

PROTOTIPO SPERIMENTALE DI RETE MAN OTTICA AD ANELLO A COMMUTAZIONE DI PACCHETTO

A. Bianco, A. Carena, V. De Feo, V. Ferrero, R. Gaudino, P. Gigante,
E. Leonardi, **F. Neri**, P. Poggiolini, A. Pozzi
Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino

C.N.R. – Roma, 18 giugno 2001



*Dipartimento di Elettronica
Politecnico di Torino
Torino - ITALY*
www.retitlc.polito.it
www.optcom.polito.it



Telecommunication Networks Group



Optical Communications Group

Politecnico di Torino



Vantaggi del dominio fotonico

Dal punto di vista sistemistico, la tecnologia fotonica presenta tra gli altri i seguenti vantaggi:

- **maggiori distanze tra i punti di commutazione**
- **minore dissipazione di potenza negli apparati di commutazione**
- **flessibilità nel progetto della topologia logica**
- **costi in prima approssimazione indipendenti dalla velocità di cifra**

Per l'assenza di dispositivi analoghi alle memorie elettroniche e per la limitata capacità di elaborazione, l'ottica meglio si presta a tecniche a divisione di lunghezza d'onda / frequenza (WDM) che a tecniche a divisione di tempo (TDM).



- **1^a generazione:** fibra utilizzata come esclusivamente come mezzo trasmissivo
- **2^a generazione:** implementazione di funzionalità di commutazione di circuito su base lunghezza d'onda (wavelength routing)
 - ✧ motivazioni:
 - riduzione dei costi degli apparati di commutazione (Terabit Routers)
 - semplificazione di funzionalità quali Protection, Restoration and Management
 - ✧ in fase di standardizzazione (ITU G.872 Optical Transport Networks)
- **3^a generazione:** implementazione di funzionalità di *commutazione di pacchetto* direttamente a livello fotonico



Commutazione di circuito e di pacchetto nelle reti ottiche

- **La commutazione di circuito su base lunghezza d'onda è oggi possibile grazie a nuovi componenti ottici disponibili in versione commerciale o pre-commerciale:**
 - ✧ matrici di commutazione ottica basate su MEMS (Micro Electro Mechanical Switch) con tempi di commutazione dell'ordine delle decine di millisecondi
 - ✧ laser accordabili
 - ✧ ampia disponibilità di filtri passivi per moltiplicazione e demoltiplicazione di lunghezza d'onda
- **La commutazione di pacchetto a livello ottico pone invece notevoli problemi tecnologici, ma è vista come una naturale evoluzione per la futura generazione di reti ottiche**



Classificazioni reti ottiche a pacchetto

■ “True” Optical Packet Switched Networks

- ✧ le funzioni di commutazione e instradamento sono svolte dai nodi della rete a livello ottico
- ✧ estremamente difficile da implementare allo stato attuale della tecnologia

→ **problema essenziale: mancanza di memorie ottiche efficienti e di componenti ottici che commutino in tempi rapidi**

■ Broadcast & Select Networks

- ✧ i pacchetti sono inviati in modo indistinto a tutti i nodi della rete
- ✧ le funzioni di accodamento e gestione delle collisioni sono svolte da ricevitore e trasmettitori solo alla periferia del dominio fotonico
- ✧ concetto base: ricerca di un compromesso tra vantaggi offerti da strato ottico e quello elettrico



■ RingO:

- ✧ dimostratore sperimentale di rete ottica a pacchetto a moltiplicazione di lunghezza d'onda

■ Progetto interuniversitario finanziato dal MURST (COFIN 99)

■ Università coinvolte

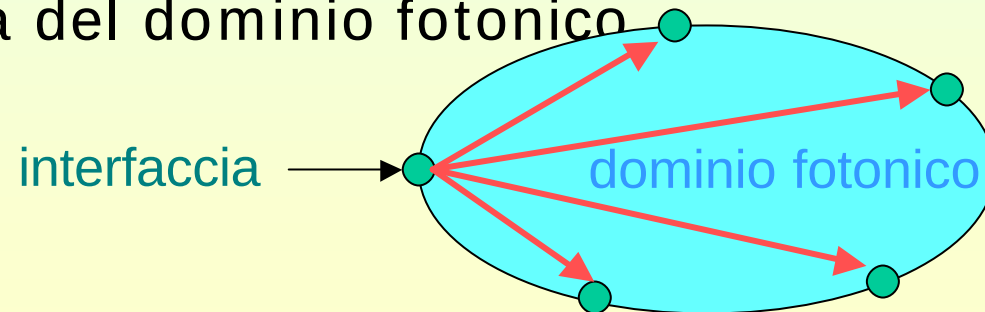
- ✧ Politecnico di Torino, Dipartimento di Elettronica
- ✧ Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento INFOCOM

■ Inizio lavori: Dicembre 1999

■ Durata: 2 anni



- Il progetto RINGO studia reti WDM/TDM single-hop su topologia ad anello
- L'architettura considerata cerca di combinare in modo ottimale l'utilizzo di tecnologie fotoniche ed elettroniche, mirando al miglior compromesso prestazioni/costi:
 - ✧ la banda aggregata viene manipolata nel dominio fotonico
 - ✧ la multiplazione statistica sui singoli canali trasmissivi e la memorizzazione dei pacchetti avviene nel dominio elettronico, alle interfacce dei nodi che si trovano sulla frontiera del dominio fotonico





Posizionamento del Progetto Ringo

- **Rete pensata per MAN (10–50 km)**
- **IP direttamente su WDM (no SONET, ATM, etc.)**
- **Trasporto completamente ottico tra nodo di ingresso e nodo di uscita (nessuna conversione elettro–ottica in rete)**
- **La rete ottica non perde pacchetti per congestione: una volta spedito, un pacchetto arriva certamente a destinazione**
 - ✧ vantaggioso per il QoS
 - ✧ non ha bisogno di ack dal nodo ricevente
- **Supporta il multicasting in modo efficiente**
- **Con l'odierna tecnologia è ragionevole pensare che sia possibile avere su ogni fibra:**
 - ✧ 32-64 lunghezze d'onda
 - ✧ 10 Gbit/s per lunghezza d'onda
 - ✧ numero di “nodi” pari a 32-64
- **I nodi contengono hardware potenzialmente molto più semplice e meno costoso di una rete equivalente realizzata con SONET/SDH**

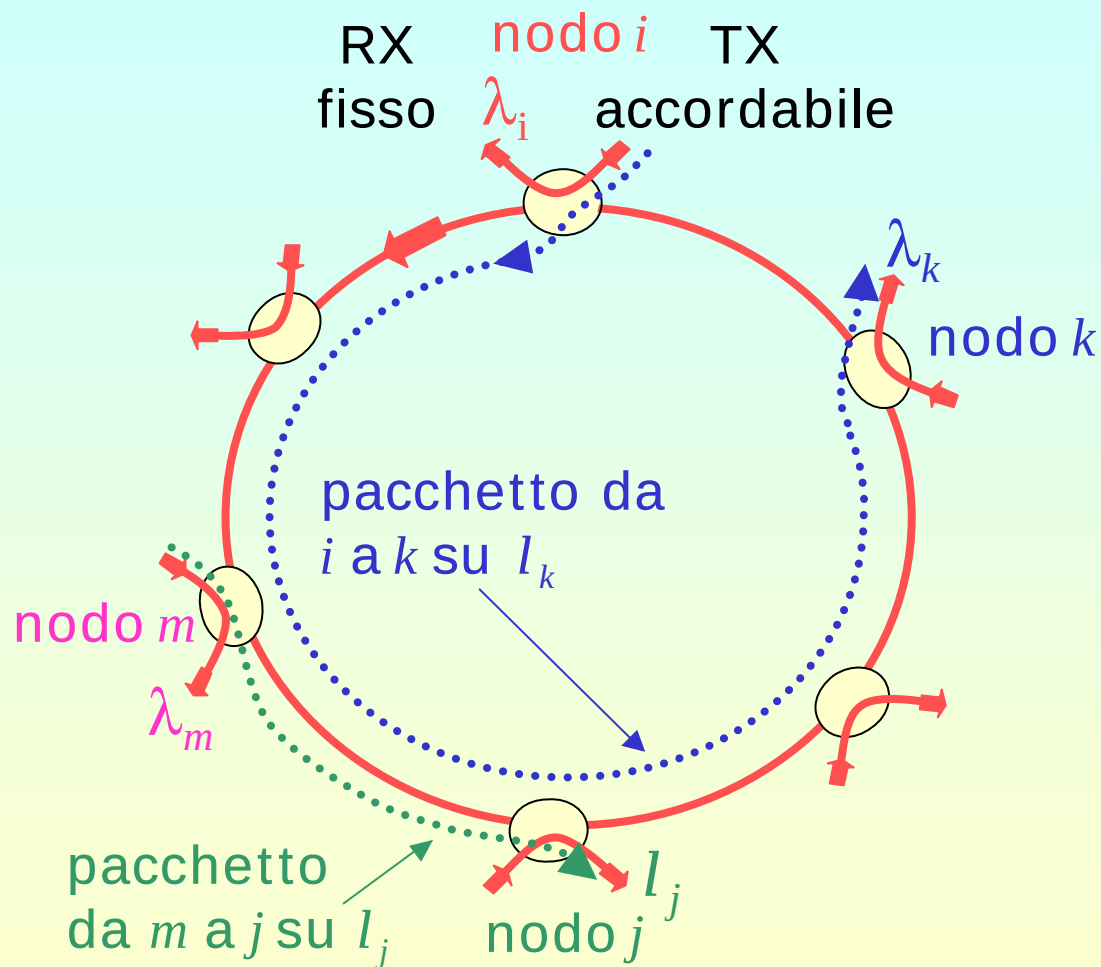


Architettura della rete RingO

- **Trasmissione a slot; allineamento degli slot alle varie lunghezza d'onda ® multi-slot**
- **Pacchetti di dimensione fissa**
- **Un trasmettitore accordabile e un ricevitore fisso per nodo**
- **Meccanismo di ispezione dei canali (1-monitor)**
- **In ogni nodo accodamento in code FIFO separate per destinazione (o per insiemi di destinazioni) per eliminare Head-Of-the-Line (HOL) blocking**
- **Trattamento efficiente del multicast**



Architettura RingO



■ Ciascun nodo può emettere su qualsiasi lunghezza d'onda

✧ trasmettitori agili

■ Ciascun nodo riceve su una lunghezza d'onda fissa, che lo identifica

✧ ricevitori fissi

■ Quando il nodo i-esimo trasmette al nodo j-esimo, genera un pacchetto alla lunghezza d'onda λ_j

■ Le collisioni sono risolte al trasmettitore, con tecnica CSMA a slot, su ciascuna λ



Vantaggi della topologia ad anello

La topologia ad anello agevola:

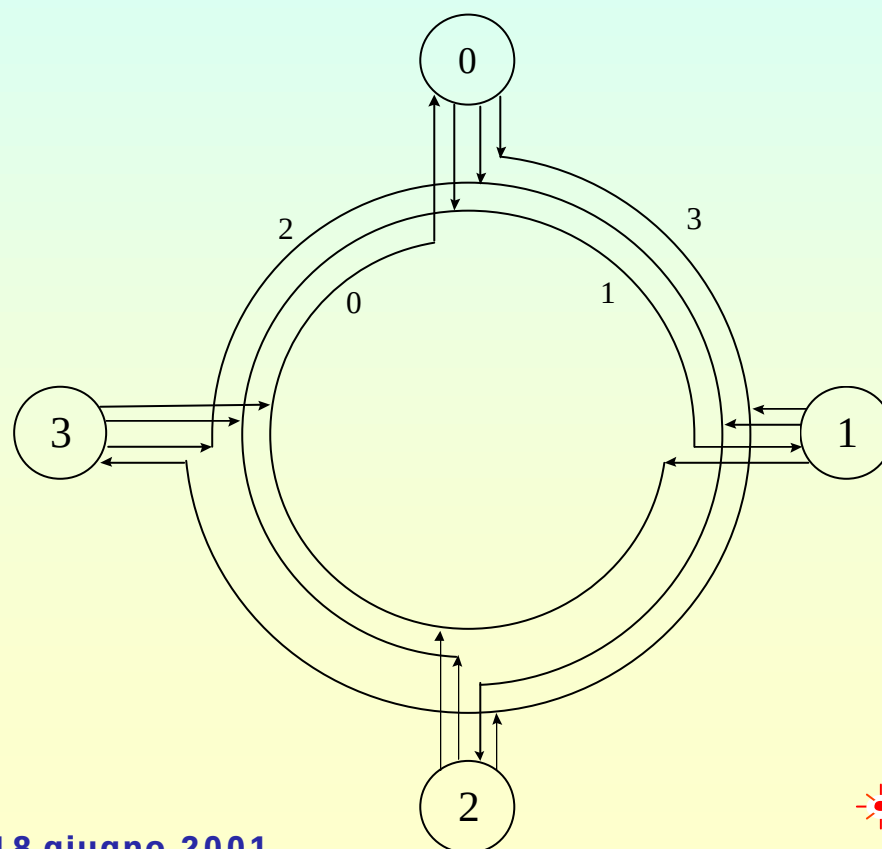
- **la compensazione della dispersione**
- **la distribuzione di informazione di sincronismo**
- **l'implementazione di protocolli d'accesso (MAC) distribuiti**

La disponibilità di amplificatori ottici consente di recuperare le perdite di inserzione dei nodi.



Consideriamo da qui in avanti solo il caso di un canale per destinazione.

La topologia logica diventa la seguente (con 4 nodi):



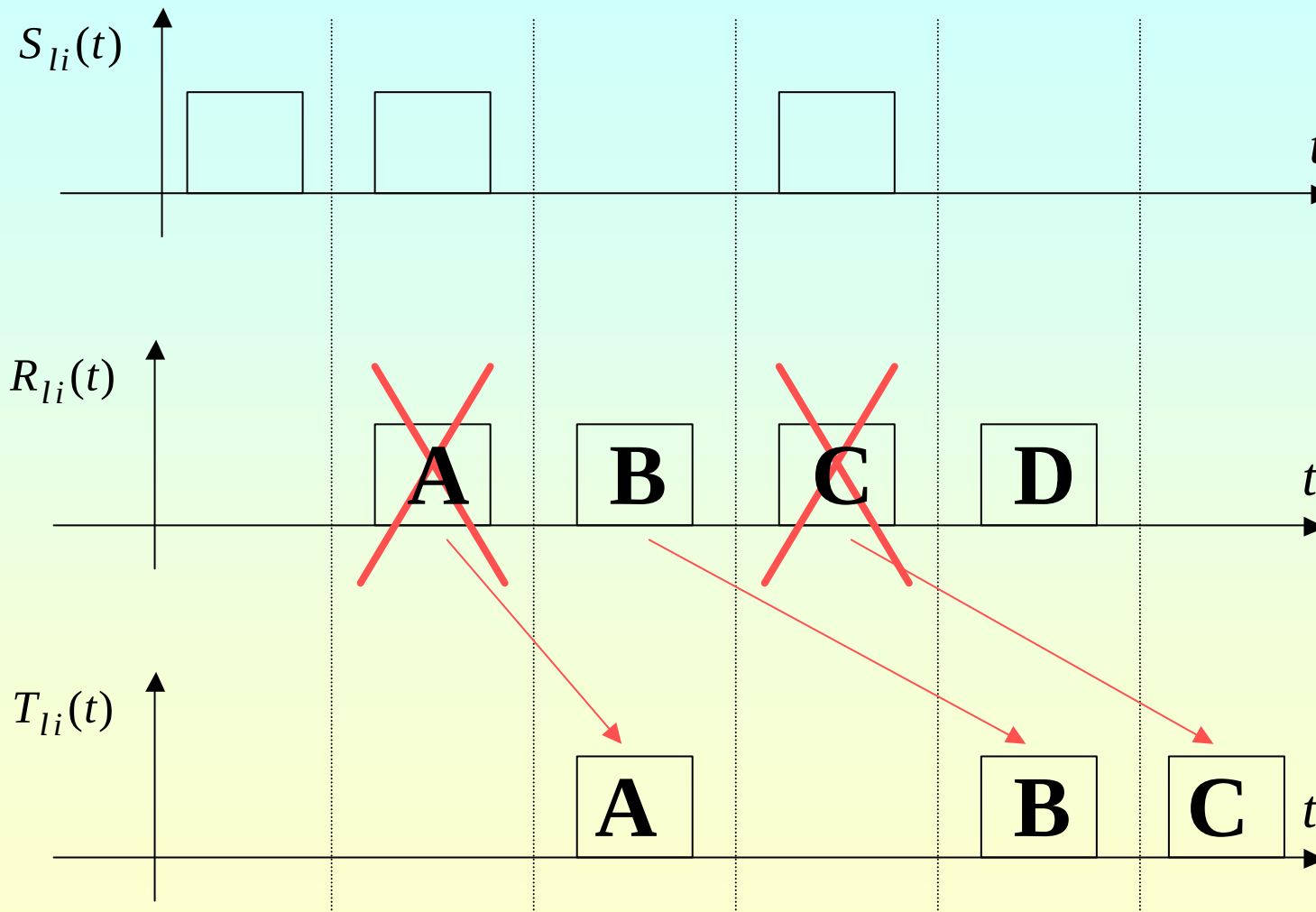


Meccanismi fondamentali:

- **priorità al traffico in transito**
- **il pacchetto da trasmettere viene scelto dalla testa delle code FIFO del nodo, con priorità ai fanout più grandi e ai pacchetti più vecchi**
- **multicast con fanout splitting**
- **possono essere aggiunti meccanismi di controllo dell'equità e di prenotazione di slot**



Priorità al traffico in transito



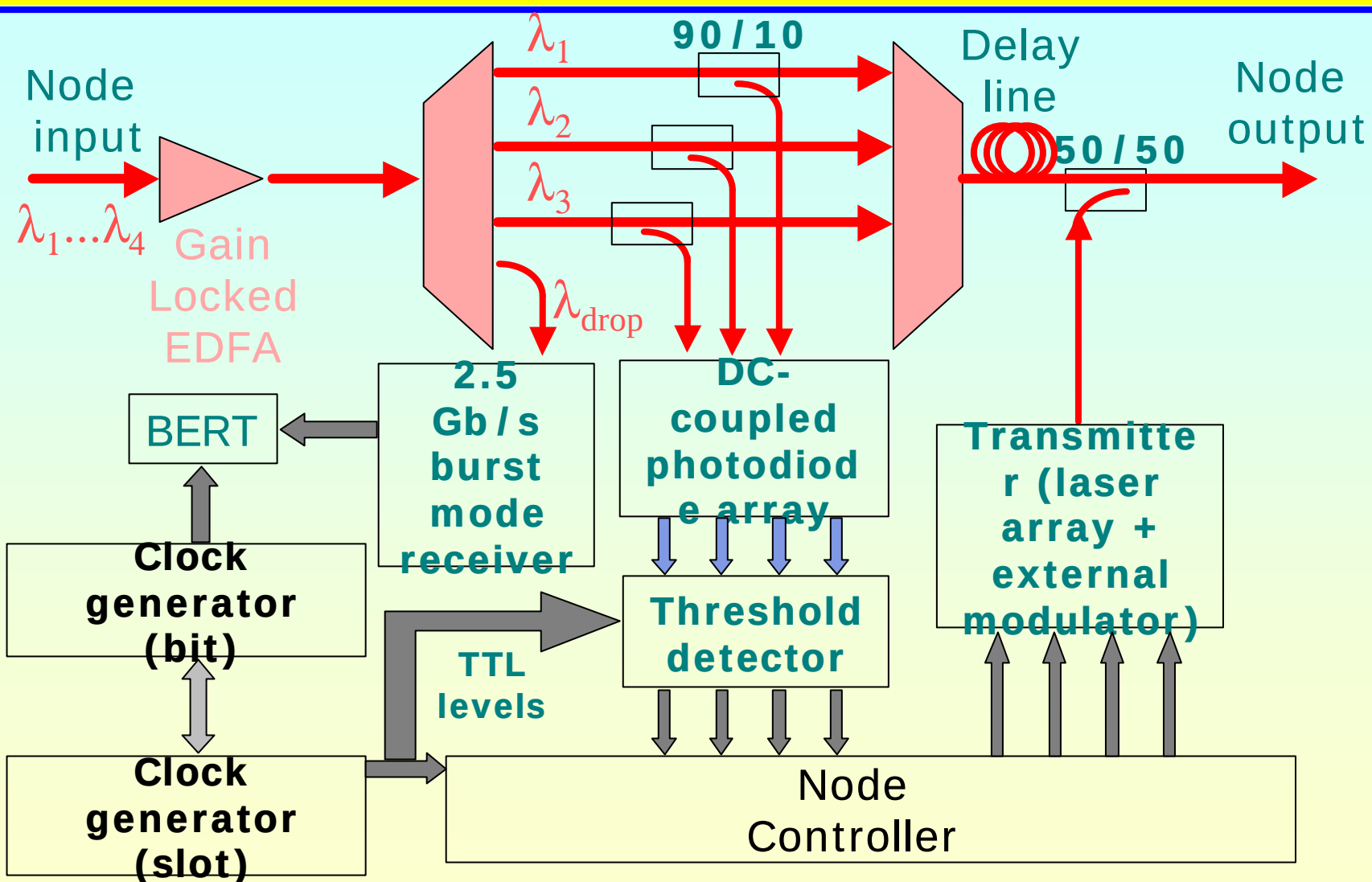
Stato rete, in ingresso al nodo i -esimo, lunghezza d'onda λ_i

Richieste di trasmissione, nodo i -esimo, lunghezza d'onda λ_i

Effettiva trasmissione, nodo i -esimo, lunghezza d'onda λ_i

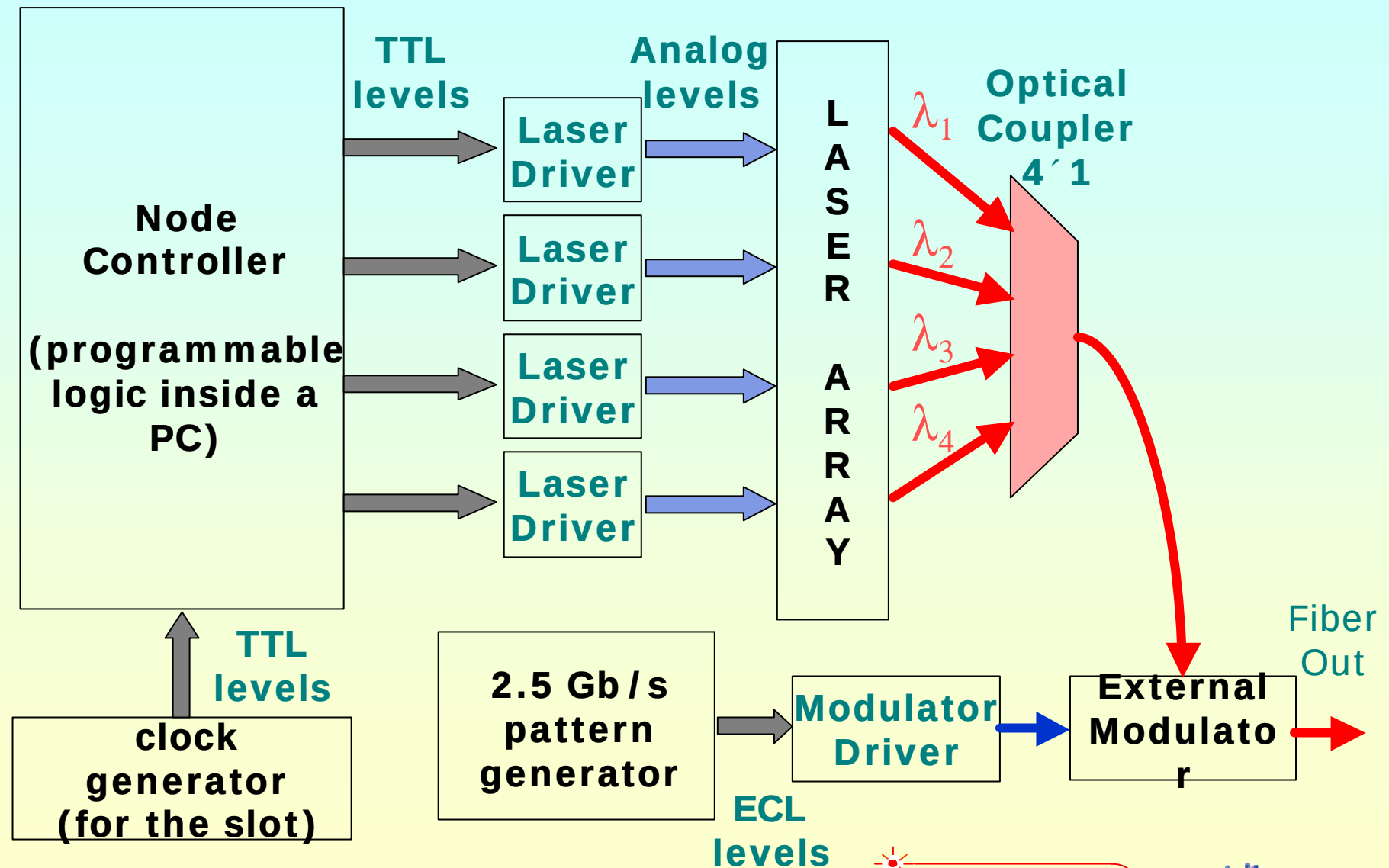


Architettura nodo





Architettura parte trasmissiva del nodo





- **Multiplatori e demultiplatori in tecnica arrayed waveguide (AWG)**
- **Array di laser DFB fissi**
- **Modulatore esterno in Niobato di Litio**
- **Logiche di controllo in FPGA**
- **Array di fotodiodi (a bassa velocità) per 1-monitor**
- **Ricevitore burst mode**
- **Amplificatori EDFA con gain locking**



Caratteristiche trasmissive

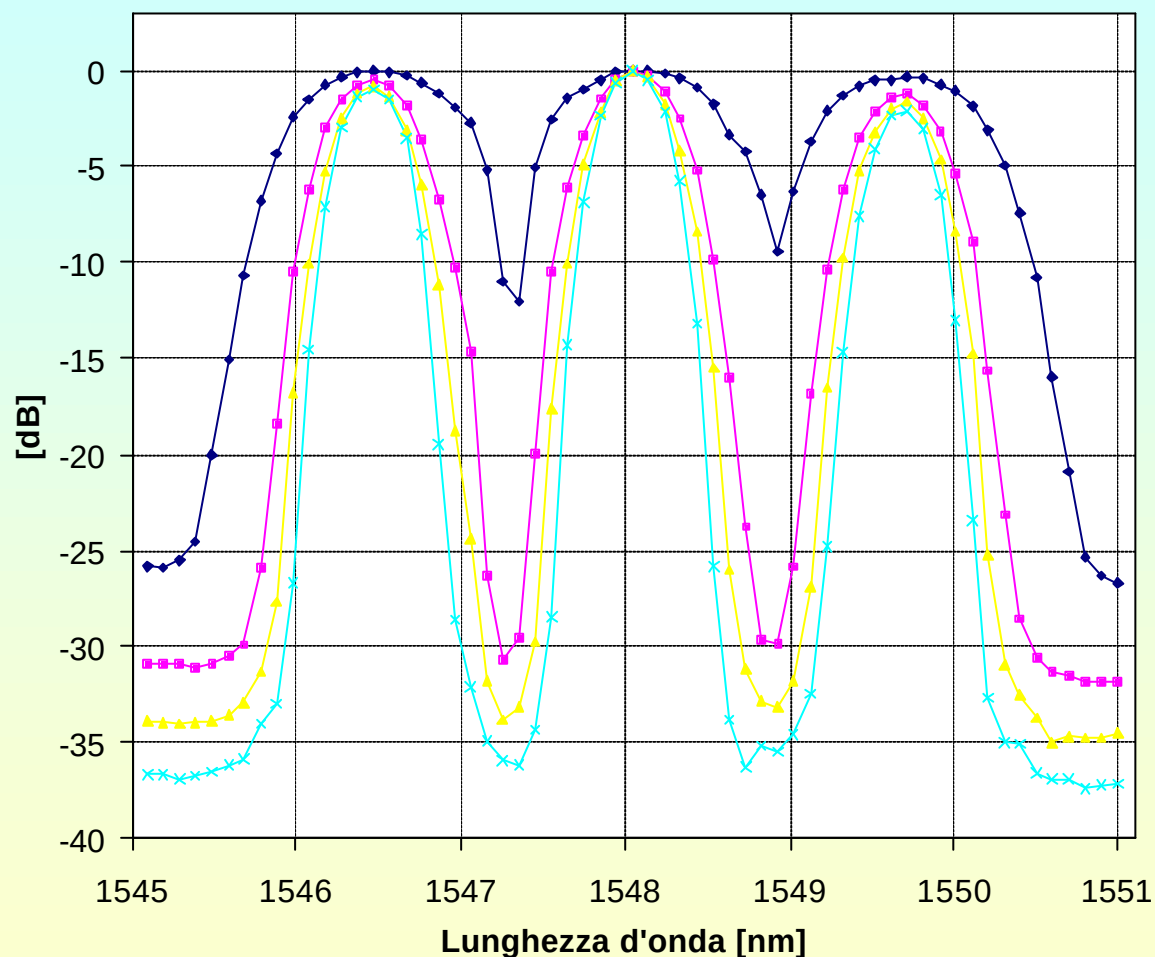
- **Controllo del crosstalk grazie agli AWG**
- **Efficiente filtraggio del rumore ASE**
- **Possibilità di equalizzazione della potenza sui singoli canali WDM**



Risultati sperimentali

Attuale prototipo

- ✧ 4 lunghezze d'onda
- ✧ spaziatura: 200 GHz a 1.55 μm
- ✧ bit rate per lunghezza d'onda: 2.5 Gbit/s
- ✧ durata pacchetto: 1 μs (2500 bit)
- ✧ tempi di guardia tra pacchetti: < 0.1 μs

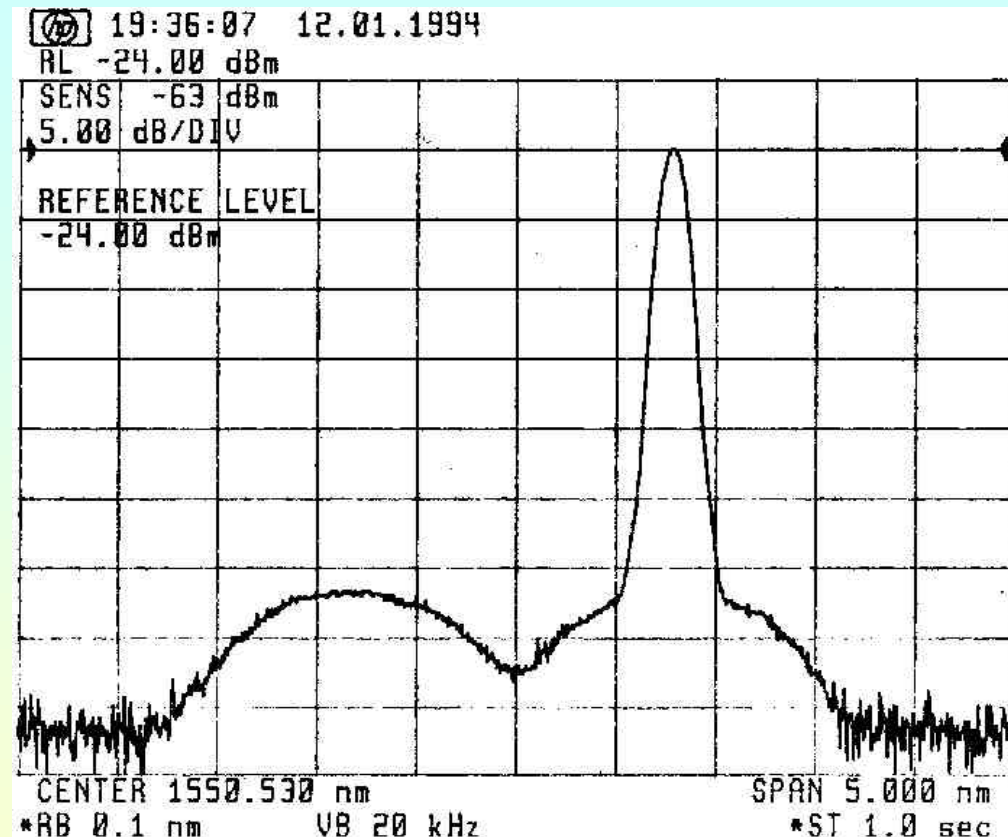
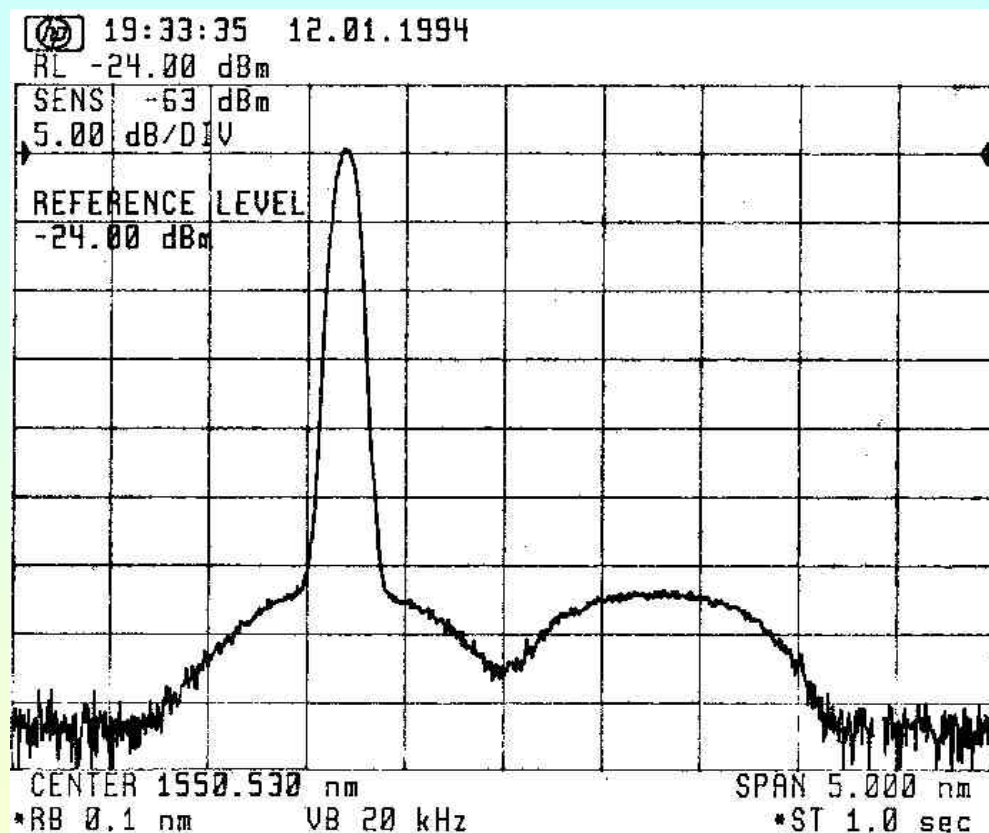


Misure AWG in anello:

- 1 nodo
- 5 nodi
- 9 nodi
- 16 nodi



Risultati sperimentali

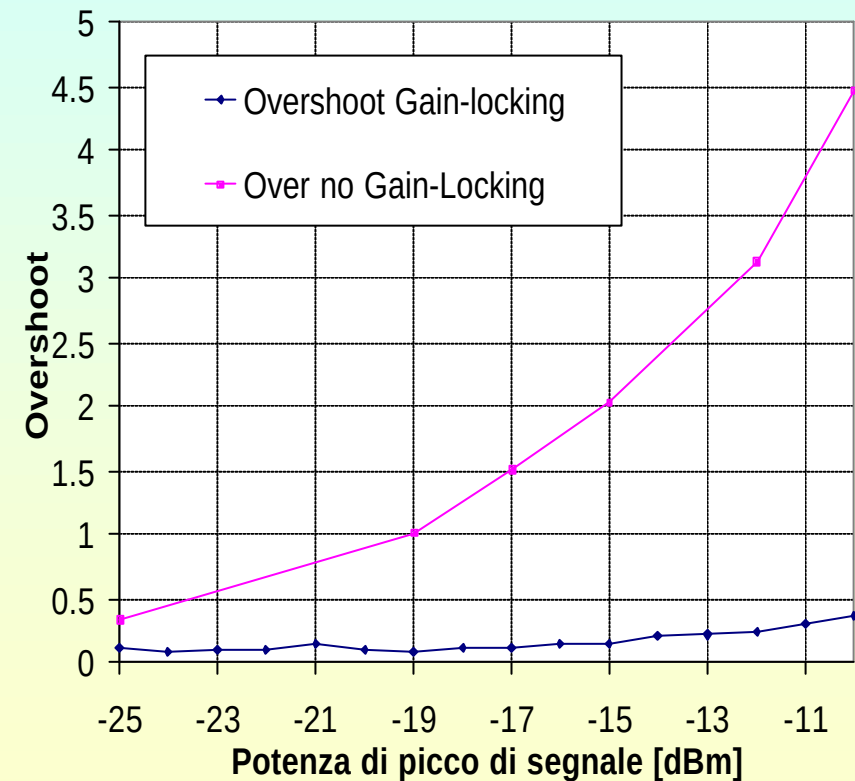
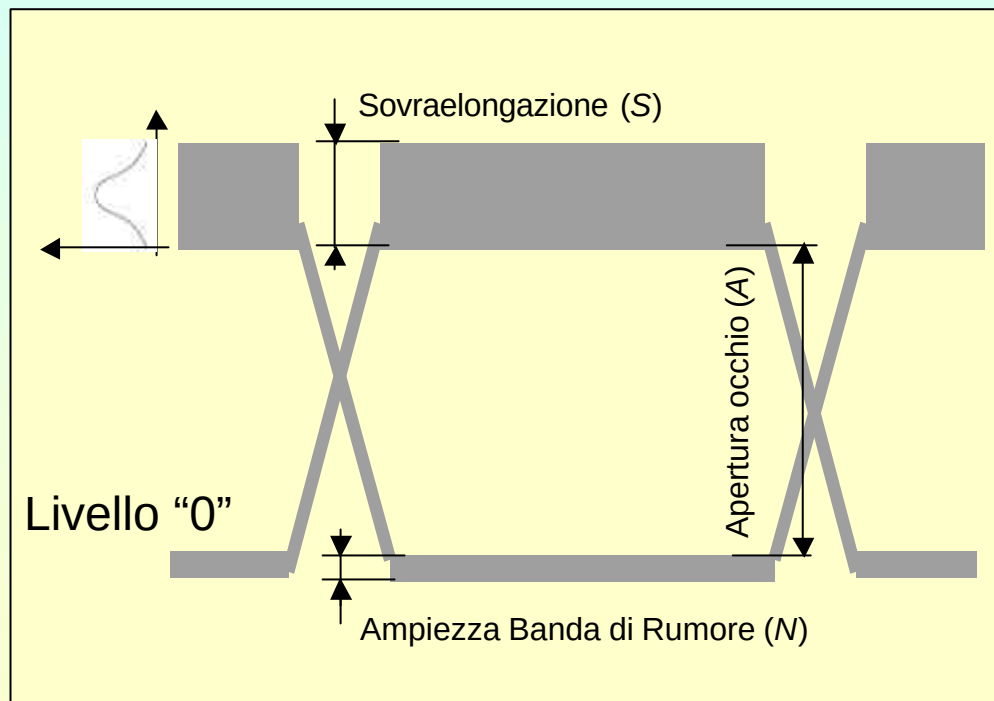


Spettro ottico all'uscita dei nodi con traffico solo a 1549.72 nm e a 1



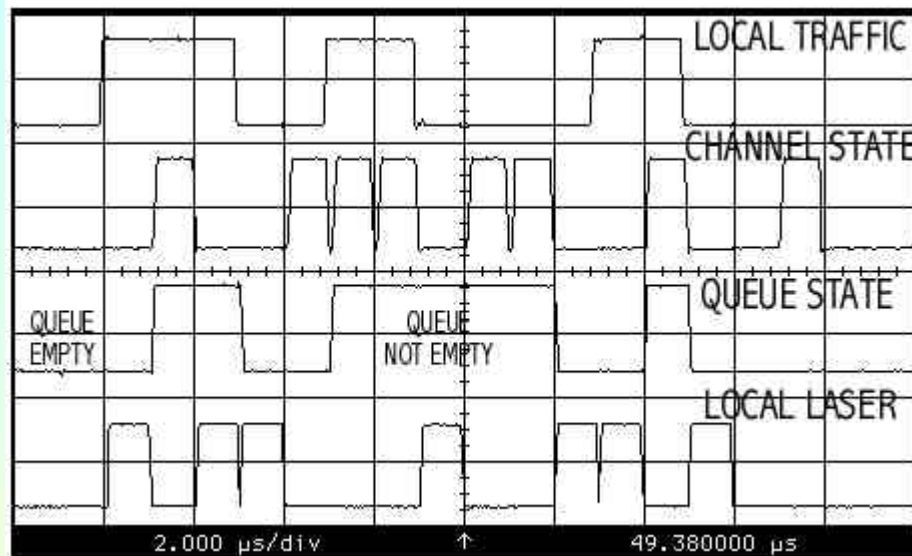
Risultati Sperimentali: EDFA gain Locking

- **Definizione di Overshoot:** $\text{Overshoot} = (S - N) / A$
- **Risultato:** accettabile arrivare a 0 dBm per canale





Risultati sperimentali: protocollo di accesso



Esempio segnali generati da FPGA per la gestione del protocollo di accesso con traffico unicast

NODE CONTROLLER

- Realizzato su FPGA Altera
- Implementa le funzioni di:
 - ✧ interfaccia bidirezionale tra workstation e hardware trasmissivo
 - ✧ accodamento dei pacchetti in trasmissione
 - ✧ generazione dei segnali di gestione del nodo (figura a lato)



■ La scalabilità dell'architettura in termini di:

- ✧ numero di nodi
- ✧ bit rate per canale

è stata studiata tramite il simulatore di sistemi ottici



■ Risultati:

- ✧ possibilità di arrivare a 16 nodi a 10 Gbit/s, con 25 km di fibra tra ogni coppia di nodi, con 0 dBm per canale all'uscita dell'amplificatore
- ✧ un disallineamento dei filtri di 0.1 nm genera penalità inferiore a 1dB
- ✧ Polarization Dependent Loss (PDL) complessiva accettabile per ogni nodo: 0.4 dB



Progetto RingO: che cosa ci ha permesso di studiare?

- **Effetti di accumulo e ricircolo di rumore ASE**
- **Effetti di accumulo e ricircolo del crosstalk tra canali WDM**
- **Effetti di self-filtering dei segnali**
- **Transitori di risposta degli EDFA**
- **Problematiche di controllo e sincronizzazione**
- **Protocolli MAC per traffico unicast e multicast**
- **Interfacciamento agli applicativi Internet**
- **Sintonizzazione veloce laser DBR in alternativa al laser array**



Progetto RingO: che cosa ci ha insegnato?

- **Fondamentale importanza delle tecniche di Gain Locking degli EDFA**
- **Necessità di implementare ricevitore optoelettronici “burst-mode”**
 - ✧ accoppiamento DC
 - ✧ recupero di clock e soglia veloce
 - i dispositivi non esistono ancora a livello commerciale
- **Importanza del dimensionamento in termini di bilanciamento di potenze e rapporti segnale rumore**
- **Protocollo di accesso**
 - ✧ l'utilizzo di tecniche di Virtual Output Queuing su RingO permette di ottenere throughput vicini al 100%



Sviluppi futuri & conclusioni

- **Possibilità di utilizzare un numero di nodi superiori alla lunghezza d'onda**
- **Implementazione di funzionalità di protezione tramite anello bidirezionale su due fibre**
- **Realizzazione di un testbed sperimentale con trasmissione di traffico reale (video ad alta velocità) sulla rete RingO**



Gli autori del lavoro ringraziano:

- il MURST per il cofinanziamento al progetto
- LUCENT Technologies Italia, per aver fornito le fibre (Truewave RS) usate nell'esperimento
- ITALTEL / STMicroelectronics, per aver fornito i filtri AWG usati per l'esperimento
- CISCO Photonics per avere fornito driver e modulatori in Niobato di Litio ed un ricevitore a larga banda



■ voi tutti per l'attenzione ...