

# SPERIMENTAZIONE DI UNA RETE REGIONALE GbE CHE UTILIZZA LA CONVERSIONE TUTTA OTTICA DELLA FREQUENZA

Francesco Matera, Luca Rea, Alessandro Valenti, Sergio Pompei  
Fondazione Ugo Bordoni, via B. Castiglione 59, 00142 Roma, Italy, mat@fub.it

Giorgio Maria Tosi Beleffi, Franco Curti, Davide Forin, Gabriele Incerti, Silvia Di Bartolo  
Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione  
Viale America 201, Roma, Italy, Giorgio.tosibeleffi@comunicazioni.it

Marina Settembre  
ELSAG DATAMAT, Via Laurentina 760 00143 Roma (Italy)  
marina.settembre@elsagdatamat.com

We experimentally investigate the network performance of a Wide Area Gigabit Ethernet test bed in which we introduced the All Optical Wavelength Conversion process. Such a test bed is set to implement a Quality of Service control based on the Virtual Private LAN Service.

## 1. Introduzione

Ethernet sta evolvendo per divenire una tecnologia che può essere utilizzata su reti di dimensioni sempre più vaste, arrivando a toccare segmenti della dorsale [1]; in questo contesto le trasmissioni Gigabit Ethernet stanno avendo un ruolo fondamentale per quel processo di convergenza tra le comunicazioni ottiche e la commutazione IP. Per le reti GbE operanti su vaste aree geografiche, come le MAN o le Wide Area Network (WAN), il Virtual Private LAN Service (VPLS) [1] è attualmente una tecnica che permette di ottenere ottime prestazioni per la gestione del traffico e della Qualità del Servizio (QoS), ed è dotato di procedure multicasting che risultano molto importanti per servizi di tipo triple play. Il VPLS offre una sorta di Virtual Private Network (VPN) di livello 2, dove gli utenti sono connessi mediante *linee Ethernet* o *Ethernet LAN* [2].

In questa prospettiva in cui Ethernet andrà ad operare su segmenti di rete sempre più vasti, è chiaro che la trasmissione GbE dovrà prendere in considerazione gli aspetti della commutazione fotonica, tipica delle reti dorsali, ed in particolare gli aspetti delle trasmissioni WDM. Da questo punto di vista i canali WDM GbE non solo permettono di sfruttare al meglio l'enorme banda delle fibre, ma possono anche divenire protagonisti nelle tecniche di Operation, Administration and Maintenance (OAM) [3]. Pensando alla convergenza tra Ottica e IP, è chiaro che la conversione tutta ottica della frequenza avrà un ruolo fondamentale per un'efficiente allocazione delle lunghezze d'onda e per migliorare la riconfigurazione della rete [4].

In questo lavoro riportiamo una dimostrazione sperimentale dell'introduzione della conversione tutta ottica della frequenza (All Optical Wavelength Conversion, AOWC) in una rete WAN di tipo GbE, basata sul VPLS. Il convertitore di frequenza è basato sul Four Wave Mixing (FWM) in fibra ottica di tipo Dispersion Shifted (DS) [5]. In questo lavoro mostriamo che l'AOWC non produce alcuna degradazione del segnale e dei servizi trasportati su VPLS.

## 2. L'apparato sperimentale

Lo schema dell'apparato sperimentale è riportato nella fig. 1 e rappresenta una rete GbE che opera su una vasta area geografica utilizzando una architettura GMPLS. E' composta da quattro Provider Edge (PE) routers, con interfacce 1000BASE-ZX GbE, completamente magliata con fibre G.652, lunghe 50 km e contenute nel cavo interrato Roma-Pomezia, e tre Customer Edge (CE) routers che sono collegati ai PE mediante fibre G.652 più corte (1-2 km). L'area dei router PE è stata configurata con il VPLS e sono state introdotte delle Classi di Servizio (CoS) che sono estese ai CE per mezzo della tecnica VLAN tagging [1][6]. Perciò

mediante questa configurazione possiamo ad esempio definire dei tunnel di tipo *VPLS&VLAN Tagging* tra un server connesso al CE1 e un PC (cliente) connesso al CE2, come mostrato dalla fig. 1 con la linea più spessa.

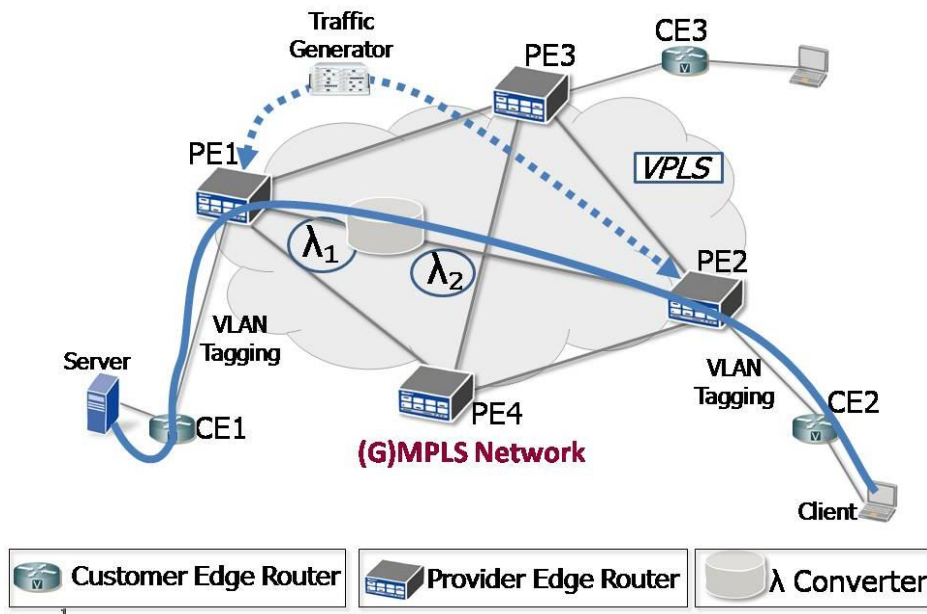


Fig. 1. Apparato sperimentale basato sulla tecnica VPLS (nella nuvola) e VLAN tagging, con il convertitore di lunghezza d'onda tutto ottico ( $\lambda$  converter).

In questo apparato potevano essere adottate otto differenti CoS con il metodo descritto in [3], tuttavia in questo lavoro per ragioni di spazio prendiamo in considerazione solo la classe GOLD, che è quella che ci permette di ottenere le prestazioni migliori, e la Best Effort (BE) che ci da le prestazioni peggiori.

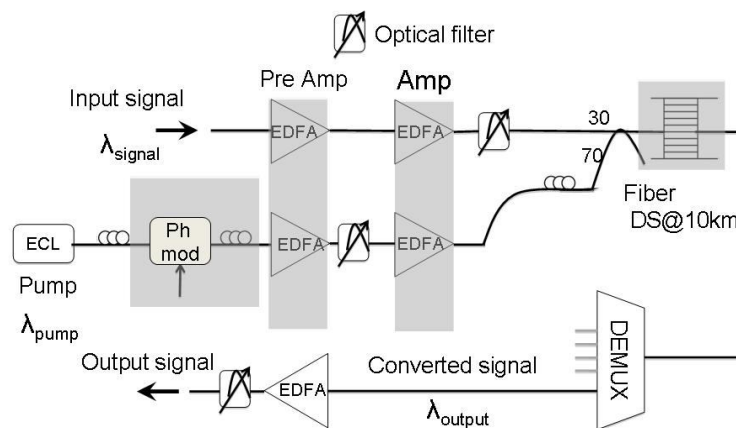


Fig. 2. Schema del convertitore di lunghezza d'onda: Ph Mod è il modulatore di fase per controllare l'effetto Brillouin.

Per testare le prestazioni della rete in presenza di una congestione del traffico tra PE1 e PE2 è inserito un generatore di traffico in grado di generare un traffico di disturbo pari a 1 Gb/s.

Le prestazioni di questa rete sono riportate con misure di QoS, effettuate con un analizzatore di rete in grado di misurare parametri come il throughput, il jitter and il data loss, analizzato streaming dal server al PC.

Il convertitore di lunghezza d'onda è inserito all'uscita del PE1 e il suo schema è riportato nella fig. 2 ed è basato sul principio del Four Wave Mixing (FWM) nelle fibre Dispersion Shifted (DS) dove questo effetto è massimo.

Il segnale di ingresso ( $\lambda_1=1553,30$  nm) dal PE1 è amplificato da un doppio amplificatore ottico dual stage ed è inserito nella fibra DS (lunga 10 km) insieme ad una pompa amplificata proveniente da un laser a cavità esterna (ECL) ( $\lambda_p=1553,76$  nm). I livelli di potenza dei segnali sono rispettivamente di 6 e 7.6 dBm per il segnale e la pompa rispettivamente. La lunghezza d'onda di uscita,  $\lambda_2$ , è selezionata per mezzo di un demultiplatore ottico (DEMUX), che permette di commutare tra la lunghezza d'onda  $\lambda_1$  e quella convertita  $\lambda_2$ . Il DEMUX è controllato da un PC che sceglie l'attimo della conversione [3].

### 3. Risultati sperimentali

Nella fig. 3 riportiamo lo spettro ottico all'uscita della fibra DS, il quale mostra le repliche che vengono generate dall'alta efficienza del FWM. Come lunghezza d'onda convertita è stata scelta quella a 1554,12 nm, che è amplificata e filtrata all'uscita del DEMUX come riportato nella fig. 2. Tale segnale è poi reinserito nel collegamento tra PE1 e PE2 ed è ricevuto da PE2.

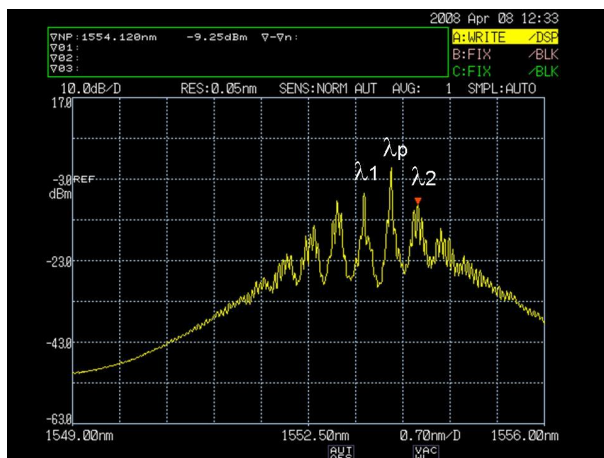


Fig. 3. Spettro ottico all'uscita della fibra DS.

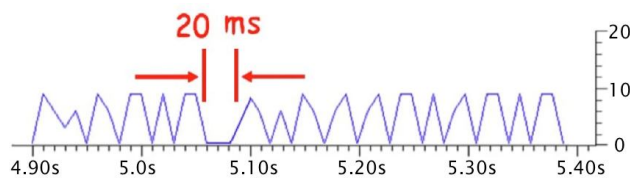


Fig. 4. Tempo di fuori servizio durante la conversione di lunghezza d'onda per uno streaming a 10 Mb/s.

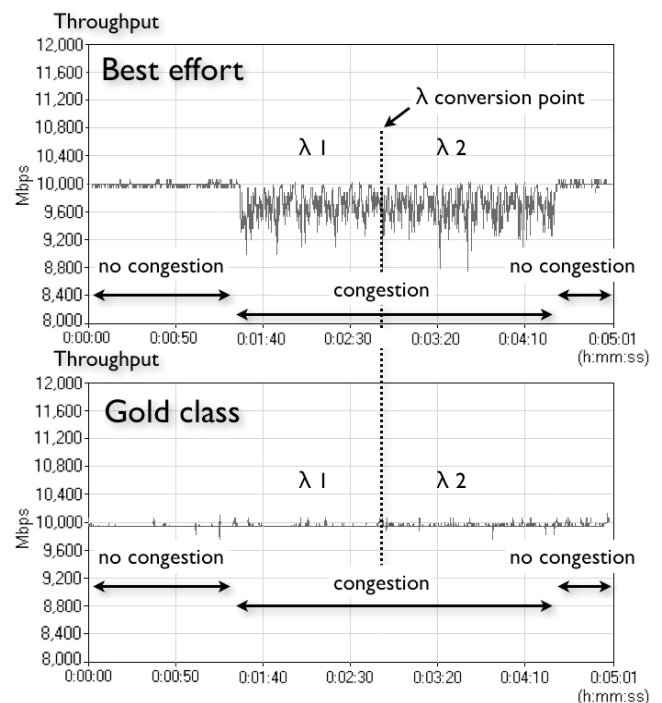


Fig. 5. Throughput per la classe Best Effort e Gold nella configurazione VPLS.

Durante la conversione di lunghezza d'onda osserviamo un fuori servizio di circa 20 ms come riportato nella fig. 4, e questo tempo è dovuto in minima parte alla commutazione fisica (3 ms), mentre 17 ms sono dovuti alle procedure di ripristino dovute ai router. Tale tempo di fuori servizio è trascurabile per la maggior parte dei servizi ma potrebbe essere un disturbo

per servizi video ed in particolare per la TV ad alta definizione (HD TV, Broadband-Forum TR 126). Comunque da alcune prove che sono state fatte si vede che questo effetto produce una lieve degradazione, appena percepibile, solo quando la HD TV è codificata con MPEG2, mentre nessun disturbo è osservato con quella di tipo MPEG4.

Nella figura 5 riportiamo invece il comportamento del throughput per uno streaming a 10 Mb/s trasportato attraverso il VPLS con classe GOLD e BE, sia in presenza della conversione di lunghezza d'onda che in assenza, e durante un intervallo in cui è presente la congestione. L'istante in cui avviene la conversione è indicato come  $\lambda$  *conversion point*. Misure sul jitter rivelarono che era sempre minore di 2 ms nel caso GOLD e minore di 4 ms nel caso BE e in entrambi i casi erano comunque valori più bassi di 50 ms. Per quanto riguarda invece le misure di Data loss occorre osservare che nel caso GOLD, sia in presenza che in assenza di conversione e congestione nessuna perdita fu mai osservata (a parte il periodo di fuori servizio), mentre per il BE nessuna perdita fu osservata in assenza di congestione (con o senza conversione di lunghezza d'onda), mentre in presenza di congestione una data loss media del 5% era osservata (massima accettabile 8 %). Queste misure confermano quindi che la conversione di lunghezza d'onda mantiene tutte le proprietà di gestione della QoS del VPLS.

### 3. Conclusioni

In questo lavoro abbiamo mostrato come si comporta una rete GbE operante su una vasta area geografica quando è presente la conversione di lunghezza d'onda tutta ottica in un nodo e abbiamo verificato che tale processamento ottico del segnale non induce alcuna degradazione nella rete. Inoltre questo processo può essere ottenuto con tempi molto veloci, compatibili con i servizi di nuova generazione, come ad esempio la TV su IP, anche nella modalità ad alta definizione. E' interessante anche notare come il VPLS ben si adatta alla tecnica WDM perchè sostanzialmente aggiunge un'altra dimensione per la gestione della QoS, e cioè quella nel dominio della frequenza.

### Ringraziamenti

The work described in this paper was carried out by FUB and ISCOM with the support of the BONE-project ("Building the Future Optical Network in Europe"), a Network of Excellence funded by the European Commission through the 7th ICT-Framework Programme.

### Bibliografia

- [1] G. Chiruvolu, A. Ge, D. Elie-Dit-Cosaque, M. Ali, J. Rouyer, "Issue and Approaches on *Exendig Ethernet Beyon LANs*," IEEE Communications Magazine, pp. 80-86, March 2004
- [2] Metro Ethernet Forum, Technical Specification 6, 2004.
- [3] F. Matera, L. Rea, M. Venezia, L. Capanna, G. Del Prete, "Fast Restoration based on *alternative wavelength paths in a wade area optical IP network*," Fiber and Integrated optics, Vol.26, No.2, pp 123-130, 2007
- [4] S.J.B. Yoo, "Wavelength conversion Technologies for WDM Network Application," J.of Lightwave Technology, vol 14, n.6, pp 955-966, 1996
- [5] D. M. Forin F. Curti, G. M. Tosi Beleffi, F. Matera, "All-Optical Fiber 2+1 Auxiliary Carrier Transponder-Regenerator," IEEE Photonics Tecnology Letters, Vol 17, n.2, pp. 429-431, 2005
- [6] S. Pompei, L. Rea, Luca; F. Matera, A. Valenti, "Experimental Investigation on Optical Gigabit Ethernet network reliability for high-definition IPTV services," J. of Optical Networking, Vol.7, n.5, pp. 426-435, 2008.