulnerabilità e invarianza di scala

In una rete a invarianza di scala: importanza degli hub nel collegamento

- Se $\gamma \leq 3$:
 - ▣ In pratica, non esiste soglia critica
- Se $\gamma > 3$:
 - ▣ Soglia critica



Vulnerabilità e reti casuali



Vulnerabilità e invarianza di scala

- In una rete a invarianza di scala (con $2 < \gamma < 3$)

$$c = 1 - \frac{1}{\frac{\bar{k}^2}{\bar{k}} - 1}$$

- Il valore \bar{k}^2 , diverge al crescere del numero di nodi (N)
- Di conseguenza la soglia critica converge a uno
- **Non esiste soglia critica**



Vulnerabilità e invarianza di scala

- In una rete a invarianza di scala ($\gamma > 3$):
comportamento come una rete casuale



Vulnerabilità e invarianza di scala

- Consideriamo la **rete Internet**:
 - ▣ Il valore della soglia critica è circa **0.92**
 - ▣ Conseguenza: è necessaria la rimozione del 92% dei router per **causare una frammentazione**



Reti e solidità

- Una rete è solida se

$$c > c_R$$

Dove c_R è la soglia di una rete casuale



Solidità delle reti

NETWORK	RANDOM FAILURES (REAL NETWORK)
Internet	0.92
WWW	0.88
Power Grid	0.61
Mobile-Phone Call	0.78
Email	0.92
Science Collaboration	0.92
Actor Network	0.98
Citation Network	0.96
E. Coli Metabolism	0.96
Yeast Protein Interactions	0.88



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Reti e attacchi

Tolleranza

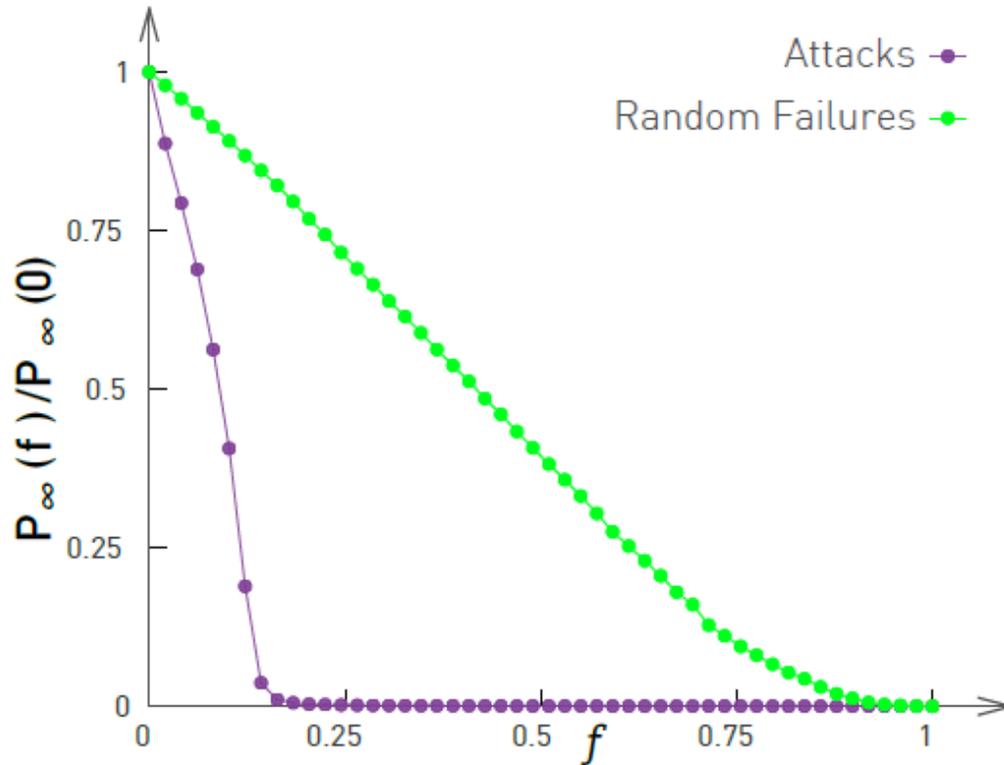


Guasti e attacchi

- Possiamo aspettarci che un guasto avvenga in modo **casuale** in una rete
- Cosa accade se i guasti **non sono casuali**?
- Qual è il comportamento della rete se ho **attacchi mirati**?
- Colpire un **hub** può provocare la disconnessione della rete



Guasti e attacchi: invarianza di scala



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

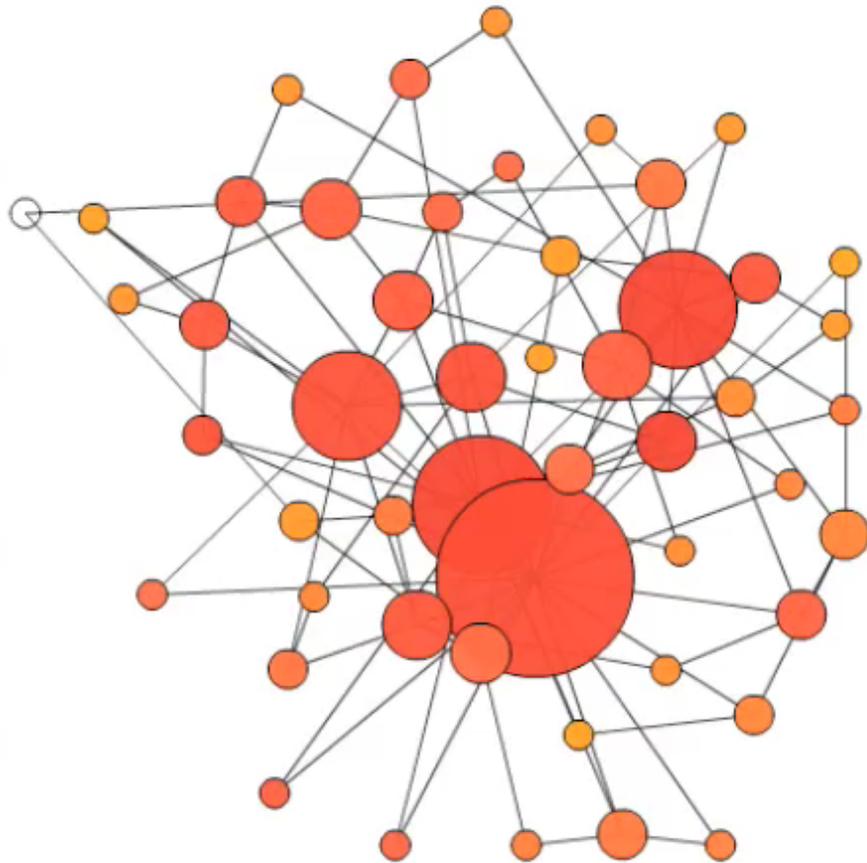
Probabilità che un nodo appartenga alla componente connessa di dimensione massima

Attacchi e invarianza di scala

- Nel caso di un attacco alle reti a invarianza di scala:
 - ▣ La soglia critica ha valore limitato; un attacco può frammentare la rete **colpendo pochi nodi**
- **La rimozione di hub**
 - ▣ Porta a una diminuzione significativa del grado massimo di una rete
 - ▣ I nodi restanti perdono i collegamenti agli hub



Legge di potenza: vulnerabilità

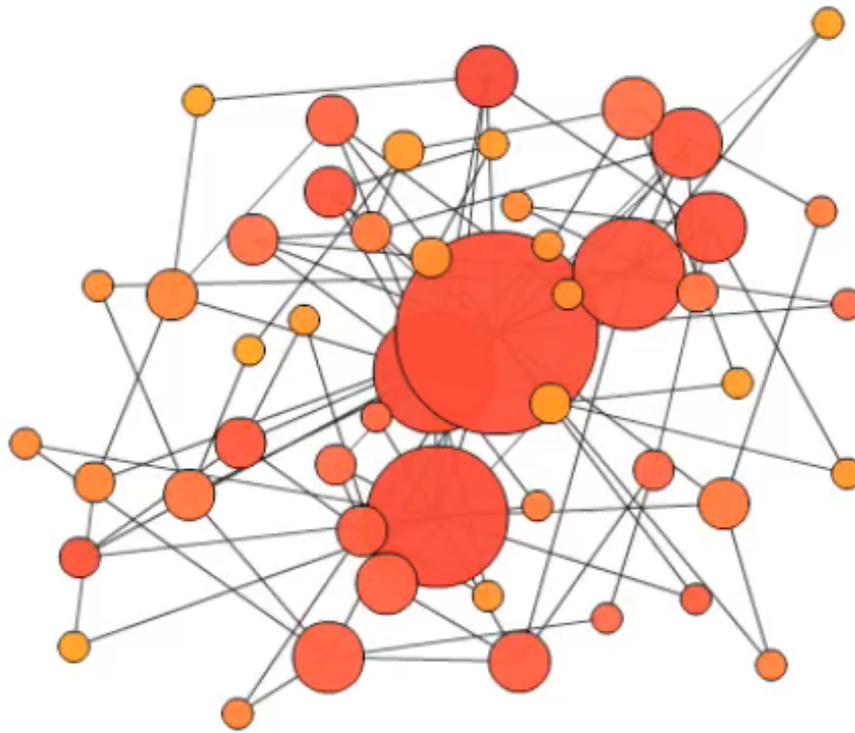


Attacchi e reti casuali

- Nel caso di un **attacco a reti casuali**:
 - ▣ La situazione è **più vicina al caso dei guasti**
 - ▣ Non esistono hub, quindi non ci sono obiettivi di importanza cruciale da colpire

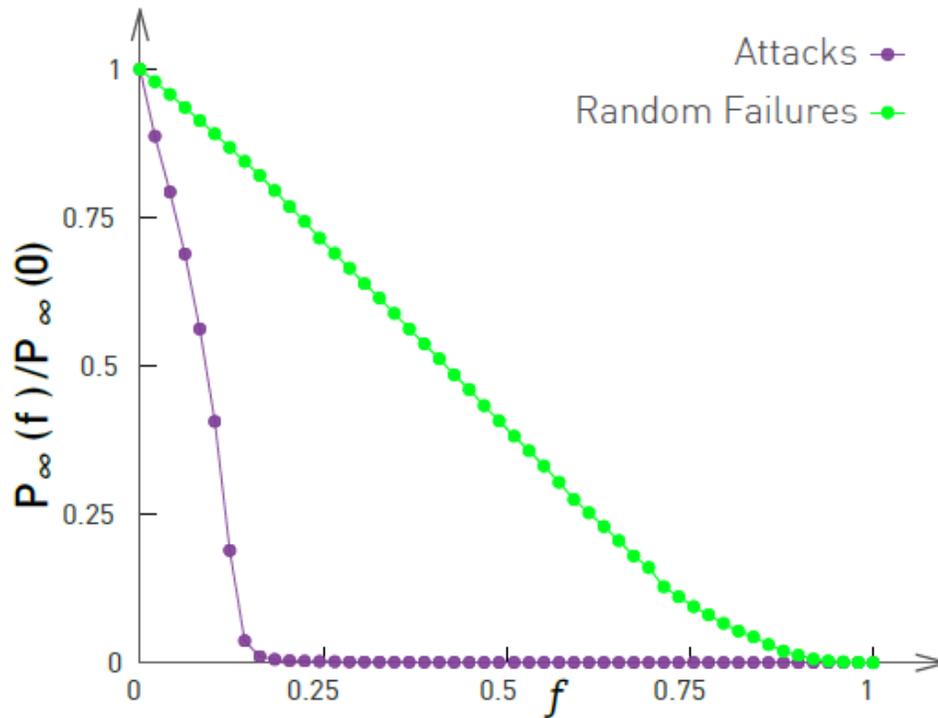


Rete casuale: vulnerabilità

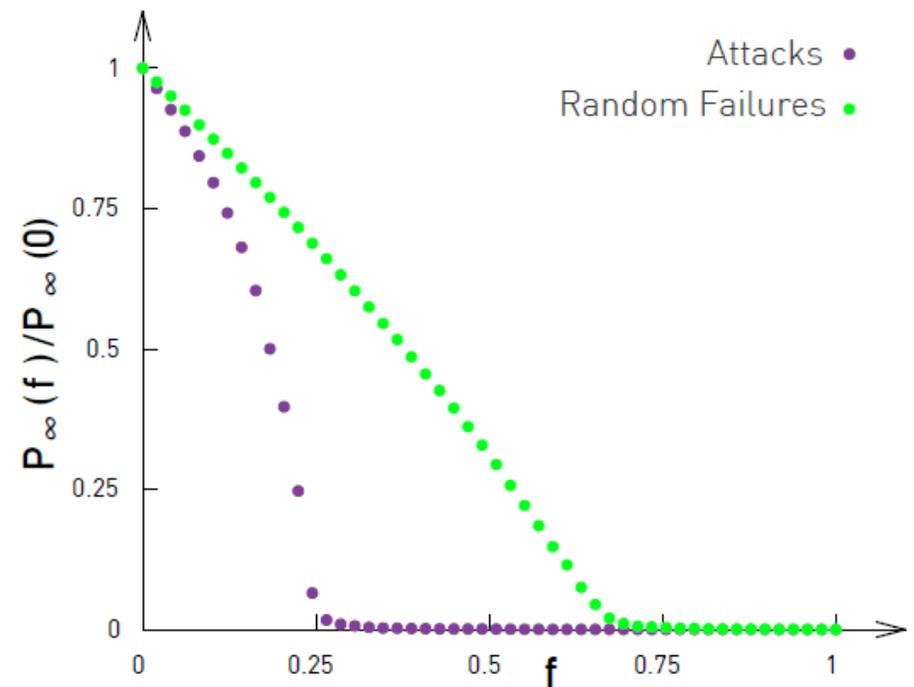


Guasti e attacchi: rete casuale

Invarianza di scala



Casuale



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Probabilità di appartenenza alla componente connessa di dimensione massima

Reti - vulnerabilità

Rete casuale

- La rete viene danneggiata da **guasti**
- Attacchi mirati **non problematici**

Rete a invarianza di scala

- La rete non subisce danni irreparabili/scollegamenti
 - ▣ Per guasti
 - ▣ Se gli **hub** sono **protetti**
- **Attacchi mirati contro hub sono problematici**



Guasti e reti

- Abbiamo considerato il caso di guasti/attacchi che colpiscono i **singoli nodi**
- I guasti/attacchi avvengono in modo **indipendente**: un nodo colpito non influenza gli altri
- Nella realtà il comportamento è più **complesso**



Guasti e reti

- In alcuni casi, un nodo colpito può causare guasti negli altri nodi: **fallimenti a cascata**
 - ▣ **Rete della corrente elettrica:** aumento dell'energia disponibile e sovraccarico di linee
 - ▣ **Guasti a un router:** sovraccarico nel traffico di rete
 - ▣ **Crisi finanziarie:** mutui delle case, crisi bancaria

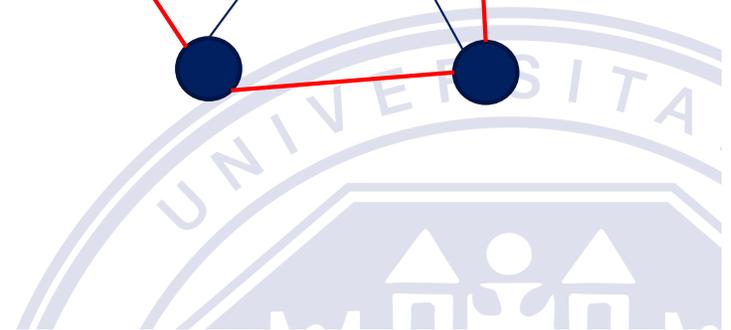
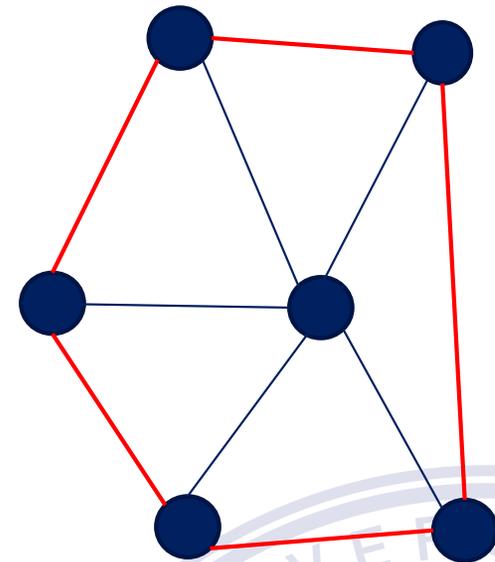
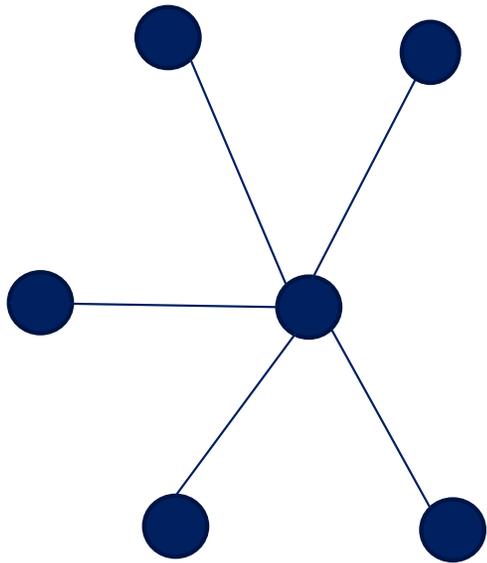


Solidità e reti

- La solidità dei **modelli di rete** dipende dalla risposta a vari **tipi di malfunzionamento**
- E' possibile costruire **sistemi robusti** in ogni situazione?



Solidità e reti



Solidità e reti

- Per migliorare la solidità di una rete rispetto a guasti (casuali) e attacchi: **incremento delle soglie critiche**
- Reti che massimizzano questi due valori:
 - ▣ Una frazione limitata di nodi con **grado elevato**
 - ▣ I restanti nodi hanno grado **sufficientemente alto**: formano una **componente gigante**
- Perché questa struttura ha una solidità elevata?

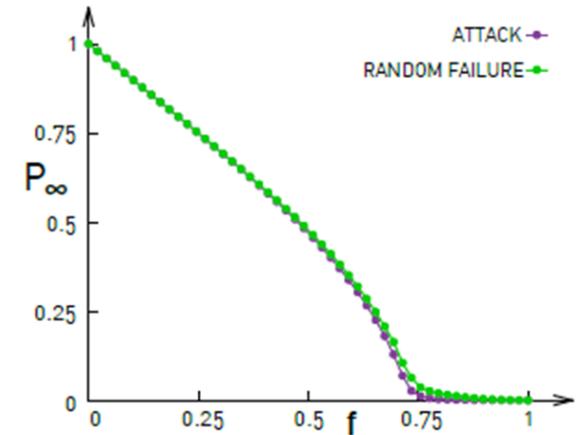
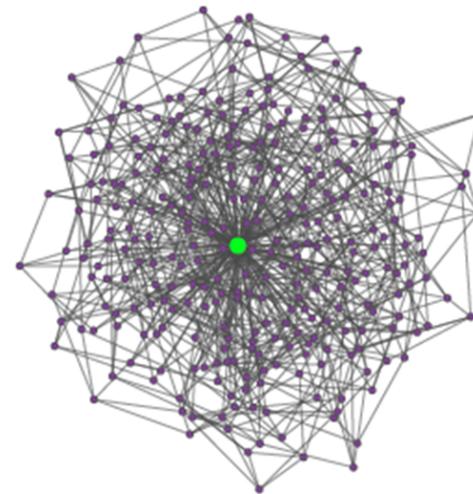
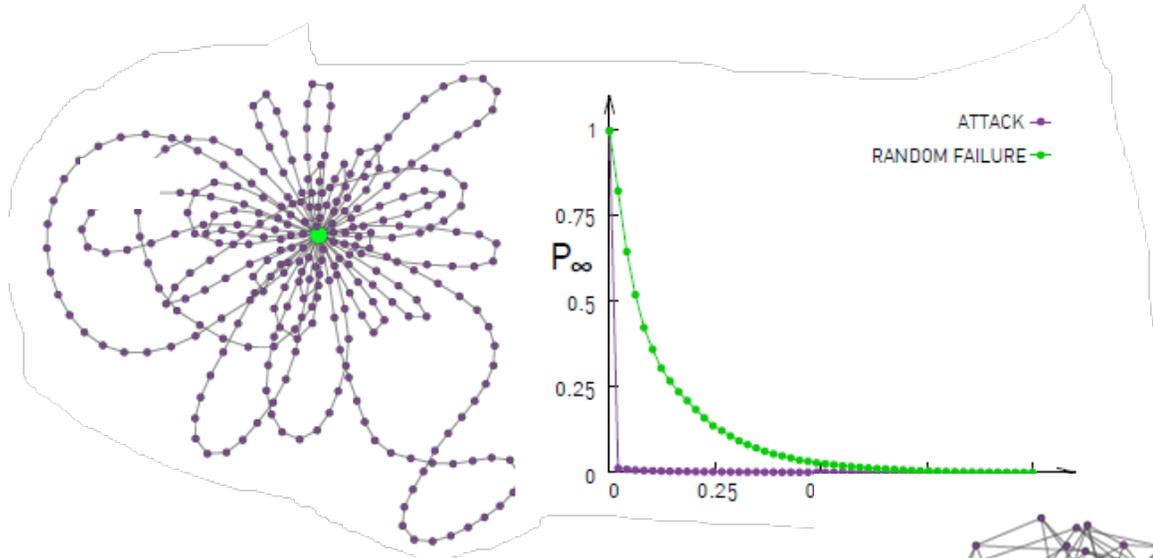


Solidità e reti

- Rispetto ai **guasti** (casuali): la **probabilità** che si guastino gli **hub** è limitata
- Rispetto agli **attacchi**: collegamenti tra **nodi (non hub)** permettono collegamenti anche se gli hub sono colpiti



Solidità e reti



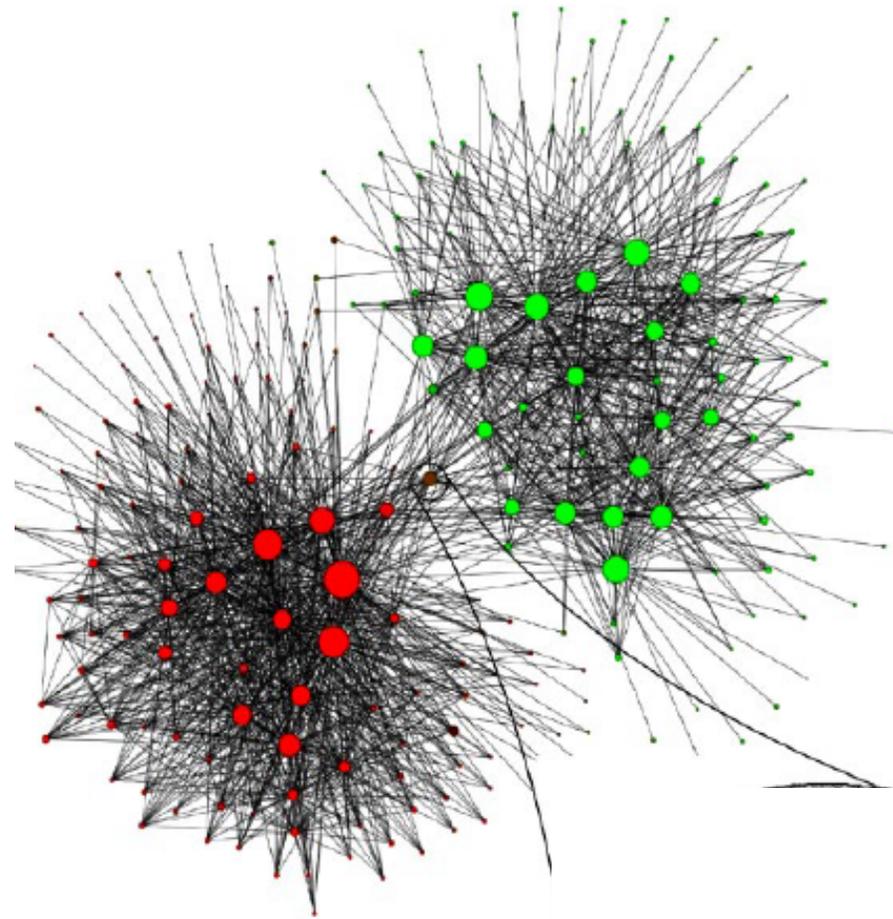
Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Comunità

Ricerca di gruppi coesivi



Comunità e reti



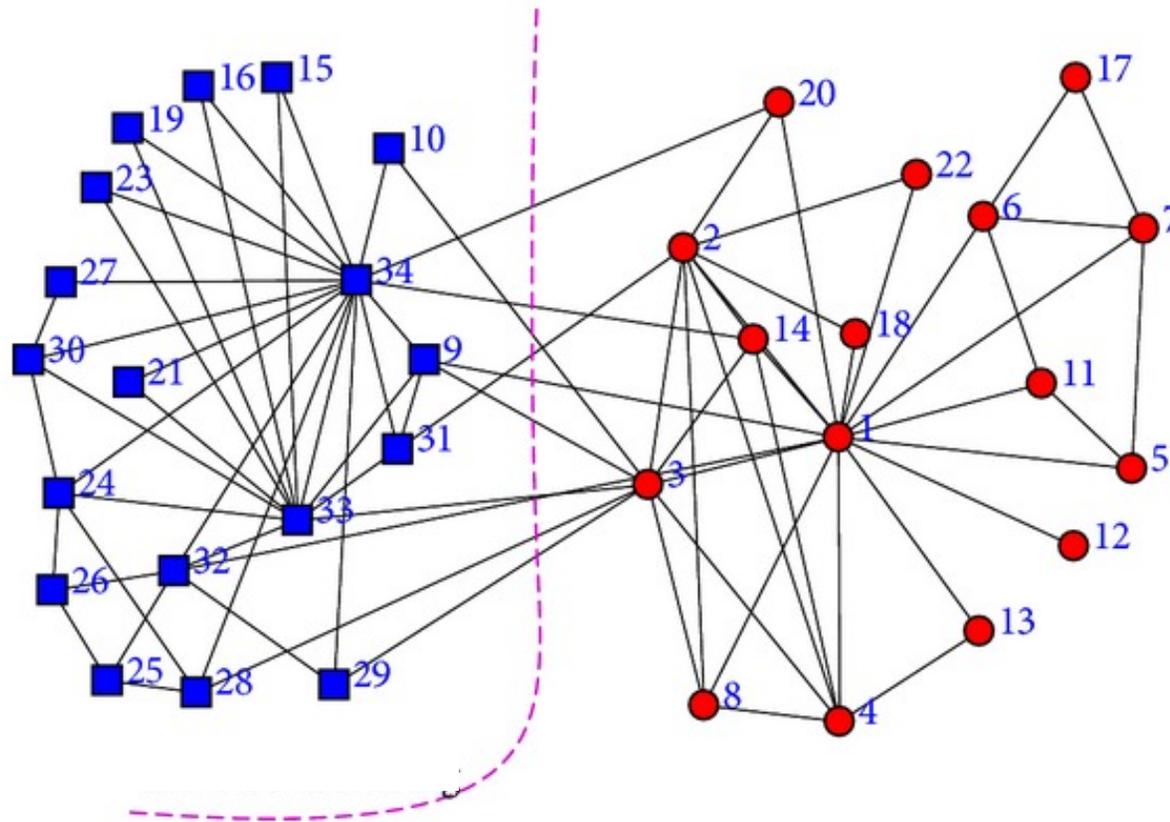
Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Comunità e reti

- **Comunità:** insieme di nodi che hanno una probabilità maggiore di essere connessi tra loro rispetto ad altri nodi
- **Reti sociali:** lavoratori di una stessa azienda, gruppi di amici,...
 - ▣ Es. *Zachary's Karate Club*
- **Reti biologiche:** interazioni tra elementi della rete
 - ▣ Proteine coinvolte nella stessa malattia e loro interazioni

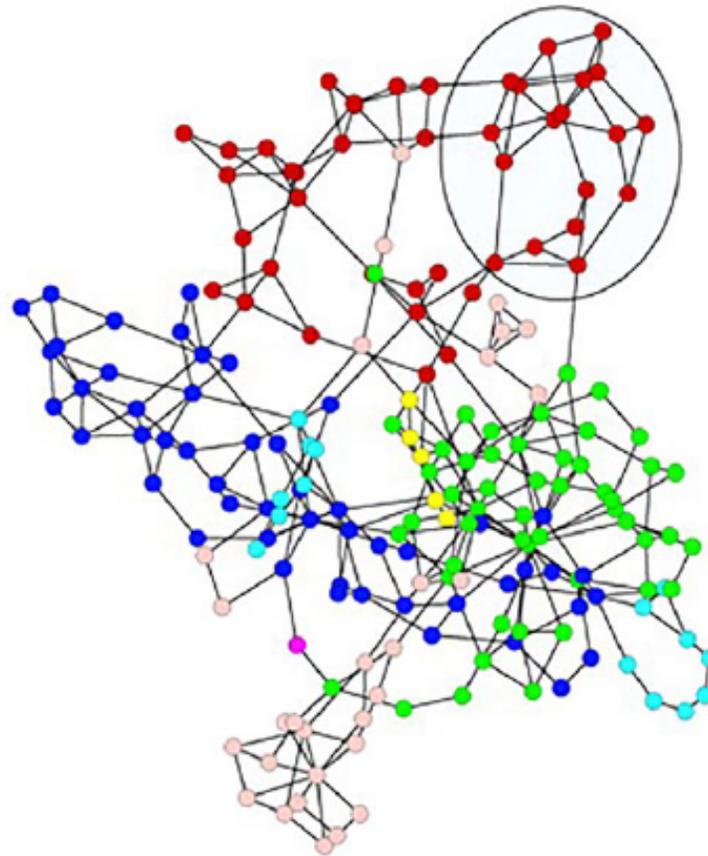


Comunità



Da Wu et al, 2013, researchgate.net

Reti metaboliche: *e. coli*



Definizione di comunità

- Una comunità è un sottografo:
 - Connesso
 - Denso
- Esistono **diversi modelli** di sottografo con queste proprietà



Cricca

- Cricca: gruppo di nodi ognuno in relazione con l'altro



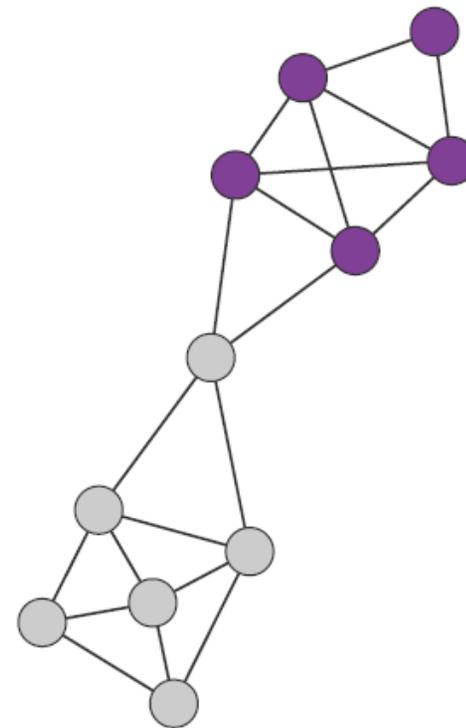
Sottografo completo

- **Sottografo completo:** gruppo di nodi ognuno in relazione con l'altro
- La definizione rispetta la richiesta di **densità e connessione**
- Tuttavia
 - ▣ La definizione è **molto restrittiva:** non necessariamente sono presenti tutti i collegamenti
 - ▣ **Difficoltà** di individuare sottografi completi



Comunità forte

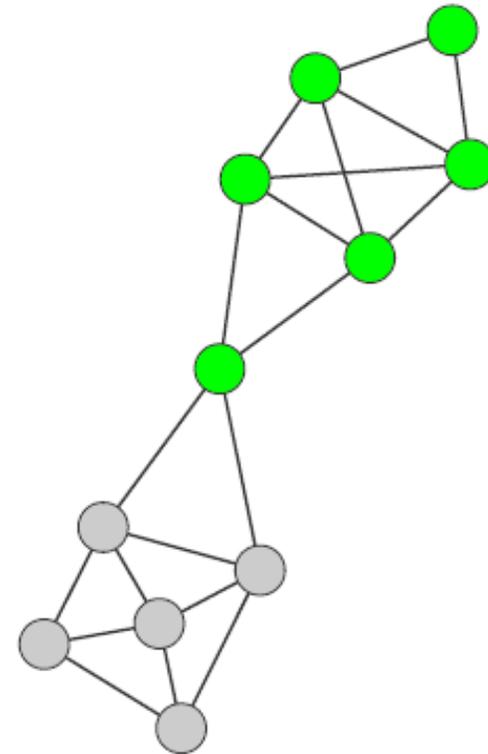
- **Comunità forte:** ogni nodo della comunità ha più collegamenti verso nodi della comunità che verso il resto del grafo



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Comunità debole

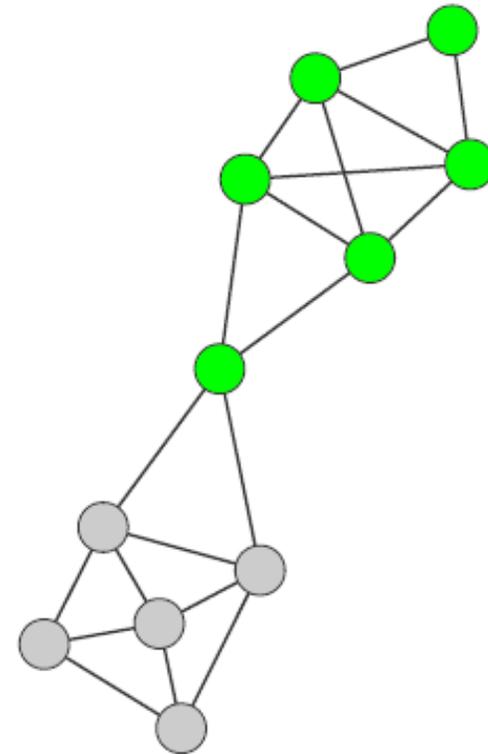
- **Comunità debole:**
ogni nodo della comunità ha almeno lo stesso numero di collegamenti verso nodi della **comunità** che verso il resto del grafo



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Comunità debole

- **Comunità debole:** i collegamenti complessivi **interni** alla comunità sono maggiori di quelli **verso l'esterno**



Da A. L. Barabasi, *Network Science*

Clustering gerarchico

- Per la scomposizione di una rete in comunità:
clustering gerarchico
- Il dato di partenza è una matrice di similarità tra nodi
- Identificazione iterativa di gruppi simili
 - ▣ Procedura agglomerativa
 - ▣ Procedura divisiva

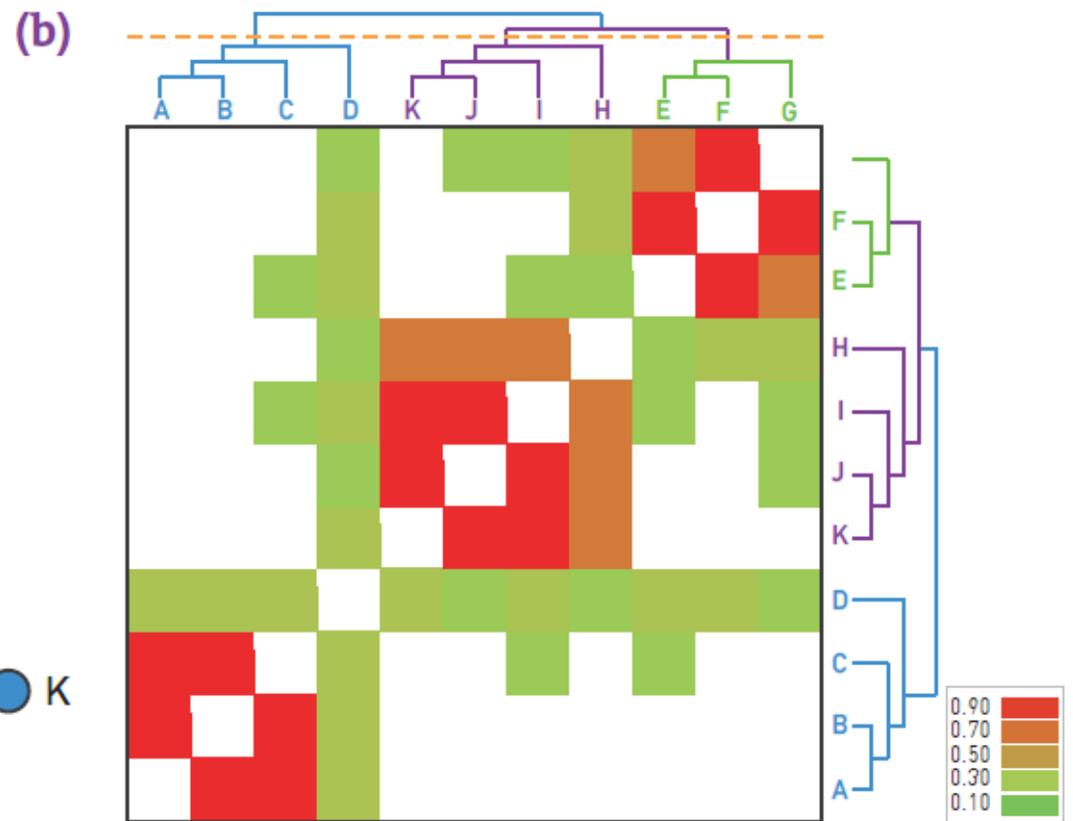
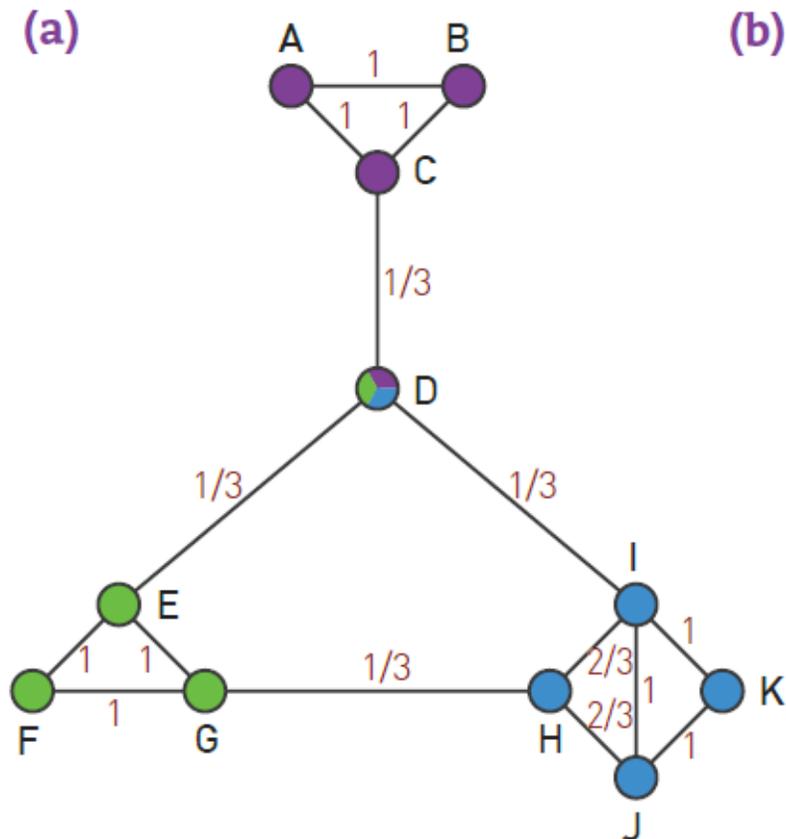


Clustering gerarchico

- Procedura agglomerativa: identificazione di coppie di nodi simili e fusione in un unico nodo
- Per valutare la similarità: matrice di similarità e calcolo della similarità media
- Processo iterativo: fino a una selezione
- Definizione del punto in cui si formano le comunità



Clustering gerarchico

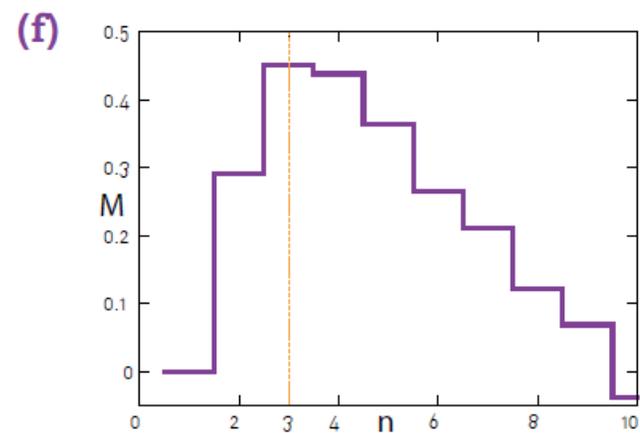
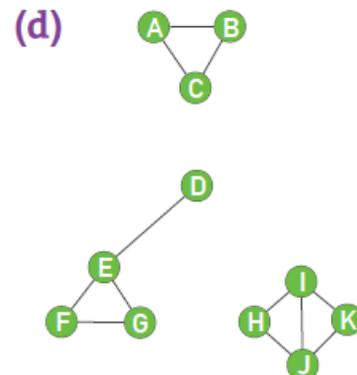
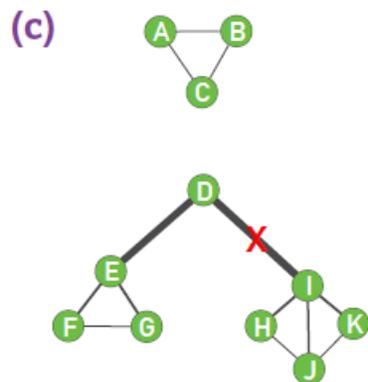
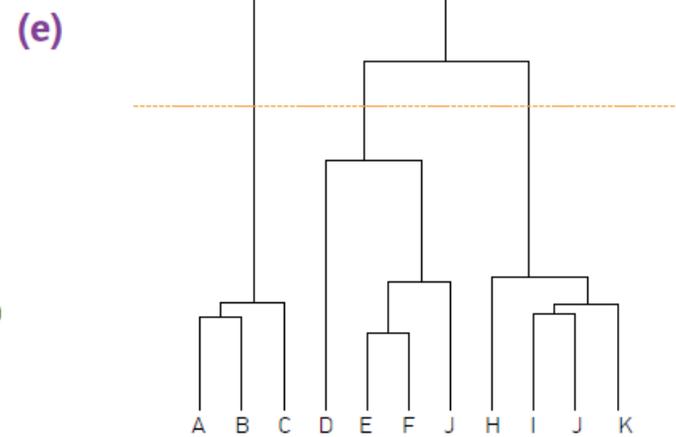
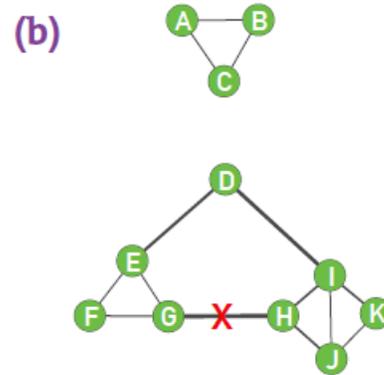
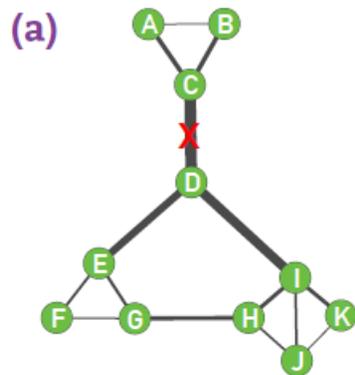


Clustering gerarchico

- Procedura divisiva: identificazione di coppie di nodi differenti e separazione per rimozione di archi
- Scelta di misure di centralità nella divisione
- Processo iterativo: terminazione con la rimozione completa degli archi



Clustering gerarchico



Clustering gerarchico: limiti

- Il clustering gerarchico ha due limiti:
 - ▣ Comunità contenute in comunità più grandi
 - ▣ Le comunità sono debolmente collegate con altri nodi: gli hub sono collegati a tutti i nodi

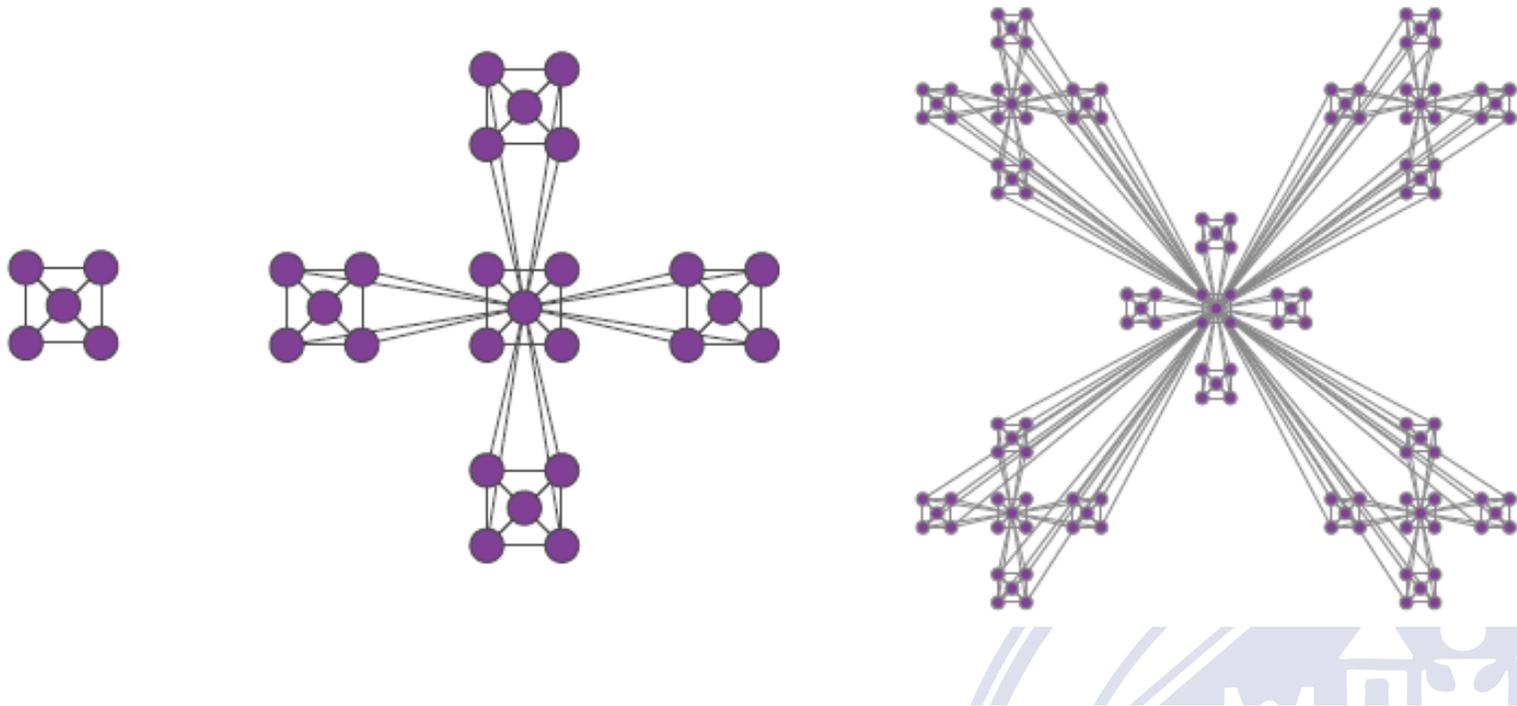


Clustering gerarchico: limiti

- Il clustering gerarchico ha due limiti:
 - ▣ Comunità contenute in comunità più grandi
 - ▣ Le comunità sono debolmente collegate con altri nodi: gli hub sono collegati a tutti i nodi
- Per superare questa limitazione: **modello di rete gerarchico**



Clustering gerarchico: limiti



Propagazione

Diffusione su una rete



Propagazione su una rete

- Le reti sono strumenti per lo studio della **propagazione di**
 - ▣ Un'infezione si trasmette tra due individui che entrano in contatto
 - ▣ Il passaparola avviene tra persone che sono in relazione



Modello a soglia

- **Tasso di diffusione:** probabilità di propagazione sulla rete
- **Il modello a soglia** si basa sulla definizione di un valore (**soglia**)
- **Soglia critica:** valore che determina la propagazione



Reti ed epidemiologia

- Considerando la topologia:
 - ▣ Gli elementi con **più collegamenti** hanno una maggior probabilità di essere raggiunti dall'epidemia
 - ▣ Gli **hub** hanno una **probabilità maggiore** di essere infettati
- L'infezione degli hub provoca il **propagarsi** dell'infezione



Propagazione e modelli di rete

Rete casuali

- **Soglia critica**
 - ▣ Al di sotto propagazione non si espande
 - ▣ Al di sopra si espande senza controllo

Rete a invarianza di scala

- Propagazione legata al raggiungimento degli hub

