

*Gabriele Incerti, Giorgio Maria Tosi Beleffi, Franco Curti,
Davide Massimiliano Forin, Silvia Di Bartolo
Ministero dello Sviluppo Economico - Comunicazioni
Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell' Informazione
Antonio Teixeira
Istituto de Telecomunicacoes*

DISPOSITIVI MULTILUNGHEZZA D'ONDA COMPLETAMENTE OTTICI PER PROCESSAMENTI ULTRAVELOCI DI SEGNALI WDM

**(ALL OPTICAL MULTI-WAVELENGTH DEVICES FOR ULTRAFAST
WDM SIGNAL PROCESSING)**

Sommario: gli autori presentano risultati basati su un sistema di rigenerazione ottica 2R multi-lunghezza d'onda in grado di operare anche una conversione di lunghezza d'onda. In un approccio di contro-propagazione, il sistema è in grado di rigenerare numerosi flussi informativi nel medesimo istante aprendo una nuova via alla allocazione efficiente di lunghezze d'onda, riduzione di congestioni di rete e miglioramento di QoS nei segmenti wide area optical network.

Abstract: the authors present results based on 2R (Re-amplification and Re-shaping) multi-wavelength regeneration system, with wavelength conversion capabilities. In a counter propagation approach, the system is able to regenerate several end user data stream at the same time opening the way to efficient wavelength allocation, network congestion reduction and QoS enhancement in wide area optical network segment.

I. Introduzione

La crescita del traffico dati è stata un fondamentale market driver nel segmento delle telecomunicazioni. Internet veloce, servizi di e-mail, servizi 2G e 3G per telefonia mobile, videochiamate e videoconferenze, peer to peer simmetrico, memorizzazione remota, e-services sono solo alcuni esempi di nuovi servizi richiesti da parte degli utenti. Tutti questi servizi implicano un intenso uso delle risorse di rete così da richiedere ai sistemi la capacità di supportare rate molto elevati[1]. Ma oltre alla disponibilità di elevati data rate questi servizi richiedono la necessità di avere sistemi di trasmissione e servizi affidabili, scalabili e sicuri. Interruzioni o congestioni della rete, anche di breve durata, possono provocare seri danni agli utenti finali, specialmente alle velocità odierne.

Per garantire la massima scalabilità e robustezza la conversione ottica/elettrica/ottica deve essere evitata e devono essere usati dispositivi tutti ottici, cioè senza conversione, in grado di garantire un'allocazione efficiente delle lunghezze d'onda migliorando nel contempo il QoS e riducendo la congestione delle reti; questa è l'unica via per crea-

re servizi robusti affidabili e scalabili[2,3]. Con l'utilizzo della tecnica del WDM (Moltiplicazione a divisione di lunghezza d'onda) la banda delle reti ottiche può essere molto incrementata. Nei sistemi WDM numerosi canali ottici moltiplicati in lunghezza d'onda viaggiano in una stessa fibra, moltiplicando così la capacità complessiva del sistema.

Differenti soluzioni sono state proposte per realizzare le funzioni di rigenerazione 2R usando strutture interferometriche, assorbitori saturabili, fibre ottiche non lineari o dispositivi a semiconduttore. Negli ultimi anni, i rigeneratori ottici hanno focalizzato l'attenzione sulla rigenerazione dei segnali WDM.

Sono stati proposti inoltre rigeneratori WDM basati su specchi a loop non lineari o su mappe a compensazione della dispersione[6-10].

A qualsiasi sistema di elaborazione ottica dei segnali è richiesta la capacità di operare su diverse lunghezze d'onda contemporaneamente. Questo è un requisito necessario per una reale applicazione del sistema in esame. In questo lavoro, si studia sperimentalmente un sistema per la rigenerazione multicanale e la sua effettiva impiegabilità in una tratta di un sistema reale. A tal scopo è stato uti-

lizzato il cavo sperimentale a fibre ottiche posato tra la sede dell'ISCTI e la località di Pomezia (RM) distanti all'incirca 24 Km. Il sistema è un'evoluzione del sistema di rigenerazione ottico precedentemente usato in uno scenario a singolo canale[4,5]. L'adozione di uno schema in contro propagazione con l'impiego di controllori di polarizzazione apre la via ad uno scenario multicanale.

Il sistema da noi proposto, è in grado di ridurre il rumore su segnali in uno scenario WDM e sarà descritto nelle sezioni seguenti.

2. Set Up sperimentale

Nella fig.1 è mostrato il set-up sperimentale utilizzato per effettuare le misure. S1 è un segnale prodotto da una sorgente laser di tipo DFB ad una lunghezza d'onda di 1541.3 nm; modulato poi da un modulatore esterno Mach-Zehnder ad un bit rate di 10Gbit/s ed accoppiato con un segnale di pompa (P1) prodotto da una sorgente ECL ad una lunghezza d'onda di 1539.8 nm. I segnali (S1 e P1) sono accoppiati tramite un accoppiatore 90-10 ed il campo totale è mandato al polarization beam splitters (PBS) il quale è in grado di separare il

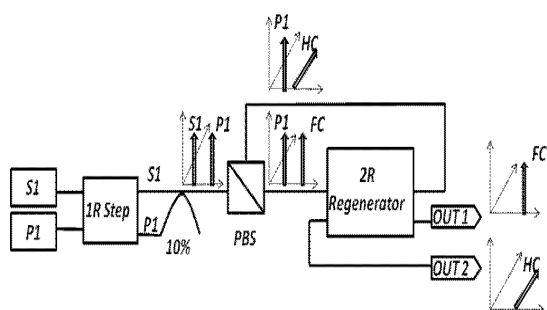


Figura 1. Set-up equivalente usato per i nostri esperimenti. FC first component, HC hottogonal component. In basso, spettro di uscita riferito alla componente FC.

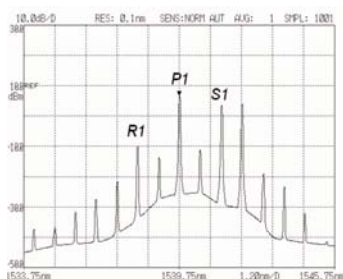


Figura 1b. Spettro di uscita dal sistema riferito alla componente FC.

segnale in due componenti ortogonali (HSOP). Due controllori di polarizzazione (non riportati in figura) permettono di ottimizzare la distribuzione delle potenze di pompa sui due rami del dispositivo. Gestendo opportunamente la polarizzazione sul segnale client, siamo in grado di processare due segnali sulla stessa lunghezza d'onda. Le uscite del PBS sono inviate alla fibra in cui avviene la rigenerazione 2R. A questo punto le componenti ortogonali in polarizzazione viaggiano attraverso due cammini contro propaganti.

Selezionando il giusto ordine di replica, generata dall'effetto non lineare che avviene nella fibra ottica di tipo DS, usando un filtro variabile molto selettivo per rimuovere i segnali indesiderati, possiamo sfruttare la funzione di trasferimento della replica per rigenerare il canale selezionato. Abbiamo selezionato la prima replica di ciascuna componente per ottenere una compressione del rumore del segnale.

3. Risultati sperimentali

Il principio su cui si basa il sistema dipende dall'effetto non lineare indotto dal battimento tra pompa e segnale. La potenza della pompa è stata stabilita a circa 10 dBm per ciascun percorso; le due componenti FC e HC sono entrambe intorno a 6.5 dBm. Questi valori di potenza sono misurati all'ingresso della fibra DS. All'uscita ritroviamo il segnale rigenerato ottenuto tramite la replica prodotta dall'effetto non lineare. La replica del segnale prodotta da FC come quella riferita a HC, è posizionata a 1538.18nm. All'uscita del sistema, un multiplexer è stato usato come filtro molto stretto per selezionare l'uscita desiderata. In fig2 è riportato l'andamento del segnale rumoroso e

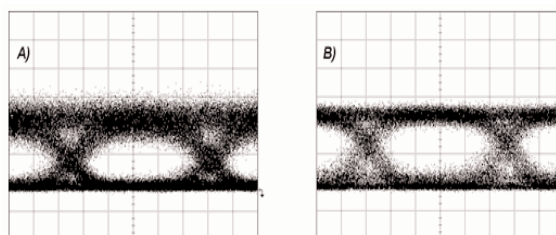


Figura 2. Diagramma ad occhio del segnale affetto da rumore (A) e del segnale compresso (B).

compresso dove è evidente l'azione del rigeneratore ottico.

Tramite i livelli di potenza dei segnali entranti in fibra siamo in grado di controllare il giusto punto di lavoro della caratteristica di trasferimento della replica selezionata. In questo modo otteniamo un segnale rigenerato partendo dal segnale rumoroso in ingresso alla fibra ottica. La funzione di trasferimento della prima replica di ciascun percorso, è in grado di comprimere il rumore al livello logico alto e permette di restituire un segnale risagomato come mostrato in figura 2.

Un ricevitore a 10 Gbit/s è stato usato per valutare il Bit Error Rate (BER). I risultati sono mostrati nella figura 3.

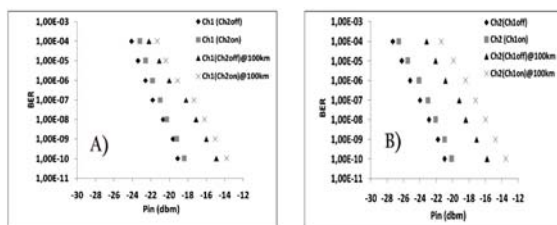


Figura 3. Misure di BER relative al sistema di rigenerazione ottica 2R.

In figura 3 sono riportate le misure di BER relative alla condizione di back to back e relative alle condizioni di propagazione. Per eseguire queste ultime misure abbiamo usato 100km di cavo ottico posato tra Roma e Pomezia. In entrambe le condizioni (BTB e propagazione) l'andamento delle curve di BER non mostrano una condizione di "floor".

La figura 3A mostra risultati riferiti alla prima replica generata dal primo percorso in caso di presenza od assenza del segnale interferente (HC in

questo caso). La penalty è di circa 0.7 in condizioni di error free; in questo modo il rigeneratore proposto risulta essere quasi immune da segnali interferenti. Nella parte destra della figura 3A sono riportate le misure relative alla condizione di propagazione lungo i 100 km di fibra DS. Anche in questo caso, la presenza del segnale interferente non è in grado di degradare le prestazioni del sistema; in questo caso il penalty è di 1.1 dBm sempre in condizione di error free.

La stessa operazione è stata realizzata per la replica generata dal secondo percorso (HC). I risultati sono mostrati in figura 3B dove anche in questo caso non è stata riscontrata condizione di "floor".

4. Conclusioni

In questo lavoro abbiamo dimostrato che il sistema proposto è in grado di rigenerare più segnali contemporaneamente senza operare alcuna conversione O/E/O. Questo sistema quindi può garantire una operazione di rigenerazione 2R. I segnali risagomati così ottenuti non sono affetti da cross-talk o da interazione tra segnali ortogonali tra loro. I risultati sperimentali confermano che il sistema è in grado di lavorare anche in caso di propagazione lungo 100km di fibra DS posata tra Roma e Pomezia.

Questo sistema permette inoltre di ottenere una conversione di lunghezza d'onda. Un prossimo passo sarà quello di considerare due segnali a differenti lunghezze d'onda per un totale di quattro client gestiti nel medesimo istante. Questo aprirà la strada a nuovi rigeneratori multi lunghezza d'onda.

References

- [1] G.Incerti, A Teixeira, G.M. Tosi Beleffi, F. Curti, M. Guglielmucci: All Optical Multichannel Regeneration Systems Based on Non Linear Effects, ICTON07 Proceedings, Rome 1-5 July (Italy).
- [2] D. M. Forin, F. Curti, G. M. Tosi Beleffi and F. Matera "All Optical Fibre 2+1 Auxiliary Carrier Transponder-Regenerator" *Photonics Technology Letters*, Vol. 17, Issue 2, (2005), pp. 429-431
- [3] M. Nielsen, and J. Mork, "Recent Advancements in Semiconductor-based Optical Signal Processing", in *ECOC 2006*, Cannes, Sept. 2006, We2.4.1.
- [4] G. M. Tosi Beleffi, D. M. Forin, F. Curti, F. Matera, A. Reale, S. Betti, S. Monterosso, A. Fiorelli, M. Guglielmucci, "3R All Optical Regeneration", *ICTON04 Proceedings*, July Warsaw (Poland).
- [5] D. M. Forin, F. Curti, G. M. Tosi Beleffi et al "All Optical 2R Regenerator Based on Induced Phase Modulation on an Auxiliary Carrier" *CLEO/QUELS 2005*.
- [6] S. Boscolo, S. K. Turitsyn, V. K. Mezentsev, "Performance Comparison of 2R and 3R Optical Regeneration Schemes at 40 Gb/s for Application to All-Optical Networks", *JLT*, vol. 23 n. 1, January 2005
- [7] P.V. Mamyshev, All-Optical Data Regeneration based-on Self Phase Modulation Effect", *ECOC98*, September 1998, Spain
- [8] B. Cuenot, A. Ellis, N. Healy, D. F. Murphy, C. D. Hussey," Optical Regeneration of WDM Signals Using Quasi-Continuous Filtering", *ICTON 2006*, Th.B1.1, pp.267-270.
- [9] L. Provost, F. Parmigiani, P. Petropoulos, D. J. Richardson, "Investigation of Simultaneous 2R Regeneration of Two 40-Gb/s Channels in a Single Optical Fiber", *IEEE PTL*, vol. 20, no. 4, February, 2008
- [10] L. Provost, et al, "Experimental Investigation of a Dispersion-Managed Multi-channel 2R Optical Regenerator", *OFC/NFOEC 2008*, OThJ3.