

5. MISURE ED ANALISI DEI RISULTATI

In questo capitolo vengono riportati i test svolti sulla reale rete locale *Ad Hoc* realizzata e le misure effettuate su tale rete. La prima parte di questo capitolo descrive i vari scenari in cui si sono svolte le prove sperimentali. La seconda parte invece è strutturata in due sottoparti: la prima contenente gli esperimenti a due nodi, la seconda, gli esperimenti eseguiti sull'intera tratta (satellitare, cablata e wireless).

Inoltre per ciascun esperimento compiuto viene riportata la configurazione della rete, indicandone la stazione trasmittente, quella ricevente e le distanze tra le macchine coinvolte.

5.1 PROVE SPERIMENTALI

Le prove sperimentali eseguite sono state svolte con gli applicativi di videoconferenza VIC e RAT (vedi 3.4 e 3.5). Abbiamo trasmesso immagini e suoni fra due nodi (single hop) a varie distanze, ed abbiamo notato che il segnale non si degradava molto con l'aumentare della distanza. Infatti, alla massima distanza raggiunta (50 m) i segnali risultavano essere di buona qualità. Il traffico generato con gli applicativi di videoconferenza era, come ordine di grandezza, pari a 100Kbps ma dipendeva fortemente dalla velocità con cui variava l'immagine da trasmettere.

Oltre a questa prova, abbiamo misurato la qualità del segnale quando veniva compiuto più di un salto (multihop); per far questo abbiamo utilizzato il protocollo di routing AODV precedentemente scelto. Per realizzare uno scenario che rappresentasse davvero ciò che volevamo misurare abbiamo dovuto ricreare la situazione del terminale nascosto (hidden terminal) (fig 5.1), nella quale un nodo può ricevere e trasmettere traffico ad un altro nodo che non è all'interno del suo raggio d'azione grazie ad un terzo nodo che funge da ponte tra i due.

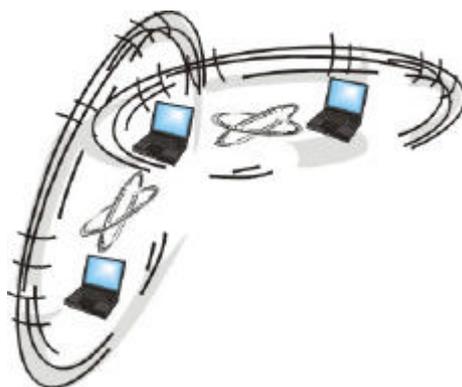


Figura 5.1 hidden terminal

Nel test con l'hidden terminal i terminali sono stati posti alla distanza minima per cui si veniva a creare la situazione di terminale nascosto (30m), e poi sono stati portati fino ad una distanza dal nodo centrale di 50 m. L'immagine, così come il suono, generato da un nodo veniva ricevuto con una qualità buona dall'altro nodo, non apprezzando significative variazioni di qualità dell'immagine rispetto al single hop. È importante fare una precisazione su quest'ultima prova svolta; il protocollo di routing scelto non poteva essere utilizzato, poiché gli applicativi, che avevano il compito di generare il traffico audio-visivo, generano traffico multicast (vedi 3.4 e 3.5). Abbiamo quindi dovuto sostituire il nostro protocollo di routing con un altro che riusciva a gestire questo tipo di traffico. La scelta è ricaduta sul protocollo MAODV *Multicast Ad-hoc Ondemand Distance Vector*, perché identico al primo, con in più la possibilità di lavorare anche con il traffico multicast.

5.2 MISURE CON 2 NODI (RETE SINGLE-HOP)

Per la fase della campagna di misure, sono stati considerati solo i seguenti due scenari:

1. due nodi fissi, a diverse distanze, con diversi throughput di dati (rete wireless single-hop)
2. come al punto 1, con in più una connessione satellitare unidirezionale (ricezione da satellite).

Le misure fatte hanno riguardato la *misura del massimo throughput e la perdita di pacchetti*. I due nodi coinvolti nelle misure, anche se di tipo mobile, sono stati tenuti stazionari al momento della misure. Le misure sono state effettuate usando i tools *iperf* e *netperf* (descritti nel Capitolo 3), con i quali si sono valutate le prestazioni della rete wireless Ad-Hoc. Si è cercato di effettuare i test il più lontano possibile da fonti di disturbo note, quali, ad es., altre reti wireless presenti nell'edificio o telefoni cellulari, nè sono state create interferenze volute. Ciò non toglie che non abbiamo una garanzia

totale sull'assenza di possibili interferenze presenti, non avendo avuto a disposizione opportune apparecchiature per il rilevamento di tali interferenze.

5.2.1 Misura del massimo throughput

Il throughput è il parametro più importante per indicare *la reale capacità del canale wireless*.

Le misure del massimo throughput sono sempre state fatte con due nodi, al variare della distanza tra loro. Per ogni distanza scelta, sono state fatte un certo numero di misurazioni, ciascuna della durata di 5 minuti. Abbiamo valutato il massimo throughput in due situazioni differenti: la prima con traffico UDP (1 pacchetto UDP = 1498 bytes), monodirezionale, cioè con un nodo trasmittente e l'altro solo ricevente (fig. 5.2), la seconda con traffico UDP bidirezionale, cioè con entrambi i nodi contemporaneamente rice-trasmittenti (fig. 5.3).



Figura 5.2 Traffico monodirezionale

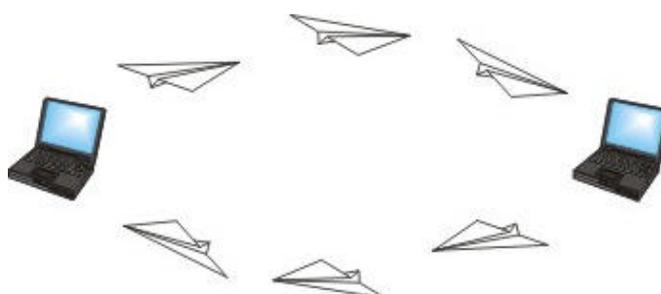


Figura 5.3 Traffico bidirezionale

I risultati mostrati in Tab. 5.1 rappresentano le misure del throughput con traffico UDP monodirezionale. Sono state eseguite 5 diverse misure, caratterizzate da distanze tra i due nodi variabili da 0.5 m a 50 m.

Distanza	1° misura	2° misura	3° misura	4° misura	5° misura
0,5 m	6,2	6,18	6,2	6,2	6,17
1 m	6,2	6,16	6,2	6,21	6,2
5 m	6,2	6,19	6,2	6,21	6,21
10 m	6,2	6,2	6,16	6,17	6,17
20 m	5,9	6,2	6,2	6,21	6,18
50 m	5,36	5,8	6,19	6,03	3,41 ^(*)

Tabella. 5.1. Massimo throughput [Mbps] fra due nodi al variare della distanza tra loro. Traffico UDP monodirezionale (canale ideale 11 Mbps).

Queste misure non sono in numero soddisfacente per poter definire con certezza il massimo throughput nella rete ad-hoc, ma vogliono semplicemente essere una base di partenza per una campagna più esaustiva. Queste ci consentono comunque di darne una valutazione approssimativa.

La figura 5.4 evidenzia un throughput che si mantiene di poco superiore ai 6 Mbps. La fig 5.5 invece mostra che il throughput massimo si mantiene costante al variare della distanza tra i due nodi. Il massimo throughput misurato coincide con il massimo throughput teorico calcolato applicando la formula (4) del Capitolo 4. In appendice il lettore potrà trovare l'applicazione di tale formula alle nostre misure.

^(*) Il valore asteriscato indica una probabile interferenza (non accertata)

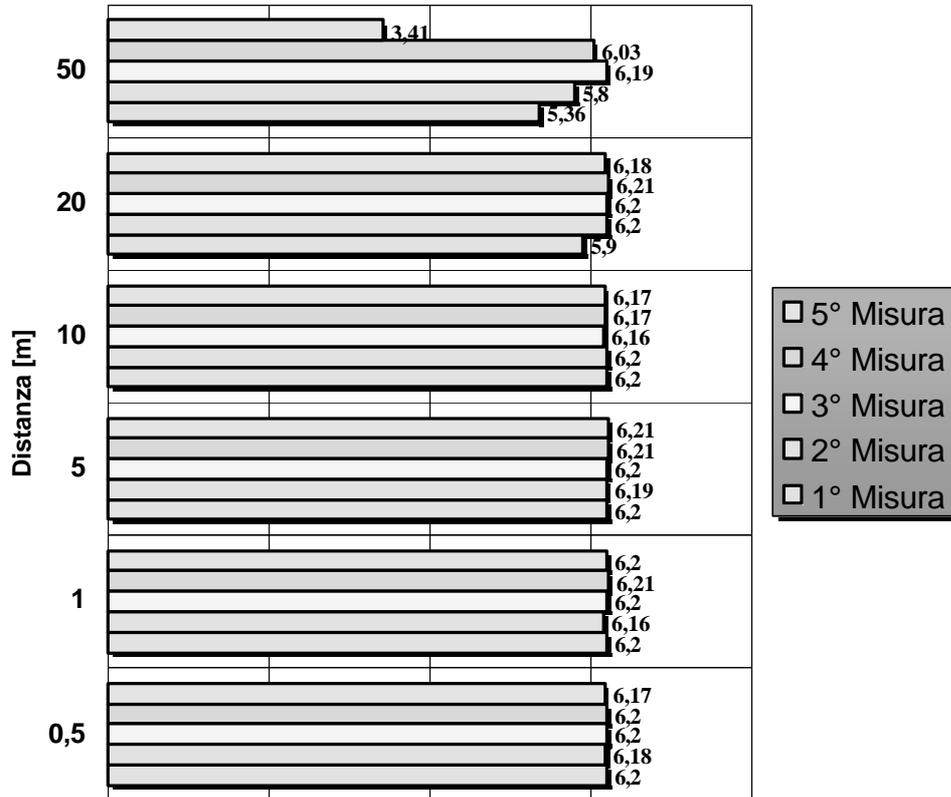


Figura 5.4 Misure del throughput al variare della distanza. Traffico UDP mpnodirezionale.

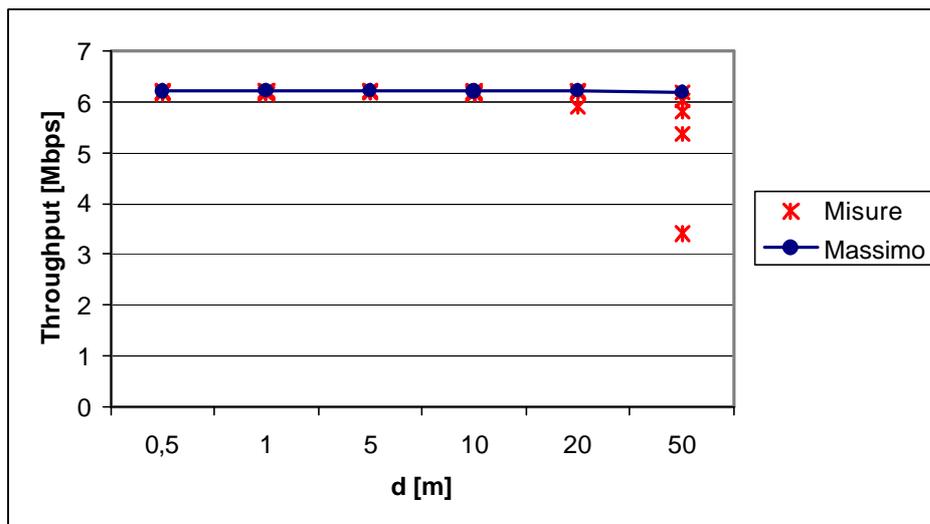


Figura 5.5 Misure del throughput al variare della distanza con il massimo evidenziato. Traffico UDP monodirezionale.

La tabella 5.2 e la figura 5.6 mostrano invece le misure del throughput con traffico UDP bidirezionale. In questo caso sono state fatte 6 misurazioni, in giorni ed orari diversi, al variare della distanza.

Distanza	1° Misura		2° Misura		3° Misura		4° Misura		5° Misura		6° Misura	
0,5 m	1,62	4,68	1,53	4,76	3,13	3,19	3,13	3,15	3,12	3,17	1,53	4,77
1 m	1,76	4,55	1,54	4,76	3,11	3,18	3,15	3,17	3,17	3,16	1,53	4,78
5 m	1,82	4,49	1,52	4,78	3,11	3,21	3,12	3,17	3,13	3,19	1,49	4,81
10 m	1,77	4,54	1,51	4,77	3,1	3,16	3,13	3,15	3,12	3,2	1,53	4,77
20 m	2,98	3,07	1,52	4,78	3,17	3,17	3,12	3,19	3,1	3,19	1,52	4,8
50 m	2,41	2,21	1,5	1,28	2,75	2,37	3,13	3,13	3,07	2,88	1,68	4,17

Tabella 5.2 Massimo throughput [Mbps] fra due nodi al variare della loro inter-distanza. Traffico UDP bidirezionale (canale ideale 11 Mbps).

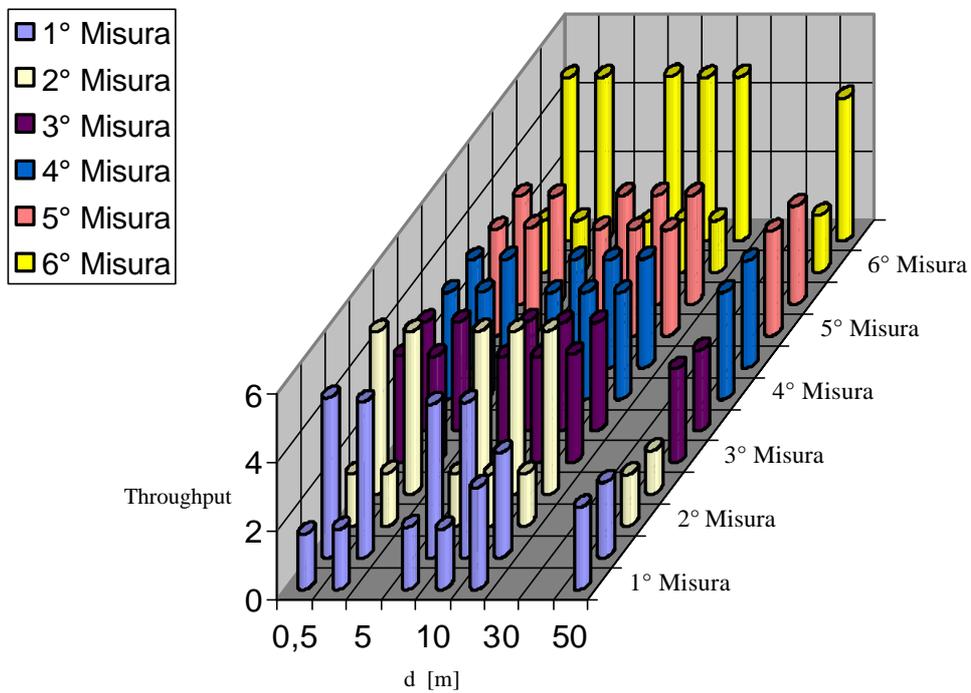


Figura 5.6 Massimo throughput [Mbps] fra due nodi al variare della loro inter-distanza. Traffico UDP bidirezionale (canale ideale 11 Mbps).

Si può notare come in alcune misure (1°, 2°, 6°) il throughput sia asimmetrico. Prevalgono infatti i casi in cui il rapporto del throughput in un senso, rispetto a quello nel senso contrario è prossimo a 3:1, mentre nelle restanti misure, prevalgono i casi in cui il throughput è uguale nei due sensi. Poichè dobbiamo assumere che questa ultima (throughput uguale nei due sensi) sia la condizione di funzionamento corretto, deduciamo che nei casi in cui il throughput e' risultato asimmetrico ci siano state interferenze non rilevabili senza strumenti e che, in situazioni non chiaramente identificabili, il sistema operativo di uno dei nodi perdesse delle tempificazioni di trasmissione. E' comunque verificato che la somma dei valori del throughput nelle due direzioni si avvicina al massimo throughput monodirezionale.

5.2.2 Misure di perdita di pacchetti (packet loss)

Le distanze prese in esame fra i due nodi sono state 0.5, 1, 5, 10, e 20 metri, con throughput crescente pari a 100Kbps, 500Kbps, 1Mbps, 2Mbps e 5Mbps. Per ciascun test sono state effettuate più prove in orari diversi, con durata media di ogni misura pari a 30 minuti. La Tabella 5.3 mostra il numero di pacchetti UDP inviati per effettuare le misure, al variare della velocità di trasmissione.

	100Kbps	500Kbps	1Mbps	2Mbps	5Mbps
Lunghezza pacchetto e tempo di inter-pacchetto	1250 [bytes], 100 ms	625 [bytes], 10 ms	1250 [bytes], 10 ms	2500 [bytes], 10 ms	6250 [bytes], 10 ms
N° pacchetti totali (sulle 3 misure)	91.117	214.3994	2.261.102	4.604.892	9.902.707

Tabella 5.3 Generazione pacchetti UDP e numero totale di pacchetti inviati al variare del throughput

Le misure effettuate hanno rilevato il fatto che le perdite in queste condizioni sono nulle fino a 2Mbps. In realtà una sola misura a questa velocità (con 235.736 pacchetti inviati) è risultata con una perdita dello 0,29% con un treno di pacchetti persi lungo 299 ed un altro lungo 335, con i nodi distanti tra loro 20 metri.

A 5Mbps, cioè avvicinandosi al throughput massimo, abbiamo osservato perdite di pacchetti diverse da zero. La tabella 5.4 contiene le misure effettuate a 5Mbps, al variare della distanza (tre misure per ogni distanza, una riga per ogni misura).

	0,5 m	1 m	5 m	10 m	20 m	50 m
Packet	0,00063	0,00025	0,00012	0	0	0,0026
Loss [%]	0,0021	0	0	0,004	0,00065	0,00034
	0	0,0003	0	0	0	0,00025

Tabella 5.4 Perdita dei pacchetti, a 5Mbps, al variare della distanza tra i due nodi

I valori misurati e la media di tali misure sono riportati in Figura 5.7. La misura a 10m, con probabilita' di perdita 0.004, e' da considerare come misura errata. Essa provoca infatti un rialzo ingiustificato nella curva della media. Si deduce che questa misura sia "spuria", abbia cioe' risentito di condizioni ambientali cambiate senza che l'operatore se ne possa essere accorto (cellulari in uffici, altri collegamenti wireless, etc.).

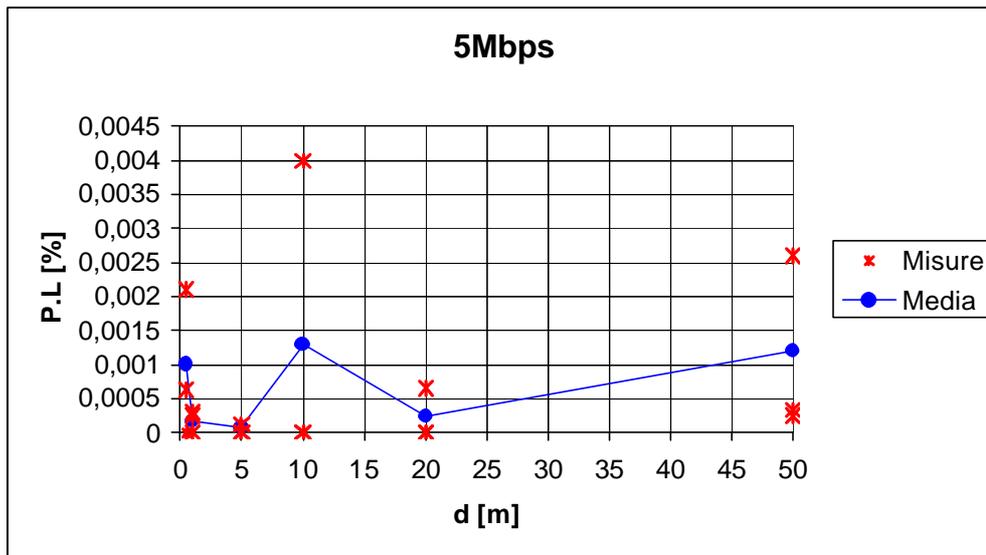


Figura 5.7 Perdita dei pacchetti, a 5Mbps, al variare della distanza tra i due nodi

La Tabella 5.5 mostra invece la lunghezza ed il numero dei treni di pacchetti di errore che abbiamo ottenuto a 5Mbps, alle varie distanze. I dati di Tabella 5.5 sono rappresentati graficamente in figura 5.8.

Lunghezza dei treni di pacchetti in errore	0,5 m	1 m	5 m	10 m	20 m	50 m
1	2	1			1	1
2		1	1			
3	1					
5		1				1
9						1
10				1		
11		1				
16				1		

Tabella 5.5 Lunghezza e numero dei treni di pacchetti corrotti a 5 Mbps, al variare della distanza inter-nodo

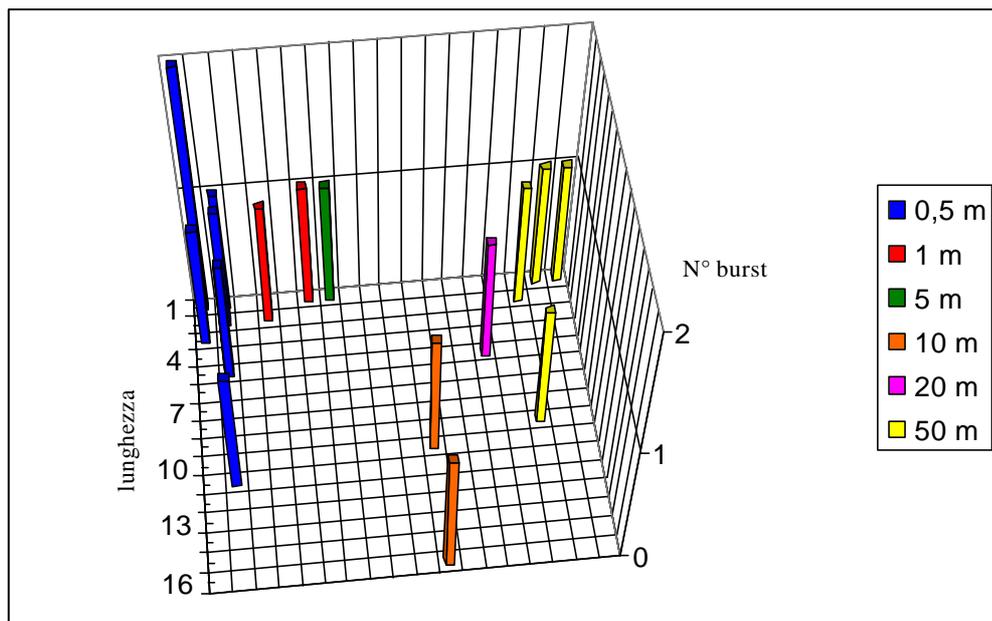


Figura 5.8 Lunghezza e numero dei treni di pacchetti corrotti a 5 Mbps, al variare delle distanze inter-nodo

Sono state effettuate tre misure per ogni distanza; in alcune di queste, le perdite sono state nulle, in altre, invece, i burst di errori si sono presentati con lunghezza non inferiore a cinque.

5.2.2.1 Misure di *packet loss* senza ostacolo e con ostacolo frapposto tra i due nodi.

Un altro risultato molto interessante è nato dal confronto di due scenari. In entrambi gli scenari abbiamo effettuato delle misure di *packet loss* tenendo fissa la distanza tra i due nodi (50 metri) ma facendone variare la velocità di trasmissione. Nel primo caso, la comunicazione tra i due nodi era diretta (fig. 5.9), mentre nel secondo caso la visibilità ottica era compromessa dalla presenza di un muro (fig. 5.10).

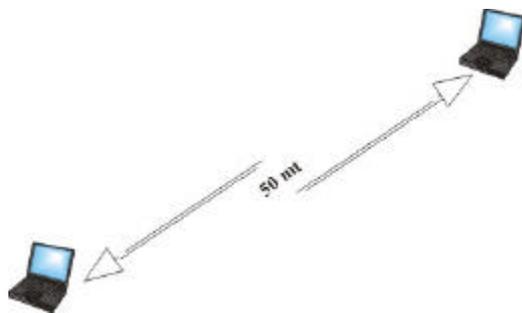


Figura 5.9 due nodi a 50 metri di distanza in assenza di un ostacolo

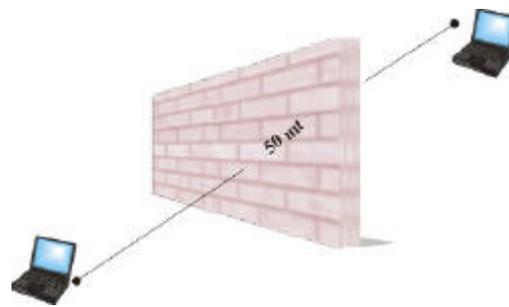


Figura 5.10 due nodi a 50 metri di distanza con la presenza di un ostacolo

I risultati ottenuti sono mostrati nella tabella 5.6 e 5.7

Rate [Kbps]	Packet loss [%]	Packet loss [%]	Packet loss [%]
100	0,034	1,775	2,331
500	7,333	10,43	1,2924
1000	4,0638	0,7184	0,0431

Tabella 5.6 Perdita dei pacchetti in percentuale al variare del bit rate in presenza di muro.

Rate [Kbps]	Packet loss [%]	Packet loss [%]	Packet loss [%]
100	0	0	0
500	0	0,0036	0,0029
1000	0,0026	0	0,0014

Tabella 5.7 Perdita dei pacchetti in percentuale al variare del bit rate in assenza di muro.

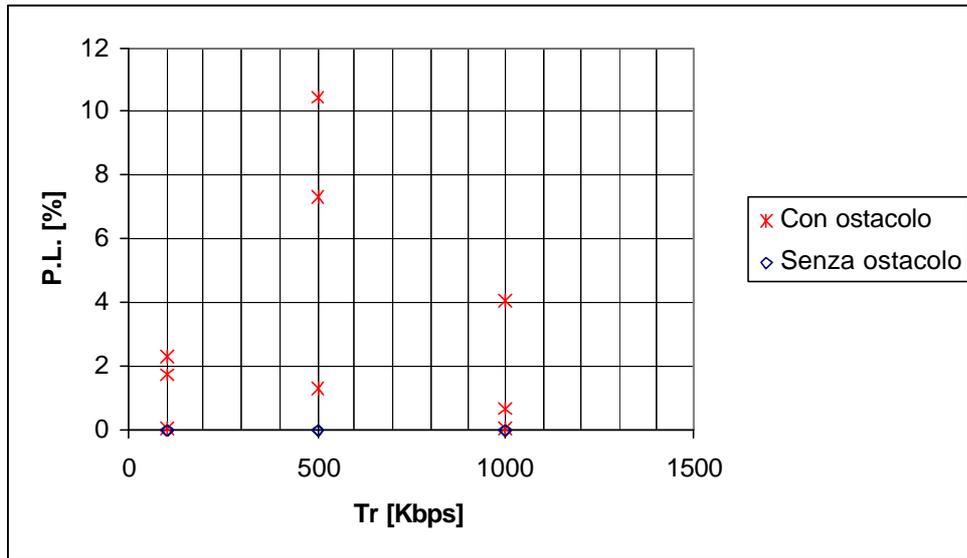


Figura 5.11 Perdita dei pacchetti al variare del throughput, in presenza ed in assenza di ostacolo

La figura 5.11 evidenzia che le perdite sono state considerevoli in presenza dell'ostacolo rispetto alle perdite dovute essenzialmente alla distanza (50 metri).

Le tabelle 5.8 e 5.9 mostrano invece la lunghezza ed il numero dei treni di pacchetti corrotti che abbiamo ottenuto, rispettivamente senza e con ostacolo tra i due nodi. È importante notare come le code dei treni di pacchetti in errore, ai fini dell'analisi dei risultati, siano state ritenute trascurabili anche se i burst di errore riscontrati avevano una lunghezza superiore a 20.

I dati delle tabelle 5.8 e 5.9 sono riportati in Figura 5.12, la quale evidenzia che le perdite sono state considerevoli in presenza dell'ostacolo rispetto alle perdite dovute essenzialmente alla distanza (50 metri).

Lunghezza dei treni Di pacchetti in errore	100 Kbps			500 Kbps			1000 Kbps		
1					3	6	4		3
2					1				

Tabella 5.8 Lunghezza dei burst di errore in assenza dell'ostacolo

Lunghezza dei treni Di pacchetti in errore	100 Kbps			500 Kbps			1000 Kbps		
	1	6	192	130	2927	1293	1258	1703	524
2		3	7	411	413	71	222	81	3
3		2	2	159	266	17	92	28	
4				73	152	8	40	12	
5				52	108	10	30	10	1
6		1	1	29	74	2	16	2	
7				24	38	1	11	4	
8				13	36	3	9	1	
9		1	1	14	27	2	3	3	
10		1		13	19	1	4		

Tabella 5.9 Lunghezza dei treni di pacchetti corrotti in presenza dell'ostacolo

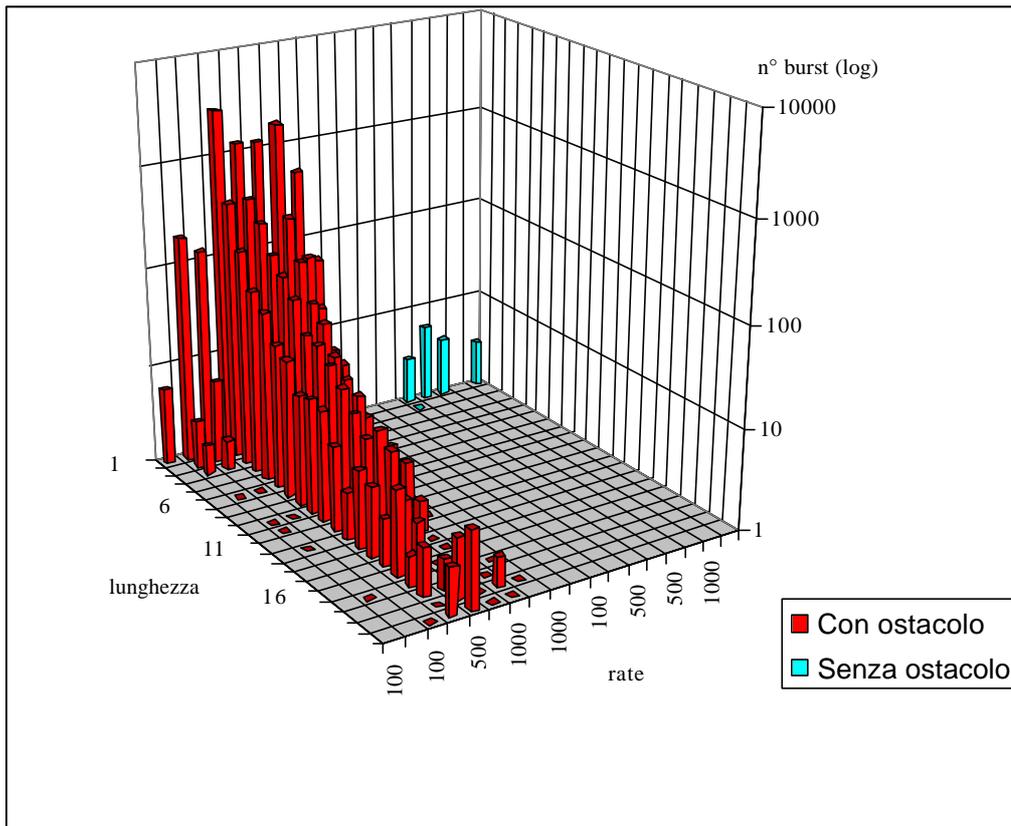


Figura 5.12 Lunghezza dei treni di pacchetti corrotti in presenza dell'ostacolo

5.3 TRATTA COMPLETA (SATELLITE + RETE CABLATA + RETE WIRELESS)

L'esperienza di misure di perdita di pacchetti sulla sola tratta wireless ha evidenziato che, almeno fino a 2 Mbps, la perdita di pacchetti fra due nodi senza ostacoli e' nulla. Considerando che il collegamento con Toulouse (dove, ricordiamo, e' locata la "nostra" stazione trasmittente satellitare) e' a perdita nulla, poichè è realizzato con connessioni via Internet di tipo TCP, si puo' desumere che le eventuali perdite di pacchetti sull'intera tratta siano dovute al solo collegamento satellitare, e non siano variabili con la distanza tra il Desktop ed il nodo ricevente. Per questo motivo abbiamo potuto raggruppare le misure effettuate alle varie distanze tra i due nodi (che qui diventano ininfluenti), diversificandole a seconda della velocità di trasmissione. Le misure sono riportate in Tabella 5.10 ed in Figura 5.13.

100 Kbps Packet Loss [%]	500 Kbps Packet Loss [%]	1000 Kbps Packet Loss [%]
0,02	0,0204	0,0257
0,0052	0,0204	0,0306
0	0,0183	0,0306
0,0053	0,0304	0,0219
0,0068	0,025	0,0231
0,0068	0,0155	0,0216
0,0138	0,0117	0,0142
0,0121	0,0235	0,025
0,0182	0,02	0,044
0,0275	0,0154	0,0112
0,033	0,0264	0,0128
0,0374	0,0175	0,0144
0,028	0,0198	0,0295

Tabella 5.10 Perdita dei pacchetti in percentuale, al variare del bit rate

La figura 5.13 mostra come l'andamento medio della perdita, in percentuale, dei pacchetti sulla tratta satellitare cresca all'aumentare del bit rate. Questo, in effetti, è ciò che ci aspettavamo succedesse. I treni di pacchetti corrotti sono mostrati nella figura 5.14, diversificati per velocità e per numero di prova.

I burst di errore ottenuti sulla tratta satellitare risultano essere in numero elevato solamente quando il bit rate raggiunge i 500 Kbps, inoltre la loro lunghezza è risultata essere per la maggior parte delle misure pari a uno. Solamente in una prova questo non è accaduto; nella nona misura a 1Mbps si è presentato, oltre ai treni di errore di lunghezza unitaria, un treno di lunghezza pari a due.

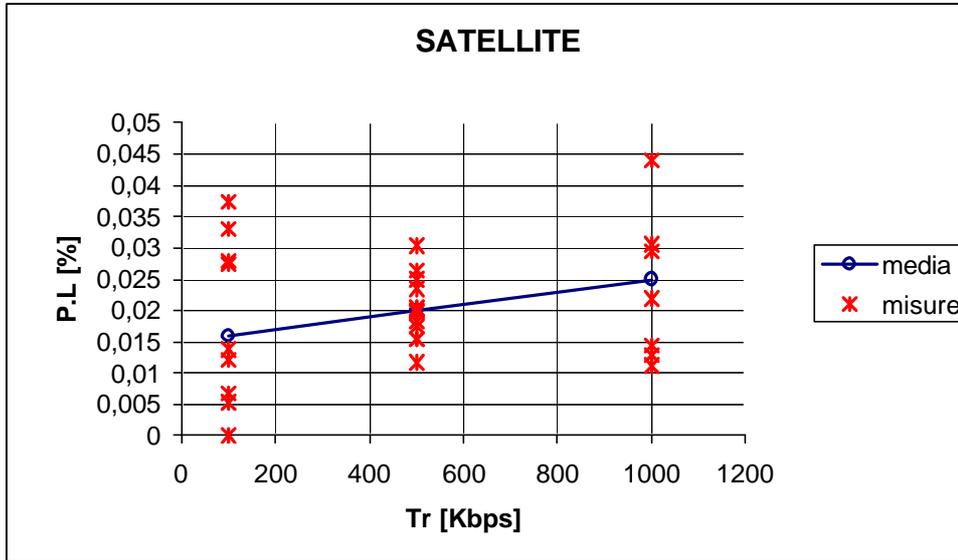


Figura 5.13 Perdita dei pacchetti in percentuale, al variare del bit rate.

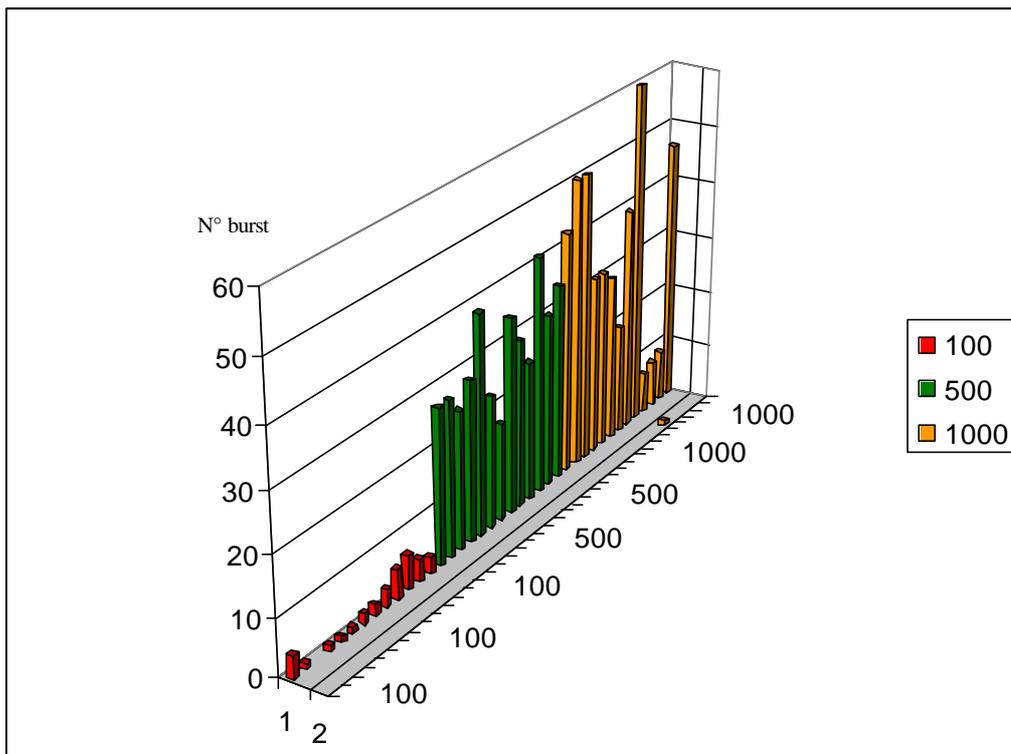


Figura 5.14 Lunghezza dei burst di errore sulla tratta satellitare