

Progettazione di Sistemi di Controllo

# Tecniche distribuite per *trust management* in WSN

Docente: prof. Luca Schenato



DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING  
UNIVERSITY OF PADOVA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione  
Padova

Nicola Chesini  
Stefano Ermon  
Giampietro Marcolin

# Sommario

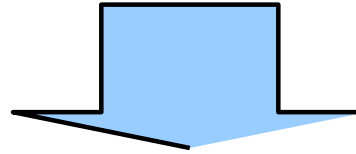
---

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › *Local Voting Rule*
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - › Reti statiche
  - › Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni



# Autonomic networks

Crescita esplosiva networking



Nuovi tipi di reti: WSN, P2P, MANETs

## Caratteristiche:

- Decentralizzate
- Self-organizing
- Autonome
- No supervisors

## Vantaggi:

- Meno infrastruttura
- Minori costi
- Maggiore robustezza
- Buone prestazioni

## • Introduzione

### • Stato dell'arte

‣ Topologie

‣ *Local Voting Rule*

‣ Modello di Ising

### • Analisi teorica

### • Analisi simulativa

‣ Reti statiche

‣ Reti dinamiche

### • Studio implementabilità

### • *Reputation propagation*

### • Conclusioni

# Trust management

## • Introduzione

### • Stato dell'arte

‣ Topologie

‣ *Local Voting Rule*

‣ Modello di Ising

### • Analisi teorica

### • Analisi simulativa

‣ Reti statiche

‣ Reti dinamiche

### • Studio implementabilità

### • *Reputation propagation*

### • Conclusioni

## Problema:

La costruzione e l'aggiornamento delle relazioni di affidabilità tra i nodi

## Applicazioni:

- Decision making di vari protocolli
- Difesa rete da attacchi esterni
- Stimolo per la collaborazione fra i peers

## Approccio distribuito:

No server centrale che gestisce l'affidabilità ma tecniche basate su interazioni locali tra i nodi

# Topologia della rete di *trust*

## Proprietà di una rete reale generica

1. Coefficiente di raggruppamento elevato
  2. Diametro medio piccolo
  3. Il numero di vicini varia secondo una legge esponenziale
  4. Il numero complessivo di nodi è variabile nel tempo
- } *small-world*

• Introduzione

• Stato dell'arte

‣ Topologie

‣ *Local Voting Rule*

‣ Modello di Ising

• Analisi teorica

• Analisi simulativa

‣ Reti statiche

‣ Reti dinamiche

• Studio  
implementabilità

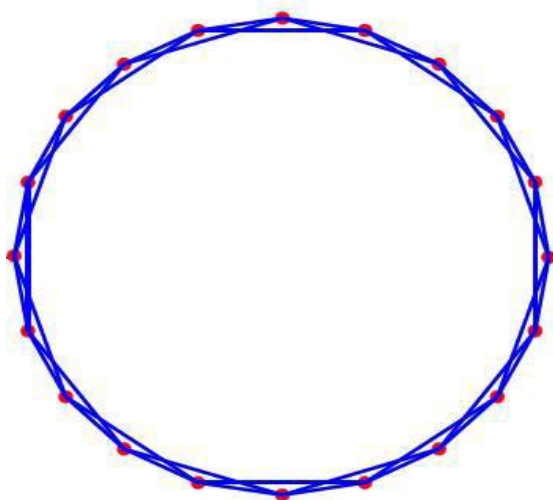
• *Reputation  
propagation*

• Conclusioni

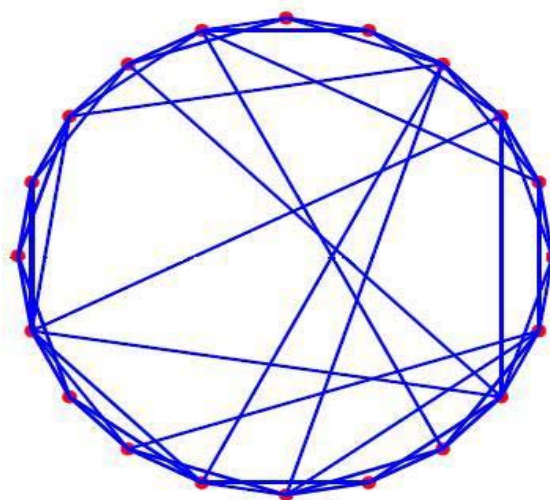
# Topologia della rete di *trust*

## L'algoritmo che implementa il *WS model*

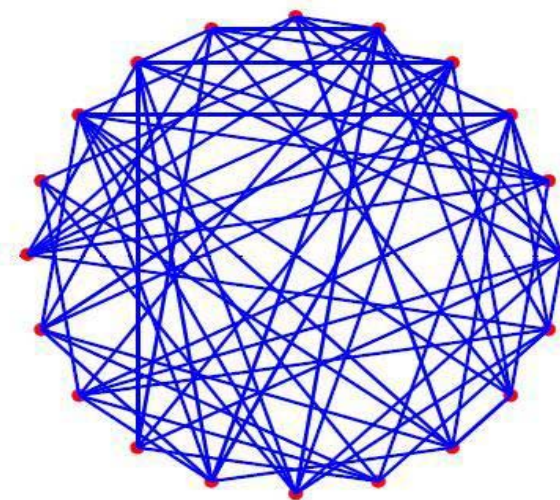
- Parametri di input :  $N$  ,  $k$  e  $p_{rw}$
- Costruzione di un *regular lattice* dati  $N$  e  $k$
- Operazione di *rewire* dato  $p_{rw}$



$p_{rw} = 0$   
Regular lattice



$p_{rw} = 0.1$   
Small-world



$p_{rw} = 1$   
Random graph

• Introduzione

• Stato dell'arte

‣ Topologie

‣ *Local Voting Rule*

‣ Modello di Ising

• Analisi teorica

• Analisi simulativa

‣ Reti statiche

‣ Reti dinamiche

• Studio implementabilità

• *Reputation propagation*

• Conclusioni

# Stato dell'arte

## Approccio di J. Baras e T. Jiang

- Basato su:
  1. *Trust evaluation in Anarchy: A case study on autonomous networks, Infocom 2007*
  2. *Security and Trust for Wireless Autonomic Networks, European Journal of Control, 2007*
- Trattazione con solide basi teoriche e matematicamente molto elegante, ispirato al modello di Ising
- Unico studio analitico delle prestazioni dell'algoritmo in un contesto dove le soluzioni sono valutate per via simulativa

- Introduzione
- **Stato dell'arte**
  - Topologie
  - Local Voting Rule
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

# Definizione problema

## Modello:

- Grafo  $G(V,E)$ , dove gli archi rappresentano il grado di affidabilità tra i nodi
- Vettore reale di trust  $T$
- Vettore di trust stimato  $S$

## Dati disponibili:

$c_{ij}$ , voto dato dal nodo  $i$  al nodo  $j$ , il cui significato dipende dal contesto

## Obiettivo: $S=T$

## Limitazioni:

le interazioni devono essere locali

- Introduzione
- **Stato dell'arte**
  - Topologie
  - Local Voting Rule
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni



# Local voting rule

*Valutazione affidabilità di un nodo target  $i$  avviene con una votazione locale, secondo questa regola:*

- Scelta del nodo target  $i$  in modo asincrono random
- Calcolo di  $m_i = \sum_{j \in N_i} (c_{ji} + c_{ij}) s_j$
- Aggiornamento stima affidabilità di  $i$  secondo la probabilità

$$Pr[s_i(k+1) | m_i(k)] = \frac{e^{b s_i(k+1)(m_i(k) - \eta)}}{Z_i(k)}$$

➡ Diventa un sistema dinamico a cui associamo una catena di Markov dove  $S$  rappresenta lo stato

- Introduzione
- **Stato dell'arte**
  - Topologie
  - Local Voting Rule
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- Reputation propagation
- Conclusioni

# Local voting rule

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › Local Voting Rule
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - › Reti statiche
  - › Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- Reputation propagation
- Conclusioni

## Teorema:

Esiste un'unica densità di probabilità asintotica associata alla catena di Markov, definita come

$$\pi_S = \frac{e^{bU(S)}}{Z}$$

Energia: 
$$U(S) = \sum_{(i,j) \in E} (c_{ij} + c_{ji}) s_i s_j - \eta \sum_{i \in V} s_i$$



*Metrica principale:*

$$P_{correct} = \mathbf{E} \left[ 1 - \frac{\|SS - T\|_1}{2N} \right]$$

# Parallelismo con Ising Model

- Introduzione
- **Stato dell'arte**
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

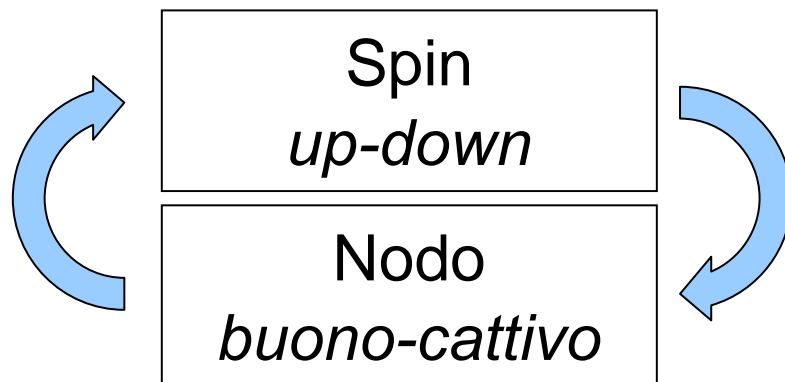
## Ising model:

- Modello ideato per studiare materiali ferromagnetici posti in un campo magnetico esterno  $H$
- Studia come interazioni locali tra bit di informazione (spin o altro) diano luogo a effetti collettivi

- Definizione di un'energia: 
$$E(S) = - \sum_{i,j} J_{ij} S_i S_j - mH \sum_i S_i$$

- Distribuzione di Boltzmann: 
$$Pr[S] = \frac{e^{\frac{-1}{kT} E(S)}}{Z}$$

## Parallelismo:



### *Equivalenza parametri*

$$c_{ij} + c_{ji} = J_{ij}$$
$$b = \frac{1}{kT}$$
$$\eta = -mH$$

# Approccio teorico

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- **Analisi teorica**
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

- Notevole influenza dei parametri  $b$  ed  $\eta$
- $\eta$  è associabile al campo magnetico esterno del modello di Ising, e determina un orientamento privilegiato
- Sembra plausibile la scelta neutrale  $\eta=0$ , ma in realtà:

## **Teorema:**

Qualunque siano  $T, b, p_e$ , e per ogni topologia della rete, se  $\eta=0$  allora  $P_{correct} = 0.5$

➡ Nel caso di *virtuous network*, è come lanciare una moneta!

# Disaccordo simulazioni e teoria

Le simulazioni proposte in [1]  
**non concordano**  
con il precedente teorema!!!

## Motivo:

Calcolare numericamente  $\pi_s$  in modo diretto é computazionalmente intrattabile perché esponenziale sul numero di nodi

## Alternativa:

Costruire una catena di Markov con  $\pi_s$  come distribuzione stazionaria e utilizzare il *metodo Montecarlo*

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › *Local Voting Rule*
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - › Reti statiche
  - › Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

# Metodo Montecarlo

## Algoritmo:

- Si inizializza stato  $S(0)$
- Si fa evolvere il sistema per  $n^*$  iterazioni
- Per  $n^*$  abbastanza grande si assume di aver raggiunto la distribuzione stazionaria  $\pi_S$
- Si fa una media temporale che per ergodicità coincide al limite con quella statistica

$$\mathbf{E}_{\pi_S}[f(S)] = \sum_S f(S)\pi_S = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f(S(n^* + i))$$

➡ Per valori di  $b$  alti (temperature basse) la catena diventa sempre meno **ergodica!**

➡ Con quale risultato confrontarsi?

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

# Scelta di $\eta$ ottimo

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni


- Se la rete è composta da pochi nodi, oppure ha tempi di vita molto lunghi, ha senso confrontarsi col risultato asintotico.
- Si può fare meglio di  $P_{correct} = 0.5$  (caso  $\eta=0$ ) ?
  - ↳ Sì, se è nota a priori la percentuale di nodi buoni  $p$

## Teorema:

In una rete strutturata come *lattice 2D con periodic boundaries*, supponendo che i nodi cattivi attribuiscano voti contrastanti

$$P_{correct}(b, \eta, p) = P_{correct}(b, -\eta, 1-p)$$

## Problema:

determinare  $\eta_{ott} = \arg \max_{\eta} P_{correct}(b, \eta, p)$    $P_{correct} \approx 1$

# Analisi simulativa

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

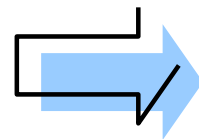
## **Ipotesi**

Numero di nodi elevato,  $N$  grande

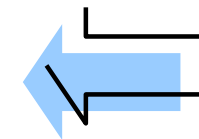
## **Conseguenze**

➤  $P_{correct}$  va calcolata con il *metodo Montecarlo*

➤ Per avere una buona approssimazione di  $P_{correct}$  è necessario avere  $n^*$  ed  $M$  troppo elevati



## ***TRADE - OFF***



- buona approssimazione di  $P_{correct}$
- valori di  $n^*$  ed  $M$  non ottenibili nelle applicazioni



# Reti statiche

## Nuova metrica per valutare le prestazioni

$$\bar{P}_{correct} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{st}} \sum_{i=1}^M \left[ 1 - \frac{\|S(n^* + i) - T\|_1}{2N} \right]}{n_{st}M}$$

- $\|S(n^* + i) - T\|_1 = \sum_{i \in V} |s_i - t_i|$  all'iterazione  $n^* + i$

- $n_{st}$  è il numero di stati iniziali di  $S$  su cui si media

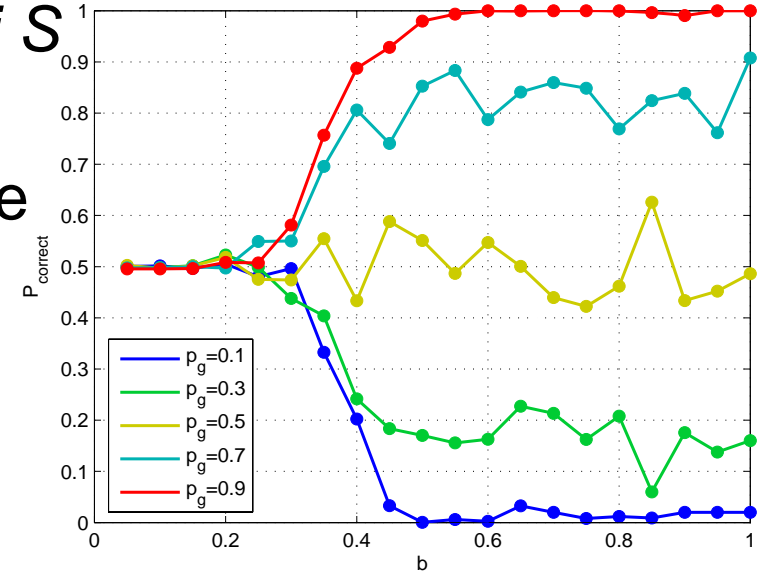
- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - **Reti statiche**
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

# Virtuous network

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - Local Voting Rule
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- Reputation propagation
- Conclusioni

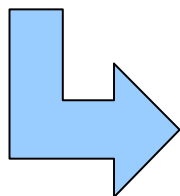
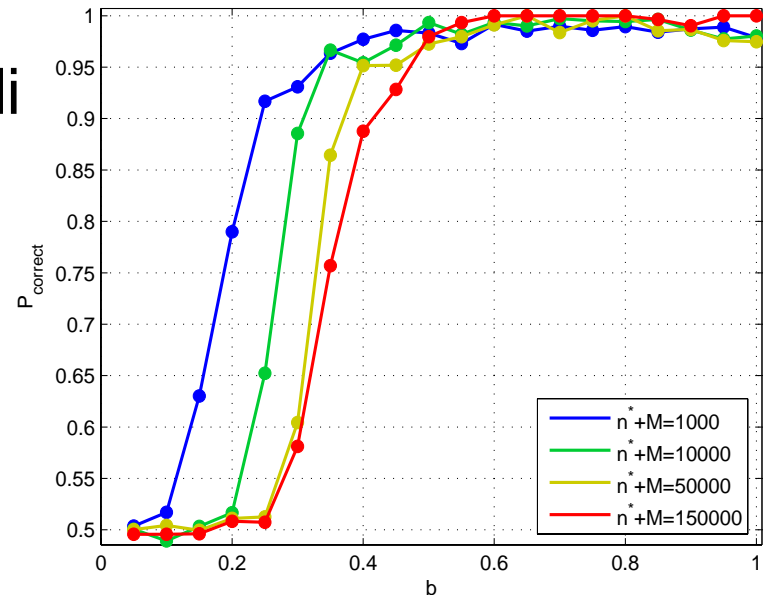
➤ *Influenza dello stato iniziale di  $S$*

↑  $p_g \longrightarrow$  migliore prestazione a regime



➤ *Influenza di  $n^* + M$*

↑  $n^* + M \longrightarrow$  la transizione di fase si sposta verso destra



Viene confermato il teorema

# Generalizzazione *virtuous network*

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › *Local Voting Rule*
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - › **Reti statiche**
  - › Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

➤ *Rete con nodi buoni ma errori nei voti ( $p_e$ )*

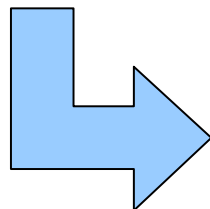
↑  $p_e$  → la prestazione degrada

➤ *Rete con nodi anche cattivi ( $p_m$ )*

la prestazione dipende dal comportamento dei nodi cattivi

➤ *Influenza della topologia (variazioni di  $p_{rw}$  e  $k$ )*

↑  $p_{rw}$  e ↑  $k$  → la prestazione migliora



Viene confermato quanto già detto in [1]

# Reti dinamiche

## Nuova metrica per valutazione prestazioni

$$\hat{P}_{correct}(n) = \frac{\sum_{j=1}^{n_{st}} \left[ 1 - \frac{\|S(n) - T(n)\|_1}{2N} \right]}{n_{st}}$$

- $\|S(n) - T(n)\|_1 = \sum_{i \in V} |s_i - t_i|$  all'iterazione  $n$

- Si media solo su diversi stati iniziali di  $S$

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - Reti statiche
  - **Reti dinamiche**
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

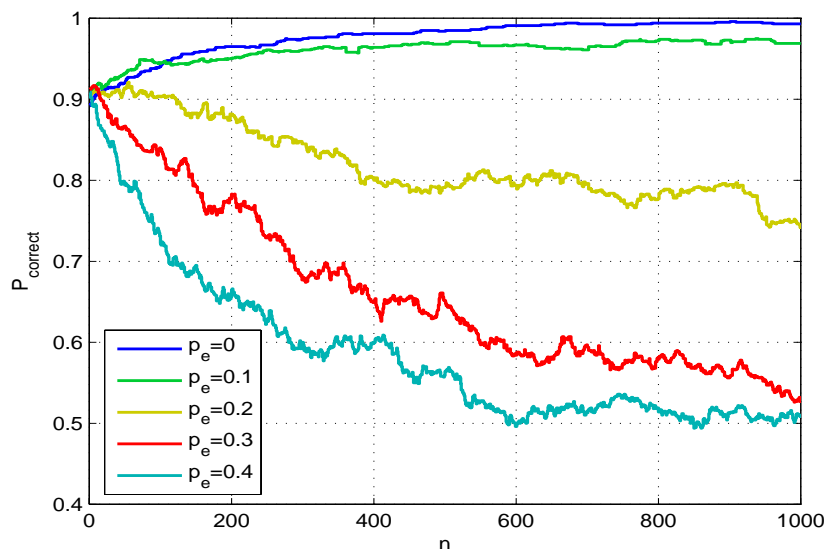
# Voti $c_{ij}$ tempo-varianti

## Teorema:

Esiste una densità di probabilità  $\pi_{SC}$  a regime

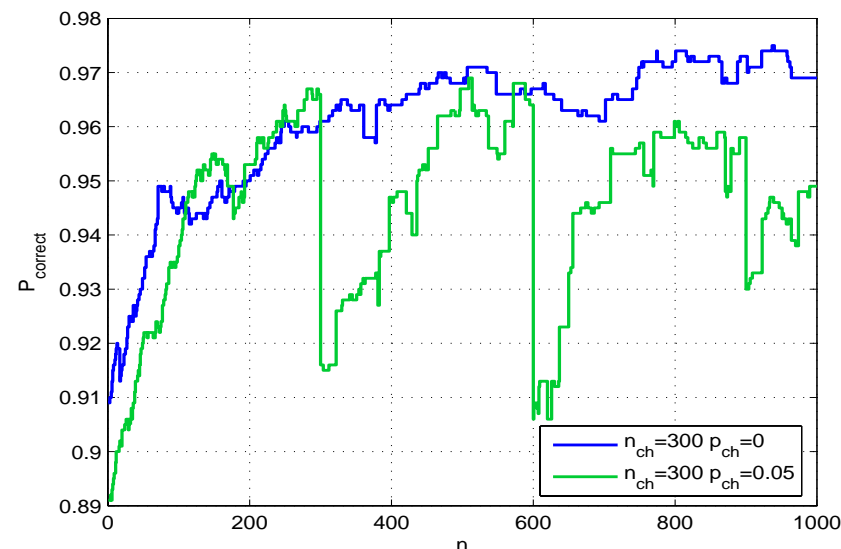
I  $c_{ij}$  possono essere tempo-varianti per due motivi:

$p_e \neq 0$



$\uparrow p_e \longrightarrow$  la prestazione degrada

variazioni in  $T$



ogni  $n_{ch}$  istanti la prestazione diminuisce notevolmente

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - Local Voting Rule
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - Reti statiche
  - **Reti dinamiche**
- Studio implementabilità
- Reputation propagation
- Conclusioni

# Ritardi aleatori e perdita pacchetti

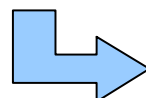
- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › *Local Voting Rule*
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - › Reti statiche
  - › Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

- *Si traduce in ritardi e perdita dei voti  $c_{ij}$*
- *Ipotesi:*
  - trasmissione di tutti i  $c_{ij}$  ad ogni istante
  - ogni sensore memorizza gli ultimi  $n_{mem}$  voti  $c_{ij}$  generati

- *Implementazione:*

$$\lambda = [\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_n]$$

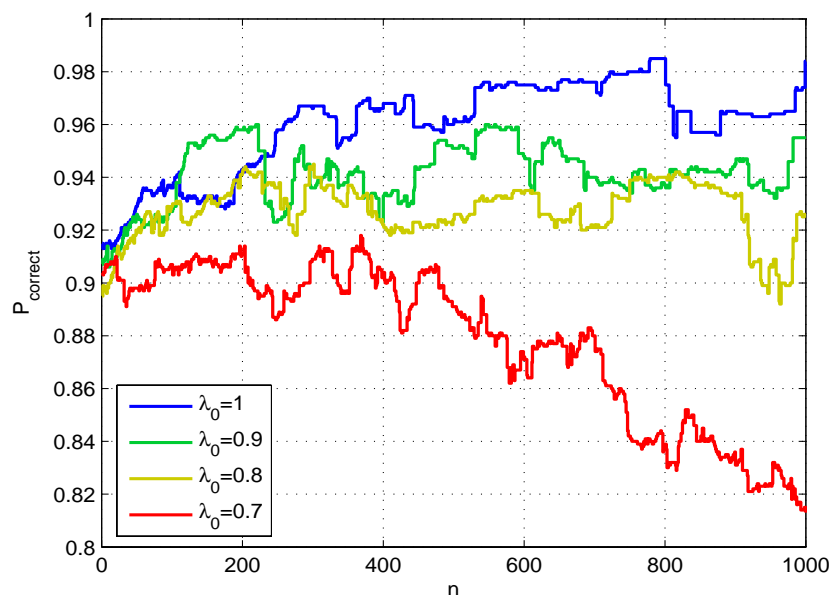
- $\lambda_i = \mathbb{P}[\tau \leq i + 1]$  e  $dim(\lambda) = L_\lambda$ , finito
- $\tau$  è il ritardo con cui arriva il pacchetto  $\longrightarrow \tau_{ij}(n), \forall (i, j) \in E$


$$\tau_{max} = L_\lambda - 1 \quad \lambda_{loss} = 1 - \lambda_n$$

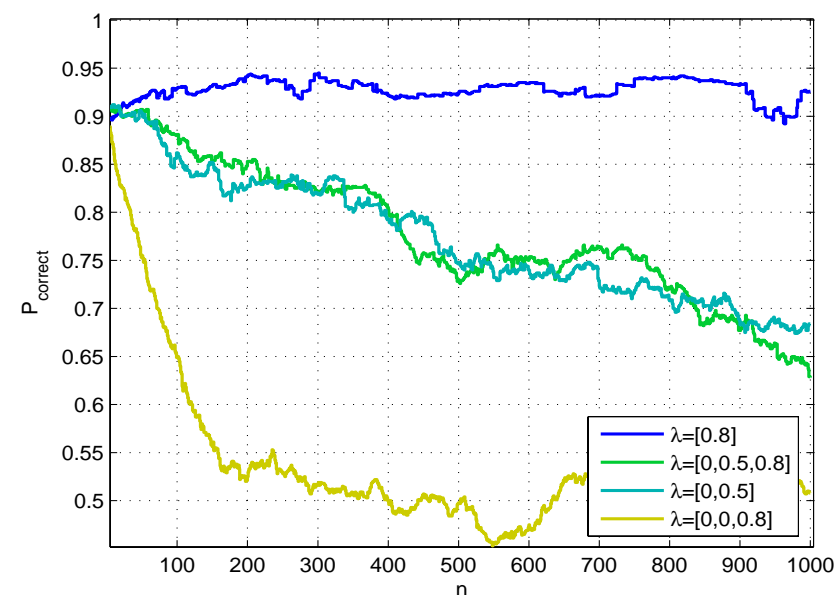
# Ritardi aleatori e perdita pacchetti

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - Local Voting Rule
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- **Analisi simulativa**
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- Reputation propagation
- Conclusioni

Perdita pacchetti  $\lambda = [\lambda_0]$



Ritardi aleatori  $\lambda = [\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_n]$



- $\downarrow \lambda_0 \longrightarrow$  la prestazione peggiora
- associabile a una diminuzione del numero di vicini

- se  $n_{mem} = \tau_{max}$  la prestazione dipende solo da  $\lambda_{loss}$
- altrimenti dipende anche dalla distribuzione  $\lambda$

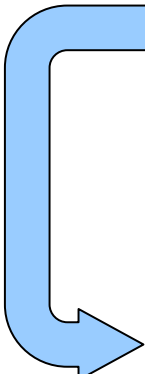
# Problemi implementativi

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › *Local Voting Rule*
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - › Reti statiche
  - › Reti dinamiche
- **Studio implementabilità**
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

➤ *Chi memorizza S?*

➤ *Chi effettua gli aggiornamenti su S?*

➔ **Proposta 1:**

 { Ogni nodo ha un suo S  
Tutti i nodi ottengono i voti di ogni votazione  
Effettuano aggiornamenti indipendenti

Esiste distribuzione stazionaria

$$\pi(S_c) = \frac{\prod_{j=1}^N e^{bU(S_j)}}{Z}$$

Aspetti negativi:

- Onere computazionale non è distribuito
- Utilizzo consistente di memoria
- Occupazione consistente di banda



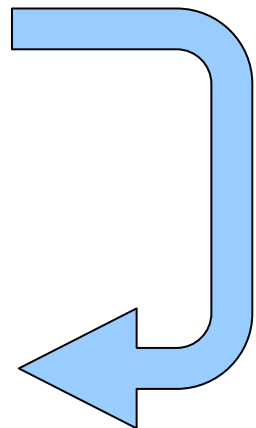
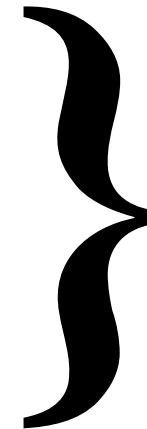
# Metodo alternativo

## Proposta 2

- Ogni nodo mantiene il valore di *trust* stimato dei vicini e dei vicini dei suoi vicini
- Si può realizzare in modo che la comunicazione sia solo locale:

Votazione nodo  $i$ -esimo:

- I vicini di  $i$  aggiornano il proprio  $S$  con la *voting rule* stocastica
- Passano il proprio  $m$  ai loro vicini
- Questi ultimi mediano gli  $m$  che hanno ricevuto e aggiornano  $S$



### Teorema:

Esiste una densità di probabilità a regime

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- Conclusioni

# Reputation propagation

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- **Reputation propagation**
- Conclusioni

## Definizioni:

$$\mathbf{s}_i(t) = [r_{1,i}(t), \dots, r_{i-1,i}(t), r_{i+1,i}(t), \dots, r_{N,i}(t)]$$

$$\mathbf{r}_j(t) = [r_{j,1}(t), \dots, r_{j,j-1}(t), r_{j+1,j}(t), \dots, r_{j,N}(t)]'$$

## Obiettivo:

fare in modo che tutti i nodi raggiungano la stessa opinione riguardo l'affidabilità di ogni altro nodo della rete

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{r}_j(t) = r_j^{SS} \mathbf{1}$$

## Procedura:

media pesata fra le opinioni che si hanno a disposizione

$$r_{ji}(t+1) = \sum_{k \in N_i(t)} w_{j,ik}(t) r_{jk}(t)$$

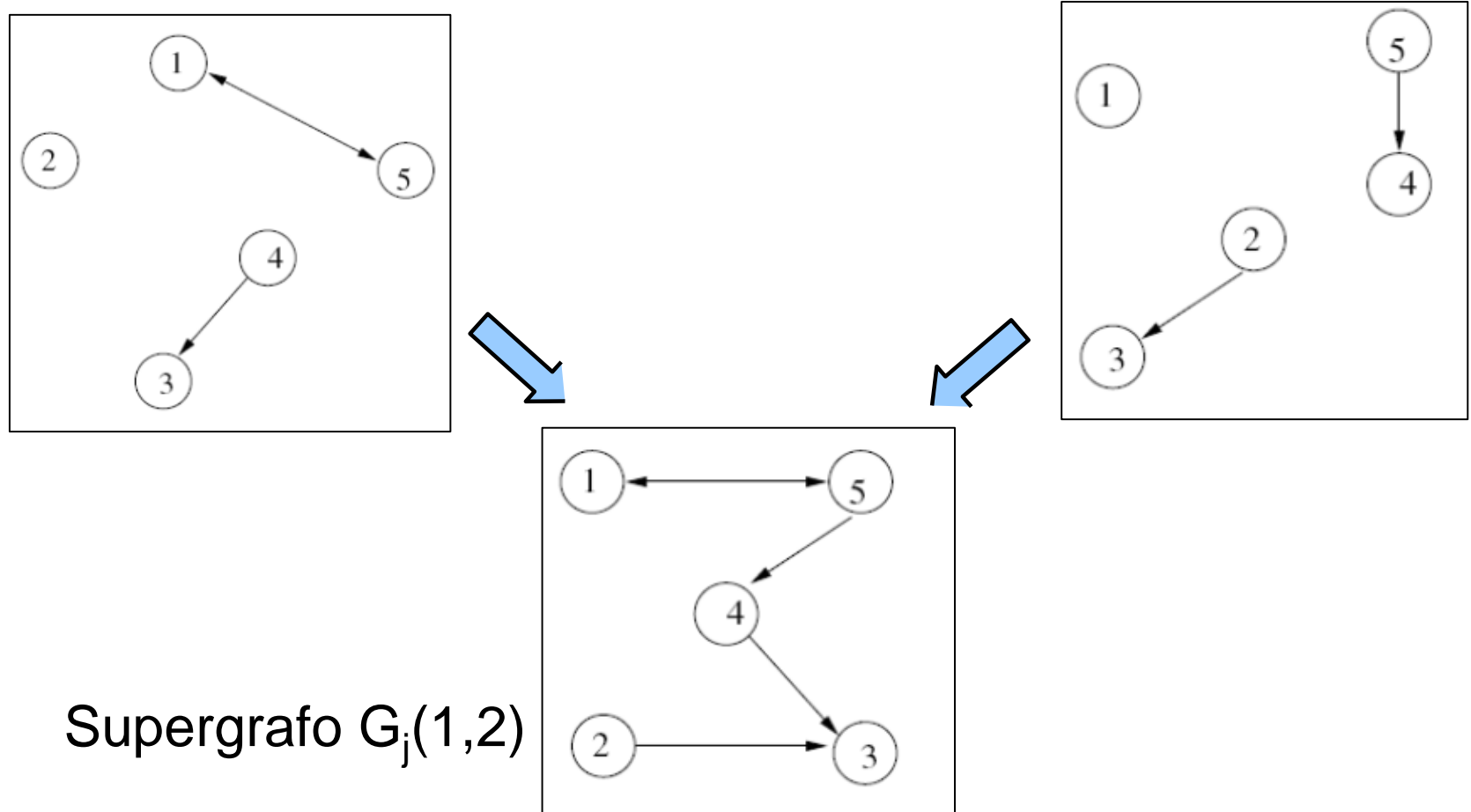
# Modello di aggiornamento

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › *Local Voting Rule*
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - › Reti statiche
  - › Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- **Reputation propagation**
- Conclusioni

➤ *Equazione di aggiornamento:*

$$\mathbf{r}_j(t+1) = \mathbf{w}_j(t)\mathbf{r}_j(t)$$

➤ *Rappresentazione tramite grafo:*



# Teorema: Reputation agreement

## Teorema:

Consideriamo la valutazione del nodo  $j$ , se per ogni istante  $t_1$  esiste un istante  $t_2 > t_1$  tale che il supergrafo  $G_j(t_1, t_2)$  sia fortemente connesso con *self-loop*, allora il sistema converge.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{r}_j(t) = r_j^{SS} \mathbf{1}$$

## Dimostrazione:

Si basa sulla teoria del consenso.

Si può vedere anche come sequenza di prodotti:

$$\mathbf{r}_j(t + 1) = \mathbf{w}_j(t) \mathbf{w}_j(t - 1) \dots \mathbf{w}_j(0) \mathbf{r}_j(0) = \mathbf{W}_j \mathbf{r}_j(0)$$

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- Reputation propagation
- Conclusioni

# Implementazione per WSN

## Operazioni dell'algoritmo:

- Vengono scelti  $n_{TX}$  e  $n_{RX}$
- $n_{TX}$  trasmette a  $n_{RX}$  anche il proprio vettore di trust  $\mathbf{s}_{n_{TX}}$
- Esecuzione dell'aggiornamento

$$r_{j,n_{RX}}(t+1) = \frac{r_{j,n_{RX}}(t) + r_{n_{TX},n_{RX}}(t)r_{j,n_{TX}}(t)}{1 + r_{n_{TX},n_{RX}}(t)}$$

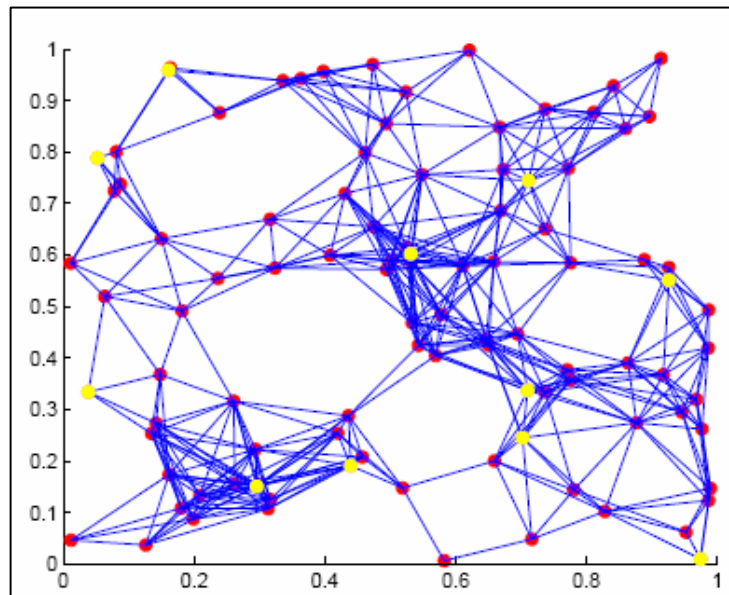
- non si esegue per la componente relativa a  $n_{TX}$
- non si esegue se una componente è zero
- se  $r_{j,n_{RX}} = 0$  mentre  $r_{j,n_{TX}} \neq 0$  il nodo ricevente memorizza la componente ricevuta senza mediare
- Ripetizione delle operazioni.

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - › Topologie
  - › *Local Voting Rule*
  - › Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - › Reti statiche
  - › Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- **Reputation propagation**
- Conclusioni

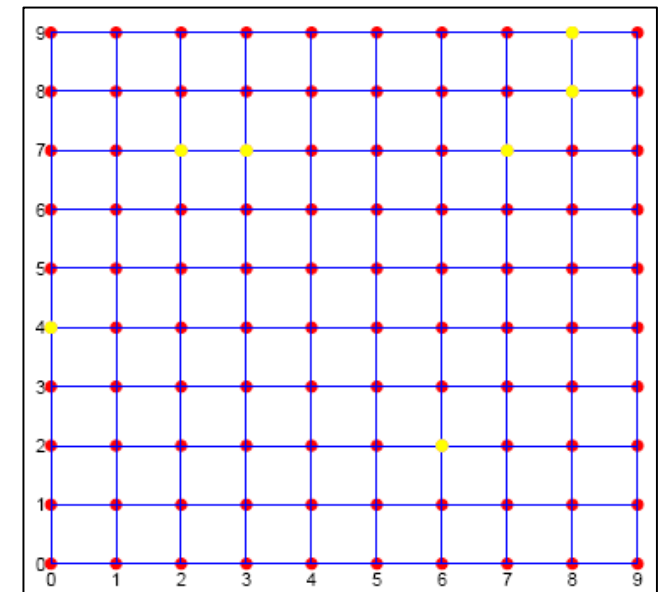
# Parametri caratterizzanti il modello

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- Reputation propagation
- Conclusioni

- Probabilità di errore  $p_e = \mathbb{P}[\text{round}(r_{ji}) \neq t_j]$
- Topologia



Grafo geometrico



Lattice 2-D

- Nodi cattivi:

$p_m$  = probabilità che il nodo sia cattivo  
loro comportamento

# Simulazioni

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- **Reputation propagation**
- Conclusioni

## Parametri per valutare le prestazioni:

- *Scarto dalla media:*

$$v_j(t) = \sum_{i \neq j} (r_{ji}(t) - m_j(t))^2$$

- *Probabilità che il vicino sia valutato correttamente:*

$$\begin{aligned} P_{correct}(t) &= 1 - \frac{\sum_i \sum_{j \in N_i} |\text{round}(r_{ij}(t)) - t_i|}{\sum_i |N_i|} \\ &= 1 - \frac{\text{numero di voti sbagliati}}{\text{numero totale di voti}} \end{aligned}$$

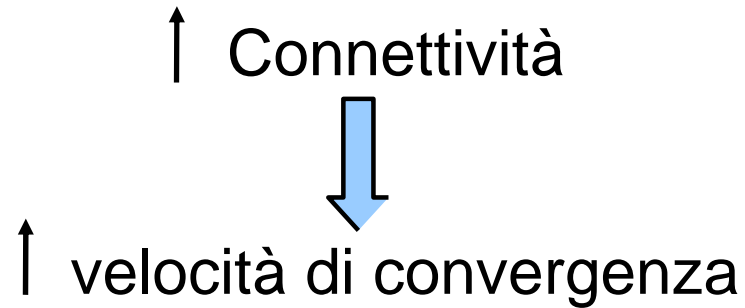
- *Numero di errori a regime:*

$$\text{numero di errori} = \sum_j |(\text{round}(r_j^{ss}) - t_j)|$$

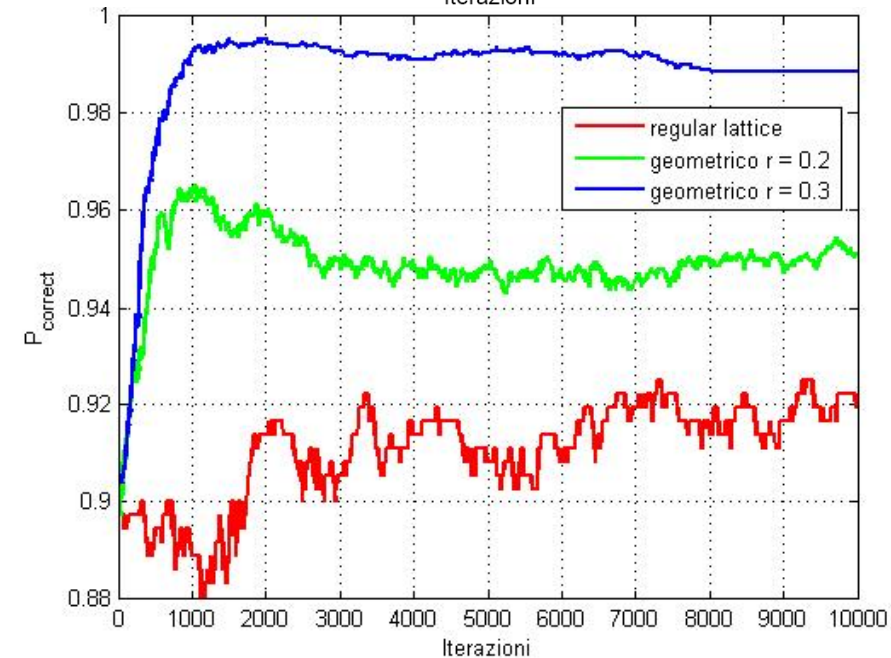
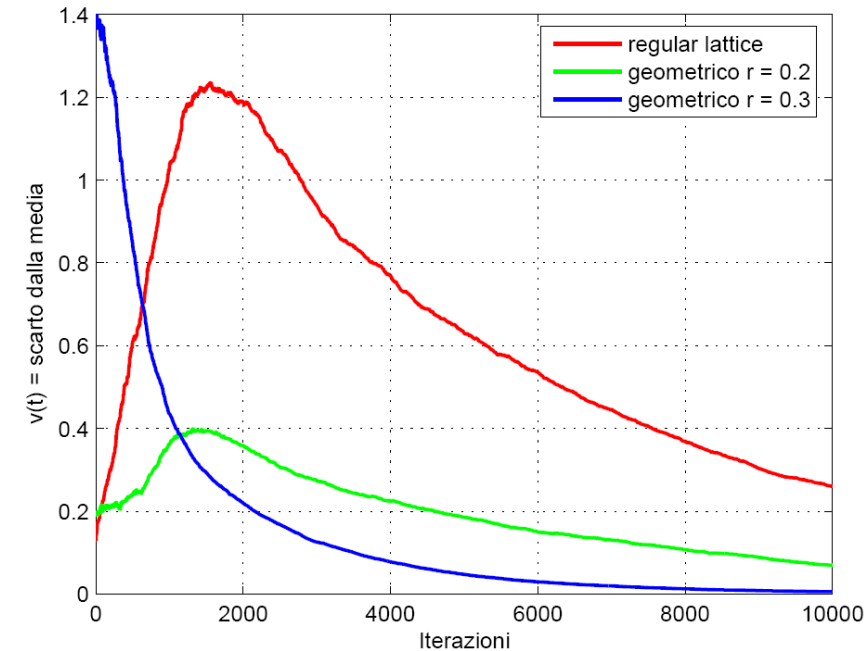
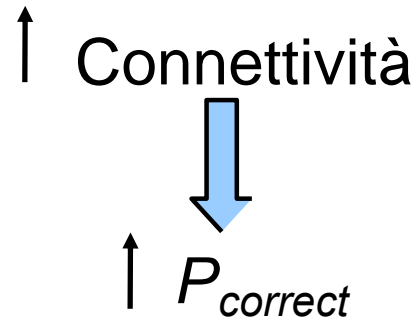
# Variazione della topologia

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- **Reputation propagation**
- Conclusioni

## ➤ Velocità di convergenza



## ➤ $P_{correct}$

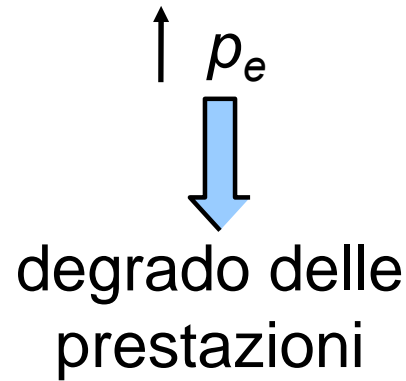




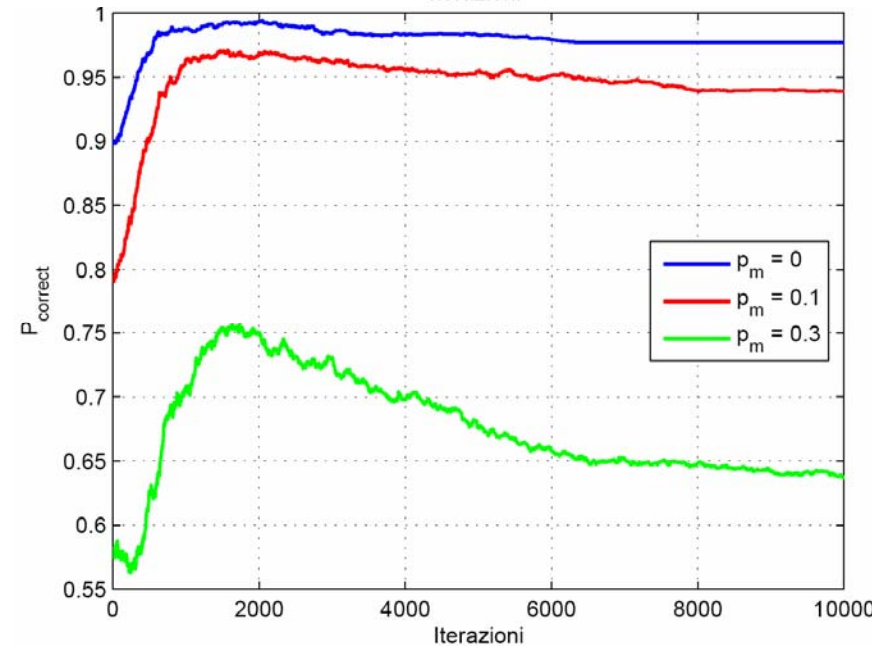
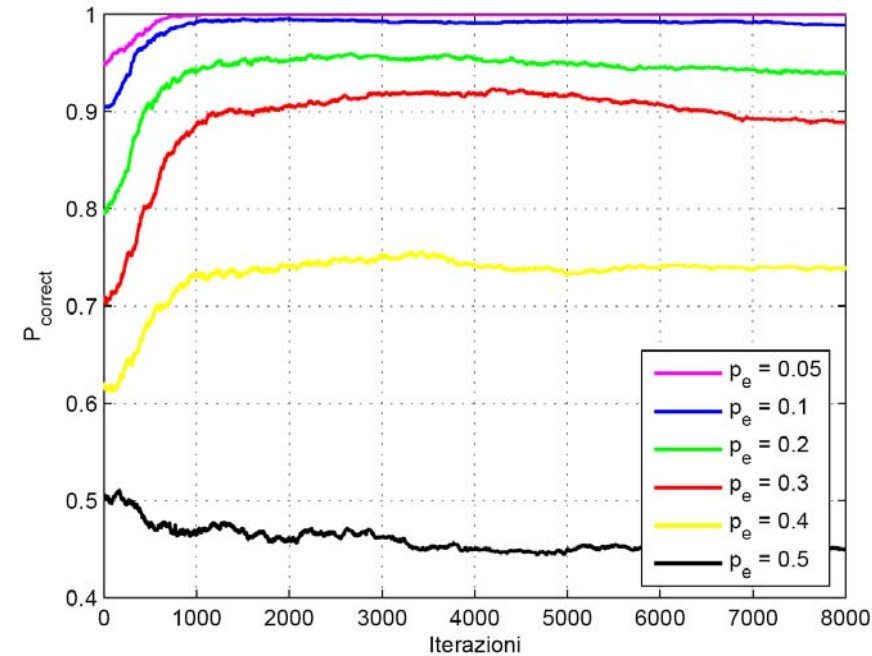
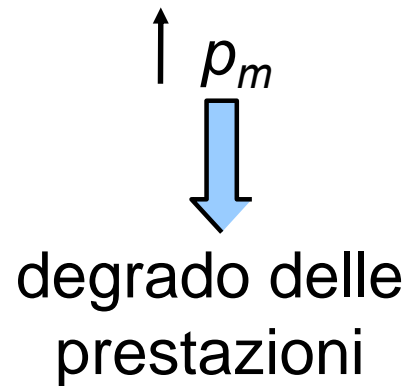
# Variazioni di $p_e$ e $p_m$

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- **Reputation propagation**
- Conclusioni

## ➤ Variazione di $p_e$



## ➤ Variazione di $p_m$



# Conclusioni

- Introduzione
- Stato dell'arte
  - Topologie
  - *Local Voting Rule*
  - Modello di Ising
- Analisi teorica
- Analisi simulativa
  - Reti statiche
  - Reti dinamiche
- Studio implementabilità
- *Reputation propagation*
- **Conclusioni**

- *Analisi teorica delle prestazioni:*
  - Discrepanza con i risultati simulativi
  - Forte dipendenza dai parametri
  - Possibilità di ottenere ottime prestazioni con un *tuning* efficace
- *Analisi simulativa statica e dinamica:*
  - Conferma intuitiva dei risultati teorici
  - Influenza di altri parametri sulle prestazioni
- *Implementabilità:*
  - Proposta di due tecniche
- *Reputation propagation*
  - Difficile integrazione
  - Tecnica a sé stante con prestazioni peggiori

# Possibili sviluppi futuri

- Introduzione

- Stato dell'arte

- Topologie

- *Local Voting Rule*

- Modello di Ising

- Analisi teorica

- Analisi simulativa

- Reti statiche

- Reti dinamiche

- Studio implementabilità

- *Reputation propagation*

- Conclusioni

- Ricerca della densità di probabilità  $\pi_{SC}$  con  $c_{ij}$  tempo-varianti
- Studio approfondito sulla reale implementabilità
- Variazione della topologia
  - Utilizzo del modello formulato da Klemm e Eguiluz
- Tecniche di esclusione dei nodi cattivi dalla rete

---

**FINE**