

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Genova

INFN/TC-98/09
2 Marzo 1998

A. Brunengo, T. Ferrari, C. Olivieri, C. Salvo:

**TEST DI LABORATORIO SULLA SIMULAZIONE DELLA CONNESSIONE ATM
A 34 Mb/s VIA PONTE RADIO FRA I LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI
E LA SEZIONE INFN DI ROMA1**

*Published by SIS-Pubblicazioni
Laboratori Nazionali di Frascati*

**TEST DI LABORATORIO SULLA SIMULAZIONE DELLA CONNESSIONE ATM
A 34 Mb/s VIA PONTE RADIO FRA I LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI
E LA SEZIONE INFN DI ROMA1.**

A. Brunengo¹, T. Ferrari², C. Olivieri¹, C. Salvo¹.

Abstract

In questo articolo vengono illustrati i test di laboratorio effettuati per verificare l' idoneità delle apparecchiature destinate alla realizzazione di una connessione ATM a 34 Mb/s in ponte radio tra la sezione INFN di Roma 1 ed i Laboratori Nazionali di Frascati.

È stata riprodotta in laboratorio una connessione ATM tra due macchine attraverso il ponte radio in esame; la parte irradiante è stata simulata con una guida d'onda dotata di attenuatori ad intensità variabile. Ciò ha permesso di mostrare come la funzionalità della connessione tramite il protocollo TCP/IP su substrato ATM sia totalmente affidabile anche in caso di attenuazione corrispondente a condizioni atmosferiche addirittura inusuali per la regione, con un ulteriore margine di sicurezza di circa 13 dB sull'intensità del segnale.

In this article it will be described the laboratory test realized to verify the property of the equipment assigned to realize an ATM 34Mb/s radio link between the National Laboratories of Frascati and the INFN division of Roma 1.

The ATM link reproduction was realized using a wave guide followed by variable attenuators, to simulate the radiant section only. In this way we got trusted data that showed the total reliability and functionality of a TCP/IP connectoin over ATM, even in simulated critical atmospheric conditions, with a security margin of 13 dB on the reduced signal level.

¹INFN - Sezione di Genova

²INFN - CNAF

1. INTRODUZIONE.

Nel campo della trasmissione dati per la rete degli enti di ricerca italiani GARRnet è attualmente in fase di sperimentazione una nuova tecnologia su fibra ottica, chiamata ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), che è in grado di offrire prestazioni di almeno un ordine di grandezza superiori a quelle offerte dalle tecnologie precedenti in termini di banda disponibile, sia per connessioni locali che geografiche. La fase di sperimentazione, inserita nel progetto europeo TEN-34 (vedi [1]), è ormai in fase conclusiva, e sulla base degli ottimi risultati ottenuti sia in Italia che in ambito internazionale (vedi ad es. [2]) è prevedibile in tempi brevi l'utilizzo di questa tecnologia anche per il traffico di produzione.

Tuttavia, secondo i progetti forniti da Telecom Italia relativi allo sviluppo ed alla diffusione sul territorio degli accessi all'infrastruttura ATM, resteranno escluse per diversi anni da questo servizio località strategicamente importanti per l'INFN, quali ad esempio le sedi dei Laboratori Nazionali. In tale contesto costituisce un problema la situazione dei Laboratori Nazionali di Frascati, in cui sono in preparazione esperimenti ad alta luminosità, per i quali le stime di necessità di banda (vedi, ad es. [3]) vanno molto oltre i 2 Mb/s a disposizione attualmente.

Su questa base è stato fatto uno studio di fattibilità per una connessione in ponte radio tra i Laboratori Nazionali di Frascati e la sezione INFN di Roma1, al fine di prolungare il backbone ATM a 34 Mb/s fino alla sede dei laboratori ([4]). Verificata la fattibilità teorica della connessione è stato realizzato un progetto dettagliato per dimensionare opportunamente l'attrezzatura da utilizzare allo scopo ([4]).

Il lavoro qui presentato è relativo alla realizzazione dei test a cui è stato sottoposto il ponte radio, per verificare l'idoneità dello stesso alla realizzazione della connessione progettata.

2. APPARATO SPERIMENTALE E SIMULAZIONE DEL COLLEGAMENTO.

La connessione realizzata per i test è mostrata in fig. 1. Per ottenere una simulazione realistica del collegamento tra Roma e Frascati è stato necessario realizzare localmente una rete ATM che consentisse a due macchine di stabilire una connessione a 34 Mb/s attraverso il ponte radio. A tale scopo è stato utilizzato uno switch ATM LS2020 prodotto dalla Cisco

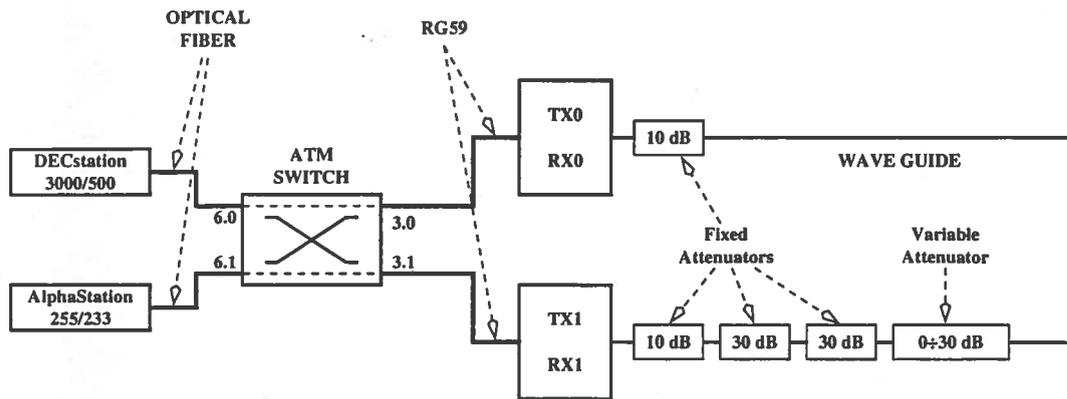


Fig. 1: Schema della simulazione del collegamento via ponte radio fra Roma e Frascati.

System, dotato di una interfaccia ATM a 155 Mb/s a due porte (identificate in figura con 6.0 e 6.1) ed una interfaccia ATM a 34 Mb/s, sempre a due porte (3.0 e 3.1).

La connessione è stata realizzata tra una DEC Alphastation 255/233, dotata di una interfaccia ATM a 155 Mb/s, direttamente connessa alla porta 6.1 dello switch tramite cavi unidirezionali in fibra ottica multimodale. Nello switch è stato configurato un circuito virtuale a 34 Mb/s che mette in comunicazione la porta 6.1 con la 3.1, alla quale è stata connessa una stazione del ponte (indicata come TX1) tramite cavo coassiale RG59. Le due stazioni del ponte radio sono connesse da una guida d'onda che preleva il segnale alla radiofrequenza e lo incanala verso l'altra stazione. Utilizzando vari attenuatori, di cui uno di intensità variabile, si è potuto simulare l'attenuazione del segnale dovuta a vari fattori, quali la pioggia, la distanza ed altro, che si presentano in condizioni reali.

La seconda stazione è a sua volta connessa alla porta 3.0 dello switch ATM, sempre via cavo coassiale RG59. La configurazione di un secondo circuito virtuale a 34 Mb/s tra le porte 3.0 e 6.0 consente infine di chiudere il circuito verso una DECstation 3000/500, anch'essa dotata di una interfaccia ATM a 155 Mb/s.

I circuiti virtuali definiti all'interno dello switch, uno per ogni direzione della connessione, sono stati configurati in modo da avere un throughput garantito (IR: Insured Rate) concidente col massimo disponibile (MR: Maximum Rate) di 80000 celle/sec, sufficienti quindi a saturare il link attraverso il ponte.

3. CALIBRAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA.

I test effettuati hanno lo scopo di misurare il comportamento del ponte all'aumentare dell'attenuazione del segnale, verificando in particolare l'andamento della curva del BER (*Bit Error Rate*) rispetto al rapporto S/N; inoltre è necessario verificare la funzionalità della connessione all'aumentare del BER stesso, valutando il throughput ottenibile alle diverse condizioni. L'integrazione di queste misure fornirà una indicazione precisa sulla possibilità di realizzare una connessione affidabile anche in presenza di condizioni ambientali sfavorevoli.

3.1. Configurazione ottimale dei parametri di TCP/IP.

La misura del throughput è stata eseguita utilizzando due differenti applicazioni. La prima è costituita dal noto programma di misura di throughput Netperf, siluppato dalla Information Network Division della Hewlett Packard Company, molto diffuso nel campo delle misure di performance su reti di trasmissione dati. Essendo tale applicazione configurabile sia nella dimensione dei pacchetti che nella dimensione dei buffers destinati alla ricezione degli stessi, è particolarmente adatto alla ricerca delle condizioni di configurazione che consentano di ottenere il throughput migliore.

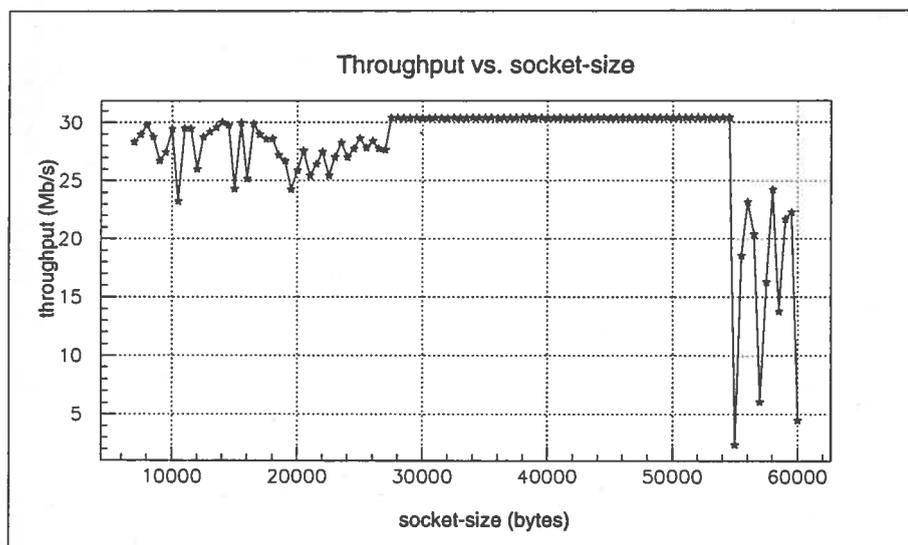


Fig. 2: Andamento del throughput in funzione della dimensione dei buffers.

La valutazione della influenza che i parametri citati possano avere sul throughput è resa necessaria dal fatto che non è stato possibile implementare sull'hardware utilizzato un qualsiasi

tipo di flow control; questo fa sì che, in presenza di sbilanciamento tra la velocità di trasmissione e la capacità di ricezione, i pacchetti vengano semplicemente scartati dal ricevente, provocando un crollo del throughput indipendente dalla reale capacità trasmissiva della linea o dal BER.

I dati sperimentali (fig. 2), ottenuti in condizioni di attenuazione nulla, mostrano come, per un ampio margine di valori della dimensione dei buffers, il throughput ottenuto sia molto vicino al massimo teorico di cui è capace la linea. L'influenza della dimensione del pacchetto è risultata essere nulla per valori non troppo dissimili dalla dimensione dei buffers.

In base ai tests è stato deciso di utilizzare sia buffers che pacchetti di 32768 bytes.

L'altra applicazione che verrà utilizzata per la prova di performance è il protocollo di file transfer FTP; quest'ultima, pur essendo più rigida in termini di configurabilità, fornisce una risposta più vicina a quelle che saranno le reali prestazioni fruibili dal generico utente in fase di produzione.

3.2. Calibrazione degli attenuatori.

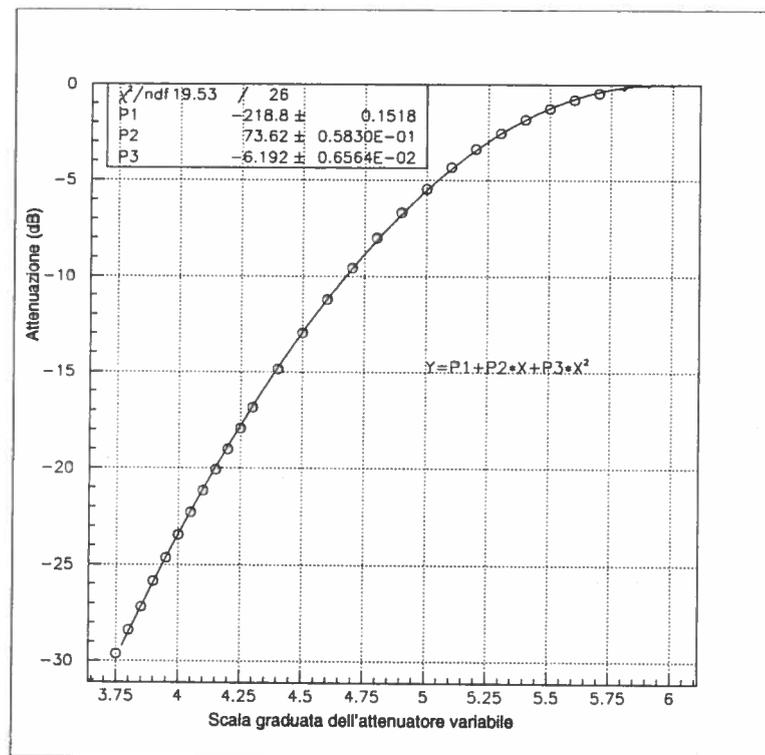


Fig. 3: Curva di calibrazione dell'attenuatore variabile.

Per simulare l'attenuazione che il segnale elettromagnetico subisce nella propagazione tra le antenne abbiamo fatto uso di quattro attenuatori a valore fisso, due da 10 dB e due da 30 dB, ed un attenuatore a valore variabile da 0 a 30 dB - tutti valori nominali - inseriti tra le due stazioni del ponte radio.

Per ottenere una misura precisa della riduzione di potenza dovuta ai vari attenuatori, è stato utilizzato un bolometro. Si è misurata la potenza di uscita del trasmettitore, pari a 20.9 ± 0.1 dBm, e l'attenuazione dovuta alla somma dei quattro attenuatori fissi e della guida d'onda, risultata essere -79 ± 0.3 dB.

L'attenuatore variabile è costituito da un cuneo di grafite che si inserisce nella guida d'onda operando su una vite graduata.

Il fit dell'andamento dell'attenuazione in funzione della posizione della vite è mostrato in fig. 3; l'andamento quadratico è consistente col fatto che l'attenuazione del segnale è proporzionale alla superficie coperta dal cuneo di grafite, la quale è proporzionale al quadrato dello spostamento lineare del cuneo verso la guida, che è a sua volta proporzionale allo spostamento della posizione della vite.

4. RAPPORTO S/N IN INGRESSO AL DEMODULATORE.

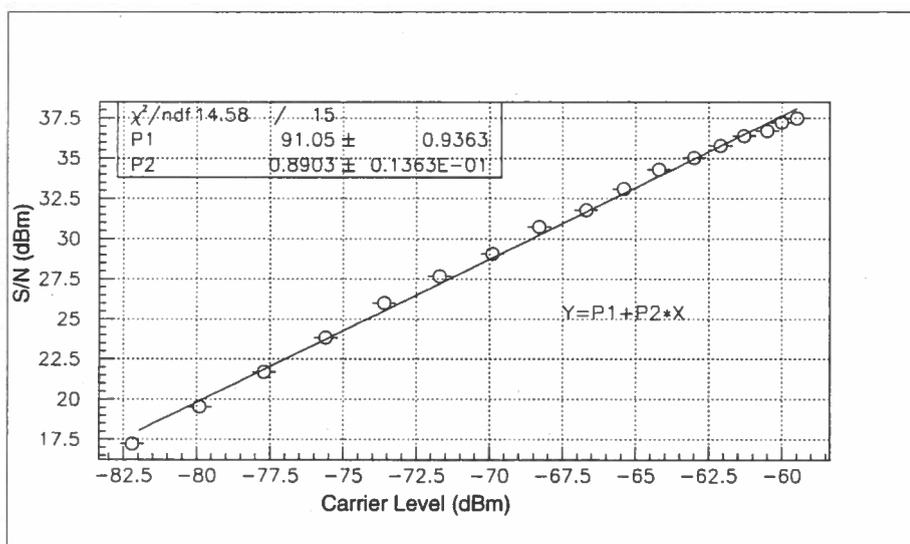


Fig. 4: Rapporto S/N in ingresso al demodulatore in funzione del CL.

Nelle figg. 4 e 5 è mostrato l'andamento del rapporto S/N in funzione rispettivamente del Carrier Level e dello scostamento della grafite nell'attenuatore variabile.

La misura è stata effettuata utilizzando un analizzatore di spettro opportunamente configurato, e misurando il livello del rumore in ingresso al demodulatore al variare dell'attenuazione, mentre il livello del segnale in quel punto viene mantenuto costante dall'ACG (amplificatore a guadagno controllato).

Le misure sono state eseguite nell'intervallo di interesse, cioè per valori di CL superiori a -60 dBm. L'andamento lineare previsto teoricamente ([5]) viene confermato dal dato sperimentale, e questo si riflette sulla forma della relazione tra S/N e posizionamento della vite dell'attenuatore variabile (fig. 5), che risulta ancora quadratica.

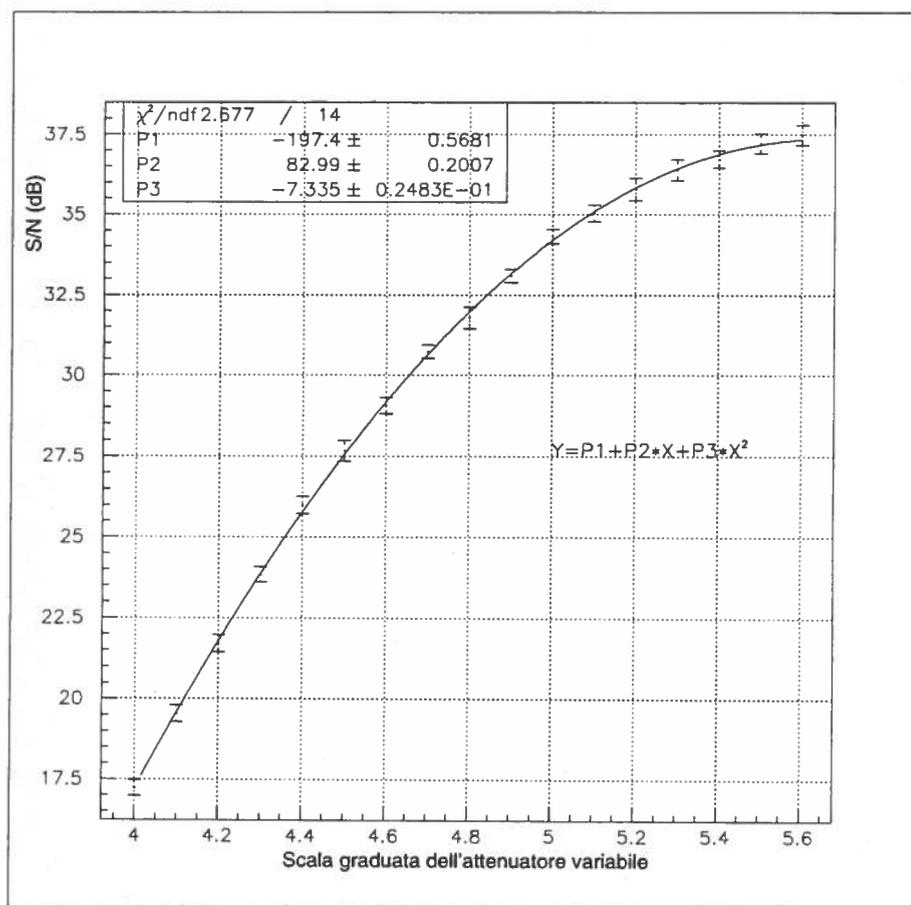


Fig. 5: Andamento di S/N in funzione della scala graduata dell'attenuatore variabile.

5. CURVA DEL BER.

Il BER è stato misurato sfruttando il fatto che le interfacce ATM connesse da un circuito virtuale, in assenza di traffico dati, si scambiano comunque delle celle - dette *idle* - a piena banda. Lo switch ATM memorizza, per ciascun circuito virtuale definito su ciascuna porta, il numero di errori in ricezione sulla porta stessa. Questi, per il traffico *idle*, sono rivelati utilizzando un CRC relativo ai soli 5 bytes dell'intestazione (*header*) delle celle *idle*.

Detto E il numero di errori segnati dallo switch in un intervallo di tempo t , la probabilità di ricevere un header correttamente è:

$$P_{header_corretto} = 1 - \frac{E}{80000t} \quad (1)$$

in quanto il traffico *idle* a piena banda sui circuiti dello switch è di 80000 celle/sec (quindi 80000 headers/sec). D'altra parte, in termini di BER la stessa quantità si esprime con:

$$P_{header_corretto} = (1 - BER)^{40} \quad (2)$$

in quanto 40 è il numero di bit presenti in ciascun header.

Si ha quindi:

$$BER = 1 - \left(1 - \frac{E}{80000t}\right)^{\frac{1}{40}} \quad (3)$$

A scopo di verifica sono state effettuate prove con traffico dati, verificando la consistenza delle misure fatte sul traffico di celle *idle*. La statistica è stata raccolta su un trasferimento complessivo di 3.38 Tb comprendendo dati e celle *idle*.

In fig. 6 è mostrato l'andamento del BER in funzione del rapporto S/N ottenuto sperimentalmente.

Va innanzitutto considerato che il ponte radio effettua automaticamente una misura approssimativa, anche se abbastanza corretta, del BER istantaneo, e sulla base di questa, per valori intorno a $5.0 \cdot 10^{-4}$, il ponte radio sgancia il collegamento. Tuttavia per tali valori la connessione risulta essere praticamente inutilizzabile, per cui questo fatto non costituisce un fattore limitante.

L'andamento teorico del BER in funzione del rapporto S/N, calcolato per la modulazione 16-QAM nell'ipotesi che gli errori di riconoscimento del simbolo siano legati alla sola presenza di rumore termico di tipo gaussiano, è dato da (vedi [6]):

$$BER = 1.5 \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{0.1 \cdot S/N} \right) \cdot \left[1 - 0.175 \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{0.1 \cdot S/N} \right) \right] \quad (4)$$

Il modello teorico è confermato dalla analisi sperimentale (fig. 6 a sinistra). Si nota come l'implementazione dell'apparato introduca, rispetto al calcolo teorico, altre fonti di errore il cui effetto si riflette nello spostamento della curva verso destra, e quindi comporta la necessità di disporre di un migliore rapporto S/N per ottenere lo stesso BER.

Nel nostro caso il dato sperimentale mostra una perdita contenuta in ~ 3.4 dB, che indica come la qualità del ponte sia eccellente se paragonata agli usuali valori che si trovano in letteratura (vedi ad es. [7]). A questa va aggiunta una ulteriore perdita di 2-3 dB che si verificherà in produzione, quando si utilizzerà anche la parte irradiante che non è stato possibile sottoporre a test in laboratorio.

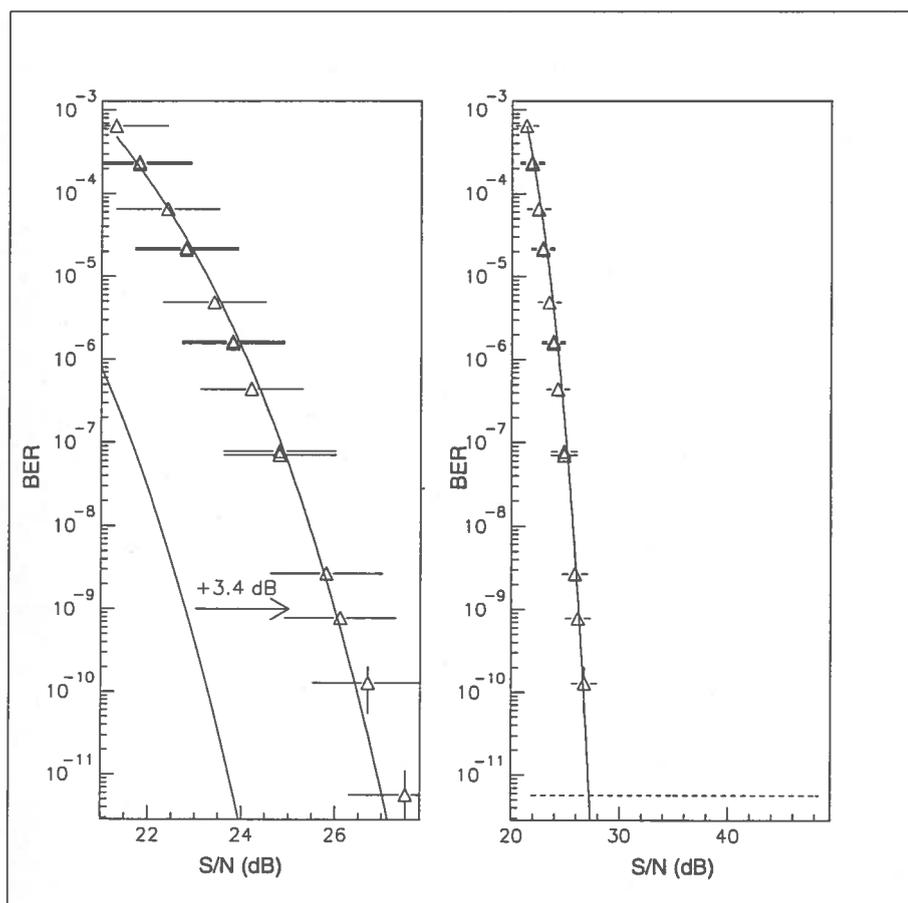


Fig. 6: BER in funzione di S/N.

È stato impossibile fornire una valutazione sul valore del BER residuo, in quanto la misura effettuata a bassa attenuazione, pur protratta per diverso tempo, non ha mostrato errori. Si

può unicamente fornire il limite superiore, valutato in $5.7 \cdot 10^{-12}$, e rappresentato dalla retta orizzontale tratteggiata nella figura a destra. Tale misura è il risultato di una osservazione protratta per 15 ore ad un livello di S/N pari a 27.7 dB senza alcun errore. Per poter salire di un ordine di grandezza nella precisione della misura sarebbe necessario effettuare osservazioni di durata superiore al mese, che per motivi tecnici e logistici non è stato possibile fare.

6. ANDAMENTO DEL THROUGHPUT IN FUNZIONE DEL BER.

Di fondamentale importanza per una valutazione della funzionalità della connessione via ponte radio sono i test di throughput in funzione dell'attenuazione del segnale.

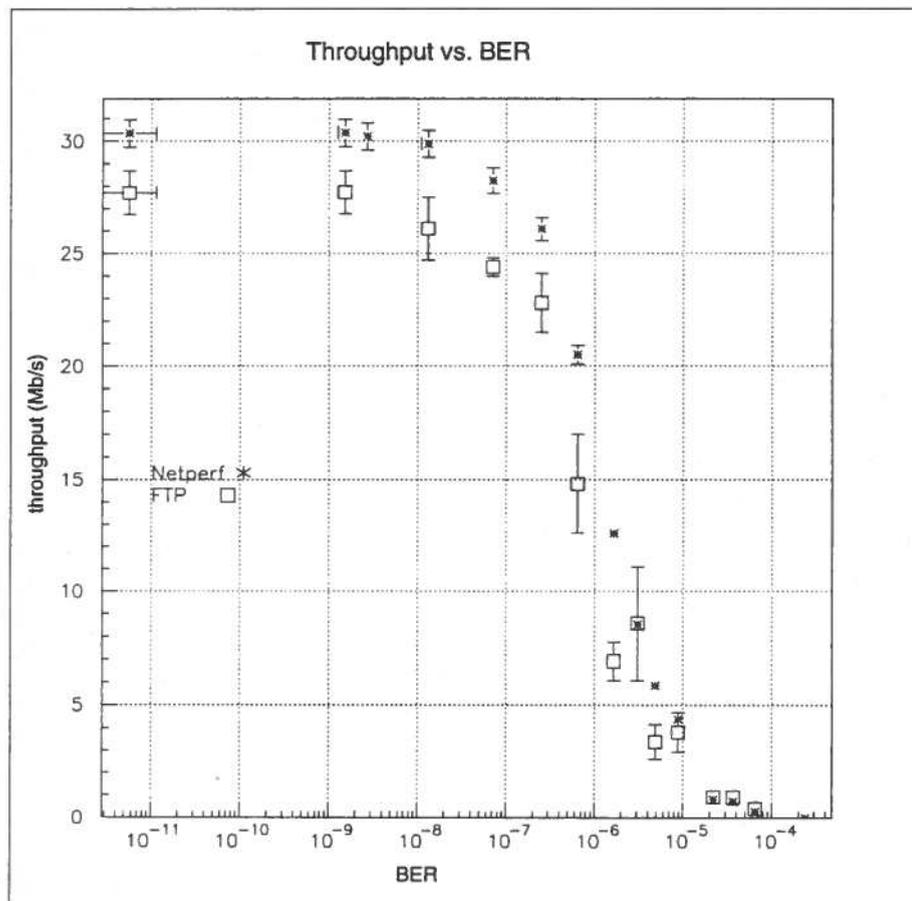


Fig. 7: Throughput in funzione del BER.

In fig. 7 sono mostrati gli andamenti del throughput in funzione del BER ottenuti con le due diverse applicazioni Netperf ed FTP. L'andamento leggermente irregolare dei dati ottenuti

con FTP e la minore efficienza risultante è dovuto al fatto che FTP esegue un reale file transfer, con lettura e scrittura su disco, controllo sulla struttura del file, utilizzando parametri di configurazione dei protocolli di transport e rete (TCP ed IP) non necessariamente ottimizzati per questa particolare operazione.

Diverso è il comportamento di Netperf, col quale il trasferimento dati viene effettuato *memory-to-memory*, con una opportuna configurazione dei parametri dei protocolli. Queste diverse caratteristiche trovano un riscontro visibile anche nell'andamento più regolare ed armonico dei risultati sperimentali.

Si può infine notare come le differenze tra le due applicazioni tendono a sparire nella zona in cui l'inefficienza del protocollo di trasporto dovuto al BER, che influenza entrambe le misure, diventa dominante rispetto alle inefficienze specifiche del protocollo di applicazione dell'FTP.

Dall'analisi di questi dati si deduce che la funzionalità di TCP/IP raggiunge la massima capacità teorica fino a valori di BER inferiori a 10^{-9} , per poi decrescere rapidamente fino a divenire inutilizzabile per BER dell'ordine di 10^{-6} .

7. CONCLUSIONI.

In seguito all'esito positivo dello studio di fattibilità di una connessione ATM a 34 Mb/s in ponte radio tra Roma e Frascati ([4]), un progetto dettagliato ha prodotto il dimensionamento richiesto per le caratteristiche del ponte radio da installare. L'acquisto degli apparati è stato subordinato al superamento dei test descritti in questo documento.

Tenendo in considerazione il fatto che la parte irradiante dell'apparato non è stata compresa nei test per impossibilità logistica, le prove hanno dimostrato come la curva sperimentale del BER confermi qualitativamente le previsioni del modello teorico. L'analisi quantitativa mostra come la qualità del ponte in esame risulti pienamente soddisfacente, rivelando una perdita di soli 3.4 dB di segnale legata alla implementazione dell'apparato.

I test sulla operatività della connessione realizzata tramite il protocollo TCP/IP - sempre su ATM - dimostra come il collegamento risulti totalmente efficiente fino a $BER < 10^{-9}$, ed ancora accettabile - con efficienza del 50% - fino a valori di BER di circa 10^{-7} .

Una analisi sul livello del segnale ci fornisce infine indicazioni sulla funzionalità che potremo aspettarci una volta che il ponte sarà operativo. In condizioni atmosferiche ottimali la potenza

sulla stazione ricevente è (vedi [4]):

$$P_r = P_t + 2G - A_{sl} - A_{atm} - A_{guida} = 20.9 + 91.4 - 139.4 - 3.5 - 3.0 = -33.6 \text{ dBm} \quad (5)$$

dove P_t è la potenza in uscita, G il guadagno d'antenna, A_{sl} ed A_{atm} le attenuazioni da spazio libero ed atmosferica, e A_{guida} è l'attenuazione dovuta alle guide d'onda che portano il segnale dall'antenna alla stazione e viceversa. Il calcolo è relativo alla tratta in questione, ed i valori di G e A_{guida} sono stati ricavati dalle specifiche fornite dai costruttori.

Poichè l'amplificatore a guadagno controllato che regolarizza il segnale in ingresso al demodulatore ha funzionamento ottimale per potenze in ingresso comprese tra -100 dBm e -35 dBm, sarà necessario attenuare l'uscita di un fattore addizionale per evitare la saturazione. Tale possibilità è implementata nell'apparecchiatura sottoposta a test.

Una valutazione sul livello del segnale in condizioni di pioggia intensa su tutta la tratta, valutabile in ~ -23.4 dB (vedi [4]), ci mostra che la potenza in ricezione sarà intorno a -57 dBm, corrispondente ad un rapporto S/N di 40 dB; la sperimentazione mostra che per questi livelli di segnale il ponte è ampiamente nella zona di piena funzionalità, con un margine di oltre 13 dB sulla zona in cui inizia a manifestarsi la degradazione delle prestazioni dovute all'aumento del BER.

Il test sulle apparecchiature in esame si può quindi riassumere constatando come le conclusioni tratte dalla fase di progettazione siano state confermate dalla sperimentazione. Le analisi svolte confermano che con l'apparato in esame è possibile realizzare il collegamento ATM a 34 Mb/s tra Roma e Frascati in modo estremamente affidabile anche nelle peggiori condizioni ambientali e climatiche ragionevolmente prevedibili.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Telematics Applications Programme, Research Sector, 1996-1998 Contracts, Project RE 1009
- [2] S.Alborghetti et al., “*Sperimentazioni ATM per l'utilizzo di reti LAN e WAN ad alta velocità*”, INFN/TC in corso di stampa.
- [3] Bertolucci S., “*Modello di calcolo ed accesso ai dati prodotti nell'esperimento KLOE ai Laboratori di Frascati*”, Atti del XIII Workshop di INFNet pp. 223-231, 1995.
- [4] A.Brunengo et al., “*Progetto di una connessione ATM a 34 Mb/s via ponte radio fra i Laboratori Nazionali di Frascati e la sezione INFN di Roma I*”, INFN/TC-96/17, 1996.
- [5] Tomati L., “*Ponti Radio a Modulazione di Frequenza*” cap. 9, 11 e 12, Siderea ed., 1985 - Roma.
- [6] Proakis J.G., “*Digital Communications*” cap. 4, McGraw-Hill Book Company.
- [7] “*Digital Radio Theory and Measurements*”, Application Note 335, Hewlett Packard Company, 1990.