



## RELAZIONE DI LABORATORIO

### Laboratorio #2 MISURA DEL THROUGHPUT DI UNA RETE WIRELESS 802.11 b/g IN CONFIGURAZIONE AD-HOC

Gruppo A5  
Davide Perina (128698)  
Nicola Speri (129144)  
Stefano Testi (128697)  
Michele Vincenzi (128689)

#### 1. INTRODUZIONE

Lo scopo di questo esperimento consiste nello studio del comportamento empirico di una rete wireless *ad-hoc* 802.11 b/g in ambiente indoor, sotto condizioni di traffico semi-controllate, con riferimento al comportamento teorico.

A tale scopo sono state effettuate due tipologie di analisi:

- Analisi in ambiente “rumoroso” (quasi tutti i canali previsti dallo standard sono occupati da altri AP)
- Analisi in ambiente “non rumoroso” (non sono presenti AP)

La definizione di “rumore” si intende quindi non in senso assoluto (non sono stati considerati eventuali disturbi generati da altri dispositivi), ma relativamente alla presenza di altri AP che potrebbero disturbare la comunicazione.

Il tool di analisi adottato è **Iperf** ed è stato configurato con gli stessi parametri dell’esperienza di laboratorio #1 per permettere un diretto confronto tra le prestazioni di una rete infrastrutturata e quelle di una rete *ad-hoc*. Anche in questa esperienza, come nella precedente, Iperf è stato utilizzato per generare uno stream di dati UDP al fine di evitare la generazione di ulteriori intervalli temporali che andrebbero a ridurre il *throughput*, misurato al variare della configurazione della rete e del canale.

#### 2. SETUP SPERIMENTALE

Lo schema del setup sperimentale generale, composto da soli laptop, è mostrato nella figura 1. In esso è presente un laptop configurato come server Iperf e gli altri come client.

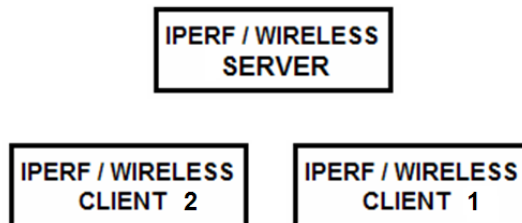


Figura 1

Nell’analisi seguita alle misurazioni con il tool Iperf sono stati rimossi il primo e l’ultimo valore di *throughput* misurato, ritenuti meno affidabili poiché relativi ad un “transitorio” e per ovviare a problemi di allineamento degli istanti iniziale e finale in presenza di più stazioni configurate come client.

Analogamente al caso precedente, i valori forniti da Iperf sono stati elaborati con un software (realizzato in C++ a tale scopo) e forniti in ingresso al software Matlab™ (The Mathworks™), che ha tracciato in modo automatizzato i grafici relativi al *throughput*.

Nello specifico, sono state eseguite 4 tipologie di test:

**TEST A:** rete *ad-hoc* tra due stazioni, velocità fissa impostata su client e server

**A1:** 802.11b velocità 11Mbps

**A2:** 802.11g velocità 12Mbps

**A3:** 802.11g velocità 24Mbps

**TEST B:** rete *ad-hoc* tra tre stazioni, velocità fissa impostata su client e server

**B1:** 802.11b velocità 11Mbps

**B2:** 802.11g velocità 12Mbps

**B3:** 802.11g velocità 24Mbps

**TEST C:** rete *ad-hoc* tra quattro stazioni, velocità fissa impostata su client e server

**C1:** 802.11b velocità 11Mbps

**C2:** 802.11g velocità 12Mbps

**C3:** 802.11g velocità 24Mbps

**TEST D:** 3 stazioni, velocità miste impostate dalle stazioni

**D1:** Prima stazione 802.11g 6Mbps, Seconda stazione 802.11g 54Mbps. Il test ha durata 120 secondi, per i primi 60 sono in funzione entrambe le stazioni, dal sessantesimo secondo in poi è in funzione solo la stazione a 54Mbps, ambiente rumoroso.

**D2:** Test D1 in ambiente non rumoroso.

I **test A** sono svolti per verificare il *throughput* in una rete *ad-hoc* 802.11 b/g in assenza di collisioni. In questo modo si intende osservare quindi l'effetto dell'*overhead* e dei tempi di attesa introdotti dal protocollo sulla trasmissione. I valori di velocità sono stati utilizzati anche per i test B e C per permettere un confronto diretto tra le varie prove e con quelle utilizzate nell'esperienza precedente.

I **test B e C** sono stati eseguiti per controllare la variazione di velocità che si ha sulle reti *ad-hoc* nel momento in cui si hanno più client collegati allo stesso server.

In questa situazione si attende una diminuzione del *throughput*, dato che il canale è condiviso da un numero maggiore di stazioni, che provocano un incremento della probabilità di collisione e quindi, statisticamente, anche delle dimensioni della finestra di contesa.

Il **test D** è stato eseguito per simulare una situazione reale: la presenza di client che trasmettono a velocità diverse. Da questa simulazione si attende che la stazione con velocità più bassa occupi maggiormente il canale e abbassi notevolmente il *throughput* della stazione a velocità maggiore.

## 2.1 "Ambiente rumoroso"

Come specificato precedentemente, con "ambiente rumoroso" si intende un ambiente in cui tutti i canali sono occupati da altri AP e da altre stazioni. Il concetto di "rumorosità" in tale accezione è da intendersi come "disturbi provocati da altri AP" e non quindi come tutti i possibili disturbi elettromagnetici (rumore AWGN, rumori impulsivi, rumori a banda larga, a banda stretta, man-made noise, ...) che possono incidere sul canale e che in questa esperienza non vengono analizzati.

Il setup sperimentale per questa categoria di prove è composto da quattro laptop, con le caratteristiche riportate in tabella 1 e disposti secondo lo schema di figura 2.

MODELLO	Dell Latitude 1101
SO	GNU/Linux Debian 3.1 Sarge
PROCESSORE	Intel Pentium® M - Modello 725 (1.7 GHz, 400 FSB) con Hyper-Threading
RAM	Memoria DDR 333 SDRAM 512MB 333MHz Dual Channel Shared
SCHEDA WIRELESS	Intel® Pro Wireless 2200 802.11b/g

Tabella 1

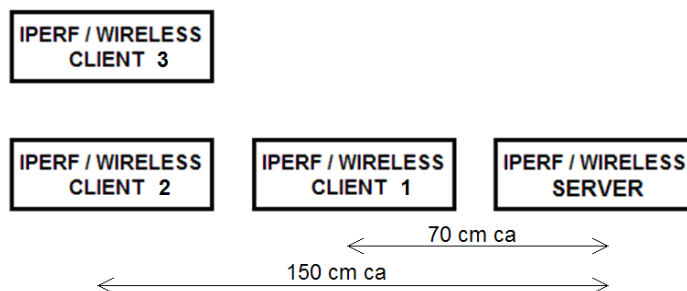


Figura 2

Le prove nell'ambiente "rumoroso" sono state eseguite controllando l'utilizzo dei canali mediante il software freeware Netstumbler, il cui output è riportato in figura 3.

MAC	SSID	Name	Ch	Speed	Vendor	Type	Enc...	SNR	Signal+	Noise-	SNR+	IP Addr	Subnet
0014A824C440	science-wifi		1	54 Mbps	(Fake)	AP		33	-59	-100	41		
0014A8147960	science-wifi		1*	54 Mbps	(Fake)	AP		46	-48	-100	52		
0014A824B8F0	science-wifi		2	54 Mbps	(Fake)	AP		38	-53	-100	47		
0014A824B8D0	science-wifi		2+	54 Mbps	(Fake)	AP		25	-47	-100	53		
0014A824BF00	science-wifi		3+	54 Mbps	(Fake)	AP		42	-48	-100	52		
0018191F60C2			4	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	35	-53	-100	47		
0018191F60C3			4	54 Mbps	(Fake)	AP		35	-52	-100	48		
0018191F60C0			4	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	36	-54	-100	46		
0018191F60C1	FbkWfGuest		4	54 Mbps	(Fake)	AP		41	-51	-100	49		
0014A824BB90	science-wifi		5	54 Mbps	(Fake)	AP		35	-56	-100	44		
0014A824C2F0	science-wifi		5	54 Mbps	(Fake)	AP		39	-57	-100	43		
0018191F5FE0			6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	28	-66	-100	34		
0018191F5FE2			6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	29	-63	-100	37		
0018191F5FE3			6	54 Mbps	(Fake)	AP		27	-66	-100	34		
0014A824C4D0	science-wifi		6+	54 Mbps	(Fake)	AP		30	-56	-100	44		
0018191F5FE1	FbkWfGuest		6+	54 Mbps	(Fake)	AP		29	-61	-100	39		
0014A81479D0	science-wifi		7	54 Mbps	(Fake)	AP		36	-52	-100	48		
0014A824B7F0	science-wifi		8	54 Mbps	(Fake)	AP		30	-63	-100	37		
0014A824B860	science-wifi		9	54 Mbps	(Fake)	AP		30	-66	-100	34		
0014A8147E40	science-wifi		10	54 Mbps	(Fake)	AP		28	-61	-100	39		
0014A824C160	science-wifi		10	54 Mbps	(Fake)	AP		35	-58	-100	42		
0014A8147810	science-wifi		12	54 Mbps	(Fake)	AP		37	-56	-100	44		
0014A824BFA0	science-wifi		13	54 Mbps	(Fake)	AP		23	-67	-100	33		
0014A824B970	science-wifi		13	54 Mbps	(Fake)	AP		32	-57	-100	43		

Figura 3

Il canale scelto per le simulazioni è il numero 11 (2451-2473 MHz,  $f_c=2462$  MHz) perchè, come si nota dalla figura 3, è il solo canale libero. Nonostante il canale scelto non sia utilizzato da altri dispositivi, l'ambiente è da considerarsi comunque rumoroso, dal momento che i canali adiacenti all'11 (e ad esso parzialmente sovrapposti) sono tutti utilizzati. In tale ambiente sono stati svolti i **test A, B, C e D1** descritti precedentemente.

Il problema principale della presenza di altri AP consiste nel traffico che essi generano quando degli utenti sono collegati ad essi. Di conseguenza le condizioni di traffico in cui sono stati eseguiti i test sono da considerarsi semi-controllate, dato che non è possibile monitorare gli utenti connessi agli AP presenti.

## 2.2 "Ambiente non rumoroso"

Il setup sperimentale per questa prova è composto da tre laptop con caratteristiche differenti da quelli utilizzati precedentemente, ma dotati tutti della stessa scheda wireless di quelli indicati in tabella 1. La figura 4 mostra la loro disposizione.

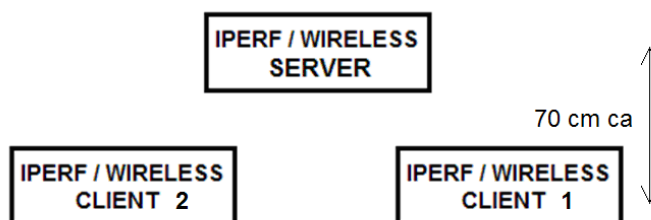


Figura 4

L'ambiente è definito "non rumoroso", dal momento che non sono stati rilevati AP presenti nel luogo di misura. Potrebbero essere comunque presenti altre sorgenti di disturbo, non considerate in questa sperimentazione ma potenzialmente dannose per la trasmissione.

In questo ambiente è stato svolto il **test D2**, descritto precedentemente. Esso è stato ripetuto utilizzando gli stessi canali indicati per i test A, B e C.

### 3. AD-HOC NETWORK E CALCOLI TEORICI

Oltre alle reti infrastrutturate, il protocollo 802.11 fornisce la possibilità di creare un altro tipo di rete: la rete *ad-hoc*, nella quale le varie stazioni possono comunicare direttamente tra loro in modalità *peer-to-peer* senza la necessità di *Access Point (AP)* o di *Distribution System (DS)*; tali reti sono infatti dette **decentralizzate**.

La natura decentralizzata, la semplice configurazione e la rapida implementazione conferiscono a tali reti una maggiore scalabilità e le rendono adatte ad una varietà di applicazioni nelle quali non sono presenti punti di coordinamento centrali. Il costo di installazione di una rete *ad-hoc* è infatti inferiore rispetto a quello di una rete con infrastruttura, proprio perchè non è necessario realizzare strutture statiche sul territorio.

La principale differenza tra una rete *ad-hoc* e una rete con infrastruttura è che la prima può essere creata molto velocemente e si presta ad applicazioni temporanee.

Alcuni esempi di possibili scenari di applicazione potrebbero essere semplici reti per scambio di file *peer-to-peer* in caso di assenza di reti infrastrutturate, ma anche collegamenti per situazioni di prima emergenza, come disastri naturali, conflitti militari o comunque tutti quegli ambienti in cui non esiste una backbone di base.

Un esempio di rete *ad-hoc* è mostrato in figura 5.

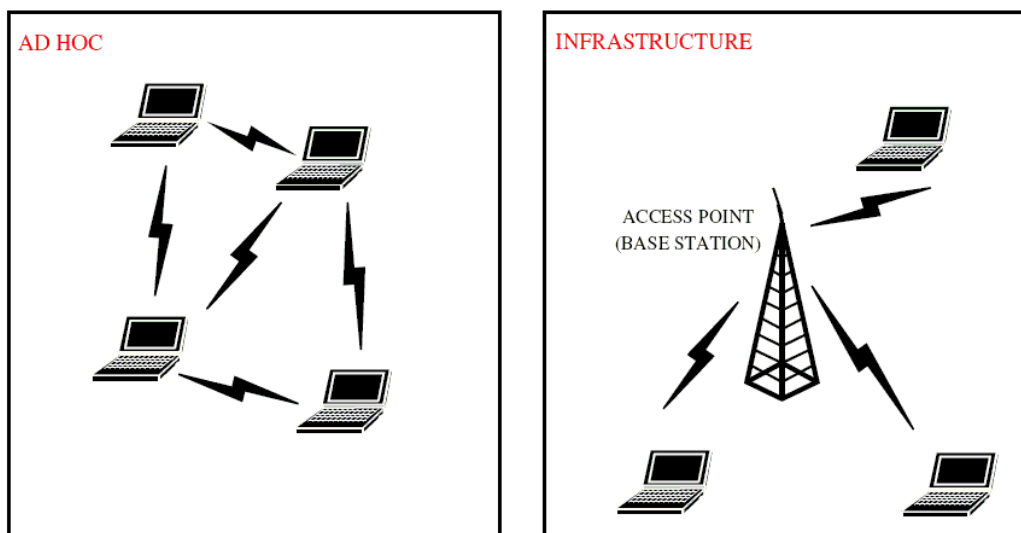


Figura 5

Le reti *ad-hoc*, quando instaurate, definiscono il cosiddetto *IBSS (Independent Basic Service Set)*.

Per la comunicazione *ad-hoc*, non essendo disponibile un coordinatore, viene utilizzata la *DCF (Distributed Coordination Function)*.

#### 3.1 Procedure di scan nelle reti *ad-hoc*

Per far parte di una rete *ad-hoc*, una stazione deve attivare le procedure di *scan* tramite due primitive: **MLME-SCAN.request** e **MLME-SCAN.confirm**, i cui parametri sono rappresentati nelle tabelle 2 e 3.

**Primitiva MLME-SCAN.request:**

Nome	Tipo	Valori possibili	Descrizione
BSSType	Enumeration	INFRASTRUCTURE, INDIPENDENT, ANY_BSS	Specifica che tipo di BSS si intende cercare
BSSID	MACAddress	Qualsiasi valido indirizzo MAC, individuale o di gruppo	Identifica uno specifico BSSID oppure lo scan usa il BSSID di tipo broadcast
SSID	Stringa di ottetti	0-32 ottetti	Identifica uno specifico SSID oppure lo scan usa il SSID dei tipo broadcast
ScanType	Enumeration	ACTIVE, PASSIVE	Specifica il tipo di scan, attivo o passivo
ProbeDelay	Intero	N/D	Ritardo (in $\mu$ s) da usare prima di trasmettere un frame Probe in caso di scanning attivo
Chanellist	Insieme ordinato di interi	Ciascun canale sarà scelto in base alla lista dei canali disponibili per uno specifico PHY	Specifica la lista dei canali che saranno esaminati nello scan
MinChannelTime	Intero	$\geq$ ProbeDelay	Il tempo minimo speso ad esaminare un singolo canale
MaxChannelTime	Intero	$\geq$ MinChannelTime	Il tempo massimo speso ad esaminare un singolo canale

Tabella 2

**Primitiva MLME-SCAN.confirm:**

Nome	Tipo	Valori possibili	Descrizione
BSSDescriptionSet	Insieme di elementi di tipo BSSDescription	N/D	E' un insieme, anche nullo, di istanze del tipo BSSDescription
ResultCode	Enumeration	SUCCESS, INVALID_PARAMETERS	Indica il risultato della primitiva MLME-SCAN.Confirm

Tabella 3

La procedura di *scan* può essere di due tipi: passiva oppure attiva.

Nello **scanning passivo** la stazione, in base a quanto indicato nella primitiva di richiesta **MLME-SCAN.request**, si mette in ascolto sul canale specificato in attesa di ricevere beacon contenenti l'*SSID* richiesto oppure analizza tutti i canali in attesa di un qualsiasi beacon qualora essa debba individuare tutte le reti presenti nel proprio raggio di copertura (questo è realizzato utilizzando l'*SSID* broadcast all'interno della primitiva di richiesta).

Nello **scanning attivo** la stazione genera ed invia dei frame di tipo *Probe* e per ogni canale esegue la seguente procedura:

1. Attende la scadenza del tempo indicato dal parametro *ProbeDelay* presente nella MLME-SCAN.request;
2. Ottiene l'accesso al mezzo tramite la modalità *DCF*;
3. Trasmette un *Probe Frame* con la destinazione broadcast, *SSID* desiderato e *BSSID* broadcast;
4. Resetta e attiva un *ProbeTimer*;
5. Continua ad inviare *Probe Frames* finché il canale risulta libero e il *ProbeTimer* si mantiene minore del parametro *MinChannelTime*, in seguito la stazione resetta il *NAV* e inizia ad analizzare il canale successivo. Se la stazione rileva il canale occupato mentre tenta di inviare un frame di tipo *Probe Request*, posticipa la trasmissione, ma comunque rimane su quel canale fino a quando il *ProbeTimer* raggiunge il valore specificato dal parametro *MaxChannelTime*. Successivamente raccoglie le risposte ottenute, resetta il *NAV* e prosegue con il successivo canale.

Una stazione che riceve un frame di tipo *Probe Request* deve rispondere con un frame di tipo *Probe Response* solo se l'*SSID* nel *Probe Request* coincide con il proprio *SSID* o se è di tipo *broadcast*. Tali frame di risposta vanno inviati,

secondo la modalità *DCF*, alla stazione che ha effettuato la richiesta.

In una rete di tipo *ad-hoc* ci potrebbero essere più stazioni che rispondono ad un frame di tipo *Probe Request*, poiché è possibile che più di una stazione all'interno della *IBSS* invii un *beacon* (mentre in una rete con infrastruttura normalmente è l'*Access Point* che invia i frame di tipo *Probe Response*).

Una volta completato lo scan, verrà attivata la primitiva di conferma **MLME-SCAN.confirm**, che conterrà la descrizione dell'insieme di *IBSS* rilevate e in seguito alla quale una stazione può decidere di entrar a far parte di una specifica *IBSS* tra quelle trovate. Quest'ultima operazione avviene grazie ad altre due primitive (**MLME-JOIN.Request** e **MLME-JOIN.Confirm**), tramite le quali la stazione riesce ad acquisire il *TSF timer* (clock della *IBSS*, identico tra tutti i membri della *IBSS* stessa), il *beacon period* e i parametri di livello fisico.

Nel caso in cui nessuna *IBSS* abbia l'identificativo desiderato o non vi siano *IBSS* presenti, o comunque quando la stazione vuole creare una rete *ad-hoc* senza effettuare la fase di scan, essa può iniziarne una autonomamente tramite la primitiva **MLME-START.request**. In questo caso il *BSSID* è generato in maniera randomica.

### 3.2 Sincronizzazione e generazione dei beacon nelle reti *ad-hoc*

Tutte le stazioni all'interno di una specifica *IBSS* devono essere sincronizzate con un clock comune. Per tale motivo la sincronizzazione in una rete *ad-hoc* è basata sulla funzione *TSF* (*Timing Synchronization Function*), gestita da ogni singola stazione mediante un algoritmo distribuito, mentre nelle reti con infrastruttura è l'*Access Point* che mantiene la sincronizzazione. Tutti i membri di una *IBSS* partecipano alla generazione dei beacon.

Ogni dispositivo deve modificare il proprio *TSF Timer* solo se il valore *Timestamp* contenuto all'interno dei *beacon* o dei frame di tipo *Probe Response* è in ritardo rispetto al proprio. In tali frame è anche contenuto il *beacon period*, parametro che dovrà essere adottato al momento dell'aggancio ad una particolare *IBSS*.

Il *beacon period* è stabilito dalla stazione che inizializza la *IBSS* e a sua volta definisce gli istanti *TBTT* (*Target Beacon Transmission Time*), nei quali ogni stazione deve:

1. Sospendere eventuali procedure di *backoff* in corso relative ai dati da inviare;
2. Calcolare un ritardo casuale uniformemente distribuito tra  $[0 ; 2 \times CW_{min} \times TimeSlot]$ ;
3. Analogamente alla procedura di *backoff*, attendere questo ritardo casuale;
  - Se durante l'attesa viene ricevuto un *beacon* inviato da un'altra stazione, si cancella il ritardo casuale appena calcolato e viene abbandonata la trasmissione del *beacon*, riprendendo eventuali *backoff* sospesi;
  - Se invece durante l'attesa non viene ricevuto alcun *beacon*, allora la stazione invia il proprio *beacon* contenente il *TimeStamp*.

E' possibile che più di una stazione generi o invii un *beacon* subito dopo il *TBTT*, a causa della non corretta ricezione di un *beacon* generato ed inviato da un altro dispositivo o a causa di collisioni durante la trasmissione dei beacon stessi.

### 3.3 Calcoli teorici 802.11b/g

Per quanto riguarda i calcoli relativi al *throughput* teorico delle stazioni, si rimanda ai paragrafi 3.3 e 3.4 della relazione relativa all'esperienza #1, in quanto, una volta instaurata la rete *ad-hoc*, essi rimangono invariati rispetto al caso infrastrutturato.

## 4. RISULTATI SPERIMENTALI

In questo capitolo vengono mostrati i grafici relativi ai risultati ottenuti nelle sperimentazioni, comprensivi di alcuni parametri statistici e dell'efficienza, intesa come rapporto tra il valor medio del *throughput* ottenuto sperimentalmente e la velocità nominale. All'interno di tali grafici vengono riportati anche gli andamenti dei valori di *throughput* teorici calcolati nei paragrafi 3.3 e 3.4 della relazione #1.

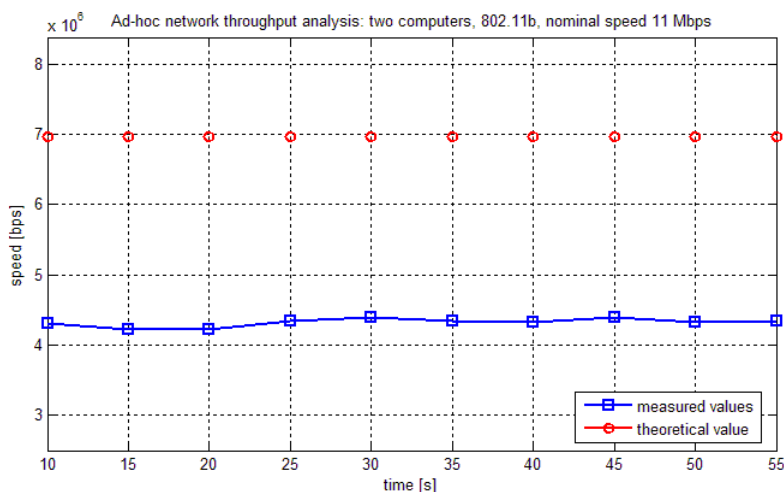
Come affermato inizialmente e analogamente a quanto accaduto nell'esperienza #1, quasi tutte le prove eseguite hanno una durata di 60 secondi, mentre per i test D1 e D2 il tempo di misurazione è di 120 secondi. Occorre precisare che i valori relativi al *throughput* misurato si riferiscono alla media del *throughput* valutato nei 5 secondi precedenti. Per comodità si è scelto di interpolare i suddetti valori con delle rette, le quali non sono quindi da considerarsi come andamento effettivo del *throughput* istantaneo. Per ogni grafico sono stati eliminati il primo e l'ultimo valore in quanto relativi ad un transitorio di *lperf* e non al funzionamento a regime.

Nei grafici corrispondenti alle prove eseguite con più di due stazioni, si sono riprodotti solamente gli andamenti dei valori misurati, non potendo stimare correttamente il *throughput* teorico a causa della finestra di contesa variabile. In tali test è stato però valutato il *throughput* aggregato ed è stato confrontato con i test precedenti e con i risultati ottenuti in configurazione infrastrutturata.

#### 4.1 Test Categoria A

I test di **categoria A** si riferiscono alla configurazione in cui si ha una rete *ad-hoc* costituita da sole due stazioni. Sulla prima stazione è attivo Iperf in modalità server, mentre sulla seconda in modalità client.

##### TEST A1: 2 stazioni *ad-hoc*, 802.11b velocità 11Mbps



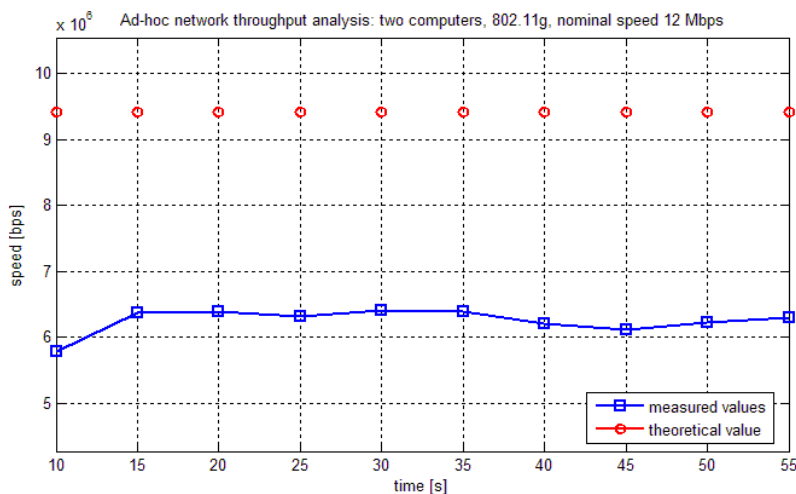
<b>MIN</b>	4.23Mbps
<b>MAX</b>	4.40Mbps
<b>AVG</b>	4.33Mbps
<b>Theor</b>	6.97Mbps
<b>STD</b>	59.4kbps
<b>EFF</b>	39.3%

Come si può notare, il *throughput* misurato con due sole stazioni alla velocità di 11Mbps è molto inferiore sia al *throughput* medio teorico calcolato che a quello ottenibile in caso di finestra di contesa massima (5.89 Mbps, v. tabella 3 relazione #1).

Questo problema potrebbe essere dovuto alla presenza di altre reti operanti su canali parzialmente sovrapposti a quello utilizzato nella prova in questione (canale n. 11). Infatti, come mostrato in figura 3, si possono notare alcuni Access Point che operano sui canali che vanno dal 7 al 13.

Quando sui suddetti canali transita del traffico si ha un aumento dell'interferenza elettromagnetica da essi generata, che potrebbe disturbare la trasmissione nel sistema sotto test. Per questo molti dei pacchetti inviati dalle stazioni appartenenti alle altre reti potrebbero generare un disturbo tale da impedire la corretta ricezione e quindi causare un drastico abbassamento del *throughput*.

##### TEST A2: 2 stazioni *ad-hoc*, 802.11g velocità 12Mbps



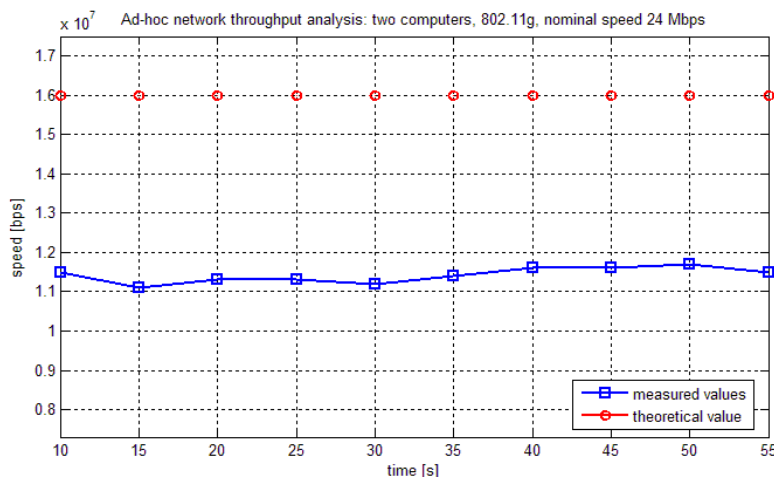
<b>MIN</b>	5.78Mbps
<b>MAX</b>	6.41Mbps
<b>AVG</b>	6.25Mbps
<b>Theor</b>	9.41Mbps
<b>STD</b>	192kbps
<b>EFF</b>	52.1%

Anche in questo caso si ripresenta il problema verificatosi nel test A1. Il *throughput* misurato è ben al di sotto di quello teorico. Occorre notare che tale test è stato effettuato in un intervallo temporale immediatamente successivo a quello del

test A1 e quindi la situazione delle reti operanti sui canali adiacenti è rimasta pressoché invariata. Questo fa presupporre che ci sia un degrado di prestazioni con cause simili a quelle della prova precedente.

Si può inoltre effettuare un confronto tra le prestazioni del test A1 e del test A2, in quanto, seppure appartenenti a standard diversi, operano a velocità nominali comparabili. Si dimostra che, sebbene in presenza di un *throughput* alquanto basso, la tecnica OFDM dell'802.11g permette di ottenere un aumento dell'efficienza del 12% circa rispetto alla tecnica DS/SS dello standard 802.11b. Ciò significa che la modulazione usata nello standard 802.11g permette di sfruttare meglio le risorse.

**TEST A3: 2 stazioni *ad-hoc*, 802.11g velocità 24Mbps**

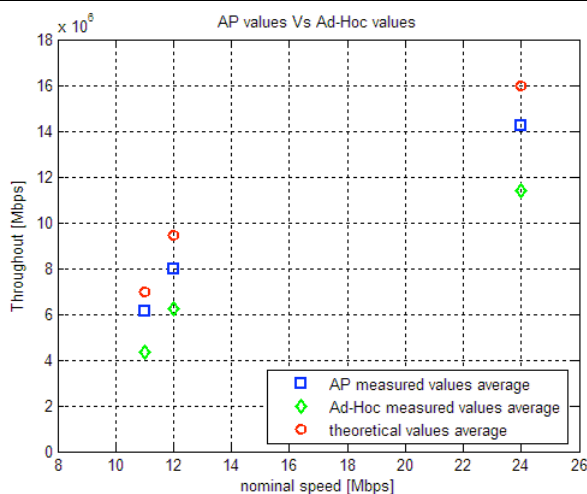


<b>MIN</b>	11.1Mbps
<b>MAX</b>	11.7Mbps
<b>AVG</b>	11.4Mbps
<b>Theor</b>	16.0Mbps
<b>STD</b>	193kbps
<b>EFF</b>	47.5%

Come per i test A1 e A2, si può notare che anche in questa prova le prestazioni ottenute sono inferiori al limite teorico. Da notare invece come il *throughput* misurato sia abbastanza stabile, il che conferma la tesi di una situazione statica che affligge il canale (come quella della sovrapposizione dei canali e un traffico su di essi costante), piuttosto che un problema temporaneo.

Inoltre si può osservare come l'efficienza ottenuta in questa prova è inferiore a quella ottenuta per il test A2. Questo è dovuto all'overhead presente nella comunicazione che è tanto più dominante quanto più la velocità di invio dei dati è elevata. Infatti, come già menzionato nella relazione relativa all'esperienza #1, la velocità di trasmissione dell'overhead rimane costante al variare della velocità dei dati e quindi il tempo richiesto per trasmetterlo incide in modo maggiore sul tempo complessivo richiesto per l'invio di un frame. Questa considerazione non è valida per il test A1, in quanto viene utilizzato lo standard 802.11b che impiega una modulazione DS/SS, meno efficiente della modulazione OFDM utilizzata nello standard 802.11g.

**Confronto risultati con modalità infrastrutturata**



In questo grafico sono mostrati i valori medi del *throughput* teorico, di quello misurato in caso di rete *ad-hoc* e di quello misurato in caso di rete infrastrutturata (relazione #1).

Si nota come il valore teorico risulta essere il più alto dei tre. Pur considerando il fatto che la finestra di contesa nel caso teorico è fissa a 15.5 time slot (mentre nel caso reale è fortemente variabile), si può affermare che il canale introduce



sempre delle non idealità che portano ad un abbassamento delle prestazioni reali di una rete wireless.

In queste misurazioni si può riscontrare come la rete *ad-hoc* fornisca *throughput* inferiori alla rete infrastrutturata, anche se in teoria entrambe le tipologie utilizzano gli stessi protocolli di comunicazione. Tale problema, come accennato precedentemente, potrebbe essere imputabile alla presenza durante il test di altre reti su canali adiacenti, che causerebbero quindi interferenze elettromagnetiche.

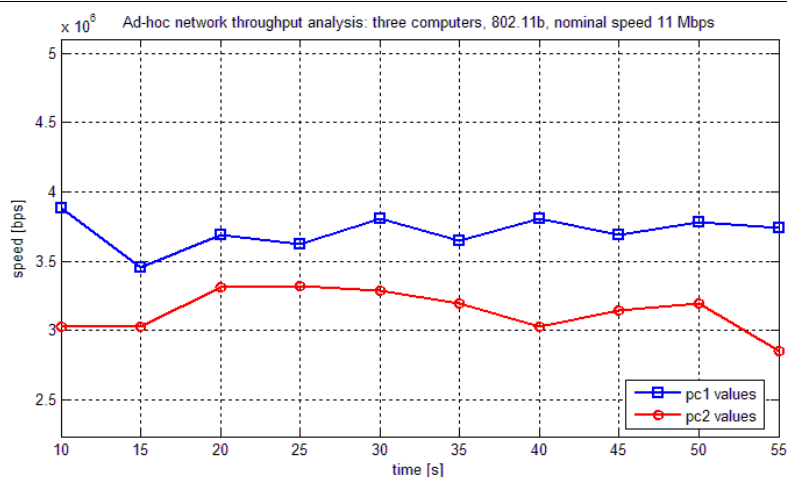
Un'altra motivazione per spiegare questo peggioramento potrebbe essere l'attivazione del meccanismo *RTS/CTS*. Tale meccanismo, utilizzato per risolvere il problema dei nodi nascosti ed esposti, potrebbe essere attivo nonostante la disattivazione imposta da riga di comando. Infatti si è notato che, per alcune interfacce di rete, questa funzionalità non può essere disabilitata. Per questo motivo il tempo di trasmissione totale relativo ad un frame dati sarebbe superiore a quello considerato nelle tabelle 3 e 4 dell'esperienza #1, motivo per cui si otterrebbe una diminuzione del *throughput* effettivo.

Tuttavia, dai test A1, A2 e A3 si osserva un andamento del *throughput* abbastanza stabile, con varianze massime all'incirca di 200kbps. Ciò mostra come, in presenza di un solo client, il range di variazione del *throughput* sia abbastanza limitato. Tale comportamento è dovuto anche al fatto che il canale non presenta *fade* di particolare profondità, a causa dei quali si potrebbero ottenere delle oscillazioni della bitrate.

## 4.2 Test Categoria B

I test di **categoria B** fanno riferimento a tre stazioni appartenenti alla stessa rete *ad-hoc* (1 server Iperf, 2 client).

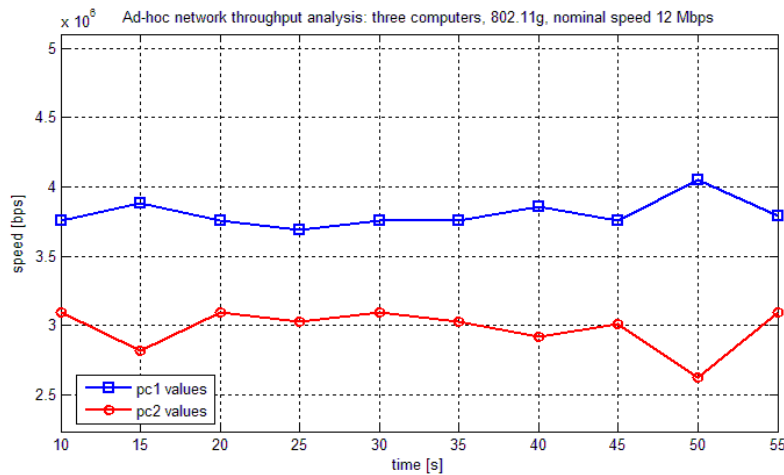
### TEST B1: 3 stazioni *ad-hoc*, 802.11b velocità 11Mbps



PC 1	
MIN	3.46Mbps
MAX	3.88Mbps
AVG	3.71Mbps
STD	120kbps
EFF	33.8%
PC 2	
MIN	2.85Mbps
MAX	3.32Mbps
AVG	3.14Mbps
STD	153kbps
EFF	28.6%
Throughput medio aggregato	
6.85Mbps	
EFF	62.3%

In questo grafico sono visualizzati gli andamenti dei *throughput* relativi a due stazioni che fanno parte della stessa rete *ad-hoc*. Come ci si può aspettare, il *throughput* subisce un peggioramento dovuto al fatto che quando sono presenti più stazioni sullo stesso canale la probabilità di collisione aumenta e quindi i dispositivi sono soggetti a tempi di inattività statisticamente maggiori, a causa di una finestra di contesa mediamente più lunga.

Si nota però come il *throughput* medio aggregato, contrariamente alle attese, sia maggiore del corrispettivo *throughput* ottenuto con una stazione in meno sul canale (test A1) e come il problema che affligge i test di categoria A (ovvero il *throughput ad-hoc* molto minore del *throughput* della rete infrastrutturata) non sia presente nel test B1. Tali anomalie si sono puntualmente ripresentate effettuando diversi test alla velocità di 11Mbps all'interno dello stesso ambiente. Una possibile spiegazione a questo potrebbe essere la presenza di elevati disturbi nel canale di comunicazione, che quindi hanno inficiato le misure del test A1. Tali disturbi potrebbero essere dovuti alla generazione di un elevato volume di traffico in una delle reti operante su un canale adiacente a quello del test A1.

**TEST B2: 3 stazioni ad-hoc, 802.11g velocità 12Mbps**

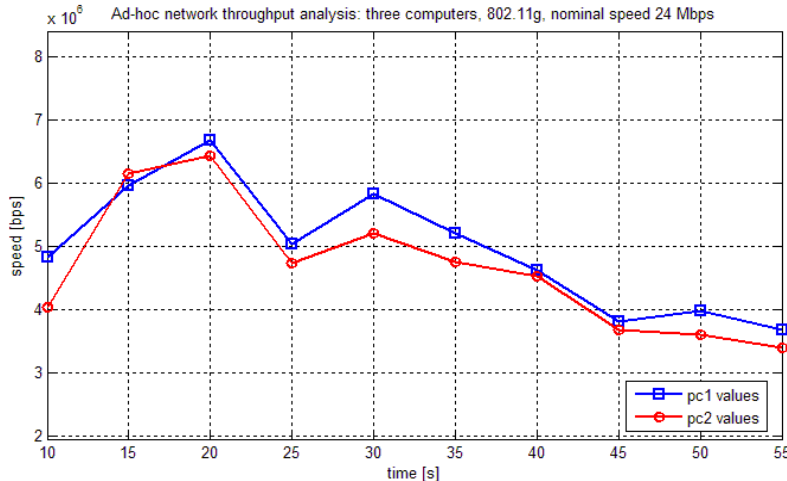
PC 1	
MIN	2.63Mbps
MAX	3.10Mbps
AVG	2.98Mbps
STD	155kbps
EFF	24.8%

PC 2	
MIN	3.69Mbps
MAX	4.05Mbps
AVG	3.81Mbps
STD	101kbps
EFF	31.7%

Throughput medio aggregato	
6.79Mbps	
EFF	56.6%

Il test B2 presenta un esempio dell'interazione tra le varie stazioni operanti sullo stesso canale wireless. Infatti, come si può osservare dall'immagine, all'istante esatto di aumento del *throughput* di una delle due stazioni corrisponde una diminuzione del *throughput* dell'altra. Questo fenomeno potrebbe essere dovuto al peggioramento momentaneo delle condizioni del canale per una stazione, con conseguente abbassamento del *throughput*; proprio per questo l'altra stazione ha a disposizione maggiori risorse e quindi vede a sua volta aumentare il proprio *throughput*.

In questo caso il *throughput* medio aggregato è minore del caso infrastrutturato (7.79 Mbps, test B2 relazione #1) e, contrariamente alle attese, superiore a quello ottenuto con una stazione in meno (test A2), come accade per il test B1. Avendo effettuato il test A2 immediatamente dopo il test A1, le sfavorevoli condizioni di canale tra questi due test sono pressoché simili e quindi potrebbero essere la motivazione dell'incongruenza relativa al *throughput* medio aggregato tra la prova B2 e A2.

**TEST B3: 3 stazioni ad-hoc, 802.11g velocità 24Mbps**

PC 1	
MIN	3.67Mbps
MAX	6.68Mbps
AVG	4.96Mbps
STD	993kbps
EFF	20.7%

PC 2	
MIN	3.39Mbps
MAX	6.44Mbps
AVG	4.65Mbps
STD	1.04Mbps
EFF	19.4%

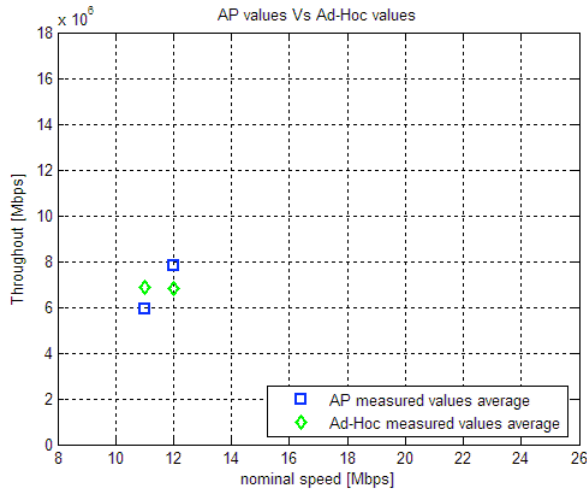
Throughput medio aggregato	
9.61Mbps	
EFF	40.0%

Da questo grafico si può analizzare un ulteriore effetto che il canale provoca su entrambe le trasmissioni: si noti come i valori misurati hanno un andamento molto simile. Attorno al 20° secondo, infatti, le due stazioni assumono il massimo valore di *throughput*, mentre subiscono una repentina diminuzione nell'istante di misura immediatamente successivo, per poi risalire e successivamente ridiscendere fino al termine della misurazione. Probabilmente questo è dovuto al fatto che le due stazioni non sono ad una distanza dal server Iperf molto diversa e quindi le variazioni in termini di qualità del canale osservate da una stazione sono all'incirca identiche a quelle rilevate dall'altra stazione. A causa di questo, le efficienze delle due trasmissioni sono similari.

I disturbi potrebbero essere dovuti ad ostacoli interposti tra le stazioni, oppure a disturbi elettromagnetici generati da altri dispositivi.

In questo test si ottiene inoltre una bassa efficienza, dovuta proprio a qualche disturbo presente sul canale che fa fortemente oscillare il *throughput* stesso.

## Confronto risultati con modalità infrastrutturata



Anche tale configurazione è stata paragonata con i valori ottenuti dalle misurazioni effettuate su una rete infrastrutturata a varie velocità.

Si è notato che, a differenza di tutti gli altri test, solo nel caso ad 11Mbps si ottengono dei valori di throughput superiori a quelli ottenuti nella corrispondente realizzazione infrastrutturata. In tutti gli altri casi il throughput è inferiore e si presentano comunque diverse discrepanze con quanto atteso teoricamente.

Come menzionato precedentemente, questo potrebbe essere dovuto ad un ambiente particolarmente rumoroso nel quale sono state effettuate le prove sulla rete *ad-hoc*, che quindi potrebbe aver inficiato la trasmissione, specie dei test di categoria A. Questo fenomeno si nota maggiormente alle rate più elevate, perché per implementare tali bit rate, la modulazione *OFDM* utilizza su ogni singola sottoportante un numero di simboli sempre maggiore (a parità di potenza di trasmissione) e quindi l'intero segnale trasmesso è più sensibile al rumore.

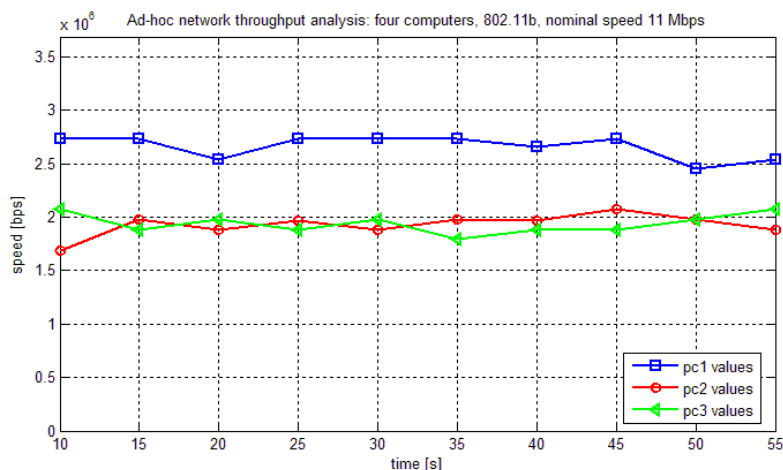
Nei test di categoria B si nota come il client 1 abbia sempre un throughput leggermente maggiore rispetto al client 2. Questo è dovuto alla disposizione dei client (figura 2) dove si nota che, sebbene la differenza delle distanze tra le stazioni e il server Iperf non sia elevata, comunque il segnale del client 1 deve compiere un cammino minore. Le stazioni più distanti dal server Iperf sono svantaggiate in quanto il segnale arriva maggiormente attenuato e quindi è più soggetto a errori di decodifica. Questi motivi portano ad aumentare le ritrasmissioni dei frame e quindi ad un rallentamento del throughput della stazione.

Inoltre si può osservare che all'aumentare della rate nominale l'efficienza della trasmissione diminuisce; infatti per il test B3 si è ottenuta l'efficienza più bassa (40%). Questo significa che risulta sempre più difficile ottenere elevati *throughput* a causa dell'overhead necessario a consentire una corretta trasmissione.

### 4.3 Test Categoria C

La differenza tra i test di **categoria C** e i test di categoria B è il numero di client presenti all'interno della rete *ad-hoc*. Infatti nei test di categoria C sono presenti quattro stazioni: tre client Iperf che si collegano allo stesso server.

#### TEST C1: 4 stazioni *ad-hoc*, 802.11b velocità 11Mbps



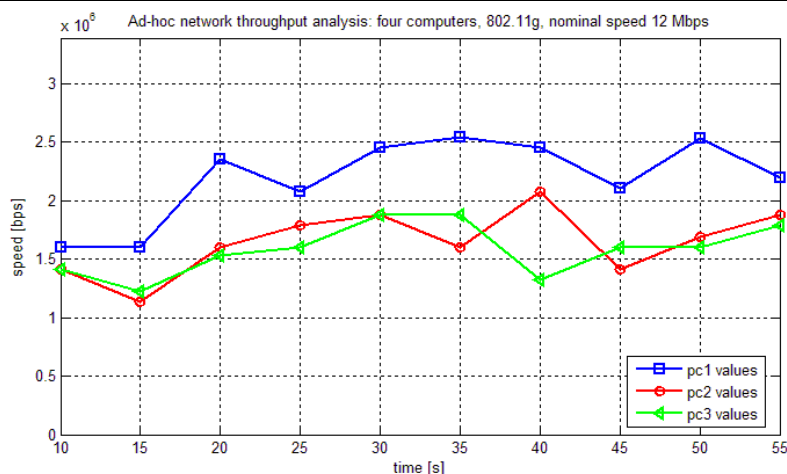
PC 1	
MIN	2.45Mbps
MAX	2.73Mbps
AVG	2.66Mbps
STD	107kbps
EFF	24.2%
PC 2	
MIN	1.69Mbps
MAX	2.07Mbps
AVG	1.93Mbps
STD	103kbps
EFF	17.5%
PC 3	
MIN	1.79Mbps

A causa della presenza di tre stazioni che contendono il mezzo, il *throughput* si abbassa rispetto ai valori precedenti, relativi al test B1. Questo è sostanzialmente dovuto ad una maggiore durata media della finestra di contesa, causata dalla presenza di tre differenti stazioni anziché due.

<b>MAX</b>	2.07Mbps
<b>AVG</b>	1.94Mbps
<b>STD</b>	92kbps
<b>EFF</b>	17.6%

<b>Throughput medio aggregato</b>	
6.53Mbps	
<b>EFF</b>	59.4%

**TEST C2: 4 stazioni ad-hoc, 802.11g velocità 12Mbps**



Da questo grafico si osserva un fenomeno già analizzato in precedenza: in corrispondenza dell'aumento di *throughput* al 40° secondo della stazione 2 si verifica una diminuzione di *throughput* della stazione 3, mentre la stazione 1 sembra essere esente da questo fenomeno. Probabilmente questo è dovuto alla diversa distanza a cui sono posizionati i tre client: la stazione 1 è la più vicina al server Iperf (infatti ha prestazioni migliori) mentre le rimanenti due sono all'incirca alla stessa distanza (vedi figura 2).

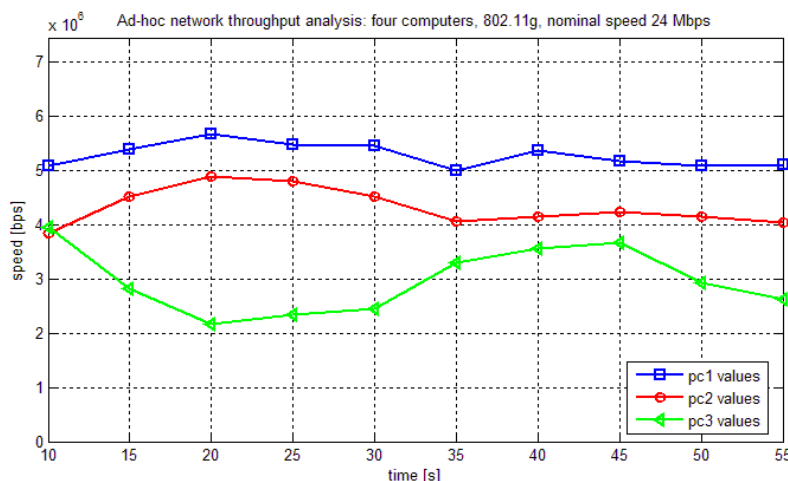
<b>PC 1</b>	
<b>MIN</b>	1.60Mbps
<b>MAX</b>	2.54Mbps
<b>AVG</b>	2.19Mbps
<b>STD</b>	352kbps
<b>EFF</b>	18.2%

<b>PC 2</b>	
<b>MIN</b>	1.13Mbps
<b>MAX</b>	2.07Mbps
<b>AVG</b>	1.65Mbps
<b>STD</b>	277kbps
<b>EFF</b>	13.7%

<b>PC 3</b>	
<b>MIN</b>	1.22kbps
<b>MAX</b>	1.88Mbps
<b>AVG</b>	1.58Mbps
<b>STD</b>	224kbps
<b>EFF</b>	13.2%

<b>Throughput medio aggregato</b>	
5.42Mbps	
<b>EFF</b>	45.2%

**TEST C3: 4 stazioni ad-hoc, 802.11g velocità 24Mbps**



Anche in questo caso si nota il fenomeno verificatosi nel test C2 per le stazioni 2 e 3. Si può concludere che, come nel caso infrastrutturato, all'aumentare della velocità nominale l'efficienza tende a scendere a causa della predominanza degli header fisici nella trasmissione di tutto il frame e che all'aumentare del numero di stazioni l'efficienza diminuisce a causa della dimensione statisticamente più lunga della finestra di contesa.

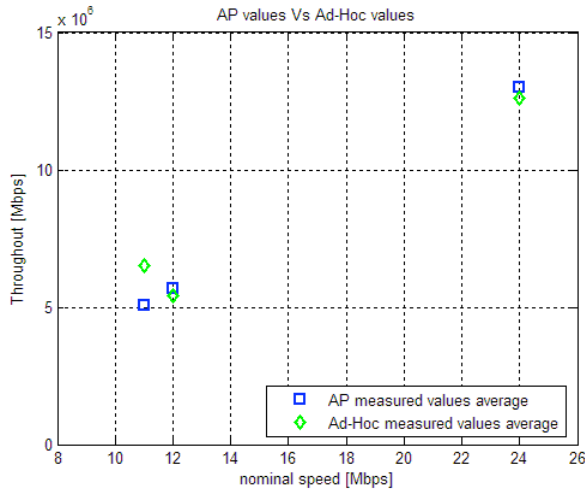
<b>PC 1</b>	
<b>MIN</b>	4.99Mbps
<b>MAX</b>	5.67Mbps
<b>AVG</b>	5.28Mbps
<b>STD</b>	223kbps
<b>EFF</b>	22.0%

<b>PC 2</b>	
<b>MIN</b>	3.85Mbps
<b>MAX</b>	4.89Mbps
<b>AVG</b>	4.32Mbps
<b>STD</b>	346kbps
<b>EFF</b>	18.0%

<b>PC 3</b>	
<b>MIN</b>	2.16Mbps
<b>MAX</b>	3.95Mbps
<b>AVG</b>	2.98Mbps
<b>STD</b>	611kbps
<b>EFF</b>	12.4%

<b>Throughput medio aggregato</b>	
12.6Mbps	
<b>EFF</b>	52.4%

## Confronto risultati con modalità infrastrutturata



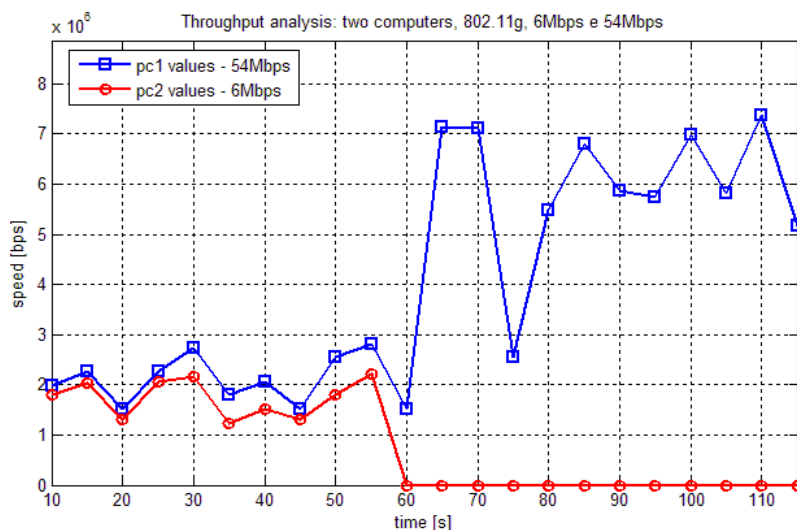
Come verificatosi nel test B1, la rete ad-hoc permette di ottenere dei throughput più elevati della corrispondente rete infrastrutturata solo del caso di 11Mbps.

Occorre osservare che nei test di categoria C emerge il problema legato alla distanza delle stazioni: le stazioni che sono maggiormente distanti dal server avranno un *throughput* inferiore. Tale problema si nota maggiormente quanto la velocità nominale aumenta, come mostrato nel test C3, dove si può osservare che la stazione 1 ha un *throughput* più alto di 2.5Mbps rispetto alla stazione 3.

### 4.4 Test Categoria D

I test di **categoria D** sono stati svolti per simulare una situazione comune nelle reti wireless: la presenza di stazioni che trasmettono a velocità diverse. Questa tipologia di test è differente dalle precedenti poiché le stazioni "lperf client" sono impostate per comunicare con differenti velocità con la stazione "lperf server", la quale è invece in grado di supportare tutte le velocità. Inoltre, con questi test si è voluto confrontare le prestazioni di una rete in un ambiente rumoroso con le prestazioni in un ambiente non rumoroso.

**TEST D1:** 3 stazioni *ad-hoc*, velocità miste impostate dalle stazioni, prima stazione 802.11g 6Mbps per 60 secondi, seconda stazione 802.11g 54Mbps per 120 secondi – ambiente rumoroso



PC 1	
MIN	1.51Mbps
MAX	7.38Mbps
AVG	4.05Mbps
STD	2.24Mbps
EFF	7.49%
PC 2	
MIN	1.22Mbps
MAX	2.21Mbps
AVG	1.75Mbps
STD	377kbps
EFF	29.1%
Thr. medio aggregato fase 1	
3.84Mbps	
EFF	7.11%
Thr. medio aggregato fase 2	
6Mbps	
EFF	11.1%

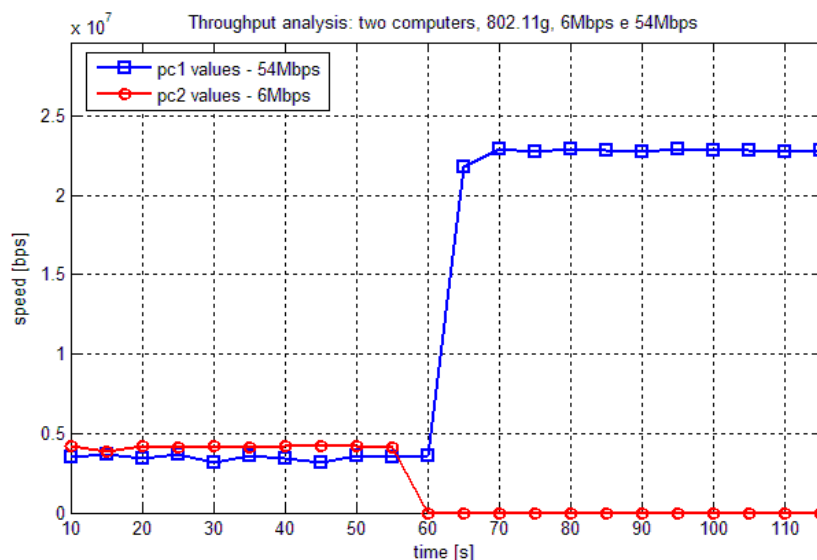
Il test D1 è svolto nell'ambiente rumoroso della facoltà di Scienze, nel quale sono presenti numerosi AP. In questo test la stazione 1 è impostata alla velocità di 6Mbps e rimane in attività per 60 secondi, mentre la stazione 2 è impostata alla velocità di 54Mbps e cessa di generare traffico dopo 120 secondi.

In questo grafico si nota che nei primi 60 secondi (periodo in cui entrambe le stazioni stanno comunicando con il server) la velocità delle stazioni è simile e limitata dalla presenza della stazione 2. Nel momento in cui la stazione 2 smette di trasmettere, il *throughput* della stazione 1 aumenta notevolmente. Ciò si deve al fatto che la trasmissione della stazione

2, essendo svolta ad una velocità bassa, occupa il canale per un tempo maggiore, obbligando la prima stazione ad attendere che il canale sia libero. In questo modo la presenza di una stazione che trasmette a velocità minore rispetto all'altra ne provoca la riduzione del *throughput*.

Tale test presenta però drastici cali di throughput, probabilmente dovuti alla presenza di altre stazioni e altri AP che interagiscono con la trasmissione in esame. Per questo si rimanda al test D2, analogo al presente test ma effettuato in ambiente "non rumoroso".

**TEST D2:** 3 stazioni *ad-hoc*, velocità miste impostate dalle stazioni, prima stazione 802.11g 6Mbps per 60 secondi, seconda stazione 802.11g 54Mbps per 120 secondi – ambiente non rumoroso



Il test D2 consiste della stessa prova D1 realizzata in un ambiente in cui non sono presenti AP o altre reti *ad-hoc* e quindi ritenuto "non rumoroso".

Anche in questo grafico si nota come la stazione 2, impostata alla velocità di 6Mbps, limita la capacità della stazione a velocità maggiore. Il fenomeno presente nel test D1 è ora più visibile, grazie all'assenza di altri AP o stazioni che possano interferire con la trasmissione.

Il throughput aggregato nella fase 2 si avvicina quindi molto al throughput teorico ottenibile con una singola stazione a 54Mbps, mentre il throughput nella prima fase dimostra esattamente come la stazione 2 rallenti notevolmente il traffico dell'altra stazione.

PC 1	
MIN	3.20Mbps
MAX	22.9Mbps
AVG	13.0Mbps
STD	9.84Mbps
EFF	24.2%
PC 2	
MIN	3.86Mbps
MAX	4.23Mbps
AVG	4.17Mbps
STD	116Kbps
EFF	69.4%
Thr. medio aggregato fase 1	
7.64Mbps	
EFF	14.2%
Thr. medio aggregato fase 2	
22.7Mbps	
EFF	42.0%

## 5. CONCLUSIONI

TIPOLOGIA DI TEST		V.M. TEORICO	RETE INFRASTRUTTURATA	RETE AD-HOC
<b>A</b> 1 AP + 1 stazione oppure 2 stazioni ad-hoc	11 Mbps	6.97 Mbps	6.15 Mbps / 55.9%	4.33 Mbps / 39.3%
	12 Mbps	9.45 Mbps	7.98 Mbps / 66.5%	6.25 Mbps / 52.1%
	24 Mbps	16.0 Mbps	14.2 Mbps / 59.3%	11.4 Mbps / 47.5%
<b>B</b> 1 AP + 2 stazioni oppure 3 stazioni ad-hoc	11 Mbps	-	5.93 Mbps / 53.9%	6.85 Mbps / 62.3%
	12 Mbps	-	7.79 Mbps / 70.8%	6.79 Mbps / 56.6%
	24 Mbps	-	-	9.61 Mbps / 40.0%
<b>C</b> 1 AP + 3 stazioni oppure 4 stazioni ad-hoc	11 Mbps	-	5.06 Mbps / 46.0%	6.53 Mbps / 59.4%
	12 Mbps	-	5.67 Mbps / 47.3%	5.42 Mbps / 45.2%
	24 Mbps	-	13.0 Mbps / 54.2%	12.6 Mbps / 52.4%

Tabella 4: Riassunto esperienze #1 e #2. I valori riportati si riferiscono al throughput misurato (aggregato nei casi dei test B e C) e all'efficienza rispetto alla velocità nominale.

Con questa esperienza si è eseguita un'analisi delle prestazioni di una rete ad-hoc aderente agli standard 802.11b e 802.11g.

Durante i test si sono evidenziate le seguenti caratteristiche:

- il peggioramento del *throughput* di una stazione ad alta velocità in presenza anche di una singola stazione a bassa velocità;
- il calo del *throughput* all'aumentare della distanza tra le stazioni;
- la diminuzione dell'efficienza all'aumentare della velocità di trasmissione dei dati, dovuta al maggior impatto dell'overhead sulla trasmissione;
- una forte variabilità del *throughput* aggregato all'aumentare del numero di stazioni: anziché ottenere una tendenza decrescente dovuta all'aumentare della probabilità di collisione e al conseguente intervallo temporale medio prima di una nuova trasmissione, si sono verificate alcune oscillazioni a causa del rumore che riduce alcune misurazioni (in particolar modo le prime) e non permette l'osservazione del reale trend;
- il peggioramento del *throughput* nel caso di canale rumoroso dovuto alla presenza di altri AP;
- la presenza di ulteriori disturbi sul canale che affliggono il *throughput* misurato.

Confrontando i valori ottenuti sulle reti *ad-hoc* con le misure relative alle reti infrastrutturate si evidenzia che le prime presentano generalmente un *throughput* inferiore, anche se in tale sperimentazione viene ottenuta qualche anomalia, probabilmente imputabile al canale di trasmissione. Il risultato ottenuto è comunque comparabile con quello atteso, anche se le prove sono state effettuate in diverse giornate, con diverse condizioni di traffico e su canali wireless differenti; nonostante ciò si sono ottenute variazioni di prestazioni dell'ordine di 1 Mbps e si può ritenere che le performance delle due tecniche di rete non siano eccessivamente dissimili.

Inoltre è stato riscontrato che il *throughput* aggregato in queste sperimentazioni non diminuisce sistematicamente all'aumentare del numero di stazioni, come in realtà dovrebbe accadere: questa problematica è sostanzialmente legata al canale di trasmissione e al fatto che siano presenti altre stazioni e AP a disturbare l'effettivo scambio di dati alla massima velocità possibile. Le misurazioni quindi non sono totalmente affidabili e non vanno considerate come relative al massimo *throughput* ottenibile.

I risultati ottenuti dalle misurazioni effettuate sono quindi da intendersi come valori indicativi e non da interpretare come "regola", dal momento che, a causa dell'utilizzo di un canale wireless, le variazioni e le degradazioni del segnale che potrebbero verificarsi sono molto difficili da prevedere. Per tale motivo le reti wireless (con o senza infrastruttura) presentano prestazioni tempo-varianti, ossia fortemente dipendenti dalle condizioni del canale che in alcuni momenti potrebbe presentarsi come un canale *flat-fading* nel range di frequenze utilizzate dallo standard 802.11, ma in altri momenti potrebbe presentarsi come un canale assai distorcente.

Infine le WLAN sono solitamente implementate in luoghi chiusi e quindi i canali su cui operano presentano molte non idealità dovute ad esempio alla riflessione dei segnali causate dalla presenza di ostacoli, persone in movimento, oggetti e pareti.

Un vantaggio delle reti *ad-hoc* consiste nella loro totale indipendenza da infrastrutture, presentando comunque prestazioni non dissimili dalle corrispondenti reti infrastrutturate, caratteristica che le rende di facile creazione e gestione. Infatti, una rete *ad-hoc* può essere realizzata, spostata o rimossa velocemente a seconda delle necessità.