

# Studio di Mobile Ad-hoc Network come Sistema Complesso tramite l'utilizzo dell'ambiente di simulazione NetLogo

Andrea Sghedoni<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> MATR. 0000736038, Università di Bologna, Italia, Giugno 2015  
[andrea.sghedoni4@studio.unibo.it](mailto:andrea.sghedoni4@studio.unibo.it)

**Abstract.** Il seguente articolo descrive un'attività progettuale riguardante lo studio delle reti **Mobile Ad-hoc NETwork (MANET)**. Lo studio si sofferma soprattutto su come variano determinati aspetti della rete, in relazione alle configurazioni impostate inizialmente. Determinati settaggi dei nodi possono influire in maniera importante sui concetti di Connettività, Giant Component, Edge Density, Clustering Coefficient. L'ambiente di simulazione adottato per l'esperienza è *NetLogo*.

**Keywords:** MANET, Wireless Network, NetLogo

## 1 Introduzione

Una particolare tipologia di Wireless Mobile Network sono le Mobile Ad-hoc Network, comunemente definite con l'acronimo MANET. Queste non sono organizzate in modo centralizzato, la loro configurazione non prevede la presenza di access point e stazioni base. I nodi hanno la possibilità di comunicare direttamente l'uno con l'altro se e solo se sono l'uno nel range di propagazione radio dell'altro.

La prossimità fisica è dunque il requisito fondamentale per avviare la comunicazione tra i dispositivi coinvolti. Questi, muovendosi nello spazio in qualsiasi direzione, fanno sì che la topologia della rete si autoconfiguri e cambi continuamente nel tempo. Il grafo delle connessioni varia in continuazione, ma uno degli obiettivi principali delle MANET è mantenere la connettività, nonostante le numerose variazioni che la struttura della rete può subire.

Si ricorda che un grafo viene definito connesso se per ogni coppia scelta di nodi esiste un percorso che li collega.

Queste reti sono state pensate per situazioni in cui vi è la necessità di far comunicare diversi nodi, in modo veloce e spesso in ambienti ostili o in stati di emergenza.

Come ambiente programmabile per la parte di simulazione è stato scelto *NetLogo*, questo viene utilizzato per lo studio di sistemi complessi e come determinati fenomeni evolvono nel tempo.

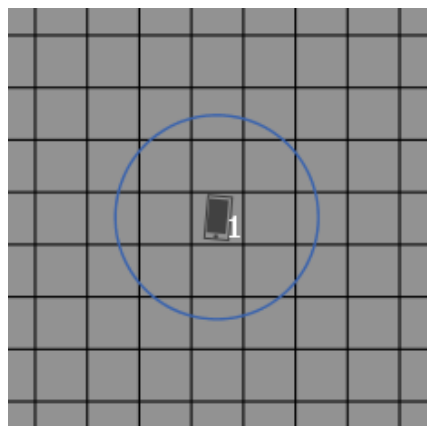
## 2 Parametri studiati in fase di simulazione

I parametri che si intendono studiare in fase di simulazione delle MANET sono i seguenti:

- *Connettività* : determinare se il grafo rappresentato dalle connessioni tra i device è connesso. Se tutti i nodi fanno parte di un'unica componente connessa, allora il grafo può essere definito connesso.
- *Giant Component* : se il grafo è connesso vi sarà un'unica componente contenete tutti i nodi della rete, altrimenti può essere utile sapere quanti dispositivi fanno parte del Giant Component (sottografo contenente la maggior parte dei nodi).
- *Edge Density* : si può definire come il rapporto tra numero di connessioni esistenti e numero di connessioni possibili, con questo parametro si possono fare supposizioni sul fatto che il grafo sia denso o sparso.
- *Clustering Coefficient (CC)* : determina in che misura i vicini di un particolare nodo, sono connessi tra loro.
- *Timestamp Distribution* : mostra l'istogramma dei timestamp delle connessioni attive e cancellate, riuscendo a determinare quante e se le connessioni rimangono attive per un periodo di tempo lungo.

## 3 Descrizione del modello

Il modello considerato è composto da un'area di movimento, su cui i nodi possono muoversi liberamente ed in qualsiasi direzione. Questa area è composta da 33x33 *patches* (concetto tipico di *NetLogo* che identifica la superficie su cui vivono gli agenti) che formano una struttura a toro. Su quest'area è stata disegnata logicamente una griglia composta da celle di forma quadrata, questo per facilitare l'azione di movimento dei device, che individuano uno dei quadrati vicini, come locazione futura (come mostrato in *figura 1*).



*Figura 1 | Nodo di una MANET in una porzione dell'area di movimento*

Ogni nodo ha un range di propagazione del segnale radio (come mostrato dalla circonferenza blu scura, sempre in *figura 1*), il quale viene utilizzato per determinare una possibile connessione con altri device.

Il range di propagazione massimo è stato impostato a 23 (raggio di circonferenza), con questo valore è possibile raggiungere ogni punto della superficie totale in cui risiedono i device.

Solitamente nelle reti ad-hoc che si stanno considerando, difficilmente i dispositivi hanno un range di propagazione che raggiunge ogni punto della rete.

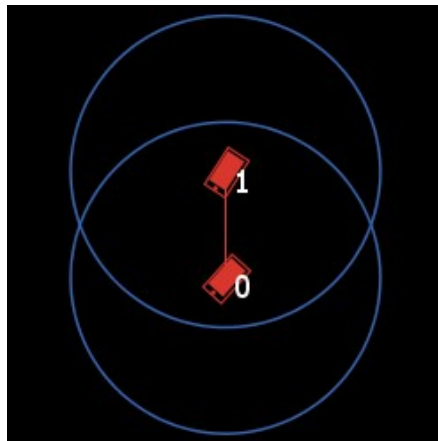
Nel modello è prevista anche la possibilità di impostare un numero massimo di connessioni che gli host possono avere, questo può essere scelto tra 1 (una sola connessione) e  $n-1$ , con  $n$  uguale al numero di device creati dall'utente.

Il numero di nodi che possono essere creati in una superficie del genere è stato impostato a 40, questo per avere un'interfaccia grafica fluida durante la simulazione, in quanto ogni host della rete deve fare una quantità di computazioni notevoli, come verrà illustrato in seguito.

### 3.1 Connettività

Due nodi sono potenzialmente comunicabili se sono l'uno dentro al range di propagazione dell'altro. Nel modello implementato, due nodi diventano connessi tra di loro se rispettano la prima proprietà sopra descritta e se il loro degree è al più uguale al numero massimo di connessioni consentite (impostato in fase iniziale dall'utente).

In *figura 2* è mostrata una connessione tra il device 0 ed il device 1, i quali sono raggiungibili l'un l'altro dai rispettivi range di propagazione del segnale. Da notare che il link tra i due dispositivi va inteso come un collegamento puramente logico e non fisico, in quanto le comunicazioni avvengono senza un mezzo trasmissivo fisico, ma tramite onde radio. La griglia di esagoni, che veniva mostrata in *figura 1*, viene nascosta nel modello finale, avendo una superficie monocolora per facilitare la comprensione della rete.



*Figura 2 / Connessione tra due nodi di una MANET*

### 3.2 Strategie di replacement

Un nodo, come anticipato nei paragrafi precedenti, ha la possibilità di tenere attivo un numero limitato di connessioni, che viene determinato dall'utente tramite uno slider.

Una connessione, nel modello implementato, è vista come un'entità a sé stante che possiede come attributi personali gli ID dei dispositivi agli estremi di essa ed un timestamp. Quest'ultimo è un contatore che indica da quanto tempo è attiva la connessione tra i due nodi coinvolti, in fase di creazione questo valore viene impostato a 0.

Quando nuove connessioni risultano possibili, si verifica la disponibilità dei nodi coinvolti a crearle. Per disponibilità si intende il raggiungimento o meno del numero massimo di connessioni create per un singolo device.

Se la disponibilità non c'è si cerca comunque di creare la nuova connessione a sfavore di una connessione già attiva da tempo, che a quel punto verrebbe cancellata per far posto alla nuova.

Si differenziano così due strategie di replacement (che possono essere selezionate da interfaccia grafica, in fase di avvio simulazione):

- *Oldest* : sceglie tra le connessioni non nuove (quindi con timestamp > 0) quella che è presente da più tempo.
- *Random* : sceglie, in modo randomico, tra le connessioni non nuove (quindi con timestamp > 0).

Da notare che se un nodo è coinvolto solamente in connessioni con timestamp = 0 (quindi connessioni appena create), la creazione non viene soddisfatta perché si dovrebbe cancellare una connessione, a sua volta, nuova.

Supponendo di considerare due nodi (A e B), coinvolti in fase di creazione di una connessione, si differenziano 4 casi da considerare:

1. entrambi i nodi hanno un degree strettamente minore del numero massimo di connessioni permesse → la connessione viene creata senza dover ricorrere ad alcun replacement.
2. il nodo A ha il degree uguale al numero di connessioni massime consentite, mentre il nodo B ha il degree strettamente minore del consentito → si cerca una connessione da cancellare per il nodo A (secondo una delle due strategie di replacement), se esiste viene sostituita dalla nuova. Il nodo B invece crea la connessione senza doverne cancellare nessun'altra.
3. Questo caso può essere descritto come il precedente, scambiando il nodo A con il nodo B.
4. entrambi i nodi hanno un degree uguale al numero massimo di connessioni permesse → la connessione viene creata solo se entrambi i dispositivi A e B trovano due connessioni attive da cancellare (una ciascuno), secondo la strategia adottata.

*Note* : nel codice del progetto sono commentati i punti in cui possono essere ritrovati questi 4 casi.

### 3.3 Movimento e velocità dei nodi

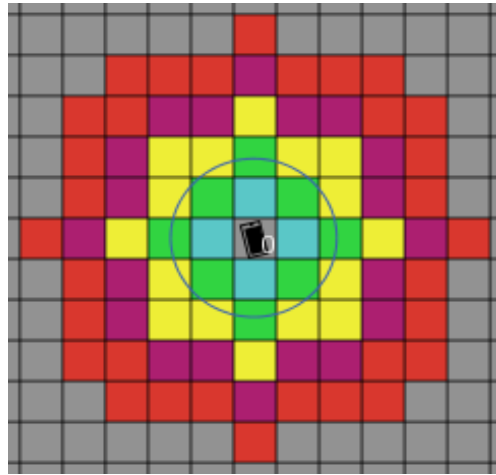
Come già accennato all'inizio del capitolo i nodi individuano la propria locazione futura tra i quadrati circostanti alla posizione attuale.

La *figura 3* sottostante spiega la relazione tra il movimento dei nodi e la loro velocità, che può essere impostata dall'utente, da interfaccia grafica.

Vi è la possibilità di scegliere tra 5 velocità differenti, individuate con numeri da 1 (velocità bassa) a 5 (velocità alta). Se l'utente sceglie, per esempio, la velocità 1, il dispositivo ha la possibilità di scegliere la propria locazione futura spostandosi al più di un solo quadrato (da notare che vi è la possibilità che il nodo scelga di restare fermo per uno o più tick). Se la velocità cresce il nodo ha la può spostarsi di tanti quadrati quanto sono indicati dallo stesso parametro.

In *figura 3* è mostrato graficamente ciò che è stato detto, dove:

- *velocità 1* : il nodo può muoversi in uno dei quadratini blu (oltre che restare fermo).
- *velocità 2* : il nodo può muoversi in uno dei quadratini blu o verdi (oltre che restare fermo).
- *velocità 3* : il nodo può muoversi in uno dei quadratini blu, verdi o gialli (oltre che restare fermo)
- *velocità 4* : il nodo può muoversi in uno dei quadratini blu, verdi, gialli o viola (oltre che restare fermo)
- *velocità 5* : il nodo può muoversi in uno dei quadratini blu, verdi, gialli, viola o rossi (oltre che restare fermo)



*Figura 3 / Movimento di un nodo in base alla velocità impostata*

## 4 Risultati

Per lo studio dei parametri citati nel *capitolo 2* sono state effettuate diverse esperienze, variando in input i parametri di configurazione che sono stati definiti in fase di progettazione (*capitolo 3*), vale a dire :

- number-of-devices : da 2 a 40
- speed : da 1 a 5
- MaxRange : da 1 a 23 plates (quadrati che compongono il toro)
- MaxDegree (numero di connessioni consentite) : da 1 a n-1 (con n uguale al numero di device)
- ReplacementStrategy : *Random* o *Oldest*

### 4.1 Esperienza 1

Nella prima esperienza si intende studiare principalmente l'effetto delle strategie di replacement. Si considera, dunque, una rete in cui l'opportunità di nuove connessioni sono frequenti, ma allo stesso tempo dare la possibilità alle connessioni di essere mantenute attive per un numero consistente di tick.

Per ottenere la prima caratteristica citata, si imposta il MaxRange a 23 (ogni device ha copertura totale della rete), così facendo la possibilità di nuove connessioni è elevata. Per la seconda caratteristica, si imposta il numero massimo di connessioni consentibili a 19, dando la possibilità ad alcune di rimanere attive per un lasso di tempo importante.

Di seguito è mostrata la tabella dei parametri scelti in fase di simulazione :

Parametro	Valore
number-of-devices	22
speed	1
MaxRange	23
RandomRange	Off
MaxDegree	19

**Tabella 1.** Configurazione dell'esperienza numero 1

In seguito alla simulazione, durata 700 ticks, si ottiene una degree distributions che vede la totalità dei nodi avere un degree tra il 17 ed il 19 (massimo consentito in fase di configurazione).

Questo risultato è spiegabile dal fatto che i dispositivi hanno la copertura totale dell'area, di conseguenza riescono a raggiungere potenzialmente tutti gli altri device e dal fatto che hanno la possibilità di tenere attive ben 19 connessioni.

Il grafo risulta sempre connesso ed è sempre presente un unico Giant Component, contenete tutti i nodi della rete. I valori di Edge Density e Mean Clustering Coefficient risultano rispettivamente 0.892 e 0.882, anche questi due parametri sono spiegabili dal range e dal degree adottati. Questi due valori non raggiungono l'unità,

che starebbe a rappresentare un grafo completo, solamente perché il numero di connessioni permesse è leggermente più basso di  $n - 1$  (con  $n$  numero di device).

I risultati precedenti sono validi per entrambe le strategie di replacement, ma il parametro interessante che varia, al variare della strategia adottata, è la distribuzione dei timestamp delle connessioni.

Il grafico seguente (*figura 4*) mostra il grafico relativo alla strategia *Random*, si può notare che è presente una certa eterogeneità nell'istogramma, dove la maggior parte delle connessioni ha un timestamp basso, mentre altre connessioni possono rimanere attive per un numero importante di tick.

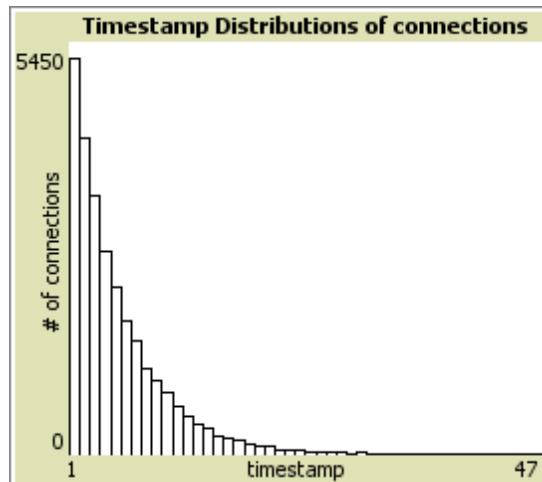


Figura 4 / Timestamp distribution relativa alla strategia di replacement Random

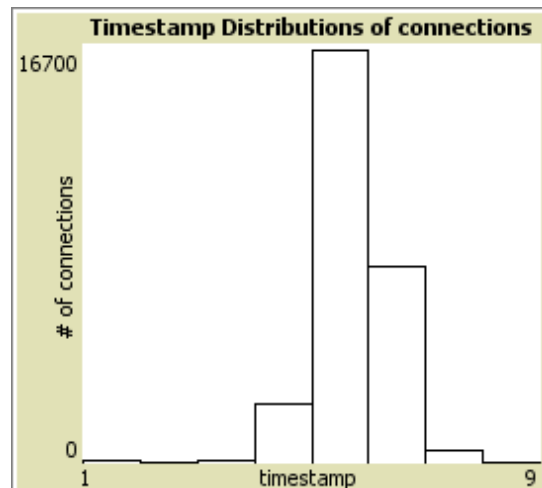


Figura 5 / Timestamp distribution relativa alla strategia di replacement Oldest

Nel grafico soprastante (*figura 5*) è mostrata invece l'istogramma che si ottiene adottando la strategia di replacement *Oldest*. Si può notare che l'eterogeneità, di cui si parlava del grafico precedente, è praticamente inesistente con un timestamp massimo che arriva a 9 e la maggior parte delle connessioni che restano attive per un timestamp uguale a 5. Questo risultato evidenzia perfettamente la differenza tra le due strategie (*paragrafo 3.2*), dove nella strategia *Random* alcune connessioni possono restare attive per un timestamp importante, questo perché le connessioni che vengono eliminate a discapito delle nuove non sono necessariamente le più datate.

La strategia *Oldest*, invece, non permette alle connessioni esistenti di restare attive per un elevato numero di timestamp, questo perché appena vi è la possibilità di una nuova connessione, le prime candidati all'eliminazione sono quelle presenti da più tempo.

## 4.2 Esperienza 2

Nella seconda esperienza si intende studiare l'effetto di due parametri come *MaxRange* e *MaxDegree*. Risulta evidente come questi due siano probabilmente i più influenti di tutto il sistema. Se i device hanno un range di propagazione del segnale molto basso, è normale pensare che facciano fatica a connettersi con altri device. Al contrario ha la possibilità di connettersi a tutti gli altri nodi se questo è impostato a valori alti. Anche il numero di connessioni massime consentite gioca un ruolo fondamentale. Se questo viene impostato ad un valore basso, anche se il dispositivo ha un range molto grande e potenzialmente comunicabile con molti altri nodi, deve comunque attenersi alla costruzione del degree massimo impostato.

Questa esperienza ha l'obiettivo di studiare alcuni effetti che questi due parametri hanno sulla rete.

Di seguito è riportata la tabella con i parametri che non sono stati variati in fase di simulazione:

Parametro	Valore
number-of-devices	40
speed	1
ReplacementStrategy	Oldest
RandomRange	Off

**Tabella 2.** Configurazione dell'esperienza numero 2

Il numero di nodi creati è il massimo consentito dall'interfaccia grafica e per il primo run di simulazione viene scelto un *MaxRange* di 5 ed un *MaxDegree* di 3.

Di seguito è riportato il grafico del trend delle frazioni di Giant Component (*figura 6*), allo scorrere dei ticks. La simulazione, durata 300 ticks, mostra come la rete difficilmente risulta connessa, riunendo tutti i nodi sulla stessa componente (Giant Component). Il grafico appare molto variabile, in alcuni frangenti il grafo delle connessioni risulta avere un Giant Component con la maggioranza dei nodi della rete, mentre in altri istanti la frazione in Giant Component risulta piuttosto bassa, indicando la presenza di diverse componenti, non connesse tra loro. Questo risultato è dovuto dal basso *MaxRange* impostato, che in congiunzione con il basso degree



possibile, fa sì che diverse componenti non riescano a creare dei ponti, per arrivare ad avere un'unica componente connessa.

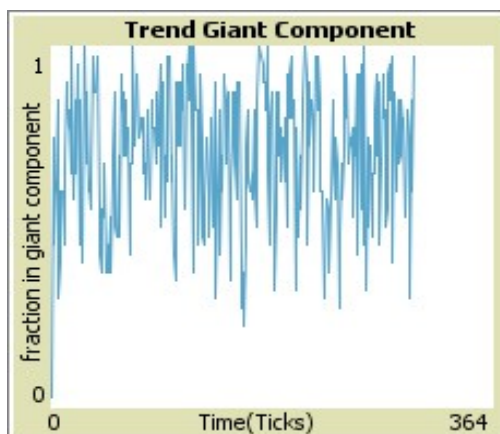


Figura 6 / Frazione di Giant Component su Ticks - *MaxRange* 5 - *MaxDegree* 3

Con una variazione, anche minima, del *MaxRange* la situazione cambia in modo importante. Di seguito (figura 7), viene mostrato il grafico che si ottiene variando solamente il range da 5 a 8. Si può notare che il grafo delle connessioni risulta essere connesso nella maggior parte dei tick presi in considerazione. Come prima impressione, un allargamento del range di 3 “piastrelle” potrebbe far pensare ad un miglioramento molto minore, in termini di connessione del grafo. Considerando però che il numero di device, presenti nella superficie, è consistente, ogni incremento del range rappresenta un'opportunità in più di trovare nuove connessioni e nuovi ponti tra diverse componenti. Se il *MaxRange* viene impostato con un valore di 15 (o superiore) il grafo risulta connesso, in modo permanente.

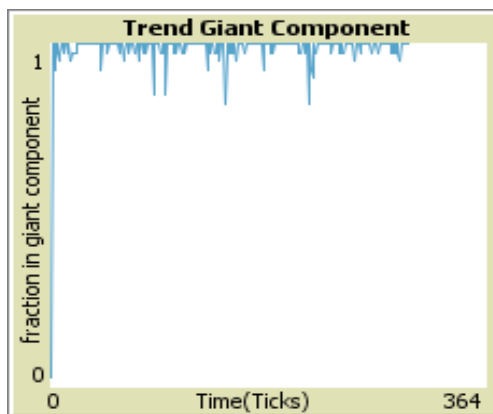


Figura 7 / Frazione di Giant Component su Ticks - *MaxRange* 8 - *MaxDegree* 3

Vediamo ora l'importanza che può avere il parametro *MaxDegree* nella MANET. Se, rispetto alla simulazione precedente (*figura 7*), viene incrementato solamente il valore di *MaxDegree* a 16, lasciando gli altri inalterati, si ottiene un grafo costantemente connesso. Il trend del Giant Component, in *figura 8*, mostra come tutti i dispositivi siano perennemente contenuti nell'unica componente connessa.

Questo risultato lascia intendere che il numero di connessioni mantenibili è, anch'esso, un parametro fondamentale della MANET implementata. In quest'ultimo run di simulazione, dove i device hanno la possibilità di 16 connessioni, si permette di avere collegamenti che con soltanto 3 connessioni massime non sarebbero stati possibili, rendendo così il grafo costantemente connesso (al contrario della simulazione in *figura 7*).

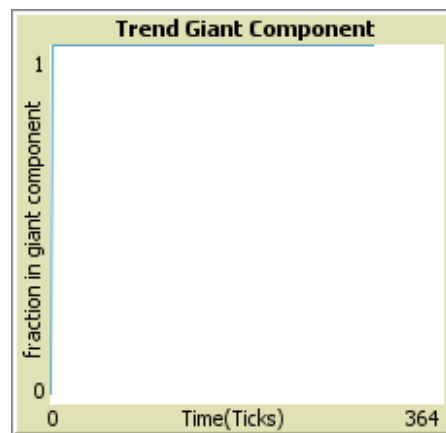


Figura 8 / Frazione di Giant Component su Ticks - MaxRange 8 - MaxDegree 16

### 4.3 Esperienza 3

L'obiettivo della terza esperienza è studiare velocemente il variare di *Edge Density* e *Clustering Coefficient*.

Si consideri una situazione in cui i nodi abbiano numerose opportunità di aprire connessioni con altri dispositivi (*MaxRange* elevato) e la concessione che la maggior parte di esse possano essere effettivamente create (*MaxDegree* elevato).

Con la configurazione della tabella sottostante (*tabella 3*), si ha la situazione descritta precedentemente e si ottiene un *Edge Density*  $\approx 0.85$  e *Mean Clustering Coefficient*  $\approx 0.82$ . Ciò significa che il numero di connessioni risultano essere un buon numero, in rapporto a tutte quelle potenzialmente creabili, e c'è un'alta probabilità che i vicini di un particolare nodo, siano anch'essi connessi. Questi risultati sono conseguenza diretta dell'elevato range di propagazione, permettono di raggiungere un numero elevato di altri dispositivi nell'area di movimento, e dell'elevato numero di connessioni concesse per nodo, permettendo di creare numerose connessioni con nodi più o meno vicini, facendo così aumentare il numero di connessioni create e la probabilità di connessione tra nodi vicini.

Parametro	Valore
number-of-devices	25
speed	1
ReplacementStrategy	Oldest
MaxRange	19
MaxDegree	21
RandomRange	Off

**Tabella 3.** Configurazione dell'esperienza numero 3 – Edge Density e CC elevati

Ripetendo la stessa simulazione descritta in *tabella 3*, variando solo il settaggio del parametro *MaxDegree* a 3, si ottengono dei risultati completamente differenti. L'*Edge Density* è  $\approx 0.11$ , mentre la media di *CC* varia da 0 ad un massimo di 0.12.

Ciò significa che, anche in presenza di un range elevato, se il numero di connessioni che si possono creare (in questo caso  $24 * 25 / 2 = 300$ ) è molto elevato ma viene fortemente limitato, l'*Edge Density* non può che essere un valore basso (tenendo conto che è il rapporto tra connessioni create su connessioni possibili).

Il *Clustering Coefficient* medio è prossimo allo zero, le connessioni create, non essendo un numero elevato, riducono le possibilità che due dispositivi connessi ad uno stesso nodo siano anch'essi collegati.

#### 4.4 Esperienza 4

La quarta ed ultima esperienza si pone l'obiettivo di studiare gli effetti della velocità dei dispositivi, sulla rete. La configurazione adottata per questo studio è descritta nella *tabella 4* seguente, dove i nodi hanno la possibilità di mantenere fino a 10 connessioni attive.

Parametro	Valore
number-of-devices	23
ReplacementStrategy	Oldest
MaxRange	13
MaxDegree	10
RandomRange	Off

**Tabella 4.** Configurazione dell'esperienza numero 4

Sono state effettuate due simulazione (durata 400 ticks), dove nella prima viene impostata la velocità dei nodi a 1, ciò significa che lo spostamento può essere al più di una piastrella per update. Mentre nella seconda è stata impostata la velocità massima, dove lo spostamento può essere al più di 5 piastrelle (spiegazione nel paragrafo 3.3).

Di seguito sono mostrati le distribuzioni dei timestamp ottenuti dalle due simulazioni (*figure 9-10*).

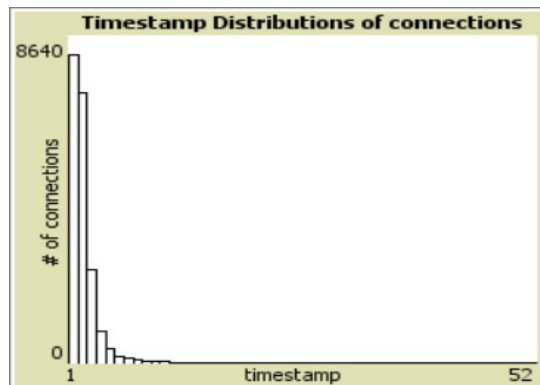
I due grafici riportano due grandi differenze riguardanti i massimi timestamp raggiunti e la quantità di nuove connessioni create.

Quando i nodi si muovono più lentamente hanno la possibilità di avere connessioni che durano nel tempo, questo perché la bassa velocità fa sì che due nodi connessi impieghino più tempo per uscire l'uno dal range di propagazione dell'altro.

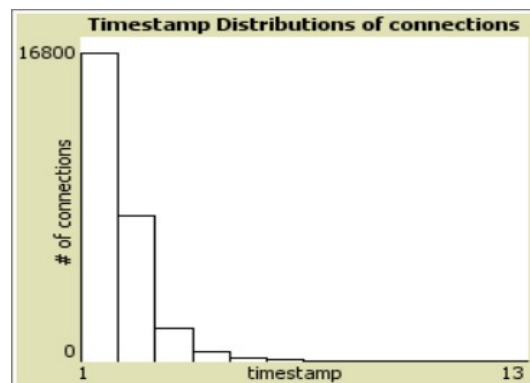
D'altra parte se la velocità è alta, difficilmente le connessioni sono mantenute per un lungo periodo, in quanto i dispositivi escono velocemente dai range in cui sono coinvolti.

Lo stesso motivo può essere visto alla base della differenza del numero di nuove connessioni create (timestamp = 1).

Quando la velocità è massima, il grafico in *figura 10* mostra che il numero di nuove connessioni create risulta essere praticamente il doppio rispetto alla velocità più bassa (*figura 9*). I device che cambiano la propria posizione velocemente non riescono a mantenere attive le connessioni vecchie, e di conseguenza, avendo la possibilità di avere fino a 10 connessioni, cercano continuamente di crearne di nuove.



*Figura 9 / Timestamp distribution – esperienza 4 – velocità 1 (bassa)*



*Figura 10 / Timestamp distribution – esperienza 4 – velocità 5 (alta)*

## 5 Conclusioni

Dalle esperienze effettuate emerge l'importanza del numero di connessioni consentite e del range di propagazione. Queste caratteristiche fondamentali determinano la creazione di un unico *Giant Component* o meno, rendendo il grafo connesso o suddiviso in più componenti.

Inoltre, grazie all'esperienza 3, è ragionevole supporre che se il numero di connessioni consentite è elevato, così come il range dei nodi, l'*Edge Density* ed il *Clustering Coefficient* medio assumono valori prossimi all'unità.

Le strategie di replacement e la velocità determinano soprattutto il tempo di durata delle connessioni e la loro creazione/cancellazione.

In fase di progettazione, una delle difficoltà maggiori è stata nell'implementazione delle strategie di replacement. Soprattutto quando e a quali nodi effettuare l'aggiornamento delle connessioni (schema del *paragrafo 3.2*).

Infine nell'interfaccia grafica, che si presenta su *NetLogo*, è presente uno switch di nome *RandomRange*. Questo se settato ad *On*, non imposta lo stesso range per ogni nodo, ma lo sceglie in modo random tra 1 ed il valore dello slider *MaxDegree*.

Questa opzione non è stata utilizzata in fase di simulazione, ma può essere tenuta in considerazione per sviluppi futuri, introducendo eterogeneità nei range di propagazione dei dispositivi presenti nella rete.

## 6 Bibliografia

1. A.S.Tanenbaum, D.J.Wetherall: **Reti di Calcolatori**, Pearson, IV Edizione, 2011
2. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/dictionary.html> ,Documentazione NetLogo
3. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/GiantComponent> , Esempio di calcolo del Giant Component tramite NetLogo
4. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/community/Lattice-Walking%20Turtles.15> , Esempio di una MANET in NetLogo