

## 4. ALCUNI INDICI DI PRESTAZIONI NELLE RETI WIRELESS

Questo capitolo vuole dare una breve panoramica sullo stato dell'arte della comunità scientifica riguardo alcuni indici di prestazione in ambiente wireless.

### 4.1 IL PROTOCOLLO TCP IN RETI WIRELESS AD-HOC

Due requisiti chiave nei comportamenti delle reti *Ad-hoc* sono il trasferimento sicuro di dati ed il controllo della congestione; queste caratteristiche sono generalmente supportate dal TCP. Un punto importante è come il TCP (progettato e finalizzato per le reti cablate) interagisce con i protocolli wireless, in particolare con il livello MAC. Sia il livello MAC che Transport (a cui il TCP appartiene) servono per ottenere trasporti efficienti in ambienti condivisi, con alcuni gradi di efficienza e con protezione da errori ed interferenze. Il livello MAC ha tuttavia una visuale miope della rete, e questa è una grave limitazione nelle reti *multi-hop*. Per contro, il TCP provvede ad ottenere un controllo *end-to-end* sugli errori e gestisce la congestione.

Lo standard IEEE 802.11 copre il livello fisico (PHY) ed il livello MAC nelle reti *wireless*. Da quando questo protocollo è stato implementato, molti ricercatori hanno eseguito simulazioni ed esperimenti per testarne le prestazioni sulle reti *ad hoc* con traffico TCP. Il punto è: *può il protocollo MAC IEEE 802.11 funzionare bene nelle reti multi-hop?*

Dagli studi presentati nell'articolo [9] si evidenzia che la miglior soluzione per le reti wireless è l'accesso al mezzo fisico tramite il protocollo CSMA con il meccanismo RTS/CTS ed il controllo degli ACK che, in pratica, è il protocollo definito nello standard IEEE 802.11.

Tutt'altra risposta si ricava dai risultati presentati sull'articolo [10], che illustra una serie di problemi incontrati nelle connessioni TCP in una rete IEEE 802.11 basata sulle reti *multi-hop*, e dimostra che il protocollo non lavora bene sopra il livello MAC IEEE 802.11. Fra i problemi citati, l'instabilità in questo tipo di reti, l'*unfairness*, ed un problema di inconsistenza. Gli autori dimostrano che questi problemi sono radicati nel livello MAC, perciò viene mosso il dubbio che gli attuali sistemi basati sulle *WaveLAN*

siano realizzabili come esperimenti di una rete mobile *multi-hop ad hoc*. Le conclusioni sono state che, sebbene lo standard IEEE 802.11 supporti alcune architetture di reti *ad hoc*, non è ideato per le *wireless mobile ad hoc networks*, nelle quali le connessioni *multi-hop* sono una delle più importanti caratteristiche.

I risultati presentati nella letteratura citata sono stati ottenuti esclusivamente tramite simulazioni. Per quanto siano efficienti e potenti, i software di simulazione non potranno mai tener conto di tutte le problematiche che si possono trovare in un reale ambiente fisico. In una rete reale sono molteplici i fattori che possono influire sulle prestazioni. Per citarne alcuni: le condizioni climatiche (se si considera un ambiente esterno), la presenza di pareti schermanti in cemento armato, la vicinanza di altre possibili reti wireless o di altre apparecchiature elettroniche, e la non reale simmetria delle distanze fra gli hosts della rete. Pertanto, i risultati ottenuti con le simulazioni possono solo avvicinarsi a ciò che nella realtà può accadere, ma non sarà mai quello che accade realmente.

Nei due articoli citati si possono notare dei risultati contrastanti per quanto riguarda la valutazione del protocollo MAC 802.11 sulle reti ad hoc. Questo motivo, unito alla carenza di documentazione riferita a test su reti reali, ha portato alla realizzazione del Capitolo 5 di questa tesi, in cui presentiamo i risultati di misurazioni reali sulla rete ad hoc realizzata, in condizioni diverse.

Naturalmente in questa tesi viene proposto un ambiente di sviluppo il più possibile significativo per la valutazione delle prestazioni, ma che può comunque essere migliorato al fine di porre la rete in condizioni di coprire tutte le possibili configurazioni.

## 4.2 MASSIMO THROUGHPUT TEORICO NEL PROTOCOLLO IEEE 802.11

Tutto quello che verrà esposto in questo paragrafo riguarda ciò che è stato trovato in letteratura sul calcolo del massimo throughput teorico. L'articolo citato è "*Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Application*" di Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari e Mihail Sichitiu, [11] dove viene esposto sotto quali assunzioni ed in che modo viene calcolato il *massimo throughput teorico* (*Theoretical Maximum Throughput -TMT*).

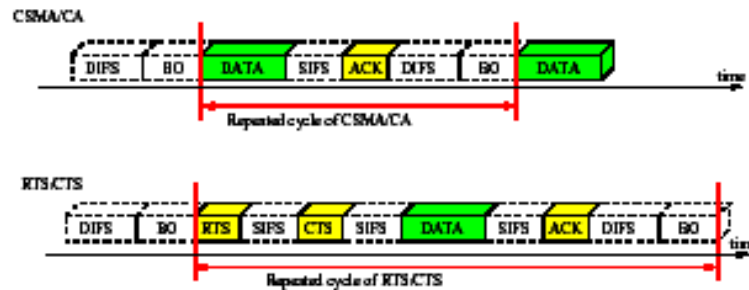
Le assunzioni sotto le quali i risultati ottenuti sono validi sono:

- ? Bit error rate (BER) uguale a zero (canale ideale)
- ? Non ci sono perdite per collisione
- ? Point Coordination Function (PCF) non utilizzata
- ? Non c'è perdita di pacchetti a causa del buffer overflow del nodo ricevente

- ? Il nodo trasmettente ha sempre sufficienti pacchetti da spedire
- ? Il livello MAC non usa la frammentazione
- ? Non sono considerati i pacchetti dovuti al management.

Il calcolo del massimo throughput avviene mediante la divisione della lunghezza del MAC service data unit (MSDU) con il tempo impiegato per trasmetterlo.

$$TMT \approx \frac{MSDU \text{ size}}{Delay \text{ per MSDU}} \quad (1)$$



**Figura 4.1** Diagramma dei tempi impiegati per trasmettere nel caso di CSMA/CA e RTS/CTS

Il tempo necessario per ripetere un ciclo di trasmissione (*Delay per MSDU*) è dato dalla formula seguente:

$$Delay \text{ per MSDU} \approx T_{DIFS} + T_{SIFS} + T_{BO} + T_{RTS} + T_{CTS} + T_{ACK} + T_{DATA} \cdot 10^6 \text{ s} \quad (2)$$

Il totale *Delay per MSDU* è semplificato in una funzione in bytes del MSDU stesso:

$$Delay \text{ per MSDU} \approx ax + b \cdot 10^6 \quad (3)$$

Possiamo quindi ottenere il TMT dividendo semplicemente il numero di bits del MSDU ( $8x$ ) per il tempo impiegato per ripetere un ciclo di trasmissione dato dalla (3). La tabella 4.1 mostra i valori dei parametri  $a$  e  $b$  per il calcolo della formula del TMT (4)

$$TMT \approx \frac{8x}{ax + b} \cdot 10^6 \text{ bps} \quad (4)$$

La figura 4.2 mostra il TMT in funzione della lunghezza dell' MSDU.

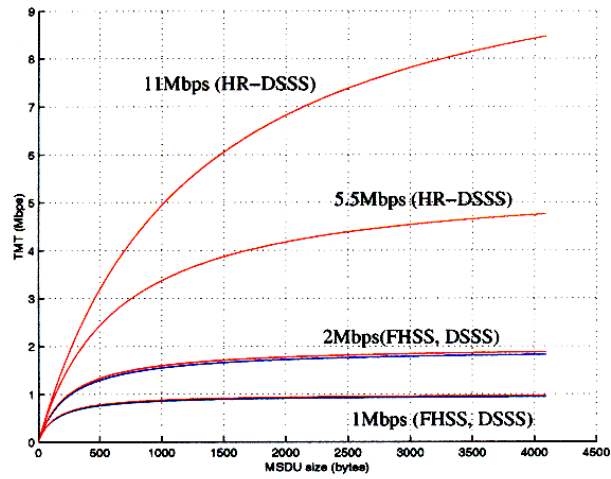


Figura 4.2 Curva del TMT per CSMA/CA – FHSS, DSSS, HR-DSSS

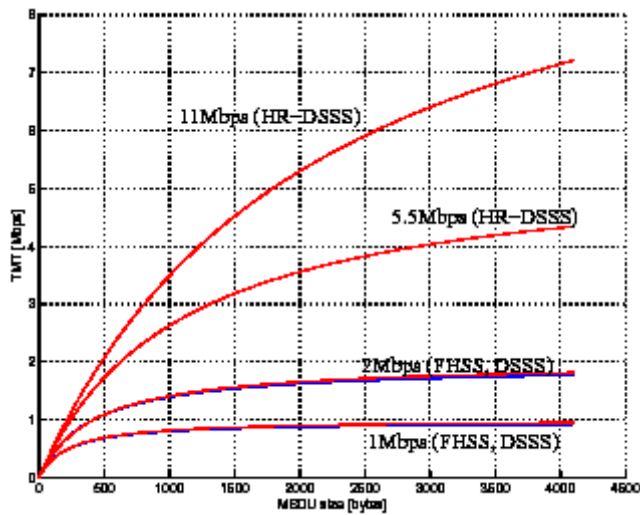


Figura 4.3 Curva TMT con RTS/CTS – FHSS, DSSS,HR-DSSS

Scheme	Data rate	a	b
CSMA/CA			
FHSS	1 Mbps	8,25	1179,5
	2 Mbps	4,125	1039,25
DSSS	1 Mbps	8	1138
	2 Mbps	4	1002
HR-DSSS	5,5 Mbps	1,45455	915,45
	11 Mbps	0,72727	890,73
OFDM	6 Mbps	1,33333	223,5
	12 Mbps	0,66667	187
	24 Mbps	0,33333	170,75
	54 Mbps	0,14815	159,94
RTS/CTS			
FHSS	1 Mbps	8,25	1763,5
	2 Mbps	4,125	1623,25
DSSS	1 Mbps	8	1814
	2 Mbps	4	1678
HR-DSSS	5,5 Mbps	1,45455	1591,45
	11 Mbps	0,72727	1566,73
OFDM	6 Mbps	1,33333	337,5
	12 Mbps	0,66667	273
	24 Mbps	0,33333	244,75
	54 Mbps	0,14815	225,94

**Tabella 4.1** Parametri differenziati per MAC e tecnologia SS

Ogni grafico rappresenta la variazione del TMT in funzione del variare della dimensione della MSDU, della tecnica utilizzata in trasmissione e della velocità utilizzata. Possiamo notare come, la differenza tra il TMT nel caso di trasmissione con FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) e DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) sia irrisoria a 1 e 2Mbps e, inoltre, come la curva arrivi solamente fino ad un valore massimo di 4095 bytes. Questo perché lo standard 802.11 (802.11a e 802.11b) specifica la massima lunghezza della MSDU proprio a 4095 bytes per FHSS e HR\_DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum) mentre 8191 bytes per DSSS.

Le figure 4.2 e 4.3 mostrano che, nel caso in cui il data rate sia 11 Mbps con un valore del MSDU pari a 1500 bytes, il valore del TMT risulta più elevato (6,06 Mbps) nel caso CSMA/CA rispetto al caso RTS/CTS, che raggiunge i 4,52 Mbps. Pertanto, è pressoché impossibile misurare un throughput sopra i 6,1 Mbps in un ambiente reale dove non è comune avere pacchetti IP che trasportano segmenti TCP più lunghi di 1500 bytes. Inoltre, l'inclinazione delle curve mostra che più è elevato il data rate, più

il TMT è sensibile alle variazioni della lunghezza del MSDU. In altre parole, al diminuire della lunghezza del pacchetto MSDU, le performance si degradano velocemente, specialmente per alti valori di data rate. Inoltre, come si può notare dalle figure 4.2 e 4.3, il valore del TMT satura molto dopo con date rate elevati, rispetto al valore di saturazione con date rate bassi.

Il confronto tra IEEE 802.11a OFDM (Ortogonal Frequency Division Modulation) e IEEE 802.11b HR-DSSS è presente nelle figure 4.4 e 4.5, rispettivamente per un accesso CSMA/CA e con RTS/CTS. Si noti come, al variare del data rate, le curve dell'802.11a saturino prima rispetto all'802.11b, a causa del piccolo inter frame spacing e della durata del time slot.

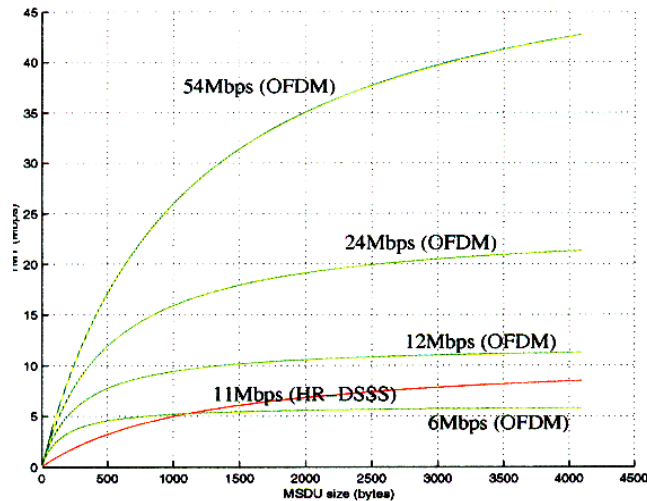


Figura 4.4 Curva TMT per CSMA/CA – 11 Mbps, HR-DSSS, OFDM

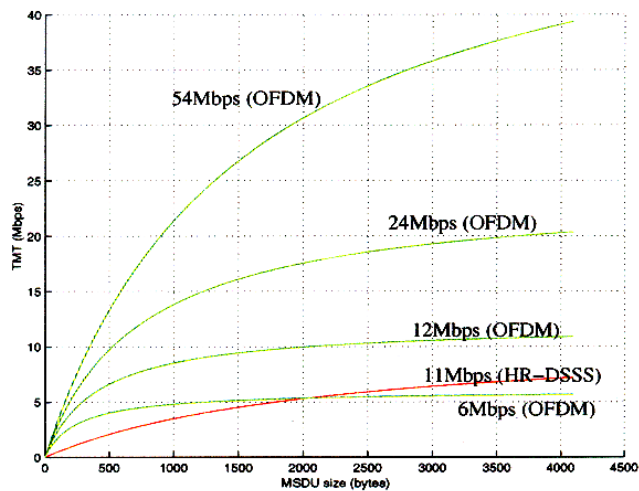


Figura 4.5 Curva TMT con RTS/CTS – 11 Mbps, HR-DSSS, OFDM

### 4.3 ANALISI DELL'EFFICIENZA DI BANDA

Indicando con R il data rate di base, definiamo l'efficienza di banda come:

$$\eta = \frac{TMT}{R} \quad (5)$$

Le figure 4.6 e 4.7 mostrano l'efficienza di banda nel caso di CSMA/CA e RTS/CTS, rispettivamente. Per la formula (5), l'efficienza di banda è inversamente proporzionale al data rate R.

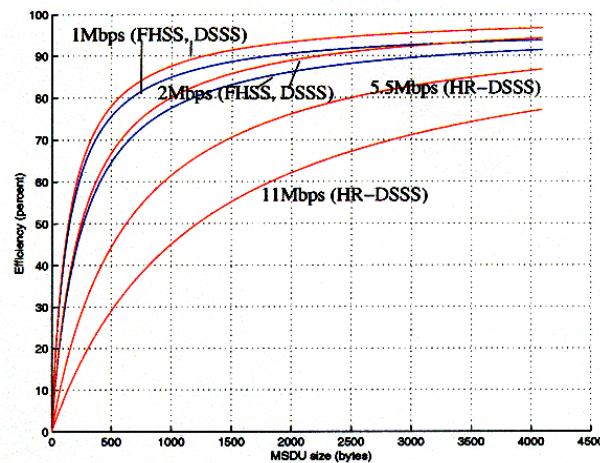


Figura 4.6 Curva dell'efficienza di banda con CSMA/CA FHSS, DSSS, HR-DSSSS

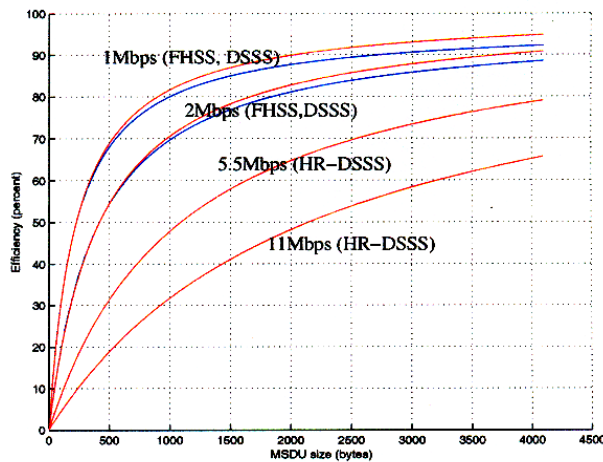


Figura 4.7 Curva dell'efficienza di banda per RTS/CTS, FHSS, DSSS, HR-DSSSS

L'efficienza di banda (quando il MSDU è 1500 bytes) è solamente il 41% quando il data rate è 11 Mbps e si usa RTS/CTS, è invece del 55% nel caso di CSMA/CA. Nelle curve del TMT osservavamo una tendenza chiara a saturare, mentre in queste ultime curve questa tendenza non esiste, perché l'efficienza di banda aumenta all'aumentare della lunghezza del MSDU.

Il confronto dell'efficienza di banda tra 802.11a OFDM e 802.11b HR-DSSS è rappresentata dalle figure 4.8 e 4.9, rispettivamente per CSMA/CA e RTS/CTS. Come si può notare le prestazioni del CSMA/CA sono migliori rispetto a quelle con il RTS/CTS a causa del minor controllo dei pacchetti

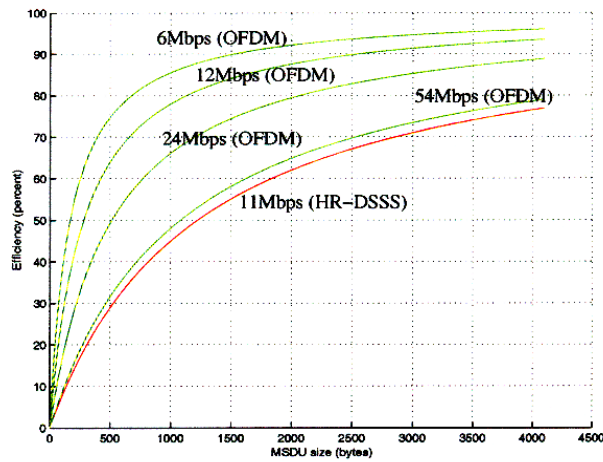


Figura 4.8 Curva dell'efficienza di banda per CSMA/CA ,11 Mbps, HR-DSSS, OFDM

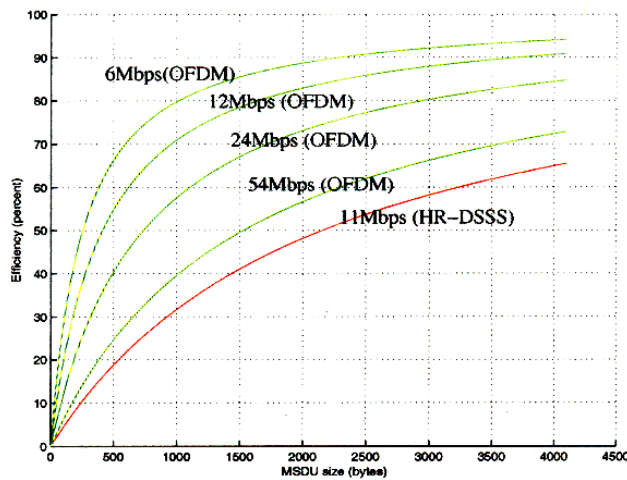


Figura 4.9 Curva dell'efficienza di banda con RTS/CTS, 11 Mbps HR-DSSS, OFDM