RETI OTTICHE: APPARATI

Prof. Ing. Maurizio Casoni



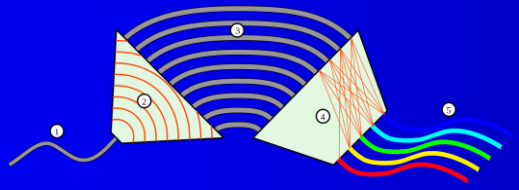
Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

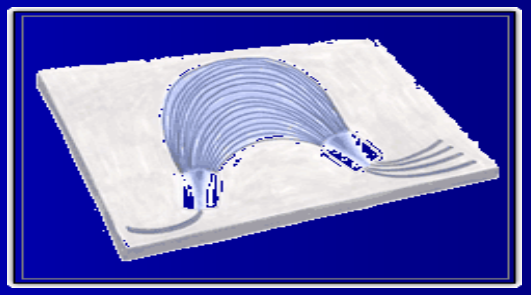
Introduzione

- Reti ottiche WDM forniscono canali ottici end-to-end (*lightpath*) commutati a circuito tra i nodi di rete verso gli utenti finali
- Un lightpath consiste di una lunghezza d'onda tra due nodi di rete instradata attraverso molteplici nodi intermedi
- Nodi intermedi possono commutare o convertire le lunghezze d'onda
- Lo strato ottico realizza questi circuiti sulla fibra ottica mediante elementi come i terminali di linea ottici (OLT), add/drop multiplexer ottici (OADM), crossconnect ottici (OXC)
- OLT sono ampiamente impiegati, OADM molto meno, mentre OXC hanno iniziato ad essere usati



Enabling technologies





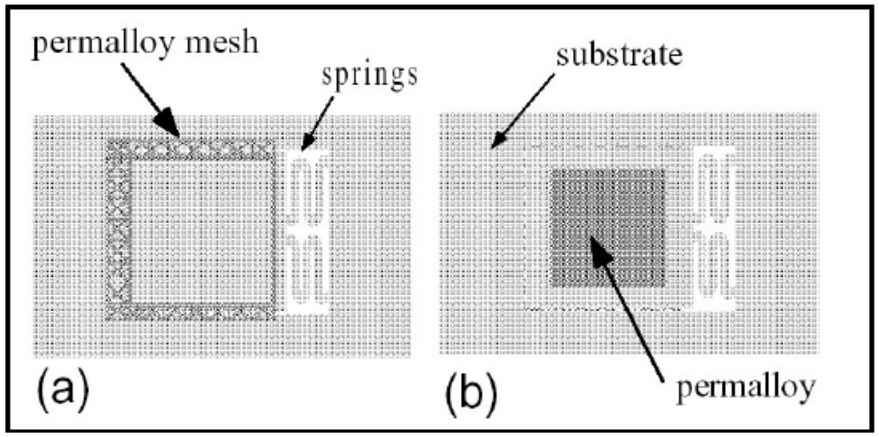
- **AWG** – Arrayed Waveguide Gratings
  - Generalization of the Mach–Zehnder Interferometer
  - Two multiport couplers interconnected by an array of waveguides
  - Several copies of the same signal shifted in phase
  - The output port is selected depending on the wavelength used
- **MEMS** – Micro-Electro-Mechanical Systems
  - Miniature movable mirrors made in silicon
  - Mirrors are deflected from one position to another using a variety of electronic actuation techniques
  - Depending on the mirror position, the optical signal is transmitted or deflected (switching time: ca. 100 μs)
- **SOA** – Semiconductor Optical Amplifier
  - Based on the principle of stimulated emission (same as LASER)
  - It may be used as an ON/OFF switch (switching time: ca. 1 ns)

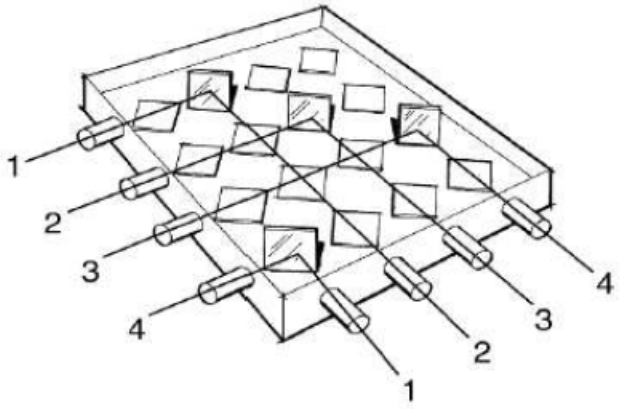
MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems

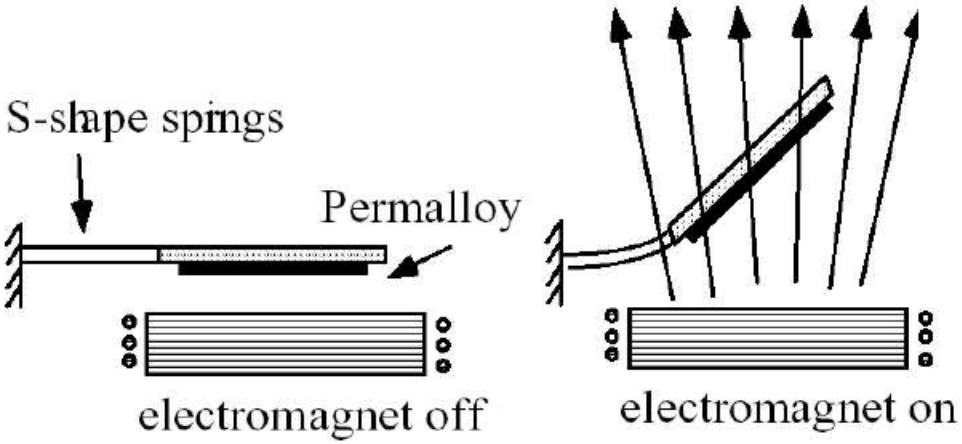
- MEMS sono un tipo di circuito integrato meccanico dove, anzichè transistors, si producono dispositivi meccanici che possono essere pilotati da basse correnti elettriche
- Alcune aziende come Lucent e Nortel Networks usano MEMS per costruire OXC
- Un commutatore ottico MEMS usa degli specchietti per dirigere la luce da un ingresso ad un'uscita: un 256x256 usa uno specchietto per l'ingresso ed uno per l'uscita
- Questi specchietti sono piccolissimi, da centinaia di μm ad alcuni millimetri, e vengono posizionati in modo da agire su singola lunghezza d'onda: un singolo wafer di silicio può originare un grande numero di specchietti, organizzati in vettori o matrici
- Uno commutatore con matrice di 256 specchietti di mezzo millimetro, spaziati di un millimetro sta su un wafer di silicio di 2.5 cm: circa un chicco d'uva
- Non c'è necessità di alimentare tutti gli specchietti: risparmio di potenza
- MEMS fabbricati da silicio: tecnica consolidata e prodotti più stabili rispetto ai metalli per sbalzi di temperatura e campi elettrici
- Specchietti sono pilotati con varie tecniche di attuazione elettronica: elettromagnetica, elettrostatica, piezoelettrica



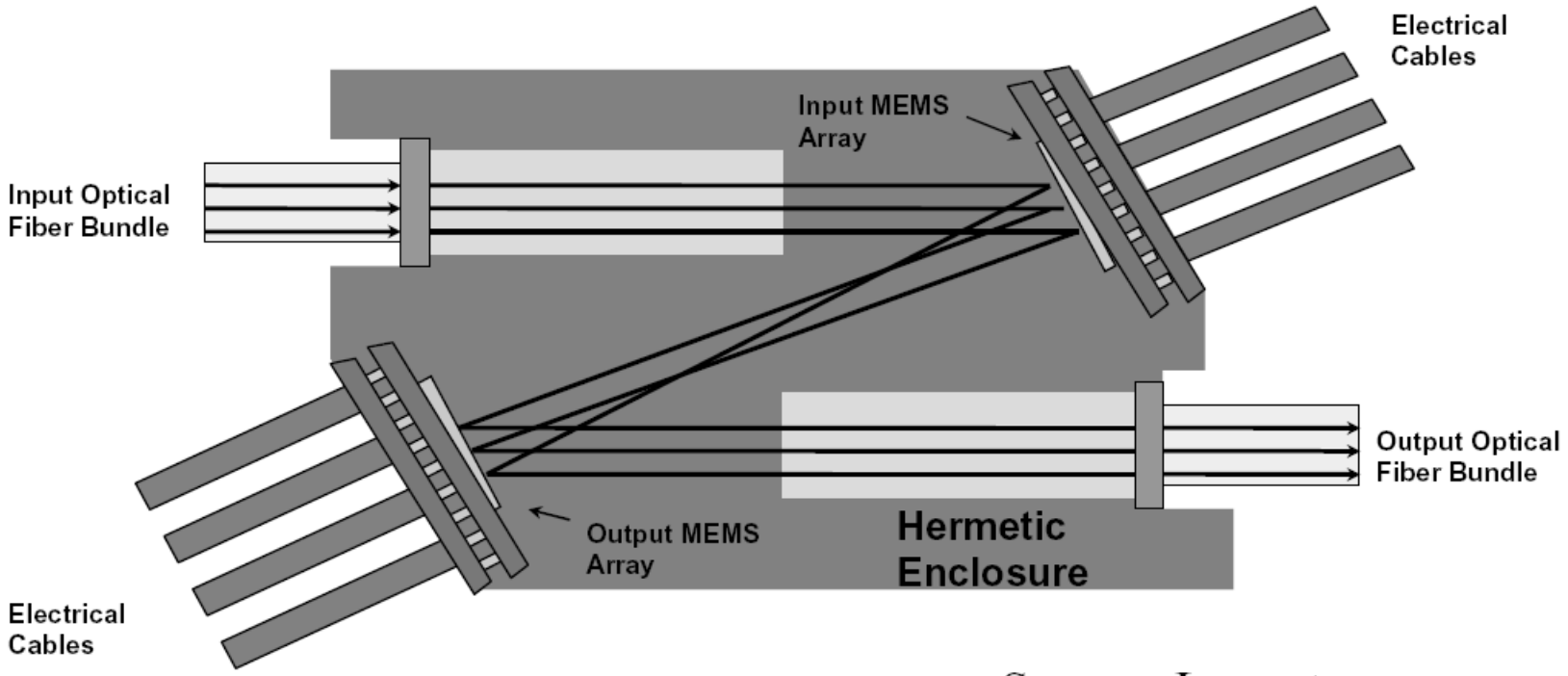
MEMS 2D


permalloy mesh
springs
substrate
(a)
(b)
permalloy


1
2
3
4
4
3
2
1

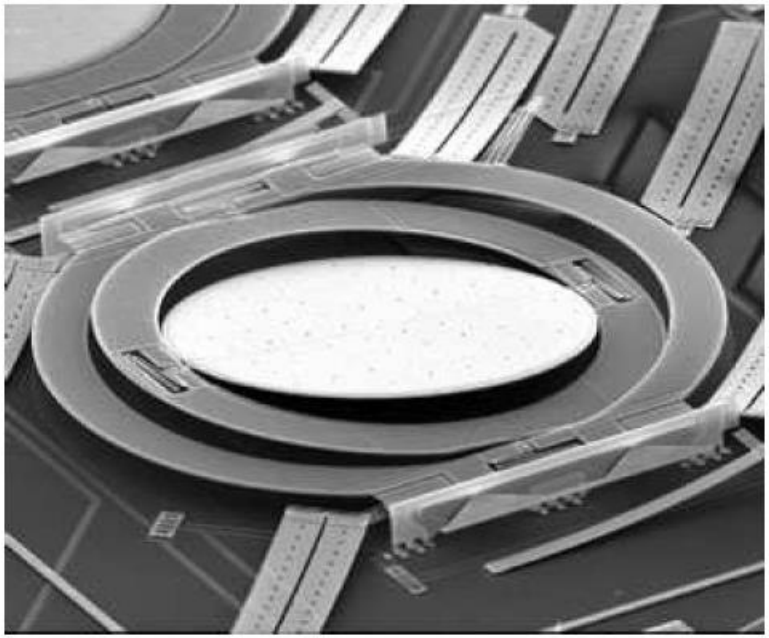

S-shape springs
Permalloy
electromagnet off
electromagnet on

MEMS 3D

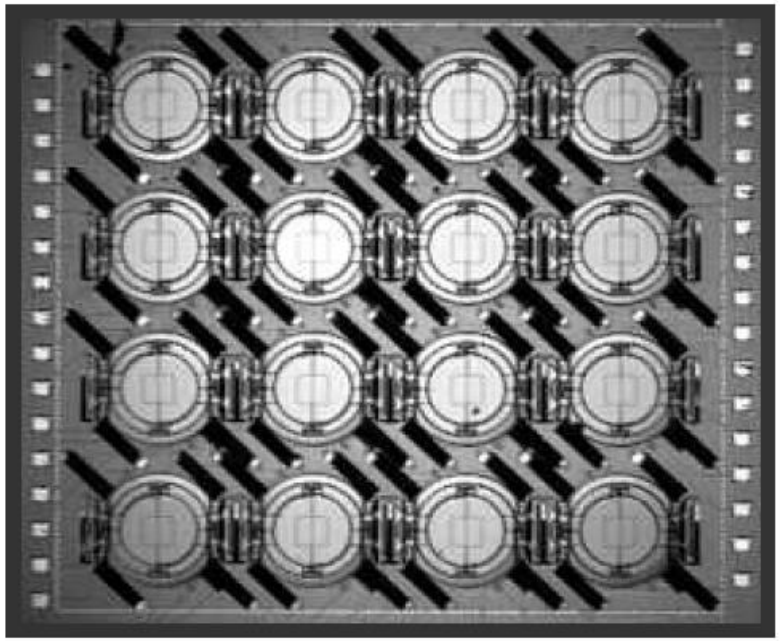


Source: Lucent

MEMS 3D

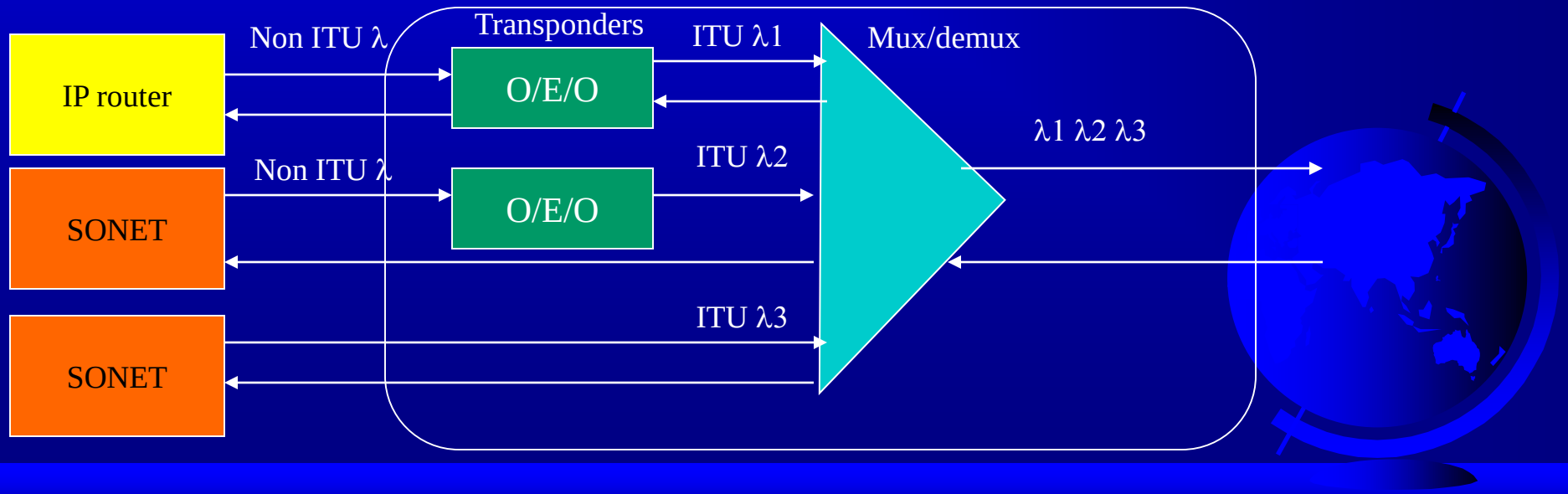


Source: Lucent



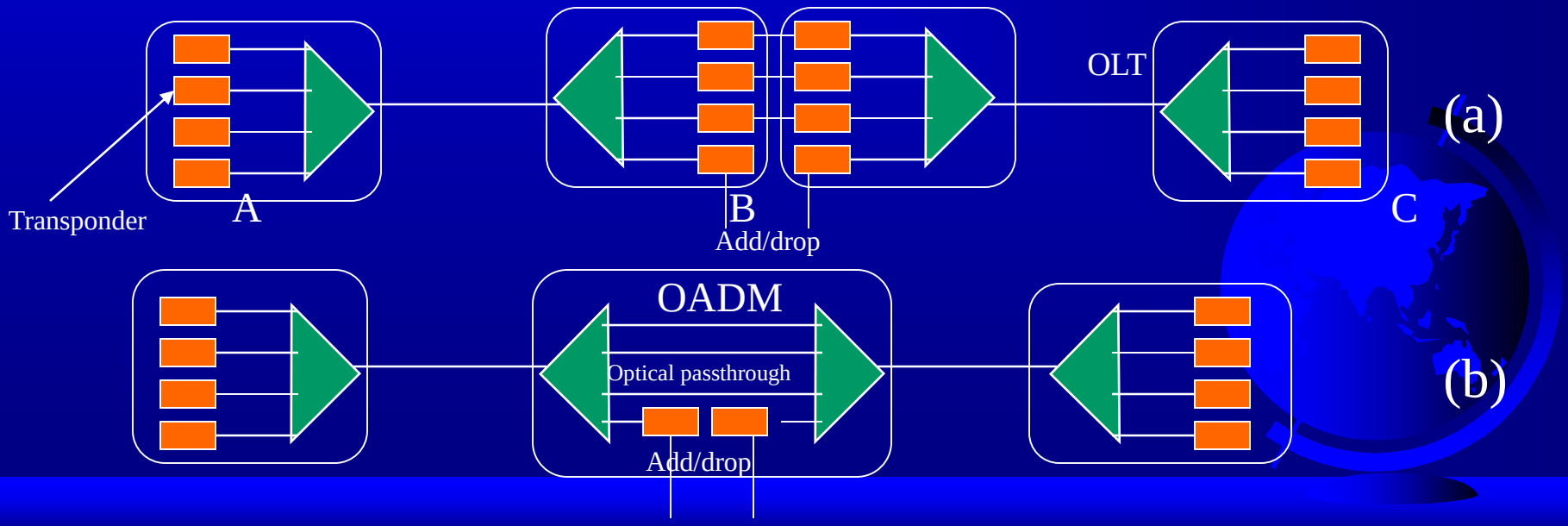
Optical Line Terminal

- Multipla lunghezze d'onda in una singola fibra e demultipla un segnale WDM in singole lunghezze d'onda
- Sono usati agli estremi di un collegamento punto-punto per mux/demux
- **Trasponder**: adatta un segnale in ingresso per renderlo idoneo alla rete ottica, per esempio su lunghezze d'onda standard ITU nella finestra 1,55 μm; questo adattamento avviene spesso mediante conversione O/E/O
- Quando possibile, è bene minimizzarne l'uso per motivi di costi e spazio



Optical Add/Drop Multiplexer

- Sono usati in nodi dove una parte delle lunghezze d'onda deve essere terminata mentre un'altra deve essere instradata altrove e sono usati in topologie lineari o ad anello
- Nell'esempio tre lunghezze d'onda da A a C e una da A a B e una da B a C
  - (a) sistemi WDM punto-punto con OLT dove transponders sono molto costosi
  - (b) soluzione OADM

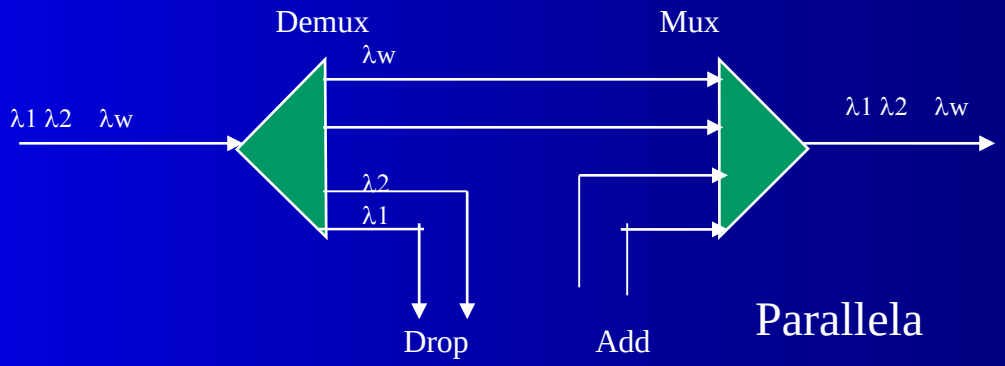


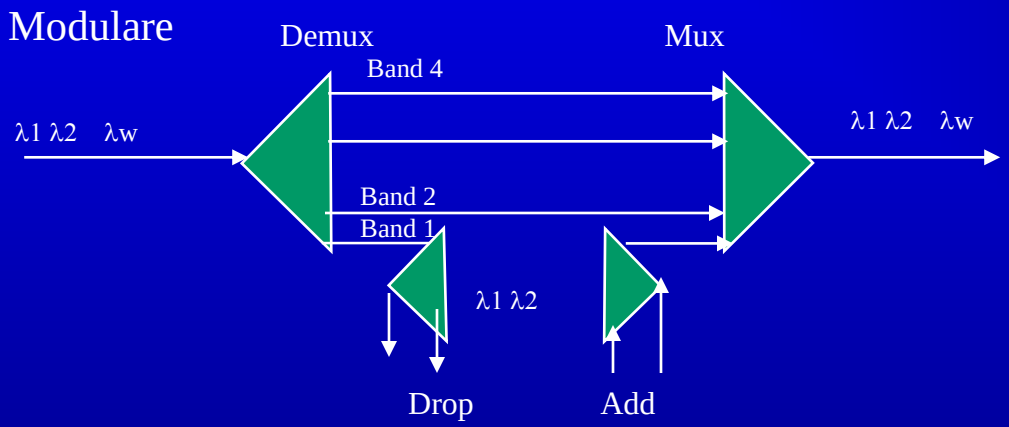
Architetture OADM

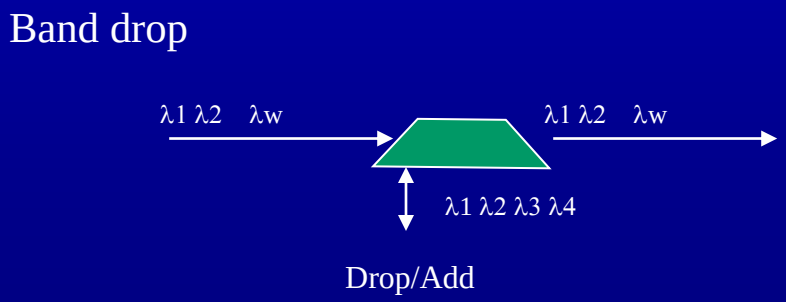
- OADM può vedersi come una scatola nera con 1 linea ingresso ed 1 uscita con insiemi di lunghezze d'onda e un certo numero di porte locali per add/drop di specifica λ
- Caratteristiche di un OADM
  - Numero totale di λ supportate
  - Numero max di λ per add/drop: a volte solo sottoinsieme di λ può essere add/drop
  - Add/drop solo di certe λ, di gruppi o di qualunque λ
  - È modulare? Costo proporzioanale al n. di λ in add/drop
- Parallela
  - Tutti i canali sono demultiplati: alcuni possono essere terminati, altri aggiunti
  - Nessun vincolo su quali λ sono terminate o aggiunte: quindi vincoli minimi per il LTD
  - Efficace in termini di costi se elevato n. di λ viene terminato perché i demux/mux costano
- Modulare
  - Miglioramento in termini di costi: demux/mux eseguito in 2 stadi
- Seriale (SC-OADM: single channel OADM)
  - Complementa quella parallela: add/drop canali addizionali disordina i canali attuali
  - Consigliato pianificare l'insieme di λ in add/drop con anticipo
  - Modulare e il costo è propozionale al n. di λ terminate
- band drop
  - Un gruppo di un n. predefinito di λ va in add/drop dell'insieme totale

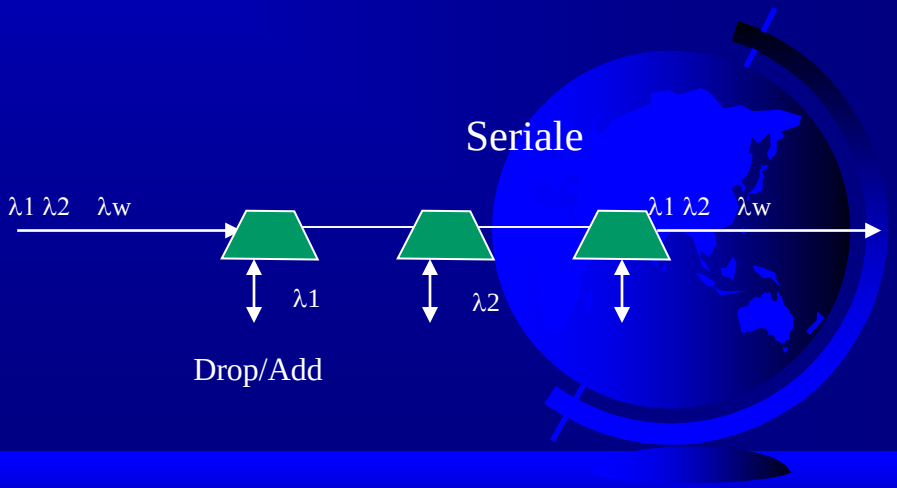


Architetture OADM







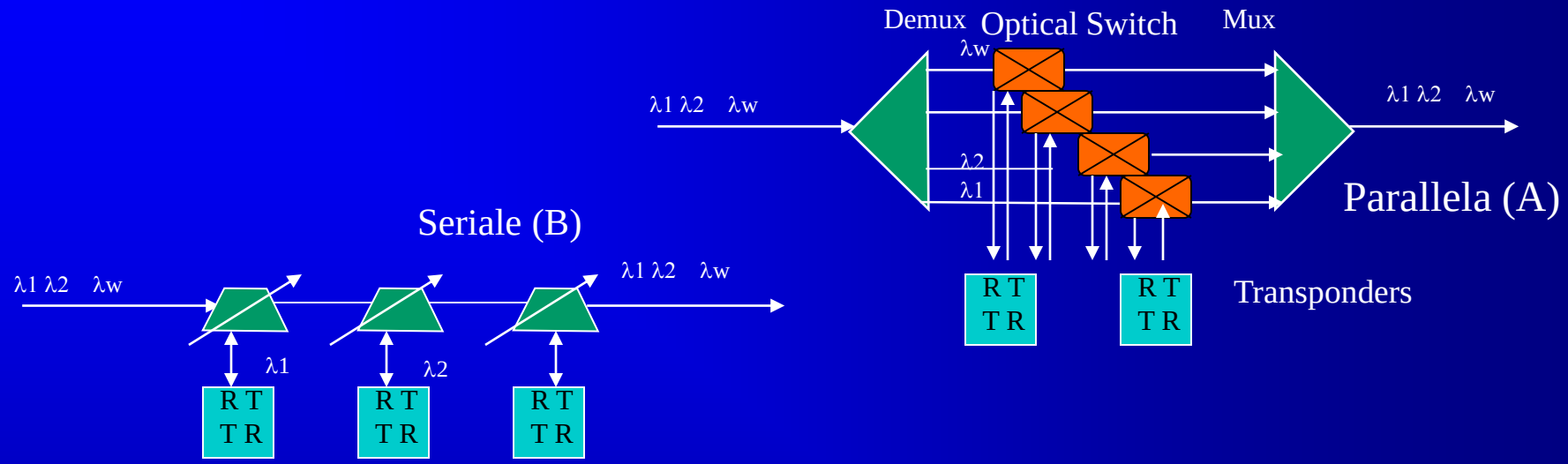


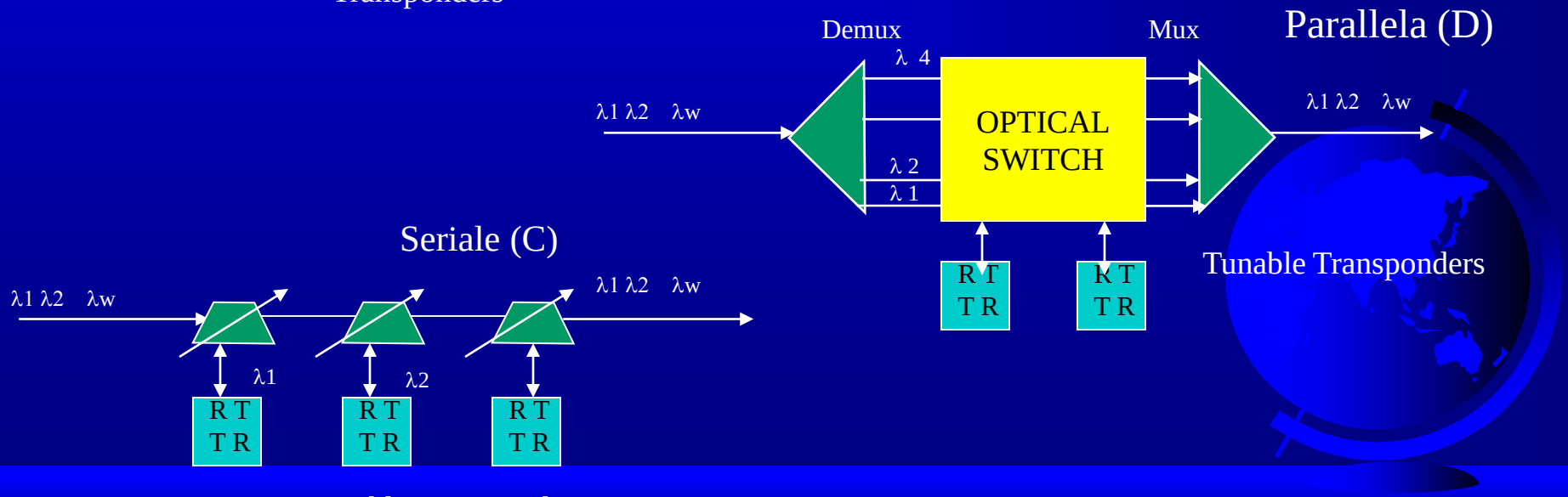
OADM Riconfigurabili

- Mediante controllo software remoto, in tempo reale, è possibile selezionare dei canali per add/drop o per l'attraversamento
  - In seguito ad aumento del traffico offerto si può aggiungere un canale a quelli che vengono terminati in un nodo
- La *riconfigurabilità* è quindi una funzione assai desiderabile in un OADM
- Consente ai gestori di rete di compiere pianificazioni flessibili, potendo instaurare ed abbattere *lightpath* dinamicamente secondo necessità
- OADM parzialmente regolabili (*partially tunable*) con architettura parallela (A)
  - Commutatori add/drop ottici e transponders a lunghezza d'onda fissa
- OADM parzialmente regolabili con architettura seriale (B)
  - Ogni SC-OADM è ora regolabile su una singola lunghezza d'onda
  - transponders a lunghezza d'onda fissa
- OADM totalmente regolabile con architettura seriale (C)
  - transponders a lunghezza d'onda regolabile
- OADM totalmente regolabile con architettura parallela (D)
  - transponders a lunghezza d'onda regolabile



Architetture OADM riconfigurabili





OADM ideale

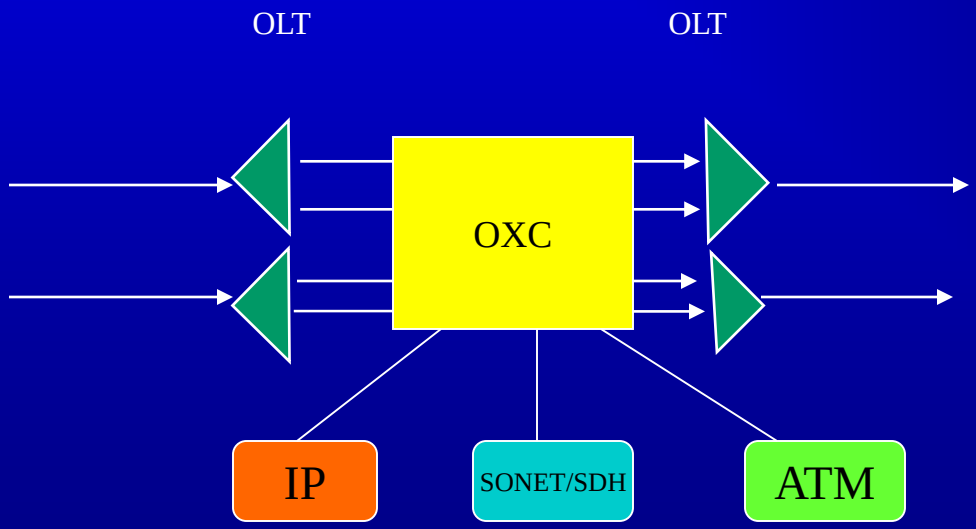
Come dovrebbe essere un OADM ideale?

- Poter essere configurato per terminare un numero massimo di lunghezze d'onda
- Consentire all'utente di selezionare quali particolari canali da add/drop con controllo software remoto, includendo i transponders, senza danneggiare gli altri canali
- Non obbligare l'utente a prefissare la pianificazione delle lunghezze d'onda
- Mantenere una bassa perdita del segnale a prescindere dal numero di canali add/drop
- Architettura parallela (D) soddisfa questi requisiti ma potrebbe non essere adeguata, dati gli elevati costi, per piccoli nodi dove pochi canali vengono elaborati



Optical Crossconnects (OXC)

- Nodo di rete più complesso di OADM per gestire topologie magliate con elevato numero di lunghezze d'onda, in centri stella ad elevato traffico
- OXC può avere una matrice di commutazione ottica o elettronica
- OXC consente di riconfigurare la rete mediante una gestione dinamica dei lightpath



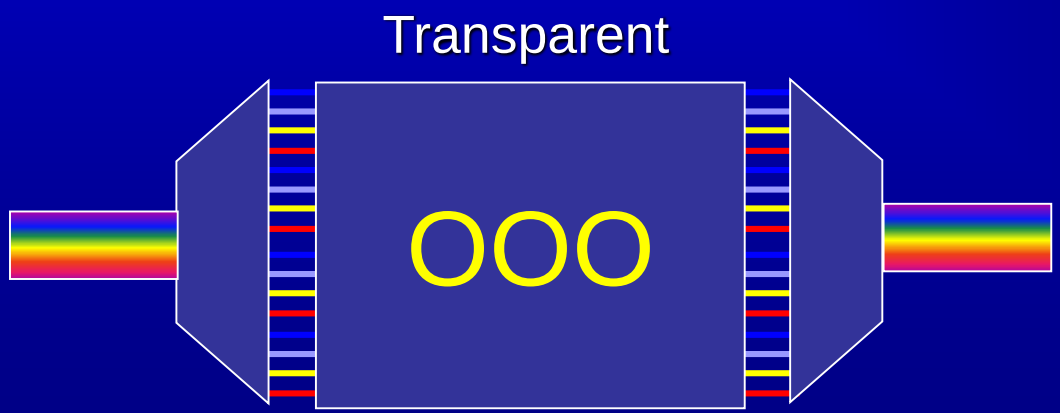
OXC: funzioni principali

- **Configurazione dinamica**: lightpath vengono instaurati e gestiti dinamicamente da remoto via software
- **Protezione contro i guasti**: OXC può rilevare i guasti ed automaticamente reinstradare i lightpath coinvolti
- **Conversione di lunghezza d'onda**: oltre all'operazione della commutazione di un segnale da una porta ad un'altra, OXC possono consentire la conversione di lunghezza d'onda
- **Multiplazione e Grooming**: capacità di commutare internamente il traffico a granularità, ovvero velocità (bit/s), più fini, ad esempio 51 Mbit/s di STS-1
  - Questa operazione di TDM deve essere fatta nel dominio elettronico ma è incorporata in OXC
- OXC è funzionalmente diviso in due parti
  - Commutatore centrale (switch core) che esegue l'operazione di crossconnessione
  - Blocco delle porte che contiene le schede di interfaccia che possono includere convertitori opto-elettronici (O/E) o opto-elettro-ottici (O/E/O)

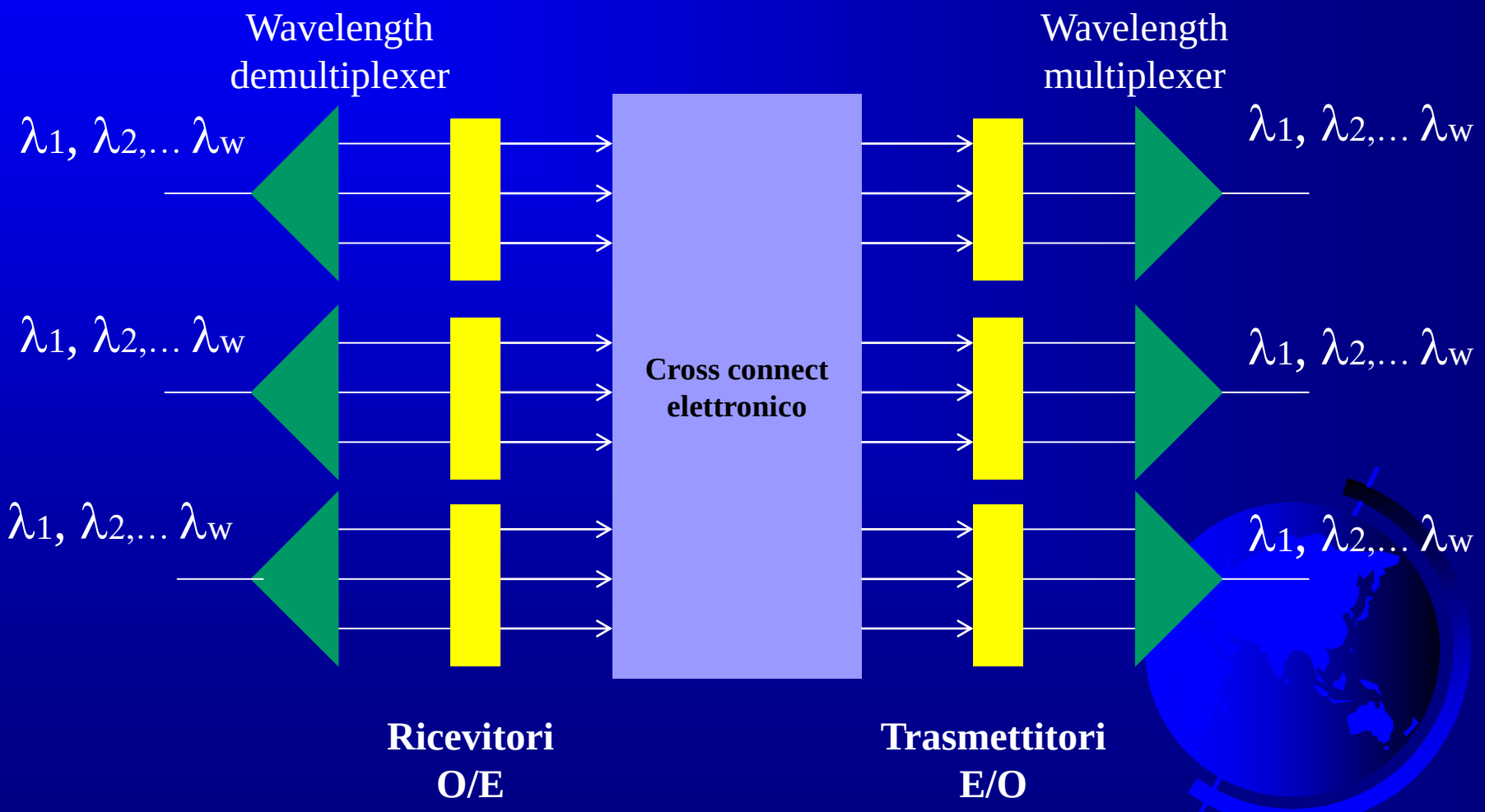


Optical Crossconnects (OXC)

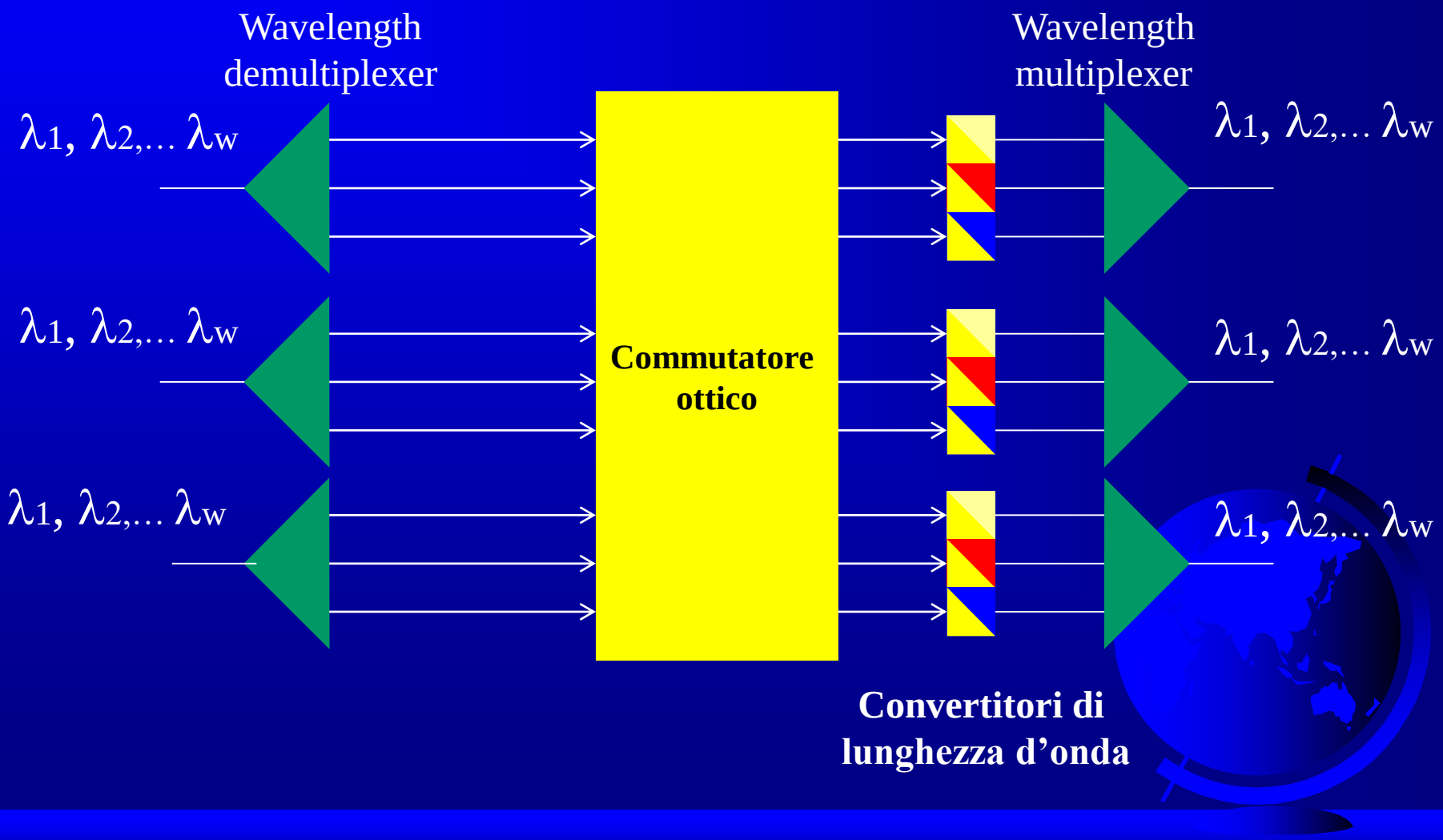




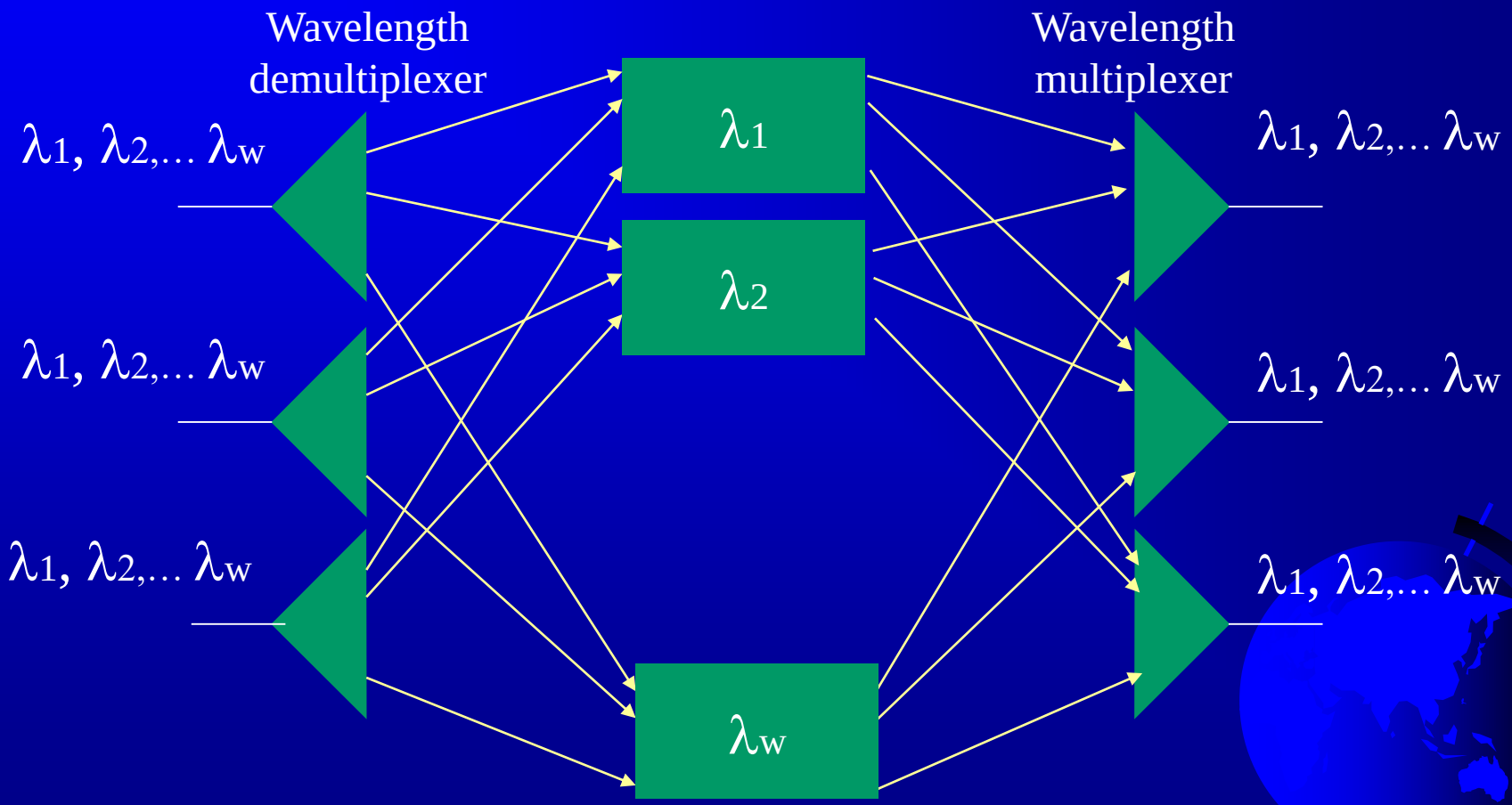
Cross-connect ottico con commutazione elettronica



Cross-connect tutto ottico con conversione di lunghezza d'onda



Cross-connect tutto ottico senza conversione di lunghezza d'onda



OXC: PRESTAZIONI

- OXC con commutatore elettronico può aggregare traffico a diverse granularità con TDM: STS-1 (51 Mb/s), STS-48 (2.5 Gb/s)
- OXC tutto ottico non consente aggregazioni e commuta tutto in ottica
- OXC elettronico può avere capacità totale di 1.28 Tb/s e commuta, ad esempio, 512 OC-48 (2.5 Gb/s) o 128 OC-192 (10 Gb/s)
- OXC ottico non dipende dalla bit rate percui un 1000 porte può commutare 1000 OC-48 o 1000 OC-192 o 1000 OC-768 (40 Gb/s) allo stesso costo per porta
- OXC è quindi più scalabile in capacità ed è future-proof



Conclusioni

- I lightpath forniti dalla rete WDM possono avere diversi gradi di trasparenza
- Lightpath sono usati per interconnettere in modo flessibili apparati della rete ottica, anche router IP tradizionali
- OLT usati per connessioni punto-punto, mux/demux di lunghezze d'onda
- OADM terminano ed aggiungono lunghezze d'onda in modo selettivo dal segnale WDM
- OADM riconfigurabili: usano filtri e laser regolabili in lunghezza d'onda consentendo notevole flessibilità della rete
- OXC sono grandi commutatori usati per fornire servizi in modo dinamico e per far fronte ai guasti e sono usati in topologie magliate

