

Indice

Introduzione	i
1 Le Reti Wireless	2
1.1 Introduzione	2
1.2 Le WLAN	3
1.2.1 Reti con Infrastruttura e Reti Ad-Hoc	4
1.2.2 Lo Standard IEEE 802.11	6
1.2.3 La pila ISO/OSI e TCP/IP	9
1.3 Problema dei ponti di Königsberg	11
1.4 Nozioni e Definizioni	13
1.4.1 Distribuzione Normale	19
1.4.2 Power Law	20
1.5 Topologie di reti	22
1.5.1 Social Networks	23
1.5.2 Reti biologiche	26
1.5.3 Reti di conoscenza	27
1.5.4 Reti artificiali	30
1.6 Regular Networks	32
1.7 Random Graph Networks	34

2	Reti Complesse: Teorie e Modelli	38
2.1	Introduzione	38
2.2	Small World Networks	40
2.3	Scale Free Networks	42
2.4	Modellazione di reti Ad-hoc	47
2.4.1	Modellazione con ricablaggio link	50
2.4.2	Modellazione di Kleinberg	52
2.4.3	Modellazione con nodi speciali	56
2.4.4	Modellazione con Data Mules	59
3	Reti di sensori e modellazione	62
3.1	Introduzione	62
3.2	Reti di Sensori WSN	65
3.2.1	Perché modellare una rete?	70
3.2.2	Data Mules nelle reti di sensori wireless	72
3.3	La scelta del modello	73
3.3.1	Il modello ibrido speciale	77
4	Simulazione	79
4.1	Introduzione	79
4.2	Introduzione alla Simulazione	81
4.3	Progettazione e implementazione	85
4.4	Simulazioni effettuate	88
4.4.1	Simulazioni per il calcolo della densità	89
4.4.2	Simulazioni per il calcolo della lunghezza media del percorso minimo senza nodi Mobili	90

4.4.3	Simulazioni per il calcolo della lunghezza media del percorso minimo con l'aggiunta di nodi mobili speciali	92
4.4.4	Simulazioni per il calcolo della lunghezza massima del percorso minimo	95
4.4.5	Simulazioni per il calcolo del coefficiente di clustering	96
5	Conclusioni	99
	Bibliografia	103
	Riferimenti bibliografici	103

Introduzione

Rete: Elemento o complesso di elementi simile per struttura e per funzioni a una rete di fili intrecciati. [Dizionario Treccani].

Le reti dunque sono interconnessioni di elementi che interagiscono tra di loro. In generale, il concetto di rete è una schematizzazione molto generale di un sistema, costituito da molte entità dette nodi (che possono quindi rappresentare, nei vari casi, persone, computer, proteine, sostanze chimiche, e quant'altro) legate tra loro e interagenti mediante connessioni (che possono essere, un cavo tra computer, un iperlink tra pagine web, una collaborazione tra persone, una reazione tra sostanze chimiche, uno stato sentimentale ecc.). Grazie allo sviluppo tecnologico negli ultimi anni si è compreso che sistemi, per natura intrinseca molto diversi tra loro, possono essere efficacemente descritti in termini di reti complesse, ad esempio infatti, una comitiva di amici è una rete, così come lo è la

propagazione dei virus responsabili del raffreddore, nonché le sinapsi cerebrali, oppure una squadra di calcio. Ovviamente internet è una rete. In tutti i casi citati, sussiste l'esistenza di proprietà topologiche complesse comuni, come un alto coefficiente di clustering o un basso diametro della rete.

Bisogna notare che, la forma ed il tipo delle connessioni in una rete, hanno un'importanza molto maggiore di quanto si possa ipotizzare. Per chiarire meglio questo concetto facciamo riferimento alla genetica: il batterio presente nell'intestino umano (*Escherichia coli*) ha un solo cromosoma e 4500 geni, il lievito di birra (*Saccharomyces cerevisiae*) ha 16 cromosomi e circa 6000 geni, il moscerino della frutta (*Drosophila melanogaster*) ha 8 cromosomi e 13000 geni, mentre il *Caenorhabditis elegans* lungo solo 12 mm possiede 12 cromosomi e 19000 geni, addirittura l'*Homo sapiens* ha 26 cromosomi e qualcosa che varia tra i 30000 e i 40000 geni. Tutto questo ci porta all'evidente conclusione che, la differenza tra tutte queste specie, non può solo essere dovuta al numero delle sue componenti (nodi), bensì all'interazione tra di esse. Quindi inviare dati tra computer di una rete non è affatto una cosa semplice, bisogna compiere diverse scelte prima di poter recapitare il messaggio destinazione come, decidere quale strada

seguire tra le diverse disponibili, o ancora, scegliere un algoritmo di routing appropriato. Ad oggi sono diversi gli algoritmi che si utilizzano nelle comuni reti di telecomunicazioni, e sono tanti proprio perché ognuno di essi presenta vantaggi e svantaggi da sfruttare a proprio favore in base alla situazione ed alle esigenze. Infatti possiamo avere algoritmi veloci ma poco sicuri o, al contrario, algoritmi che garantiscono un grado di sicurezza elevato a discapito della velocità. Basti pensare al comune servizio di posta, spedire e consegnare una lettera segue delle regole ben precise senza le quali nessuna lettera giungerebbe a destinazione. Il postino della città dalla quale viene inviata la lettera, preleva le lettere dalla cassetta postale e le smista in base ad alcuni criteri, al fine di consegnarle ai colleghi successivi. I criteri sono ad esempio la regione di destinazione o il tipo di servizio di consegna identificato dal francobollo o dal colore della busta, esso dunque è un nodo che appartiene alla rete postale e che, attraverso le sue scelte (si spera giuste), contribuisce a far recapitare la posta dal mittente al destinatario. Le reti dunque sono ovunque intorno a noi, e noi stessi, come individui, siamo parte integrante di una o più reti come la rete composta dalle relazioni sociali di vario tipo o, come ad esempio la rete dei sistemi biologici. Le

reti possono essere composte da oggetti tangibili nello spazio euclideo, oppure possono essere entità definite in uno spazio astratto, come le reti di conoscenze o collaborazioni tra individui. Storicamente, lo studio delle reti è stato il dominio di un ramo della matematica discreta nota come teoria dei grafi.

L'obiettivo di questo elaborato è quello di effettuare un'analisi quanto più chiara possibile, sulle reti wireless reali, modellate tramite reti complesse, le cui caratteristiche saranno ampiamente descritte nei capitoli successivi. In principio saranno quindi analizzate le moderne reti Wireless. Tali reti, grazie all'abbattimento dei costi, e al superamento delle opposizioni che sorgevano nei collegamenti cablati tradizionali, permettono di poter installare una rete in un qualsiasi ambiente. Non bisogna però pensare che questa innovazione sia priva di effetti collaterali, come ad esempio il consumo di potenza o una scarsa sicurezza. Verranno dunque illustrate, le differenze tra le due principali tipologie reti wireless ovvero: con infrastruttura (reti in cui la comunicazione avviene tramite un Access Point), e reti ad hoc (che non hanno bisogno di nessuna infrastruttura e in cui tutti i nodi sono capaci di comunicare tra di loro). Si parlerà di un altro aspetto fondamentale delle reti wireless, lo standard 802.11 che definisce in

particolare il livello fisico e MAC del modello a pila ISO/OSI. Dopo questa prima parte introduttiva sulle reti wireless, il capitolo verterà su descrizione e analisi delle complex networks partendo dalla loro nascita: la teoria dei grafi, ovvero quando Eulero pubblicò la soluzione del problema dei ponti di Königsberg. Per necessità saranno anche introdotti concetti chiave quali il grado di un nodo, la lunghezza media del percorso, il coefficiente di clustering e le distribuzioni di legge di potenza e normale e, saranno descritte le reti nel mondo reale (social network, reti di informazioni, reti tecnologiche e reti biologiche) citando alcuni esperimenti empirici famosi come quello dei sei gradi di separazione di Milgram del 1967 secondo cui qualunque persona può essere collegata a qualsiasi altra persona attraverso una catena di conoscenze con non più di 5 intermediari. Per definire e, quindi, introdurre meglio i modelli di sistemi complessi, si sono studiati i reticoli regolari e le reti casuali, dove la prima tipologia, considera i nodi della rete posizionati in modo regolare, quindi ognuno di essi è caratterizzato dallo stesso numero di archi (grado), mentre la seconda tipologia (rete casuale) è un grafo in cui il numero di link tra i nodi varia secondo una distribuzione gaussiana, intorno ad un valore medio. I due principali modelli di reti complesse

sono le reti piccolo mondo e, le reti ad invarianza di scala. Le ultime possono essere viste come un grafo che gode della seguente proprietà: se si considera la relazione tra il numero di nodi ed il numero delle loro connessioni si noterà che il suo grafico è di tipo esponenziale negativo e quindi, invariante ai cambiamenti di scala. Dopo aver introdotto e descritto queste caratteristiche, sarà analizzato il modello di Watts e Strogatz, tale modello era in grado di soddisfare contemporaneamente il bisogno di avere un diametro piccolo e un alto coefficiente di clustering per valori intermedi della probabilità p . Per valori di p compresi tra 0 e 1, infatti, l'alto coefficiente di clustering persiste, perché molti degli archi originali rimangono immutati (la probabilità p che questi siano ricollegati è piccola), e per due nodi vicini u e v , i nodi chiusi ad u sono, nella maggior parte dei casi, gli stessi che sono chiusi a v . Al contempo, risulta intuitivo come, il piccolo diametro appaia anche per valori relativamente piccoli di p , perché gli archi inseriti casualmente, formano a tutti gli effetti un grafo random, formato da piccoli cluster di nodi vicini, in cui il diametro di ogni singolo cluster risulta piccolo. Oltre a tale modello sarà analizzato anche il modello del sociologo di Harvard, Kleinberg. Questo esperimento, non solo, mostra che esistono corte catene di -

amici tra due vertici scelti a caso nella rete, ma anche che i membri della rete sono in grado di costruire cammini brevi utilizzando solo le informazioni definite locali, cioè rappresentate dai nodi a cui sono direttamente connessi. In altre parole, piuttosto che vedere l'esperimento di Milgram come un risultato relativo alla grandezza del diametro di una rete sociale, Kleinberg considerò l'esito dell'esperimento come il successo di un particolare algoritmo di routing applicato al grafo. Da ciò si evince che, se ogni tipologia di rete ad hoc è modificata e convertita in una rete small world, la comunicazione in tale rete può avvenire in maniera sempre più efficiente. Dopo aver accuratamente descritto le principali tecniche di modellazione conosciute, che permettono la conversione delle tradizionali reti di telecomunicazioni in small world networks, ne viene scelta una nuova, definita ibrida, che grazie all'aggiunta combinata di nodi mobili (Data Mules) e nodi speciali (con canale radio a raggio maggiorato), permette di ottimizzare la comunicazione all'interno della rete diminuendo sensibilmente la distanza media tra ogni coppia di nodi della rete. L'ultima parte di questo elaborato è stata dedicata all'implementazione di un simulatore che ci permetterà di effettuare un'analisi per quel che concerne la modellazione delle reti Ad-hoc uti-

lizzando le caratteristiche delle Small World Networks. Il simulatore sviluppato interamente in ambiente NetBeans, con linguaggio java implementando un sistema Multi-Thread, ed utilizzando il pattern Observer. I risultati delle simulazioni eseguite saranno ampiamente descritti nell'ultimo capitolo di questa tesi, a dimostrazione dell'ipotesi per la quale risulta efficace utilizzare i concetti delle reti complesse per modellare una rete Ad-hoc in quanto si ottengono notevoli benefici nello scambio di informazioni e nella comunicazione all'interno di una qualsiasi rete reale.