POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Il progetto WONDER al Politecnico di Torino

*Original*
Il progetto WONDER al Politecnico di Torino / A., B., Ferrero, V., Gaudino, R., A., L.P., Neri, F.. - (2005). (Fotonica 2005 Maggio 2005).

*Availability:*
This version is available at: 11583/1415114 since: 2016-11-04T14:49:07Z

*Publisher:*

*Published*
DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

04 November 2026

# IL PROGETTO WONDER AL POLITECNICO DI TORINO

Alessandro Bianciotto, Valter Ferrero, Roberto Gaudino, Antonio La Porta, Fabio Neri
OptCom Group, PhotonLab
Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino – Italy
Tel. +39 011 2276301 - Fax. +39 011 2276299
[nome].[cognome]@polito.it

*This paper describes the architecture of WONDER, a WDM, ring-based, optical packet network suitable for a high-capacity Metro environment, currently under development at Politecnico di Torino.*

## 1. Introduzione

Negli ultimi anni molti centri di ricerca a livello mondiale si sono focalizzati sullo studio, sia teorico che sperimentale, di architetture di reti ottiche di futura generazione. Uno dei vari filoni di ricerca internazionale in questo settore si è concentrato su nuove architetture che introducano la multiplazione statistica a pacchetto direttamente a livello ottico, cercando però di evitare eccessive complessità implementative tramite un opportuno bilanciamento tra funzionalità realizzate nel dominio elettronico e in quello fotonico. Le reti metropolitane (MAN – Metropolitan Area Networks) e regionali rappresentano lo scenario dove questi nuovi approcci potrebbero trovare applicazione, a causa sia delle crescenti richieste di traffico in questo settore, sia delle caratteristiche di dinamismo e variabilità temporale di traffico.
Questo articolo presenta uno di questi progetti, denominato “WONDER” (WDM Optical Network DEmonstrator over Rings), un lavoro biennale che coinvolge tre diverse Università (Politecnici di Torino e Milano, e Università di Parma), e prevede una dimostrazione sperimentale presso il Photonlab [1] del Politecnico di Torino. Il progetto risulta essere la naturale evoluzione del precedente progetto RINGO [2]. In questo articolo si descriveranno le caratteristiche e peculiarità dell’architettura WONDER e del relativo dimostratore sperimentale, e come questo lavoro si inserisce nel filone di ricerca attivo in ambito internazionale con altri simili progetti quali “HORNET”, presso la Stanford University [3], e “DBORN”, presso Alcatel [4].

## 2. Architettura della rete

L’architettura della rete WONDER si basa sull’utilizzo di tecniche WDM su anelli bidirezionali di tipo metropolitano, ed è rappresentata in Figura 1. Uno dei due anelli è utilizzato da tutti gli *N* nodi solo per la trasmissione, mentre l’altro è usato solo per la ricezione. I due anelli sono fisicamente interconnessi mediante una bretella ottica di *loopback* posizionata all’uscita di uno dei nodi della rete (nodo *i* in Figura 1), denominato “nodo *folding*”, che introduce un taglio degli anelli a seguito del quale la topologia diventa assimilabile ad un bus ripiegato. Dalla parte opposta del taglio, il primo nodo sull’anello di trasmissione è detto “nodo *master*” (nodo *m* in Figura 1), in quanto trasmette un segnale di sincronismo su cui tutti gli altri nodi si agganciano. La trasmissione/multiplazione in WONDER si basa sull’utilizzo di pacchetti di lunghezza fissa (*time-slot*) scambiati tra nodi dotati di trasmettitori ottici sintonizzabili e ricevitori ottici a lunghezza d’onda fissa. In particolare, ciascun nodo è equipaggiato con un ricevitore ottico accordato su una certa lunghezza d’onda $\lambda_j$, e con un trasmettitore a lunghezza d’onda variabile. Quando un nodo deve trasmettere un pacchetto ad un altro nodo accordato in ricezione sulla lunghezza d’onda $\lambda_j$, esso deve sintonizzare il proprio trasmettitore su $\lambda_j$, ed inserirlo sull’anello di trasmissione senza causare collisioni, aspettando il primo *time-slot* libero su quella lunghezza d’onda. Di conseguenza, ciascun nodo deve essere capace di controllare lo stato libero o occupato, *slot* dopo *slot*, su tutte le

lunghezze d'onda (tale funzionalità è detta "$\lambda$-monitoring"). Questo principio di funzionamento è comune sia al precedente progetto RINGO [2] che ad HORNET [3].

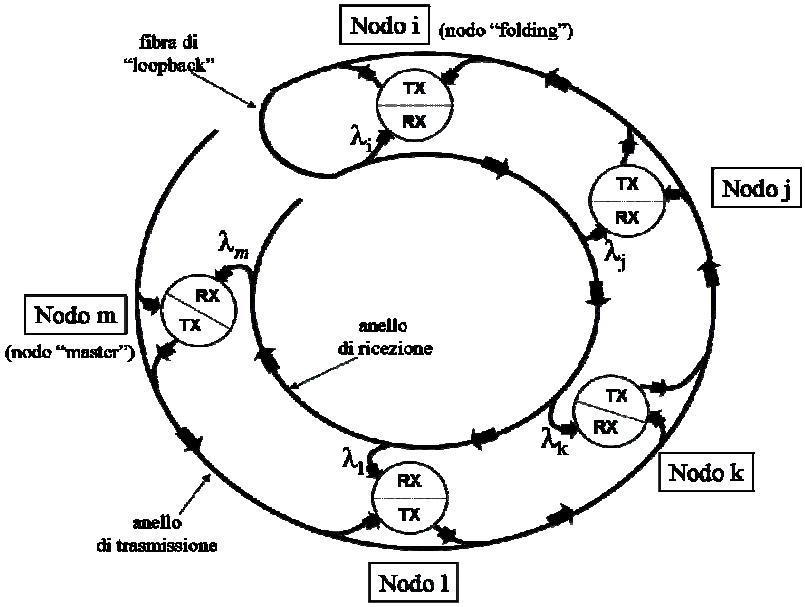



Figura 1 – Topologia della rete WONDER

Le nuove peculiarità di WONDER rispetto ai sopraccitati progetti sono legate all'utilizzo del doppio anello ripiegato, che porta ad alcuni significativi vantaggi:

- Non esiste un vero percorso ottico chiuso ad anello che potrebbe portare a fenomeni di instabilità (quali effetti di laseramento dovuti alla ricircolazione del rumore ASE)
- Grazie alla separazione tra fibra di trasmissione e di ricezione, i nodi non devono fisicamente rimuovere la propria lunghezza d'onda di ricezione dall'anello. Questo consente di condividere la stessa lunghezza d'onda tra vari nodi, eliminando il vincolo dei precedenti progetti [2,3], dove era richiesto un numero di lunghezze d'onda pari al numero di nodi
- Risulta naturale implementare tecniche di protezione da guasti tramite meccanismi di riconfigurazione dei nodi *master* e *folding* a cavallo del punto dell'anello sul quale è avvenuto il guasto
- La struttura del percorso ottico d'ingresso-uscita di ciascun nodo risulta estremamente semplificata, come descritto più nel dettaglio nella successiva sezione

La rete è potenzialmente scalabile ad un numero notevole di nodi (oltre 32 nodi per *bit-rate* pari a 10 Gbit/s). Nel prototipo sperimentale in fase di realizzazione presso il Politecnico di Torino si intende dimostrare la fattibilità dell'architettura su una struttura a 3 nodi, 4 lunghezze d'onda (una per nodo, più una per la sincronizzazione) e *time-slot* pari ad 1 $\mu$s. A causa delle limitate risorse a disposizione, il *bit-rate*, la struttura del pacchetto e la codifica di linea ricalcano quelle di Gigabit Ethernet (1.25 Gbit/s), con possibilità di upgrade a *bit-rate* superiori nell'ultima fase del progetto.

## 3. Struttura del nodo

La struttura del nodo di rete è mostrata in Figura 2. In essa è possibile individuare i seguenti sottosistemi che implementano le varie funzionalità della rete:

- Gli amplificatori ottici adattativi (AOA – Adaptative Optical Amplifier) vengono utilizzati per amplificare i segnali fornendo in ingresso al nodo (sia sulla fibra di trasmissione, che sulla fibra di ricezione) un livello di potenza ottica costante, caratteristica che semplifica

notevolmente il progetto dei ricevitori optoelettronici. Varie soluzioni sono state studiate allo scopo, scegliendo infine l'utilizzazione dei LOA (Linear Optical Amplifier) [5].

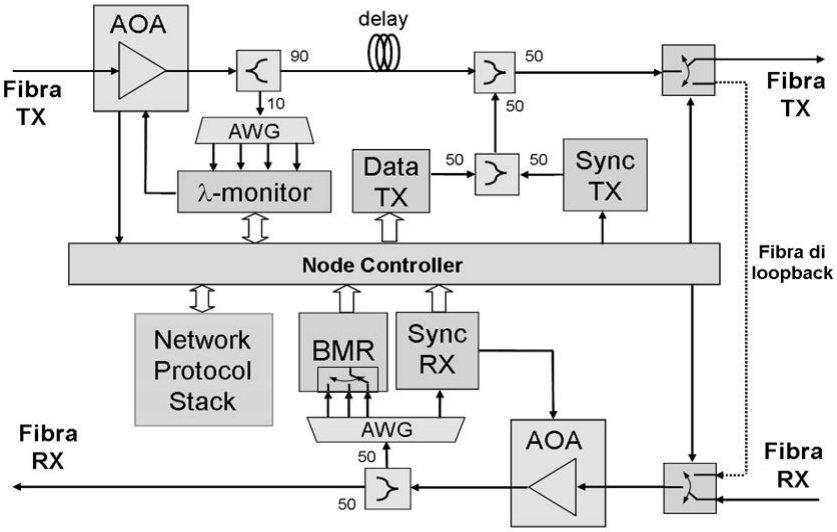



Figura 2 - Struttura del nodo della rete WONDER

- Il "$\lambda$-monitor" è costituito da una batteria di fotodiodi ciascuno dei quali effettua il monitoraggio di una delle lunghezze d'onda utilizzate nella rete. Tali fotodiodi sono seguiti da un opportuno circuito elettronico di condizionamento del segnale. Il "$\lambda$-monitor" fornisce, innanzitutto, per ciascuno *slot* e per tutte le lunghezze d'onda destinate alla trasmissione a pacchetto, l'informazione libero/occupato indispensabile al fine di evitare collisioni nell'accesso al mezzo trasmissivo. Il segnale di sincronizzazione viene processato separatamente per ricavare il segnale di temporizzazione che pilota l'elettronica interna al nodo; inoltre, la potenza ottica di tale segnale viene utilizzata come monitor per mantenere costante la potenza ottica di uscita dall'amplificatore per tutti i canali WDM e per rilevare eventuali guasti lungo la fibra a monte.
- Il trasmettitore di dati deve generare pacchetti ottici di durata pari ad 1 $\mu$s. Allo scopo, si utilizza una batteria di laser DFB (Distributed FeedBack), ciascuno a lunghezza d'onda fissa. I laser sono modulati direttamente in modo da ottenere un elevato rapporto di estinzione "di pacchetto" e vengono sincronizzati *slot* per *slot* dal controllore elettronico del nodo. La trasmissione dei bit avviene modulando esternamente il pacchetto ottico con formato di modulazione OOK (On-Off Keying) a 1.25 Gbit/s.
- Il trasmettitore del segnale di sincronismo è implementato modulando un laser alla lunghezza d'onda $\lambda_s$ con un segnale a *bit-rate* pari ad un decimo del *bit-rate* di lavoro. Il ricevitore del segnale di sincronismo fornisce un segnale elettrico al circuito di recupero del *clock* (CDR – Clock and Data Recovery) del controllore elettronico di nodo per la determinazione del sincronismo sul bit.
- Il ricevitore del nodo della rete deve lavorare in modalità "*burst*" (BMR - Burst Mode Receiver) per la ricezione dei pacchetti ottici. Ciò lo rende peculiare rispetto ai più comuni ricevitori ottici ottimizzati per flussi continui di bit. Per ottenere un'implementazione semplice, economica e robusta, l'attenzione è stata rivolta alla progettazione di un ricevitore accoppiato in AC, con ottimizzazione della frequenza di taglio passa-alto e con codifica di linea 8B/10B per evitare la variazione del livello di riferimento ("*baseline wander*") dovuta a lunghe sequenze di "1" o "0" [6].
- Il controllore elettronico del nodo (*node controller* in Figura 2) è realizzato attraverso una scheda FPGA operante all'interno di un calcolatore. Essa comunica con tutti i sottosistemi presenti nel nodo per la realizzazione di tutte le funzionalità logiche della rete e si

interfaccia con gli strati superiori del protocollo della rete WONDER per consentire lo scambio di dati tra i nodi attraverso protocolli standard come FTP, HTTP ed SMTP.

Si evidenziano nel seguito alcune peculiarità dell'architettura WONDER:

- La parte elettronica di ciascun nodo deve processare, sia in trasmissione che in ricezione, un *bit-rate* pari a quello di una singola lunghezza d'onda, e non il *bit-rate* complessivo transitante nella fibra sui vari flussi WDM. Questo è sicuramente il principale vantaggio dell'architettura WONDER rispetto all'attuale classico approccio usato nelle reti ad anello SDH su WDM, dove ciascun ADM deve processare l'intero *bit-rate* aggregato.
- L'architettura proposta non richiede una effettiva commutazione ottica a livello fisico, evitando così componenti ottici richiesti da altri tipi di reti ottiche avanzate, quali *switch* ottici veloci e linee di ritardo commutate.
- La multiplazione statistica è realizzata direttamente a livello ottico, ma il protocollo è di fatto completamente gestito nel dominio elettronico. In particolare, il meccanismo che evita le collisioni richiede tecniche di "Virtual Output Queing" grazie alle quali si possono ottenere, come dimostrato in letteratura, traffici smaltiti vicini ai limiti massimi teorici.
- A livello prettamente fisico, il percorso ottico di ingresso-uscita è estremamente semplice, prevedendo solo amplificatori ottici e *splitter* passivi. Questo mantiene bassi i valori di Insertion Loss, Polarization Dependent Loss (PDL) e Polarization Mode Dispersion (PMD) per nodo. Sono anche minimizzati gli effetti di *self-filtering* per nodo, essendo questi ultimi legati soltanto alle caratteristiche spettrali degli amplificatori ottici utilizzati.

## 4. Conclusioni

Questo lavoro è motivato dalla convinzione che una rete ottica con commutazione di pacchetto a livello ottico possa essere una alternativa valida ed economicamente competitiva rispetto alle attuali reti ottiche basate sulla commutazione di circuito nelle quali i pacchetti vengono trattati completamente a livello elettronico in maniera aggregata. Il principale obiettivo del progetto WONDER è quello di raggiungere un buon compromesso tra il dominio elettronico e quello fotonico al fine di limitare la complessità dei sottosistemi utilizzati.


## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare tutti i componenti del PhotonLab per il loro prezioso aiuto, e i gruppi di ricerca delle altre Università coinvolte nel progetto (Politecnico di Milano e Università di Parma).

Questo lavoro è parzialmente supportato dal MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca) attraverso il progetto PRIN "WONDER" e dalla Commissione Europea attraverso la rete di eccellenza "FP6 E-Photon/ONe, WP5 and WP10".


## Bibliografia


[1] *http://www.photonlab.org/*

[2] A. Carena, V. De Feo, J. Finochietto, R. Gaudino, F. Neri, C. Piglione, and P. Poggiolini, "RingO: An Experimental WDM Optical Packet Network for Metro Applications", *Selected Areas in Communications*, *IEEE Journal on* , Vol. 22, No. 8, Oct. 2004, pp.1561-1571.

[3] I. M. White, M. S. Rogge, K. Shrikhande, and L. G. Kazovsky, "A Summary of the HORNET Project: A Next-Generation Metropolitan Area Network", *Selected Areas in Communications*, *IEEE Journal on* , Vol. 21, No. 9, Nov. 2003, pp.1478-1494.

[4] N. Le Sauze, A. Dupas, E. Dotaro, L. Ciavaglia, N. H. M. Nizam, A. Ge, and L. Dembeck, "A novel, low cost optical packet metropolitan ring architecture", *ECOC 2001*, Amsterdam, The Netherlands, Vol. 6, pp.66-67.

[5] D. A. Francis, S. P. DiJaili, and J. D. Walker, "A single chip Linear Optical Amplifier", *OFC 2001*, Anheim, CA, paper PD13, 2001.

[6] S. Han and M. S. Lee, "AC-coupled Burst-Mode Optical Receiver Employing 8B/10B coding", *Electronics Letters*, Vol. 39, No. 21, Oct. 2003, pp. 1527-1528.