RETI OTTICHE

Prof. Ing. Maurizio Casoni



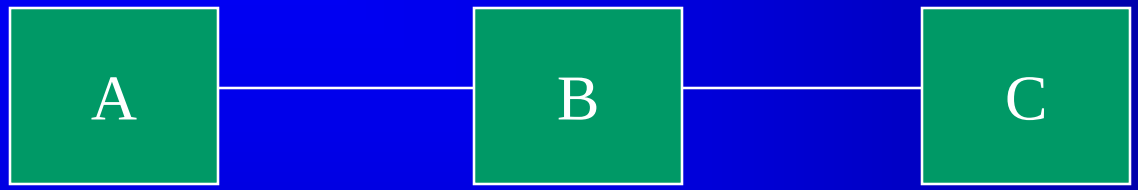
Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

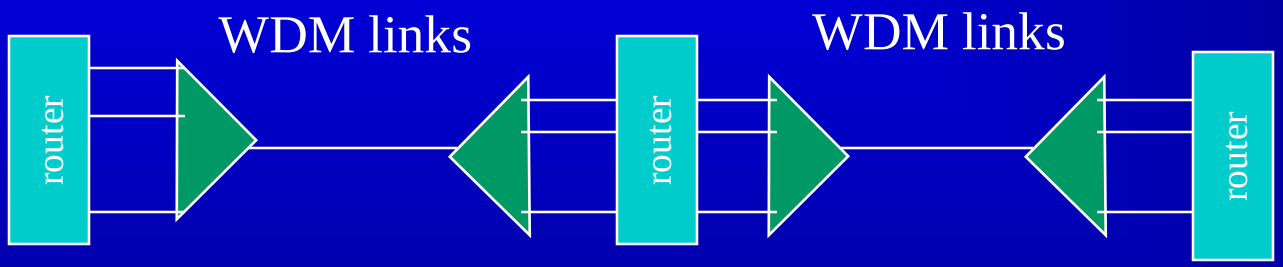
Introduzione

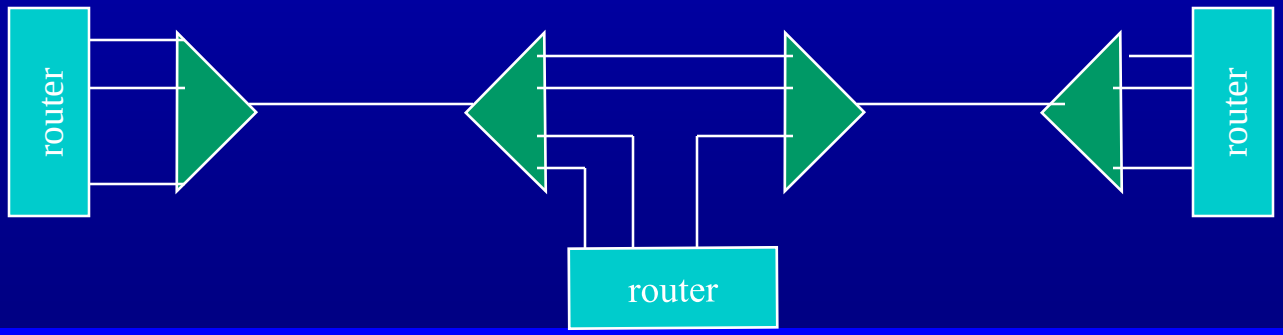
- Lo strato ottico fornisce connessioni a circuito (*lightpath*) a velocità elevatissime tra coppie di apparati come multiplatori SONET/SDH, switch/router IP
- Lo strato ottico realizza questi circuiti sulla fibra ottica mediante elementi come i terminali di linea ottici (OLT), add/drop multiplexer ottici (OADM), crossconnect ottici (OXC)
- Una rete che usa lightpath si definisce una *wavelength-routing network*
- Nel progetto di una rete ottica si esegue sempre un'opera di compromesso tra il costo degli apparati router (porte di interfaccia) ed il costo dell'equipaggiamento ottico (OADM o numero di lunghezze d'onda)



Esempio: rete a 3 nodi







Parte delle λ passano attraverso il router riducendo il numero delle porte ma si richiede OADM nel nodo

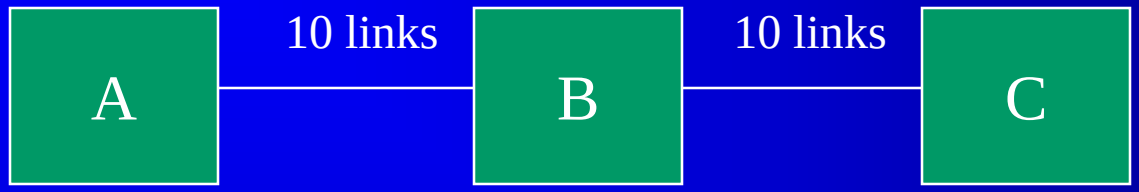
Wavelength Routing Network Design

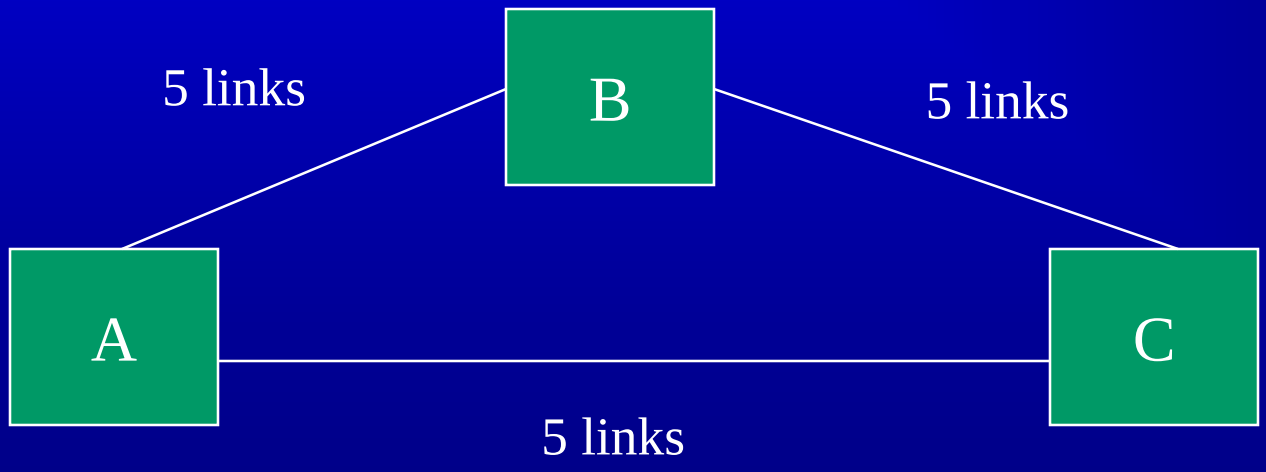
- Dati
  - Topologia fisica (fibra ottica)
  - Matrice delle richieste di traffico (lightpath)

- Si devono risolvere due problemi
  1. **Lightpath Topology Design (LTD)**:
     topologia virtuale data da lightpaths che interconnettono apparati di rete (IP switch/routers,...)
  2. **Routing and Wavelength Assignment (RWA)**:
     la topologia lightpath deve essere realizzata assegnando lunghezze d'onda e banda ai lightpath stessi



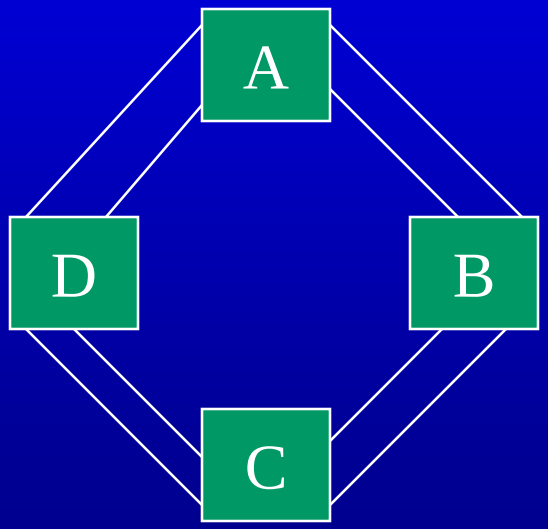
Rete a 3 nodi: Lightpath Topology Design



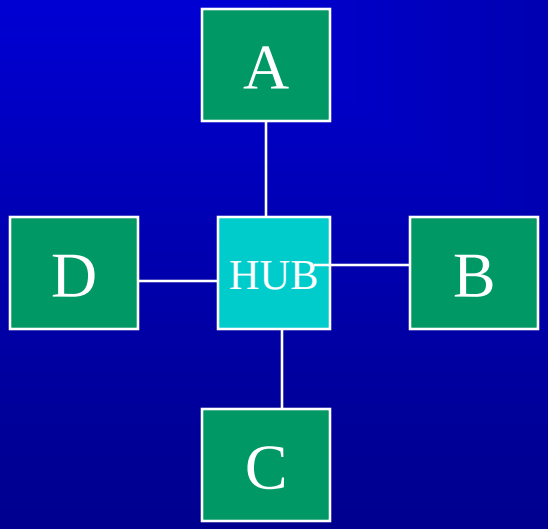


Rete ad anello in fibra ottica: Lightpath Topology Design

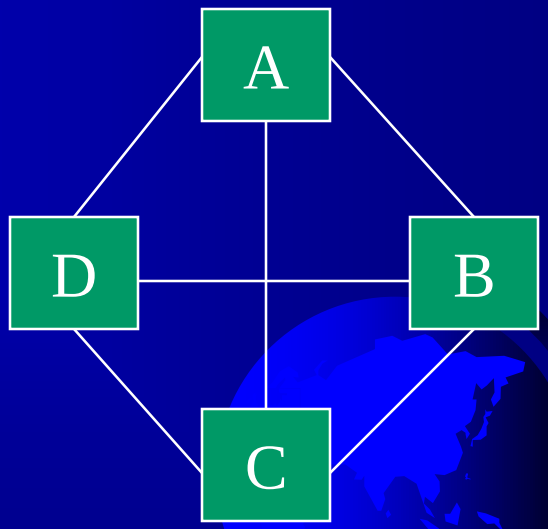
- Topologia ad anello con N nodi ha il minimo numero possibile di linee (N) per una rete 2-connessa, cioè fornisce due percorsi diversi fra una qualunque coppia di nodi che non hanno nodi o linee in comune, eccetto i nodi sorgente e destinazione
- Quindi ha il più basso costo per uso di fibre ottiche



Point-to-point WDM (PWDM):
Coincide con l'anello in fibra



Hub design
tutti i router connessi a router Centrale; 2 lightpath per i pacchetti



All optical design:
Lightpath diretti tra tutte le coppie di router

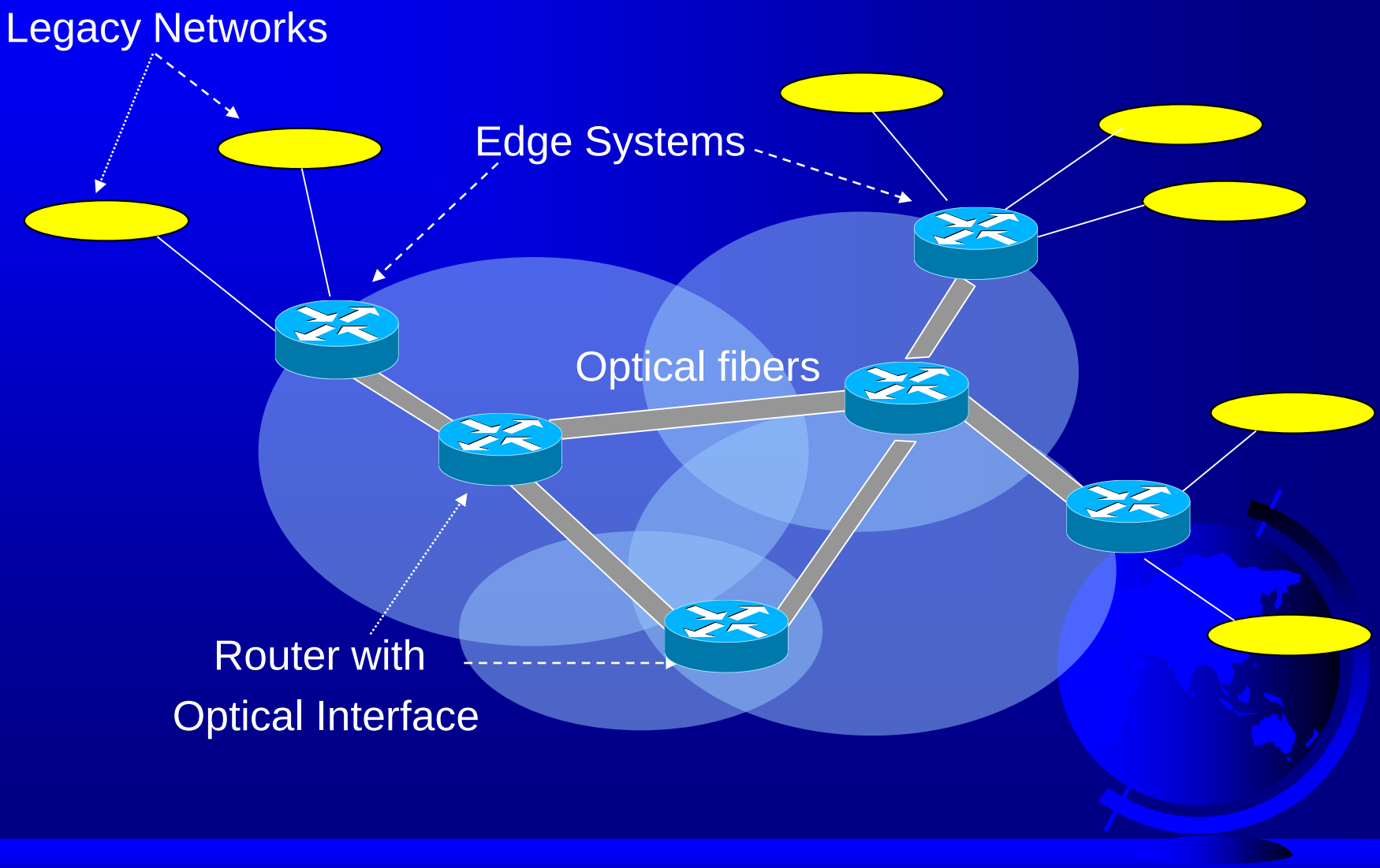
Routing and Wavelength Assignment

- Dati: topologia di rete e topologia lightpath dopo aver fatto il LTD
- Il problema RWA consiste nel determinare un percorso per ogni lightpath e assegnargli una lunghezza d'onda per ogni link del percorso, usando il numero minimo possibile di lunghezze d'onda
- Wavelength Assignment ha due vincoli:
  - Due lightpath che si trovano sullo stesso link non devono usare la stessa lunghezza d'onda
  - Se non vi è la funzionalità di conversione di lunghezza d'onda, allora un lightpath deve avere assegnato la stessa lunghezza d'onda su tutti i link del percorso

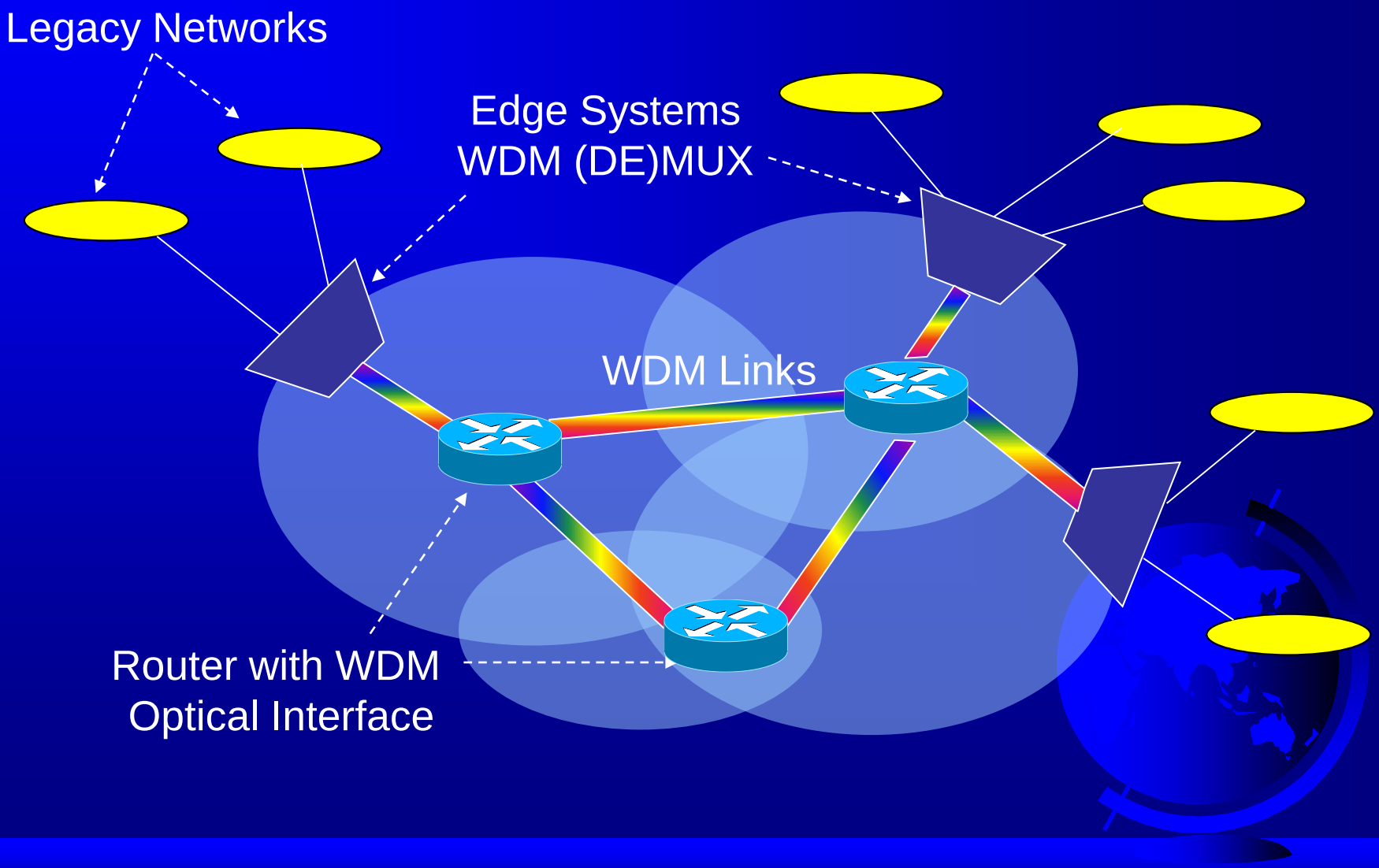
- Conversione di lunghezza d'onda:
  - Full wavelength conversion: si può convertire la lunghezza d'onda di un lightpath in ingresso con una qualunque su una fibra di uscita
  - Fixed conversion: una certa lunghezza d'onda in ingresso è convertita sempre sulla stessa in uscita
  - Limited conversion: una lunghezza d'onda in ingresso può essere convertita solo su un sottoinsieme di lunghezze d'onda in uscita



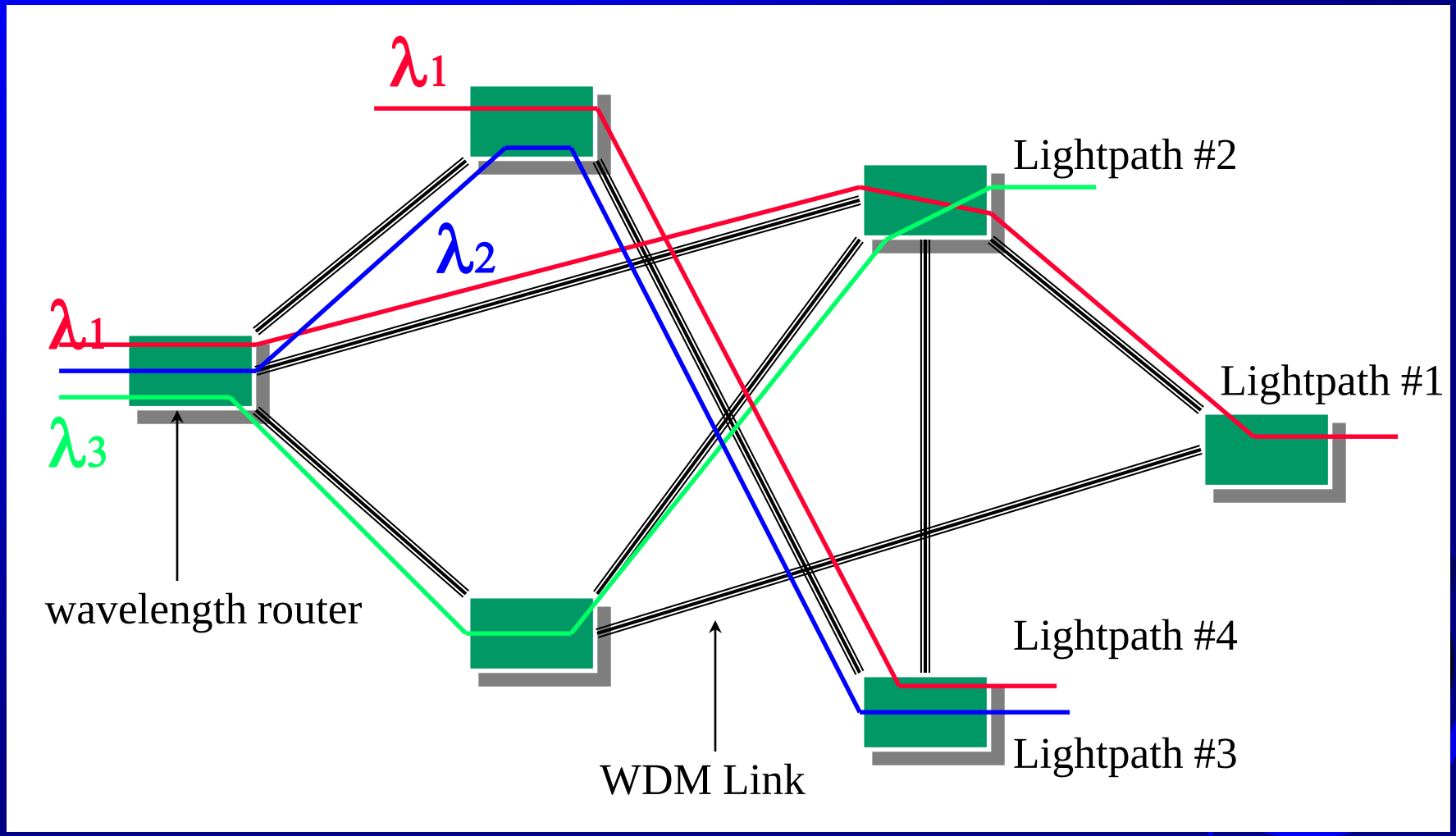
Optical Transport Network



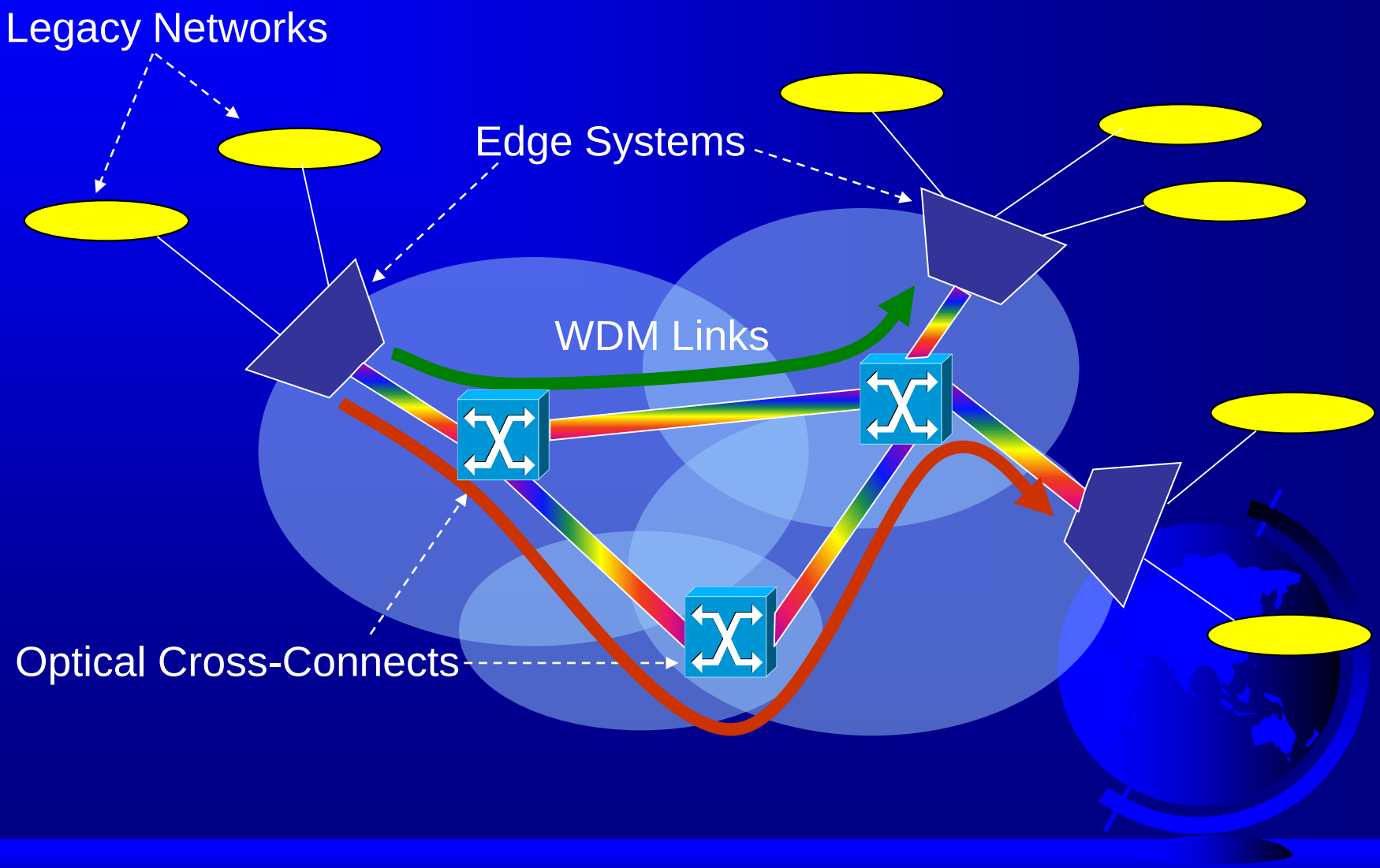
WDM Optical Transport Network



Wavelength Routing: Lightpaths



Wavelength Routing Network



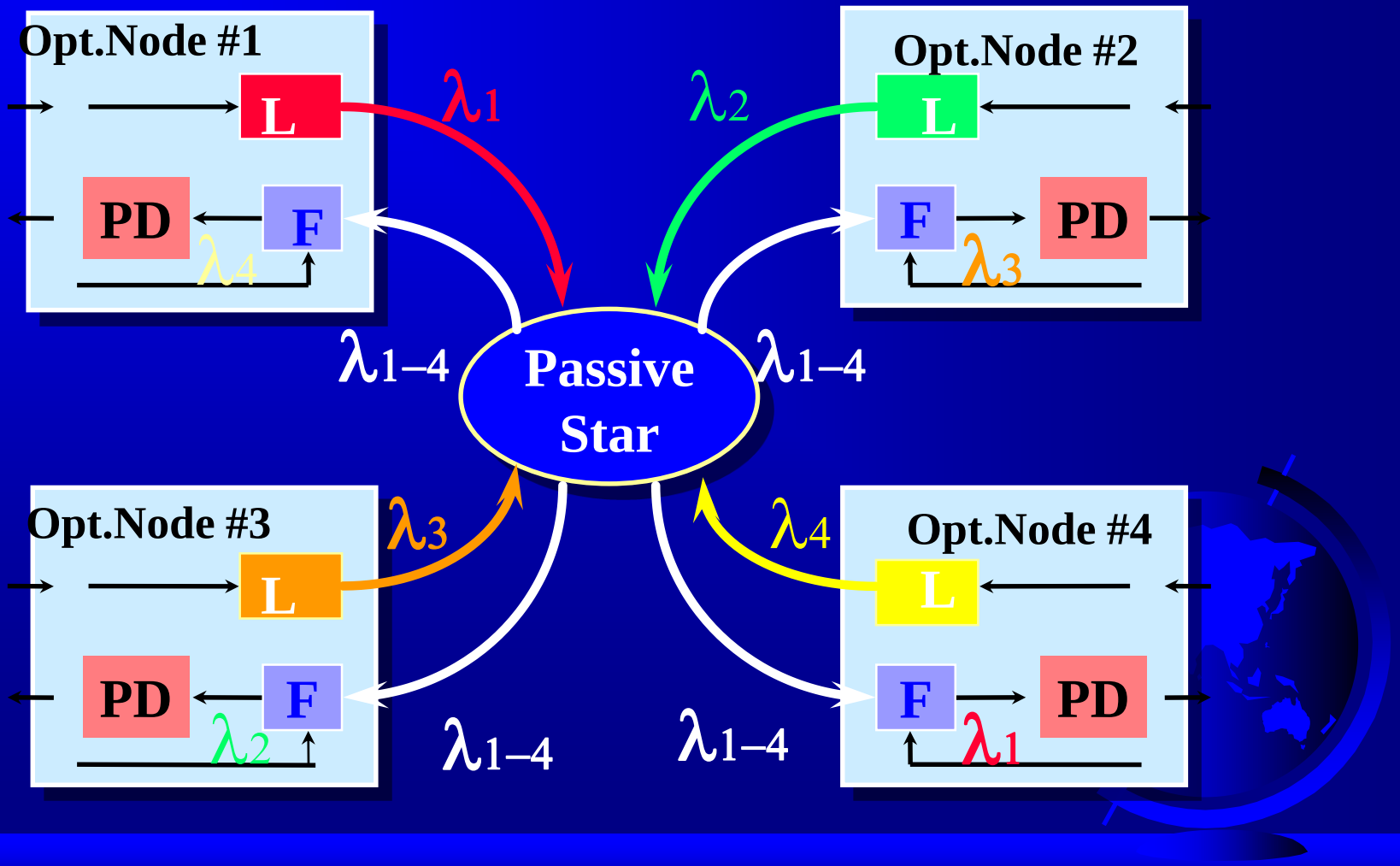
LAN WDM Broadcast-and-select

- Topologia fisica a stella passiva.

- Topologia virtuale
  - Single-hop
  - Multi-hop

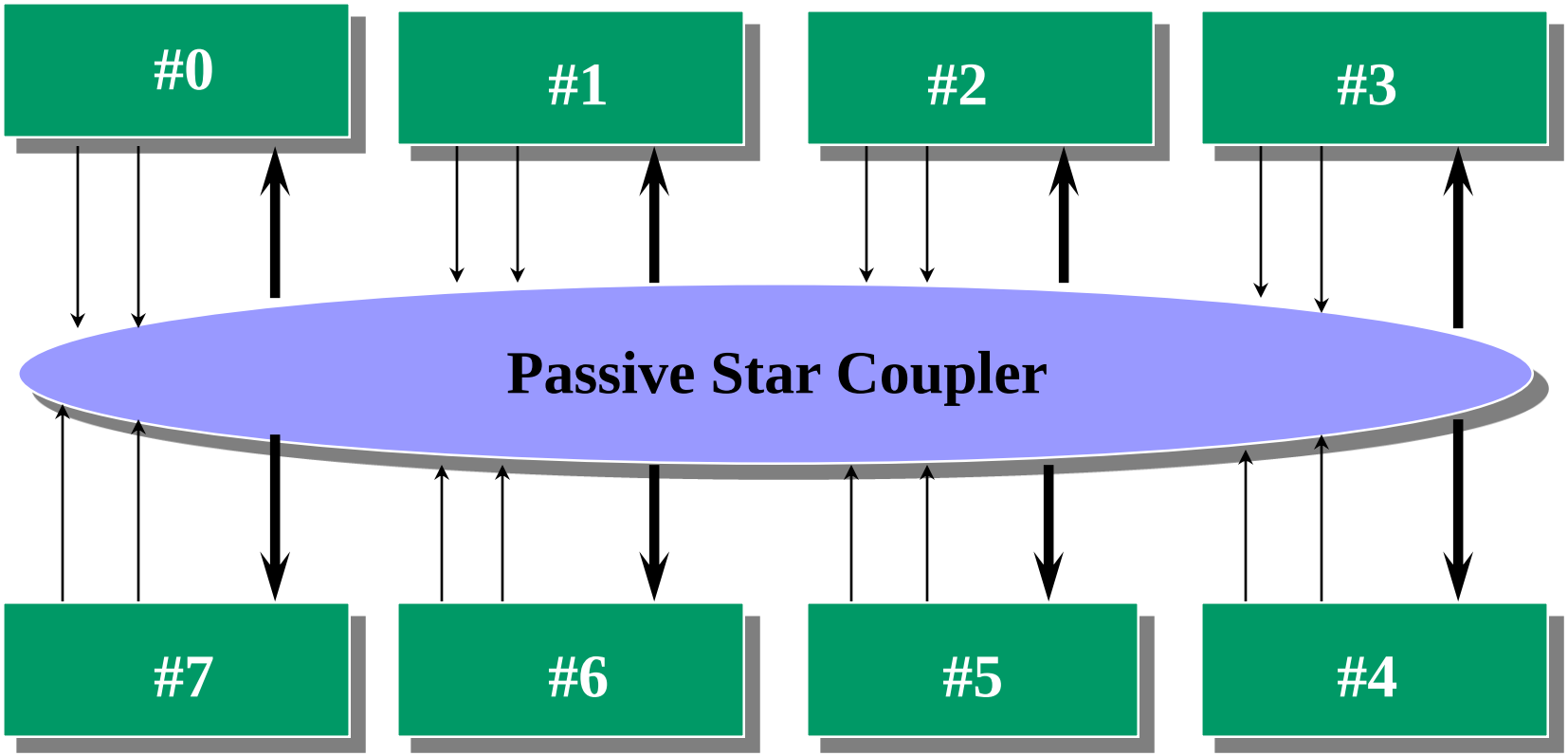


Rete WDM Broadcast-and-Select: topologia fisica



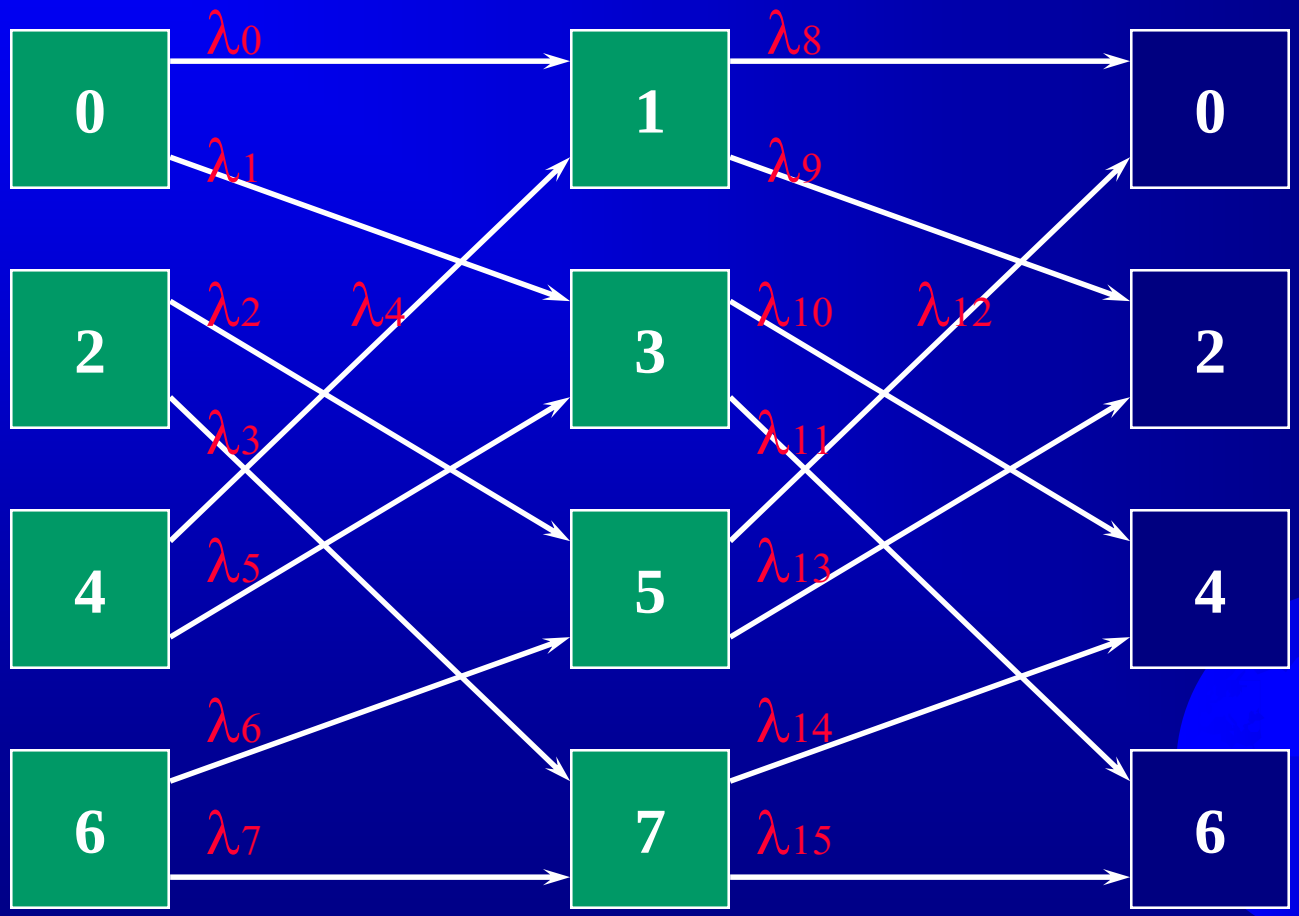
Rete Multi-hop: topologia fisica

numero nodi N=8 e numero canali *w*=2N=16



Rete Multi-hop: topologia virtuale

numero nodi N=8 e numero canali *w*=2N=16



Broadcast-and-Select: limitazioni

- Splitting loss
- Accessibilita'dello spettro

Il numero di canali disponibili è limitato
(un centinaio circa)

Soluzione: Channel sharing



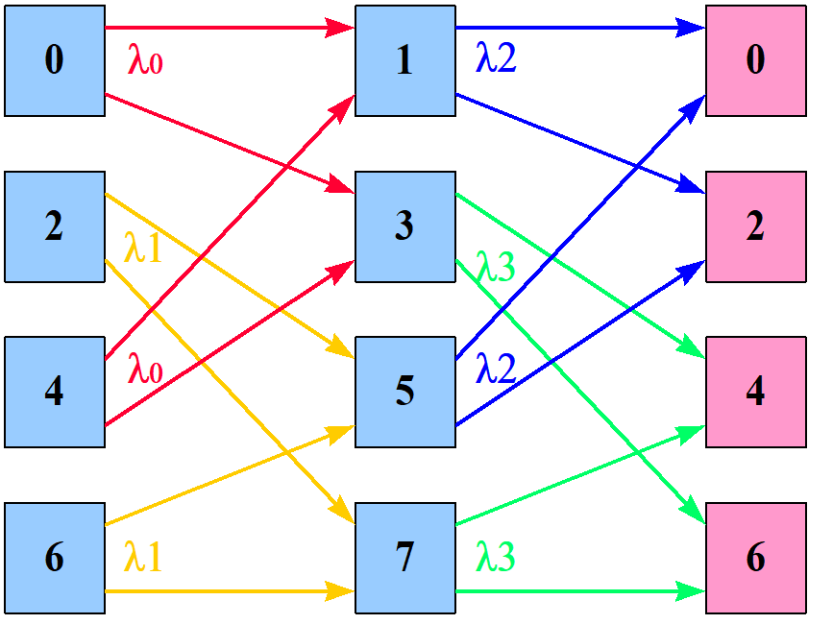
Channel Sharing

- Consente di servire un numero di nodi elevato rendendo disponibile l'uso di una stessa lunghezza d'onda a piu' nodi
- Possibili soluzioni
  - Pre-transmission Coordination
  - WDM/TDM



Topologia virtuale multi-hop Shared Channel

numero nodi N=8 e numero canali *w=4*



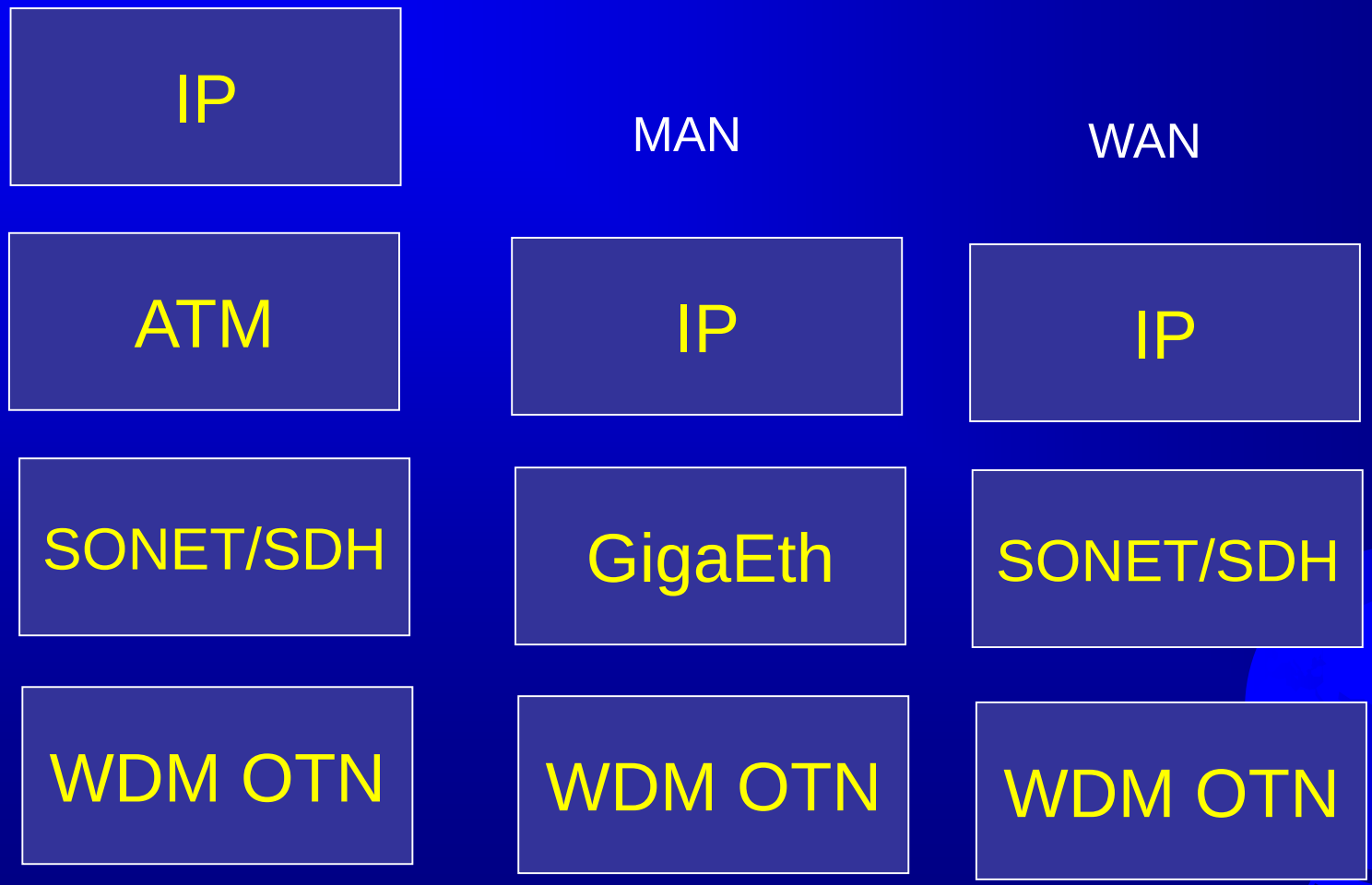
nodo in trasmissione

	time slot I	time slot II
λ_0	0	4
λ_1	2	6
λ_2	1	5
λ_3	3	7

Frame

Optical Networking Alternatives

WAN & MAN



Connection Management

- Una rete ottica fornisce percorsi ottici, *lightpaths*, o in generale circuiti ottici
- Gestire una connessione vuol dire instaurarla, mantenerla ed abbatterla quando non più necessaria
- Tecniche tradizionali sono di tipo centralizzato, di solito complesse e lente
- Spesso vi sono problemi di interazioni tra apparati di diversi costruttori con propri sistemi di gestione
- In reti ottiche il dinamismo e la complessità è elevata percui si desidera instaurare percorsi ottici rapidamente (secondi o minuti) ed in modo efficace: utenti desiderano la disponibilità di banda a richiesta
- Perciò è necessario predisporre in rete apparati e banda adeguati con meccanismi di attivazione rapidi
- Occorre definire quindi un metodo di controllo delle connessioni di tipo distribuito
- Protocolli di controllo distribuito sono stati definiti ed usati in reti IP e ATM
- Protocolli analoghi possono essere pure usati per lo strato ottico (*optical layer*)



Controllo di connessione distribuito

Ha diverse componenti:

- **Gestione della Topologia**: ogni nodo della rete mantiene un database della topologia della rete e dell'attuale disponibilità di risorse. In caso di modifiche occorre propagare le relative informazione di aggiornamento a tutti i nodi, ad esempio con protocolli tipo OSPF;
- **Calcolo del percorso** (route): dietro la richiesta di una connessione, la rete deve determinare un percorso con le relative necessarie risorse verso la destinazione desiderata. Questo si svolge con opportuno algoritmo di instradamento. Questo algoritmo può inoltre calcolare percorsi addizionali di protezione per far fronte ad eventuali guasti;
- **Protocollo di Segnalazione**: una volta calcolati i percorsi, occorre instaurarli. Questo comporta riservare delle risorse per la connessione e comandare gli apparati lungo il percorso interni alla rete e viene tipicamente svolto dal nodo sorgente. Protocolli come MPLS e RSVP possono essere utilizzati;
- **Rete di Segnalazione**: nodi richiedono un canale di segnalazione.



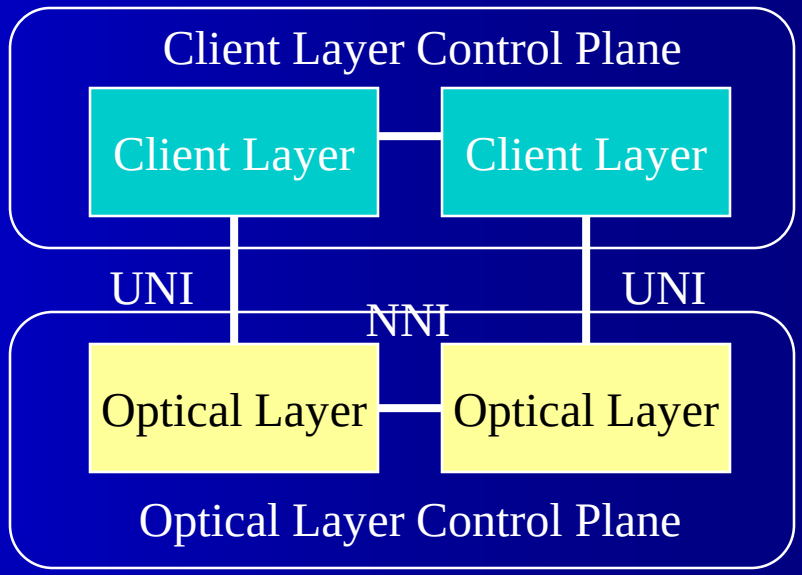
Interazione con altri strati

- È necessario determinare il modo di interazione tra i protocolli per la gestione delle connessioni e gli strati superiori allo strato ottico;
- Router IP sono i più diffusi “clienti” dello strato ottico: interazione IP-strato ottico;
- Sono stati definiti diversi modelli di interazione tra lo strato ottico e quelli superiori:
  - Modello Overlay
  - Modello Overlay plus
  - Modello Peer
  - Modello Augmented



Modello Overlay

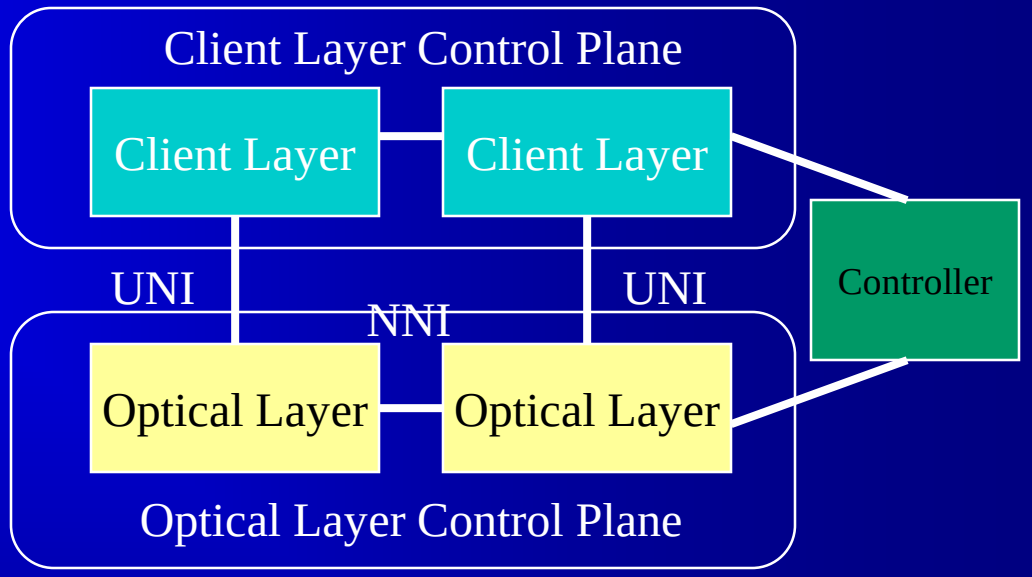
- In questo modello ogni strato ha il proprio piano di controllo;
- Lo strato ottico fornisce un'interfaccia UNI attraverso cui gli strati superiori inviano richieste di connessioni allo strato ottico;
- Entro lo strato ottico diverse sottoreti possono interoperare attraverso un'interfaccia standard NNI;
- Ogni strato può quindi evolvere in modo indipendente ed essere scalabile;
- Questo modello può essere usato per interconnettere con lo strato ottico una moltitudine di strati clienti, come IP, ATM, Ethernet e SONET/SDH.





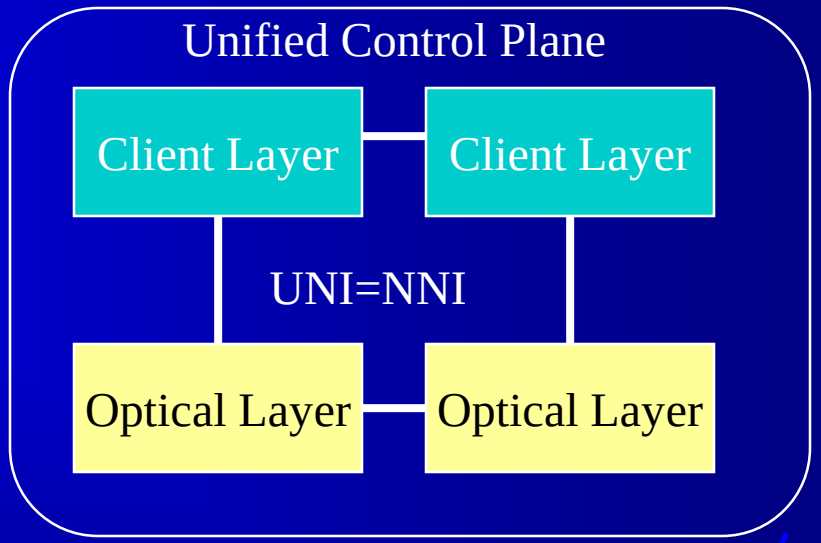
Modello Overlay Plus

- Versione arricchita del modello overlay;
- Consente un'interazione più stretta tra gli strati;
- Esiste un controller intermedio tra gli strati che ha disponibile una sintesi delle informazioni dello strato client e ottico;
- Controller usa queste informazioni per richiedere e rilasciare risorse ottiche in funzioni di politiche, per esempio, di QoS, in tempi più brevi.



Modello Peer

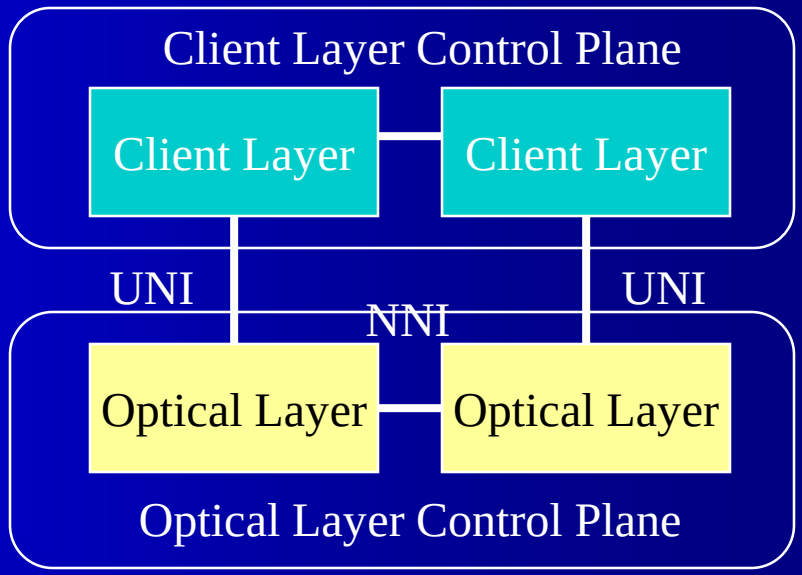
- Router IP e apparati di strato ottico, come OXCs e OADMs, eseguono lo stesso software di piano di controllo;
- Consente ai router di vedere gli OXC come se fossero routers;
- Strato IP e strato ottico sullo stesso piano;
- OXC è come un tipo di router, analogo a un LSR;
- Router hanno la completa conoscenza della topologia ottica e controllano quindi le connessioni ottiche direttamente;
- Approccio elegante ma complesso





Modello Augmented

- Altra versione arricchita del modello overlay;
- Strato IP ha accesso ad una sintesi delle informazioni di routing, indirizzamento e topologia dello strato ottico, ma opera ancora come un piano di controllo separato dallo strato ottico;



Augmented Information Exchange

- Modello augmented e peer comportano una maggior collaborazione tra strato IP e ottico rispetto ai modelli overlay che, probabilmente, saranno i primi ad essere implementati.



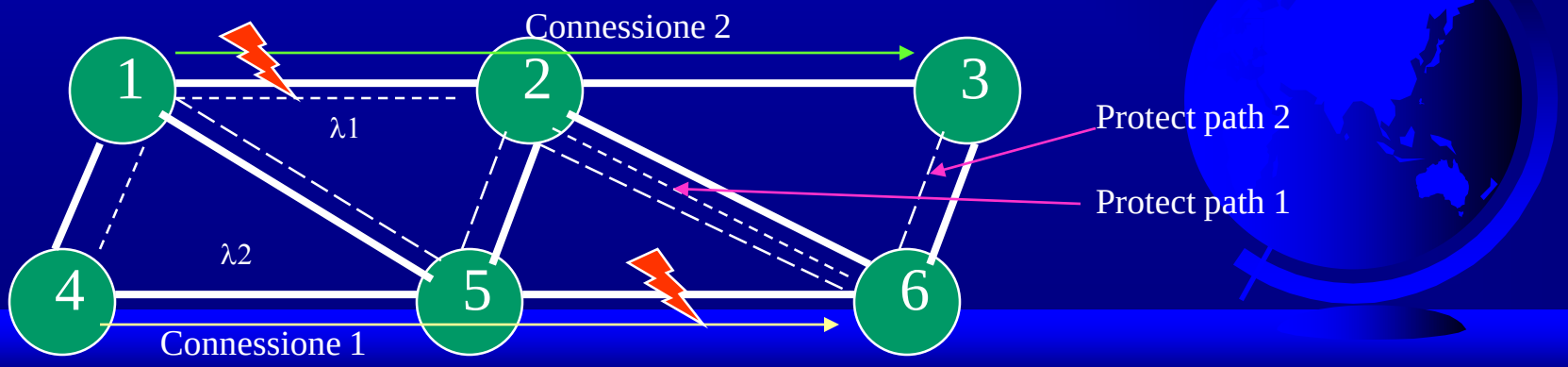
Network Survivability

- Offrire un elevato grado di robustezza in caso di guasti (*resilience against failures*) è un punto estremamente importante nelle reti ad alta velocità: un fuori servizio di 1s in linee a 10 Gbit/s causa la perdita di oltre un gigabit di dati
- Il gestore di rete deve quindi esporre alla clientela come parte del contratto di fornitura di connettività il grado di disponibilità delle connessioni
- Richiesta usuale è di avere una connessione disponibile per il 99.999% del tempo, che corrisponde ad un fuori servizio di circa 5 minuti all'anno
- Una connessione viene instradata in una rete attraverso molti nodi e linee fra la sorgente e la destinazione percui vi sono molti elementi che potrebbero guastarsi
- L'unico modo per dare una disponibilità del 99.999% è rendere la rete *survivable*, ovvero in grado di offrire un servizio anche in presenza di guasti
- *Survivability* si può classificare come protezione (*protection*) o ripristino (*restoration*)
- Nella maggior parte dei casi i meccanismi di protezione vengono usati in caso di guasto singolo mentre quelli di ripristino in caso di guasti multipli
- In reti SONET/SDH il tempo di ripristino massimo consentito è 60 ms: certi nodi di rete fanno cadere le chiamate voce per un fuori servizio superiore ai 60 ms
- Protezione può essere implementata a diversi livelli: livello fisico (SONET/SDH e reti ottiche), livello di linea (strato ATM, MPLS), strato di rete (IP)



Protection

- Protezione significa recuperare un guasto mediante una pre-fornitura, pre-allocazione di risorse: un percorso secondario viene calcolato e riservato contemporaneamente a quello primario, altrimenti la richiesta di connessione viene respinta
- La riservazione contemporanea assicura un veloce ripristino in caso di guasto perché sono eliminate tutte le relative elaborazioni
- I percorsi per dati possono essere di tipo *operativo* (*working path*) o di *protezione* (*protect path*): i primi trasportano il traffico in condizioni normali mentre i secondi forniscono un percorso alternativo in caso di guasto
- Meccanismi di protezione possono essere di tipo *dedicato* o *condiviso*
  - Protezione dedicata: ogni connessione operativa ha assegnata una larghezza di banda in modo esclusivo su cui essere commutata in caso di guasto
  - Protezione condivisa: siccome è raro che tutte le connessioni vadano fuori servizio contemporaneamente, si può far condividere ad un certo numero di loro una determinata quantità di banda e questo consente risparmi di banda

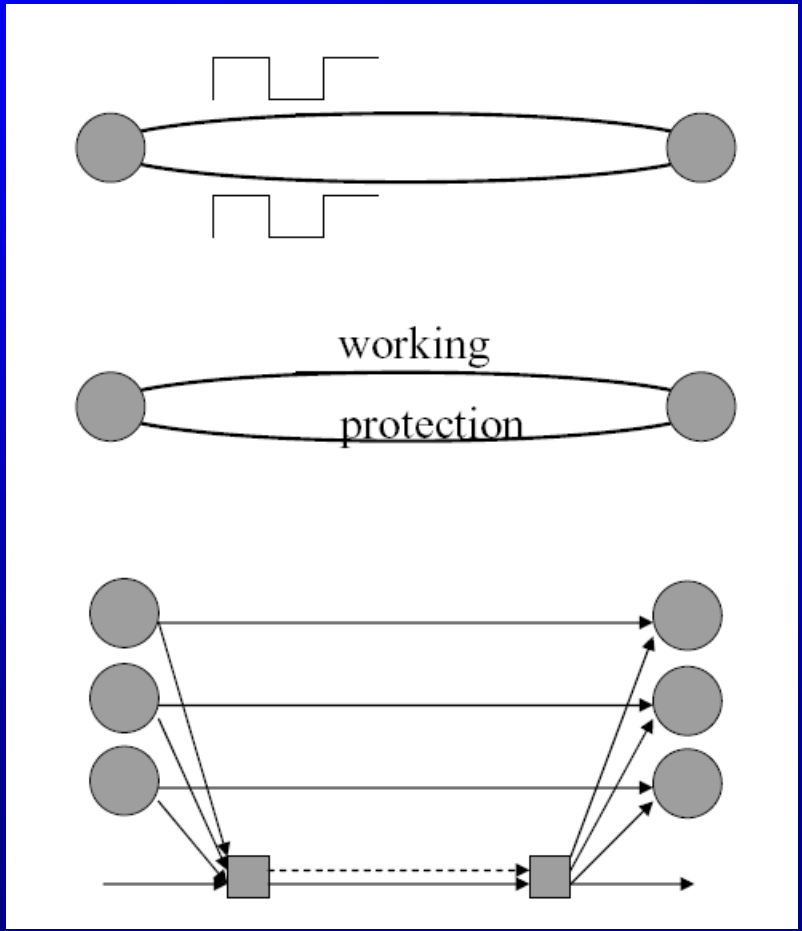


Architetture di protezione

- Le principali architetture di protezione sono 1+1 e 1:1
- In 1+1 i dati vengono trasmessi sia sul percorso primario che sul secondario e la destinazione sceglie il segnale migliore
  - Per prevenire perdite, la sorgente ritarda la trasmissione dei dati sul secondario di un intervallo pari al ritardo di propagazione con la destinazione più il tempo di rilevazione del guasto
- Ci sono due tipi di protezione 1:1
  1. Un percorso di protezione *dedicato* in condizioni normali è usato per trasportare traffico a bassa priorità o posto in attesa di uso in caso guasto
  2. Percorso di protezione non è dedicato; M:N in cui N percorsi di protezione sono usati per proteggere i dati su M percorsi operativi e in caso di guasto su uno degli M si commuta su uno degli N
- 1+1 è più semplice e veloce di 1:1 ma meno efficiente



Architetture di protezione



Restoration

- Azione di recupero avviene dopo la rilevazione del guasto
- Il percorso secondario viene calcolato e attivato dopo la segnalazione del guasto
- Meccanismi di restoration sono tradizionalmente di natura centralizzata e tendono ad essere poco scalabili per grandi reti con traffico elevato
- In seguito vennero proposti due meccanismi di tipo distribuito, *end-to-end path restoration* e *link restoration*, dove il nodo sorgente e destinazione, di path o di link, coinvolti dal guasto dialogano per determinare un percorso alternativo che, se non viene determinato, comporta la chiusura della connessione coinvolta
- Restoration, quindi, non può garantire il recupero del guasto e impiega molto più tempo, in secondi, a ripristinare il servizio



Anelli Self-Healing

- La topologia ad anello è molto diffusa come dorsale di rete
- Un anello è la più semplice topologia 2-connessa, cioè fornisce due percorsi diversi fra una qualunque coppia di nodi che non hanno nodi o linee in comune, eccetto i nodi sorgente e destinazione
- Una rete ad anello è quindi molto robusta ai guasti
- Maggior parte degli operatori di rete ha un'infrastruttura ad anelli SONET/SDH
  - Questi anelli sono detti *self-healing* in quanto hanno meccanismi di protezione che automaticamente rilevano i guasti e reinstradano il traffico rapidamente
  - Questi anelli adottano add/drop multiplexer (ADM)
- Diversi tipi di architetture ad anello differiscono per due aspetti, la direzione del traffico ed i meccanismi di protezione
  - Unidirezionali, in cui il traffico operativo va solo in una direzione, p.es. orario, e bidirezionali
  - Dedicata e condivisa



Protezione in reti IP

- IP è protocollo che fornisce un servizio “best effort”
  - Instradamento dinamico di tipo hop-by-hop
  - Router instrada verso il vicino di next hop consultando la routing table
- In caso di guasto, il protocollo di intradomain, ad es. OSPF, aggiorna in modo dinamico e distribuito le routing table di ogni router del dominio
  - Si possono impiegare molti secondi prima che queste tabelle di tutti i router convergano ad uno stato corretto e consistente
  - Nel frattempo i pacchetti sono inviati in modo non corretto generando situazioni molto critiche per l’intera rete
- La lentezza nel recupero del guasto è dovuta alla natura di IP
  - Router adiacenti si scambiano periodici pacchetti di “hello” (ogni 10 s di default)
  - Se un router non ne riceve tre consecutivi da un’interfaccia, dichara il link fuori servizio e inizia a calcolare un percorso alternativo
  - Intanto, però, sono trascorsi 30 s dall’evento guasto
  - “hello”possono essere inviati più di frequente (1 s) ma aumenta l’overhead
  - In media un guasto viene rilevato in circa 10 s



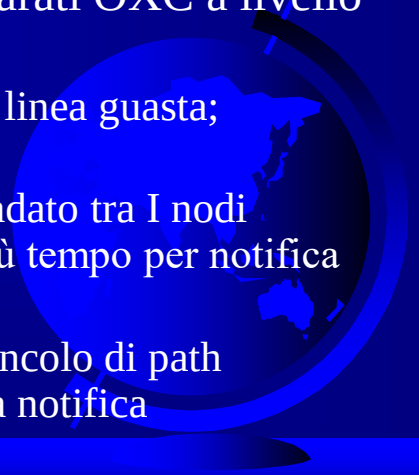
Protezione in reti IP: impiego di MPLS

- Per accelerare i tempi è necessario definire dei percorsi (path) noti su cui trasferire i datagrammi
  - Questo si può ottenere mediante MPLS
  - Definizione di LSP tra i nodi e tutti i pacchetti di un LSP (label switched path) seguono lo stesso percorso
- Si possono perciò definire vari schemi di protezione in MPLS (che può anche vedersi come uno strato di linea sotto IP)
- Ad esempio, in seguito a guasto di una linea si possono attivare LSPs alternativi per tutti i LSPs coinvolti e reinstradare i datagrammi
  - Si può agire localmente per aggirare un link guasto o ai nodi di confine
- Attualmente si stanno studiando e sviluppando diversi schemi di protezione, come 1+1, M:N, ad anello o a maglia condivisa

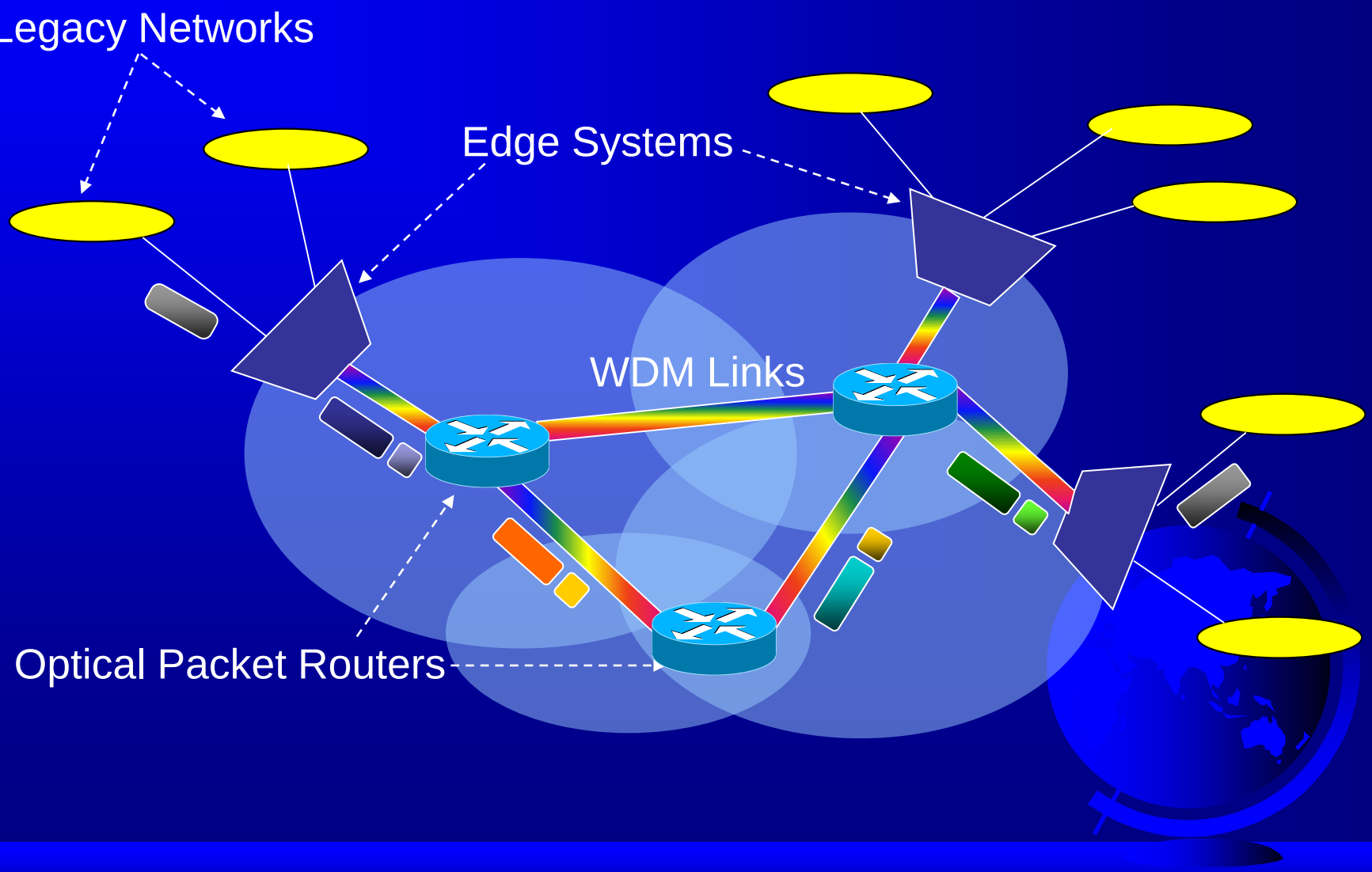


Protezione a livello WDM

- WDM non ha la granularità a livello di traffico ed opera a livello di lightpath
- Ci sono due principali schemi di protezione nel dominio ottico
  - Fiber-based
    - impiegato nella sezione di multiplazione ottica mediante commutazione di fibra
    - la granularità di protezione è la fibra
    - si applica su collegamenti punto-punto e su topologie ad anello; ogni fibra operativa è protetta da un'altra fibra disgiunta nell'anello (Automatic Protection Switching, APS);
    - Semplice e veloce (meno di 50 ms per il ripristino) ma soffre di bassa utilizzazione
  - Lightpath-based: usato in reti con topologia magliata con apparati OXC a livello di lunghezza d'onda e presenta tre tipologie:
    1) *Link protection*: reinstrada il traffico tra I nodi agli estremi della linea guasta; approccio locale, veloce ma poco efficiente
    2) *General path protection*: il traffico coinvolto da guasto è reinstradato tra I nodi terminali e sfrutta le risorse libere dell'intera rete ma impiega più tempo per notifica e ripristino;
    3) *Disjoint-link path protection*: caso speciale di 2) e aggiunge il vincolo di path alternativo disgiunto dal principale; ripristino immediato dopo la notifica



Optical Packed-Switched Network



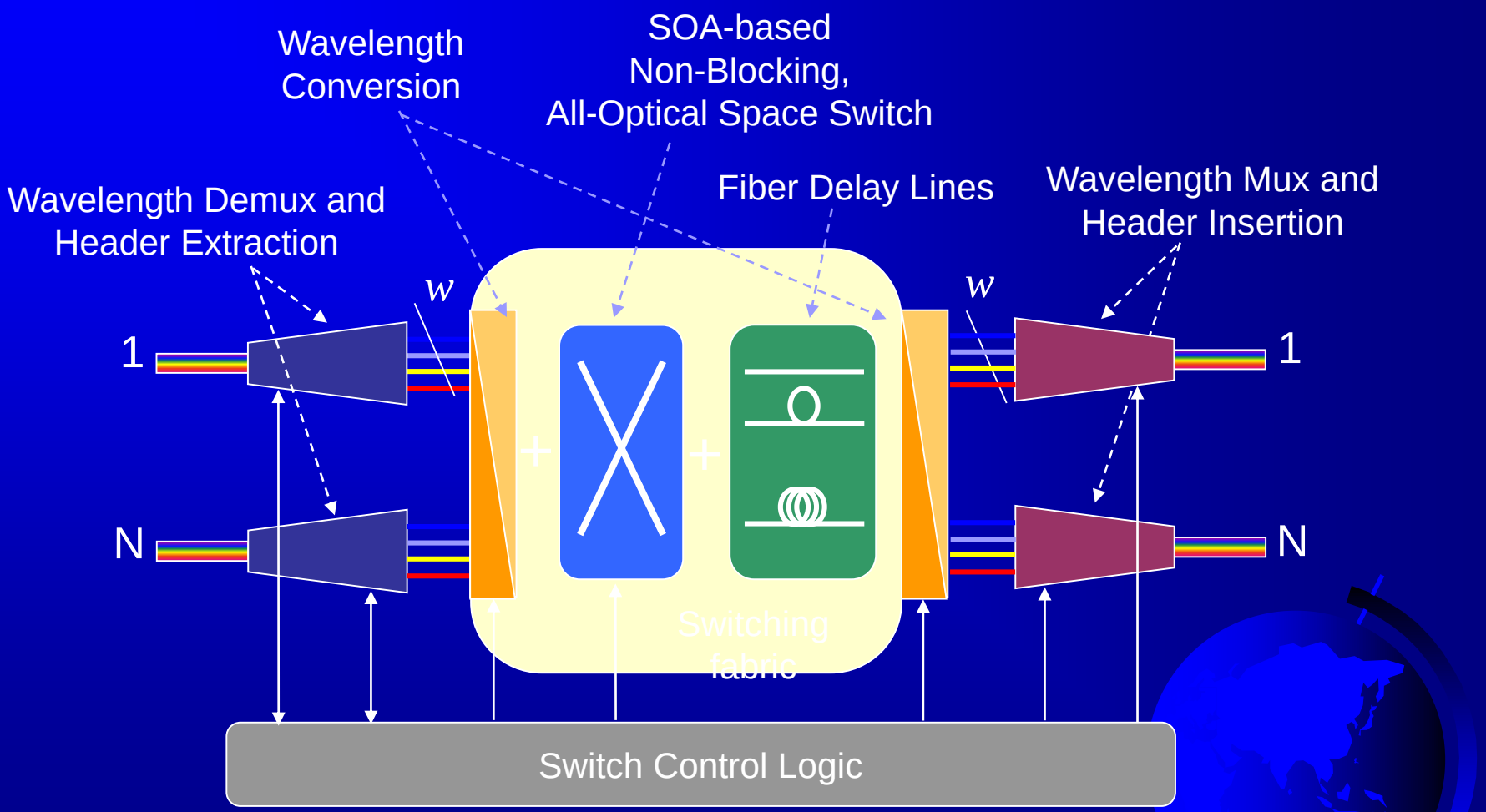
Optical Packet Switching

- Long term alternative to the optical circuit switching techniques currently under development (e.g. Wavelength Routing, MPλS)
- Availability of the optical resource at packet level ➡ efficient use of the bandwidth
- Optical Packet Format:



- No O/E/O payload conversion needed at the core nodes, only header conversion may be performed

Optical Packet Router Architecture



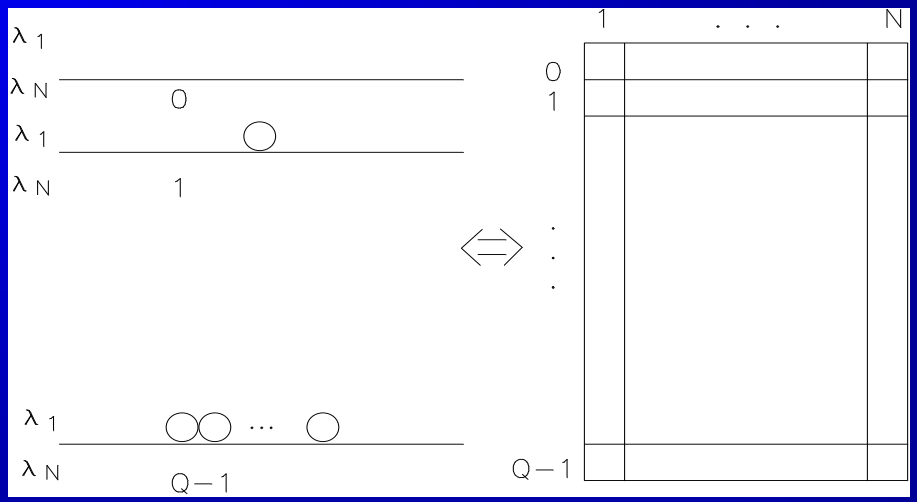
Componenti principali

- Convertitori ottici di lunghezza d'onda
  - consentono di associare a ciascun pacchetto una lunghezza d'onda in generale diversa da quella con cui si presenta in ingresso
- Filtri ottici
  - consentono di selezionare una sola delle lunghezze d'onda multiplate sulla stessa linea di ritardo
- Interruttori ottici
  - consentono di associare due linee disgiunte mediante amplificatori ottici a semiconduttore (SOA)



Buffer ottico

- E’ il dispositivo che ritarda il segnale di un numero intero di tempi di pacchetto
- Si realizza secondo lo schema seguente:

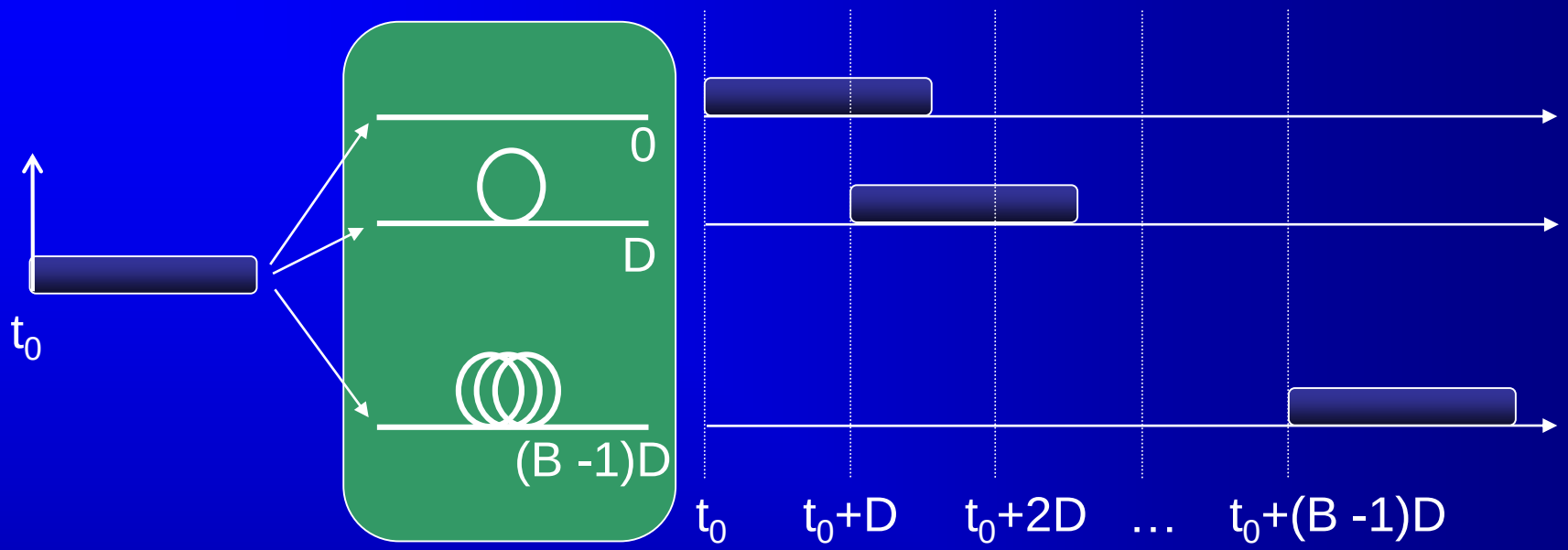


- su ciascuna delle Q linee di ritardo sono allocate N lunghezze d’onda
- La lunghezza L della fibra ottica che realizza il ritardo kT e’ stimabile mediante

$$L = c\,k\,T$$

dove c e’la velocita’della luce

Buffer ottico: rappresentazione temporale



- Realized with B **Fiber Delay Lines** (FDL):
  - the delay must be chosen at packet arrival
  - packets are delayed until the output wavelength is available
  - available delays are consecutive multiples of the **delay unit** D (different choices are also possible)
  - packets are lost when the buffer is full, i.e. the required delay is larger than the maximum delay achievable $D_M = (B -1)D$

Motivazioni

- Necessita' di armonizzare i requisiti delle reti periferiche con l'infrastruttura di trasporto ad alta capacita'
  - Banda
  - Caratteristiche del traffico
- Trattamento del traffico a livello di granularita' fine
  - Capacita' di smistamento dell'informazione a livello di switch ottici
- Utilizzo efficiente della banda resa disponibile dai link ottici
  - Multiplazione statistica su lunghezza d'onda
- Migliore supporto di meccanismi di protezione
  - Facilita' di condivisione di risorse



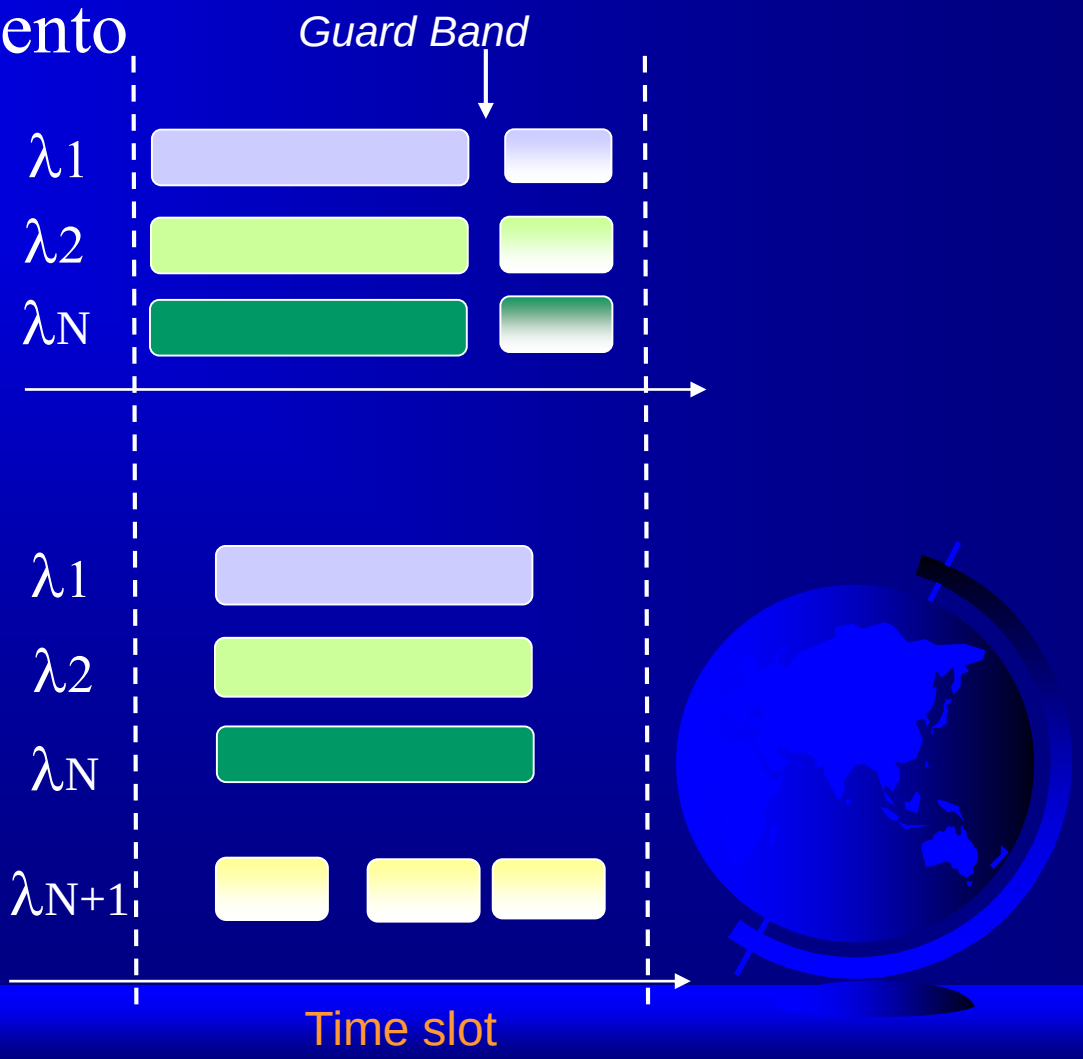
Approcci principali

- Optical Packet Switching
  - Lunghezza fissa o variabile
  - Funzionamento sincrono o asincrono
- Optical Burst Switching
  - Lunghezza variabile
  - Funzionamento asincrono



Optical Packet Switching

- Utilizza una intestazione a bassa bit rate per il controllo dell'instradamento
  - intestazione in banda
  - intestazione fuori banda



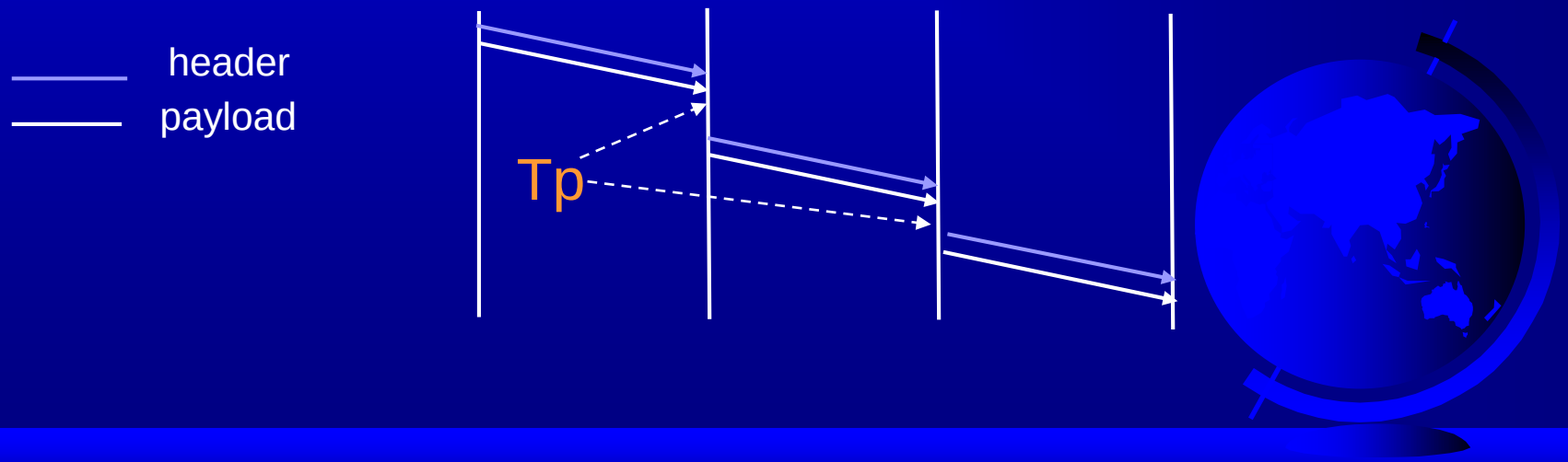
Pacchetto ottico sincrono di lunghezza fissa

- Necessita di sincronizzazione e allineamento
- Consente una piu' naturale realizzazione delle memorie con linee di ritardo
  - Unita' di tempo = durata del pacchetto
- Nella versione sincrona da' luogo a migliori prestazioni
- Durate tipiche dell'ordine del microsecondo



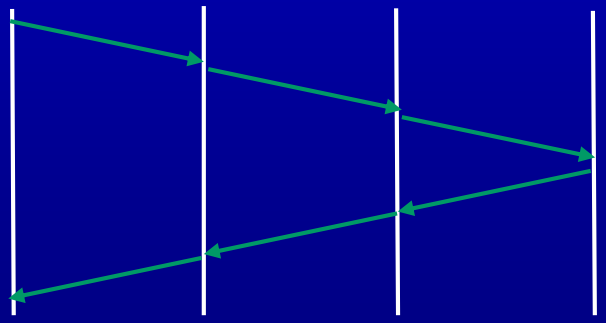
Limitazioni del pacchetto ottico

- Elaborazione dell'intestazione pacchetto per pacchetto
  - Puo' richiedere tempi lunghi
  - E' richiesta conversione o/e/o dell'intestazione in ogni nodo
- Necessita' di memorizzazione in ogni nodo
  - Capacita' dei buffer FDL limitata



Limitazioni della commutazione di circuito

- Richiede sempre un RTT per realizzare l'instaurazione del circuito
- Gli switch intermedi sono impegnati per tempi piu' lunghi rispetto alla effettiva durata del messaggio
- E' efficace nella situazione in cui la durata della trasmissione del messaggio sia significativamente piu' lunga della durata della fase di instaurazione



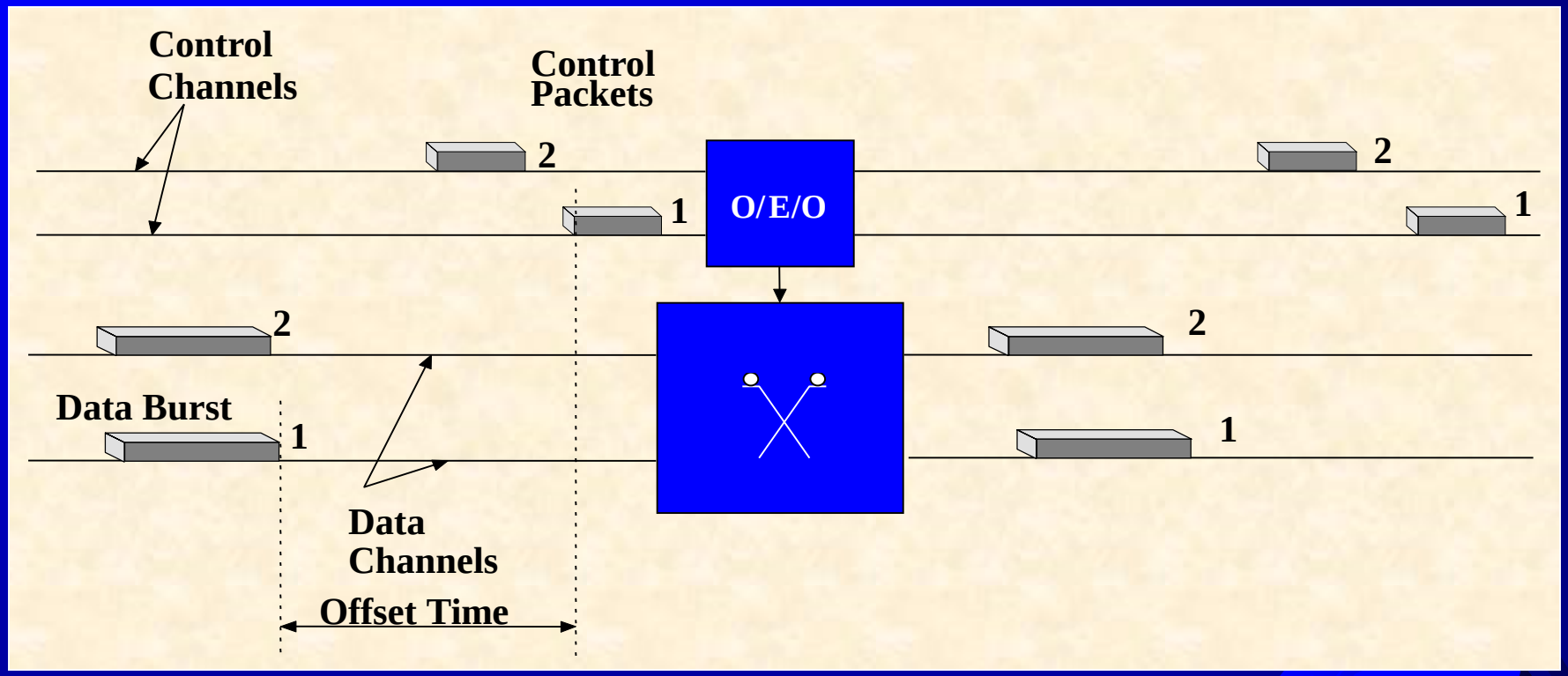
1 RTT solo per l'instaurazione

Burst switching

- Cerca di combinare i vantaggi della commutazione di circuito e di pacchetto
- Utilizza segnalazione fuori banda per configurare i nodi lungo il percorso del burst per il trasferimento dell'informazione
- I burst sono di lunghezza variabile
- La memorizzazione dei pacchetti avviene all'ingresso della rete



OPTICAL BURST SWITCHING (OBS)



- Instaurazione dinamica di un “wavelength path” per grandi flussi dati
- Dati rimangono nel dominio ottico; il controllo viaggia su canali separati
- Controllo precede i dati di un intervallo temporale (offset) di base ed è O/E/O

Buon compromesso efficienza-fattibilità ⇒ Soluzione di medio termine

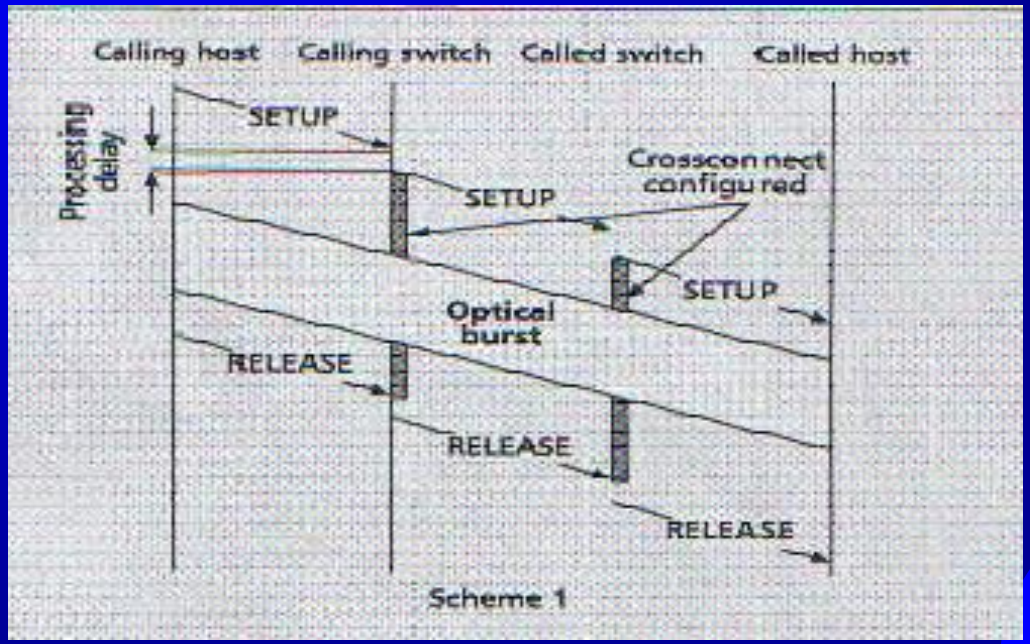
JIT:Just-in-time

- Viene inviato un messaggio di setup per configurare i cross-connect lungo il percorso
- La configurazione del cross connect avviene parallelamente alla propagazione del setup nella rete
- La trasmissione dati inizia con un ritardo opportuno rispetto alla emissione del setup e comunque prima della ricezione di una conferma
- Le risorse vengono rilasciate esplicitamente



Diagramma temporale del JIT base

- Setup e rilascio esplicito



Schemi di riservazione

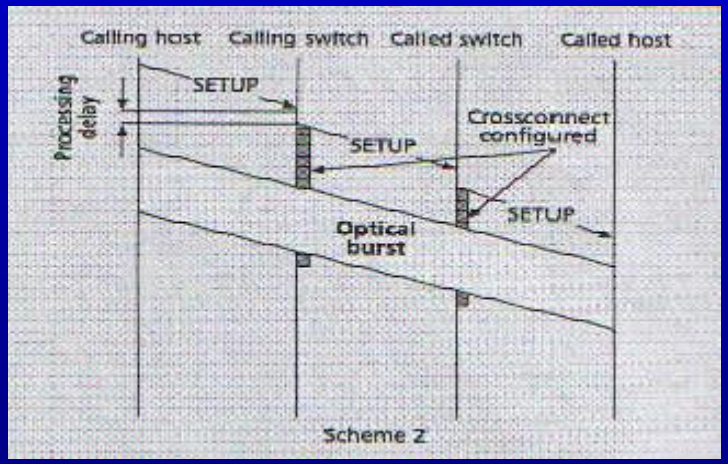
- Setup e rilascio esplicito
- Setup esplicito e rilascio stimato
  - Il messaggio setup porta informazioni sulla durata del burst
- Setup stimato e rilascio esplicito
  - Il messaggio setup porta informazioni sull'istante di inizio del burst
- Setup e rilascio stimati
  - Le risorse nello switch sono riservate per il minimo tempo indispensabile per il trasferimento del burst (JET:Just Enough Time)

Schemi di riservazione predittivi sono efficaci nella riduzione dei tempi di occupazione di risorse non utilizzate



Diagramma temporale di tecniche parzialmente predittive

- Setup esplicito e rilascio stimato
  - Il messaggio setup porta informazioni sulla durata del burst



- Setup stimato e rilascio esplicito
  - Il messaggio setup porta informazioni sull'istante di inizio del burst

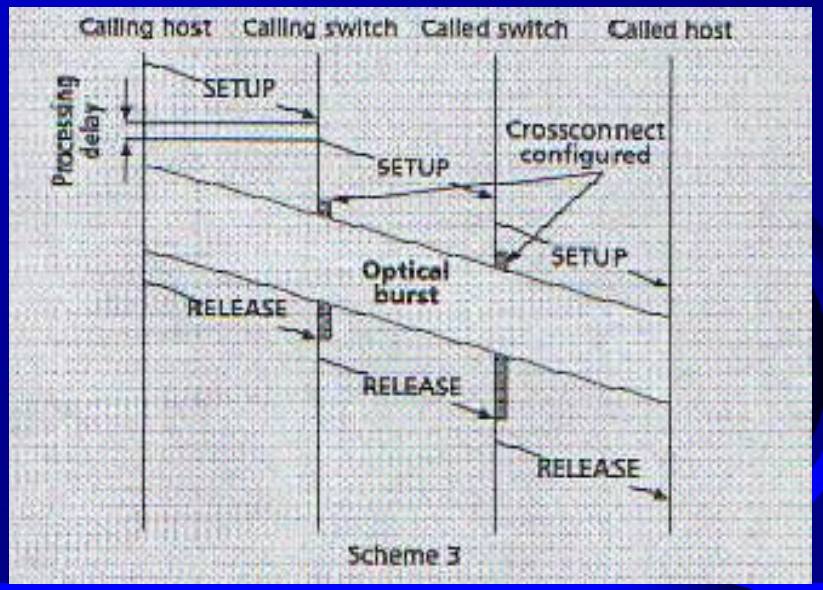
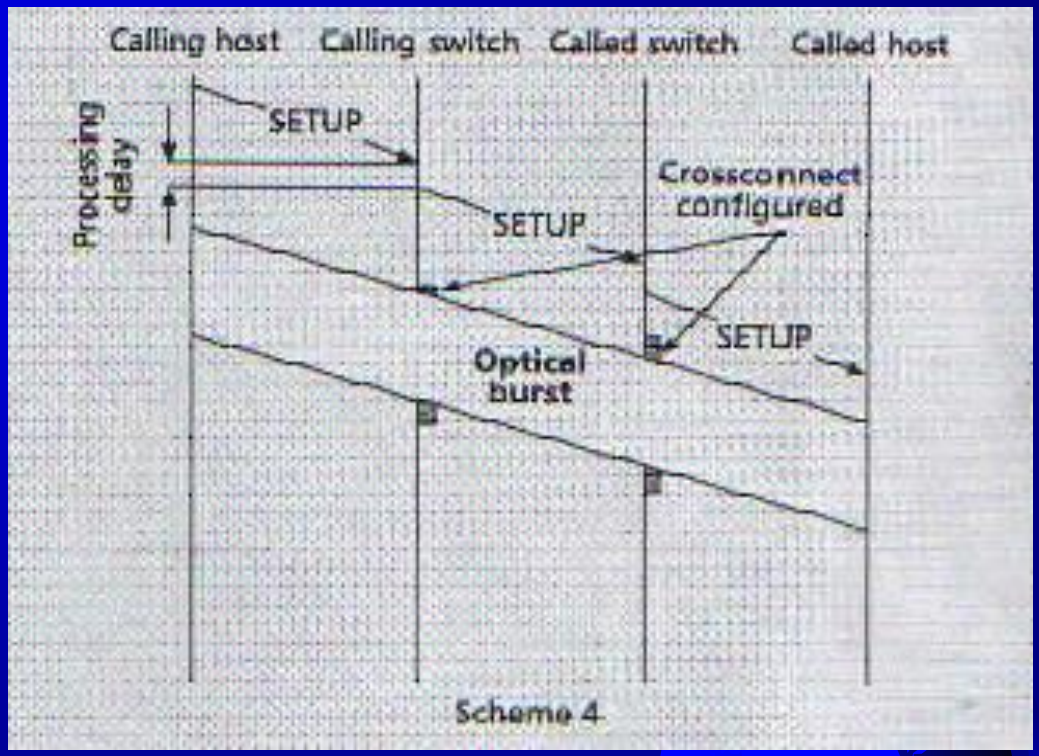
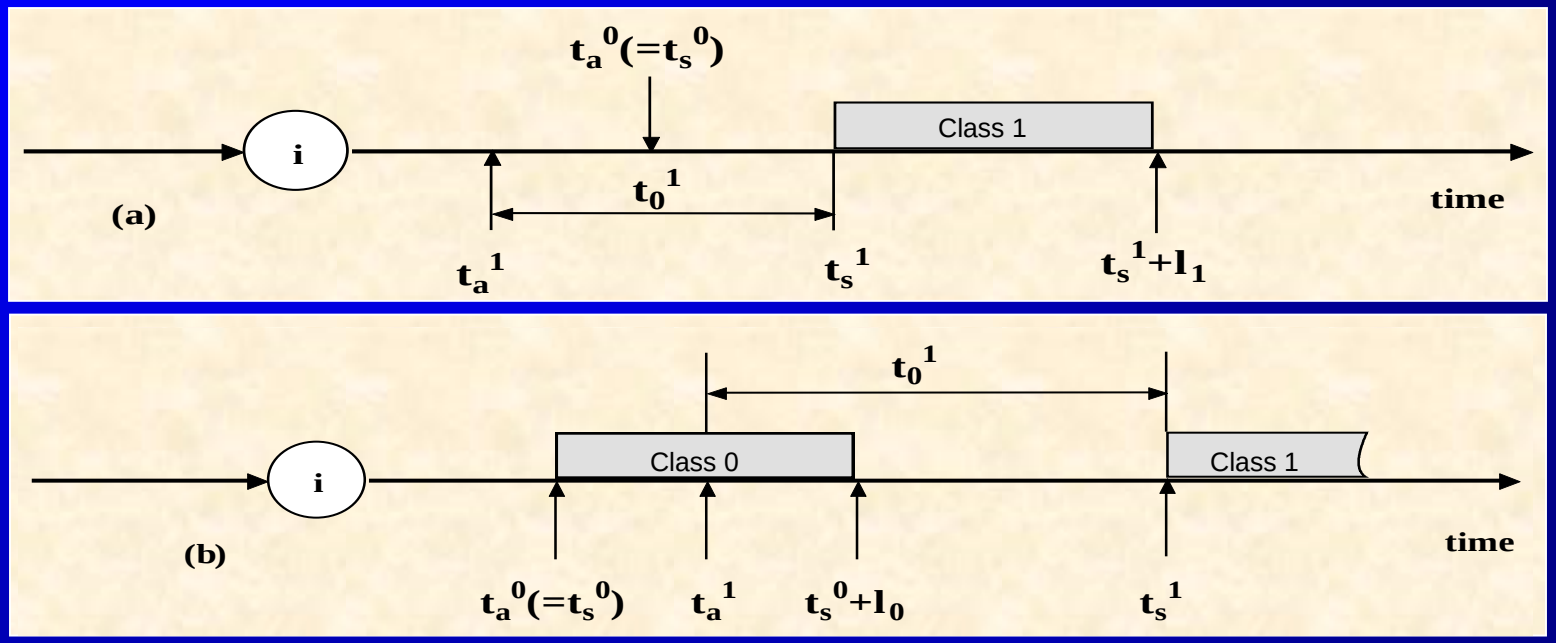


Diagramma temporale del JET

- Setup e rilascio stimati
  - Le risorse nello switch sono riservate per il minimo tempo indispensabile per il trasferimento del burst (JET:Just Enough Time)
  - La migliore utilizzazione delle risorse avviene a spese di algoritmi di scheduling nello switch piu' complessi



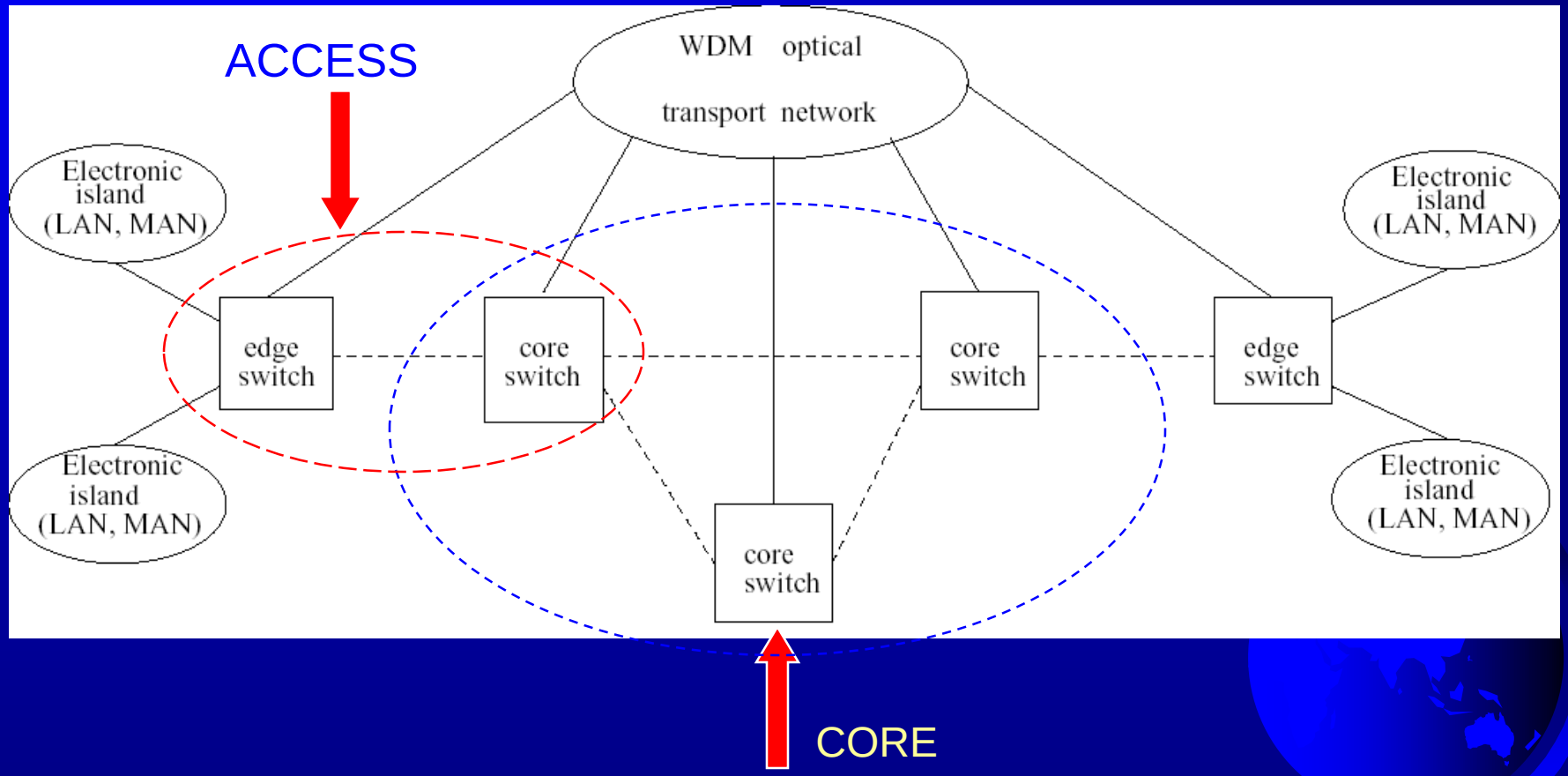
OBS con JUST ENOUGH TIME (JET)



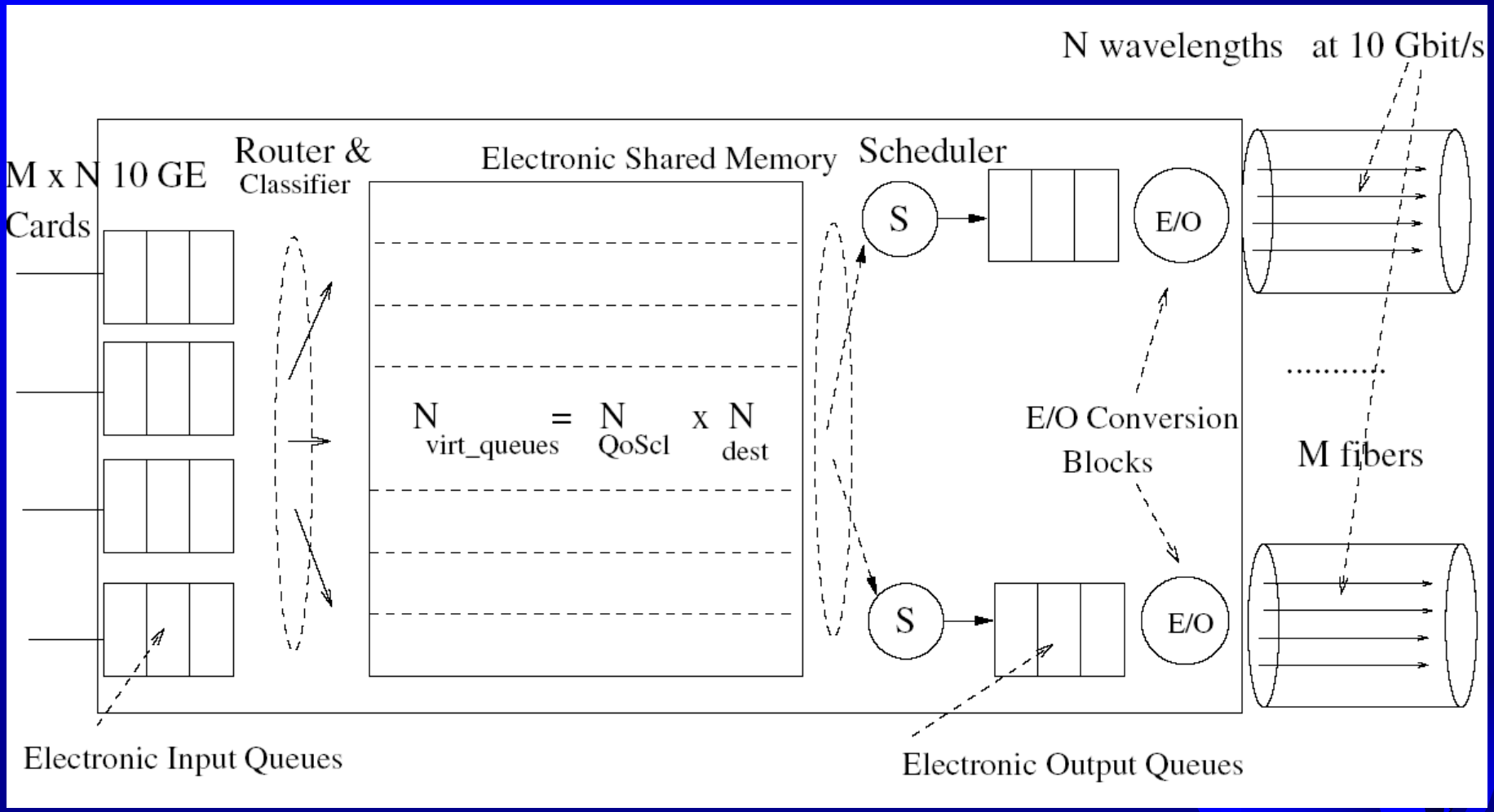
- Il nodo OBS riserva le risorse solo per la durata del burst
- Offset può avere un ulteriore opzionale extra-offset scopi di QoS
- Opportuni algorithms/protocols sono richiesti per gestire le risorse ottiche

- MPλS mappa LSPs in lunghezze d'onda
- LOBS: etichetta (label) portata dai pacchetti di controllo

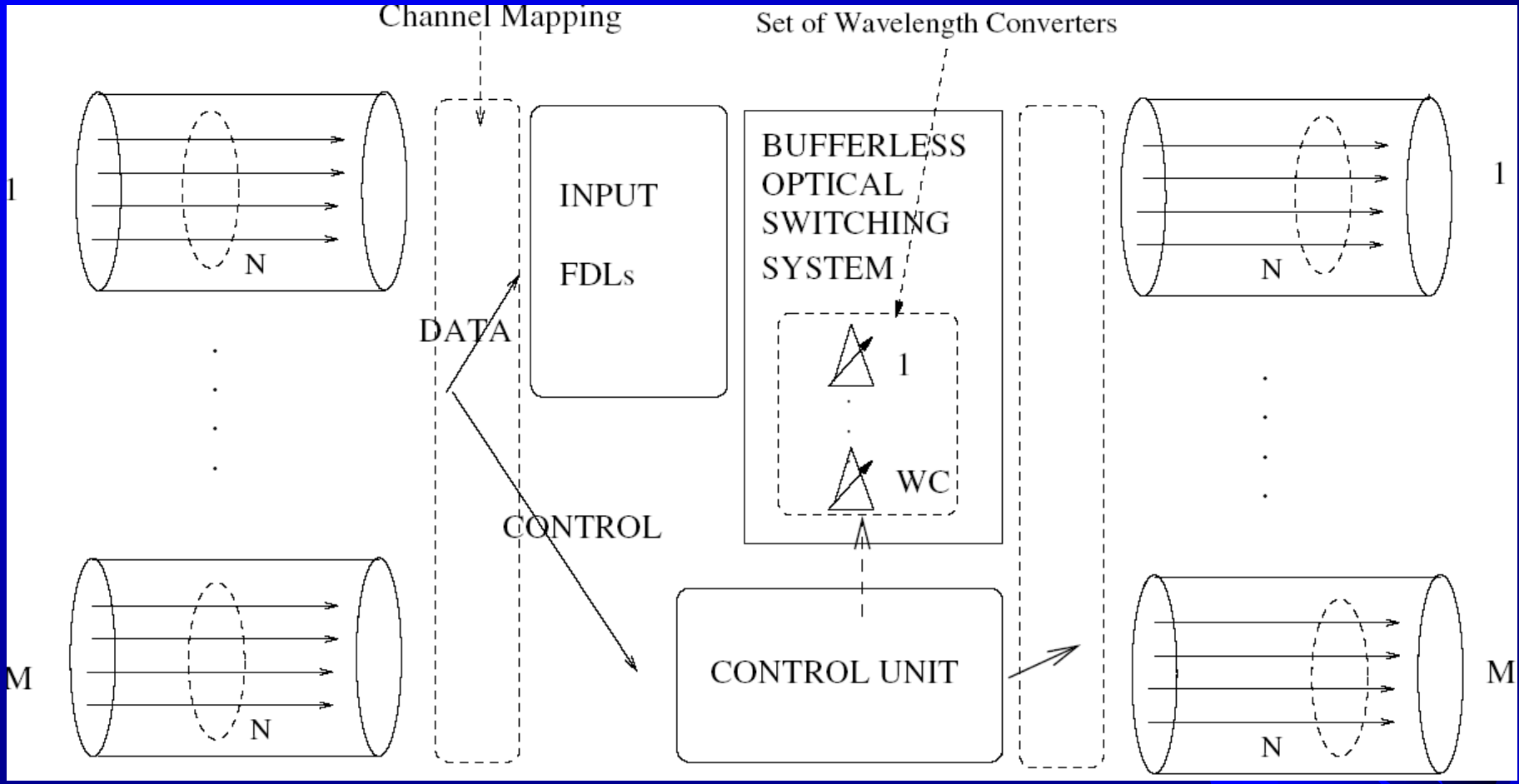
TIPICO SCENARIO



Edge node


N wavelengths at 10 Gbit/s
M x N 10 GE Cards
Router & Classifier
Electronic Shared Memory
Scheduler
S
E/O
N virt_queues = N QoScl x N dest
E/O Conversion Blocks
M fibers
S
E/O
Electronic Input Queues
Electronic Output Queues

Core Router

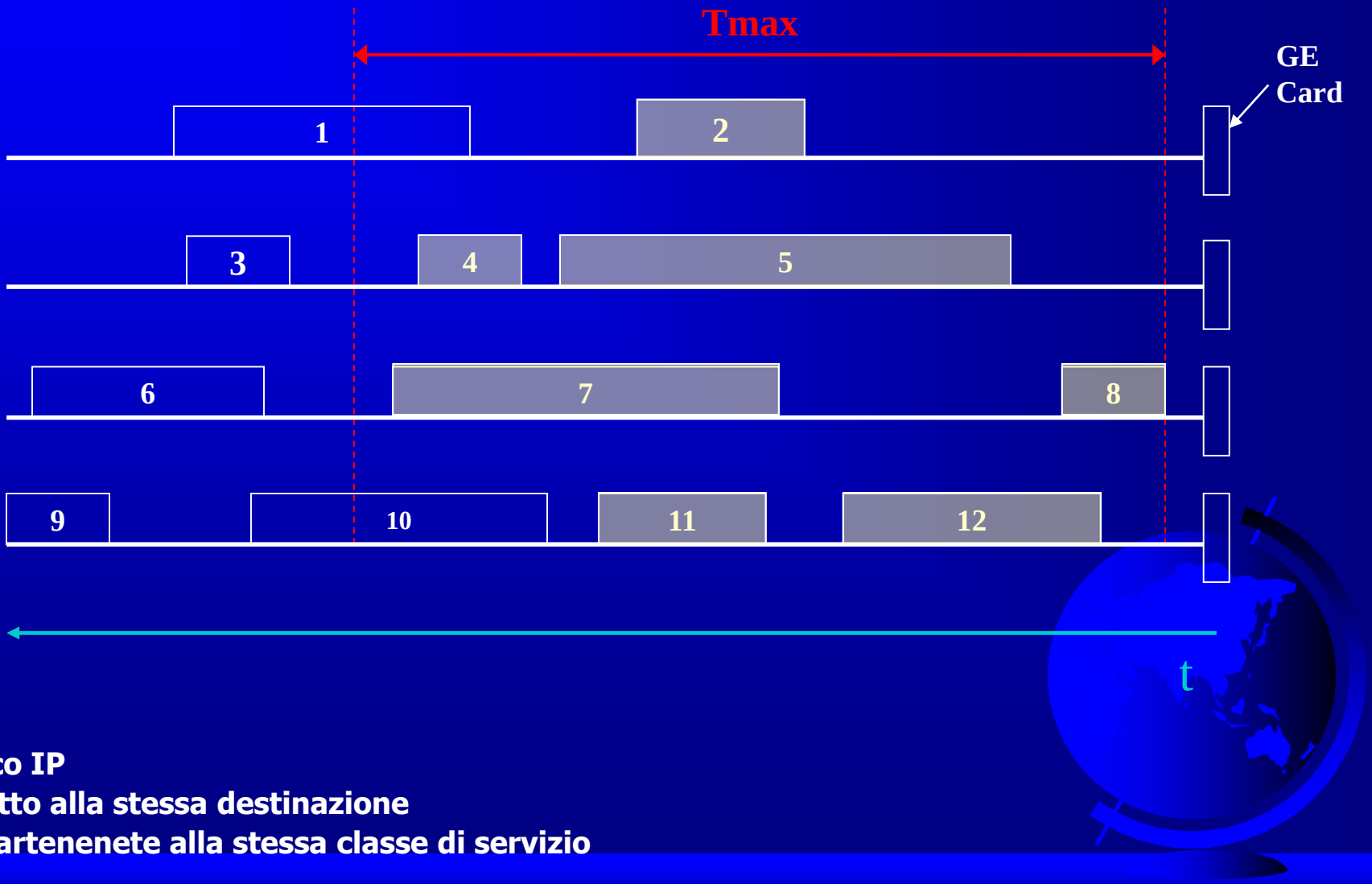

Channel Mapping
Set of Wavelength Converters
1
N
INPUT
FDLs
DATA
BUFFERLESS
OPTICAL
SWITCHING
SYSTEM
1
WC
CONTROL
CONTROL UNIT
1
N
M
N
M
N

Edge Node: Algoritmi implementati

- ✓ Tempo massimo
- ✓ Tempo massimo e lunghezza minima (v.1)
- ✓ Tempo massimo e lunghezza minima (v.2)



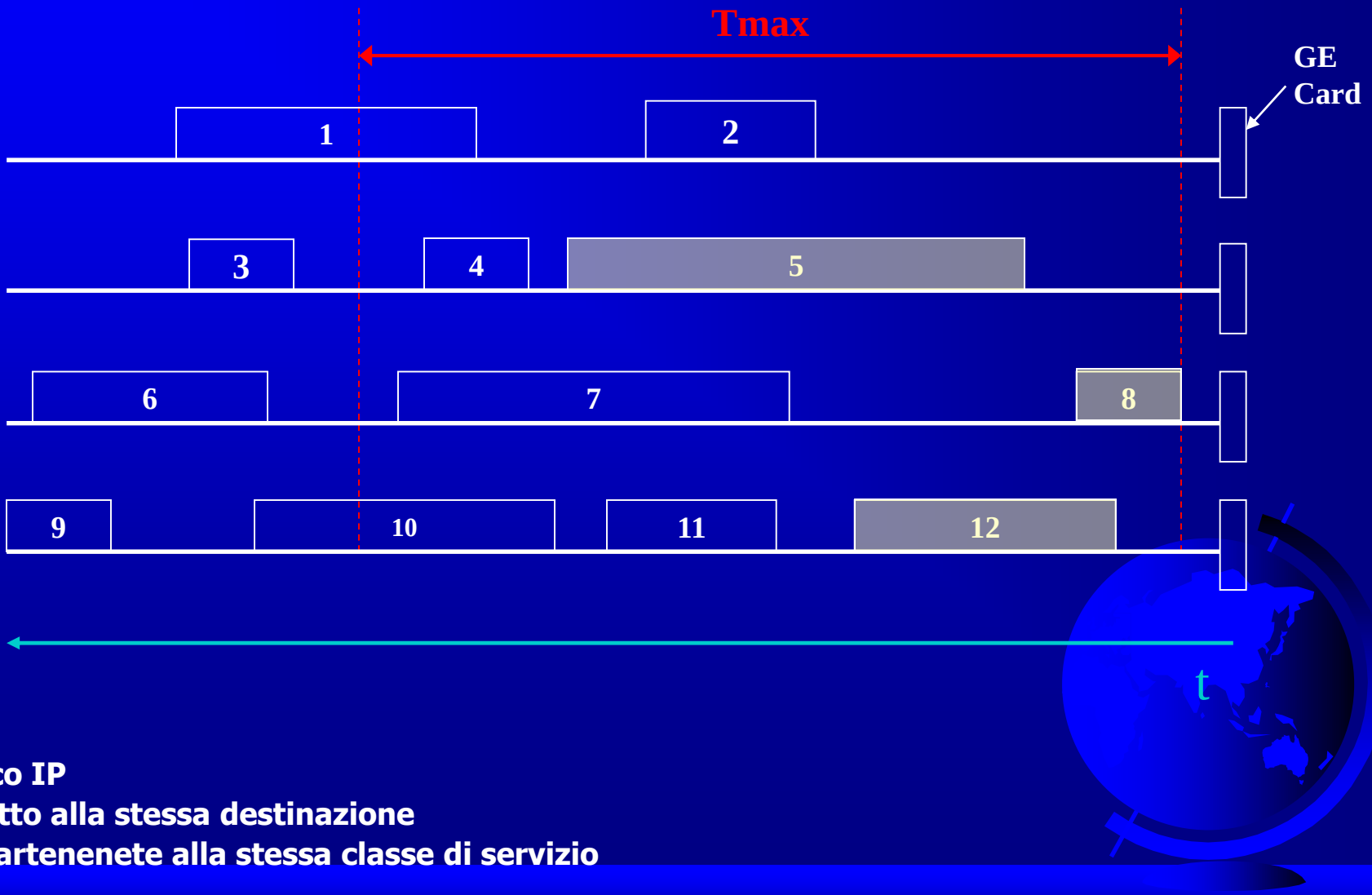
Tempo massimo



Traffico IP

- ✓ **diretto alla stessa destinazione**
- ✓ **appartenenete alla stessa classe di servizio**

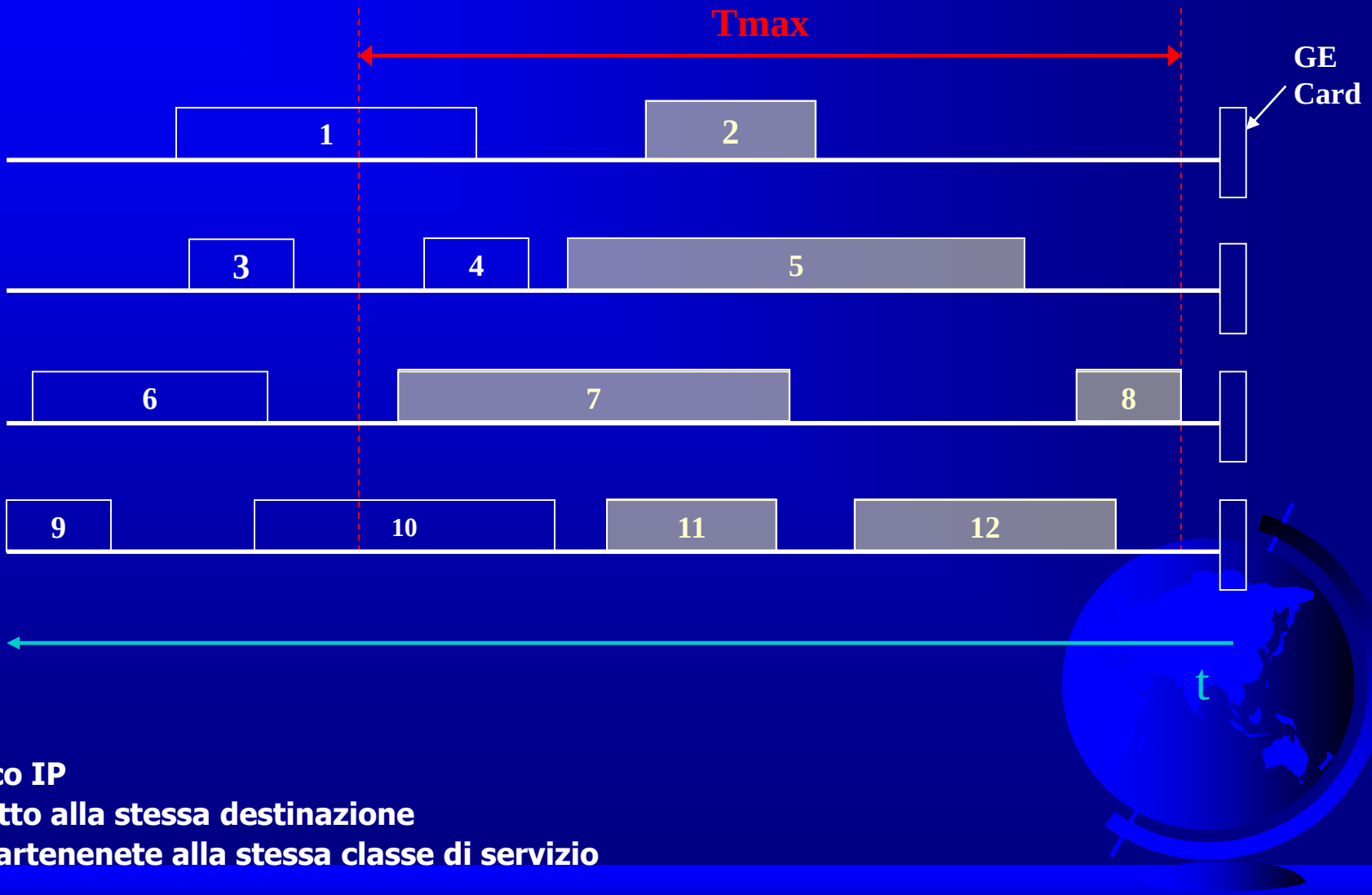
Tempo massimo lunghezza minima v.1



Traffico IP

- ✓ **diretto alla stessa destinazione**
- ✓ **appartenenete alla stessa classe di servizio**

Tempo massimo lunghezza minima v.2

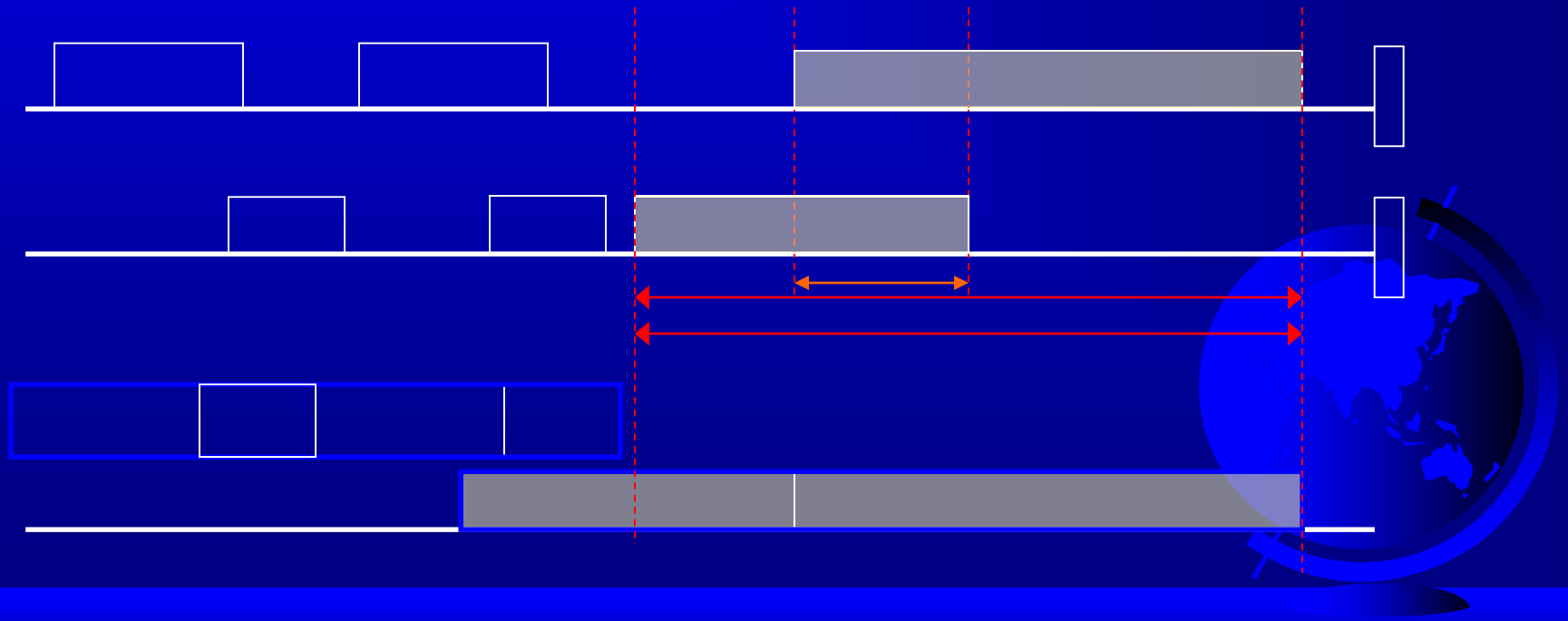


Traffico IP

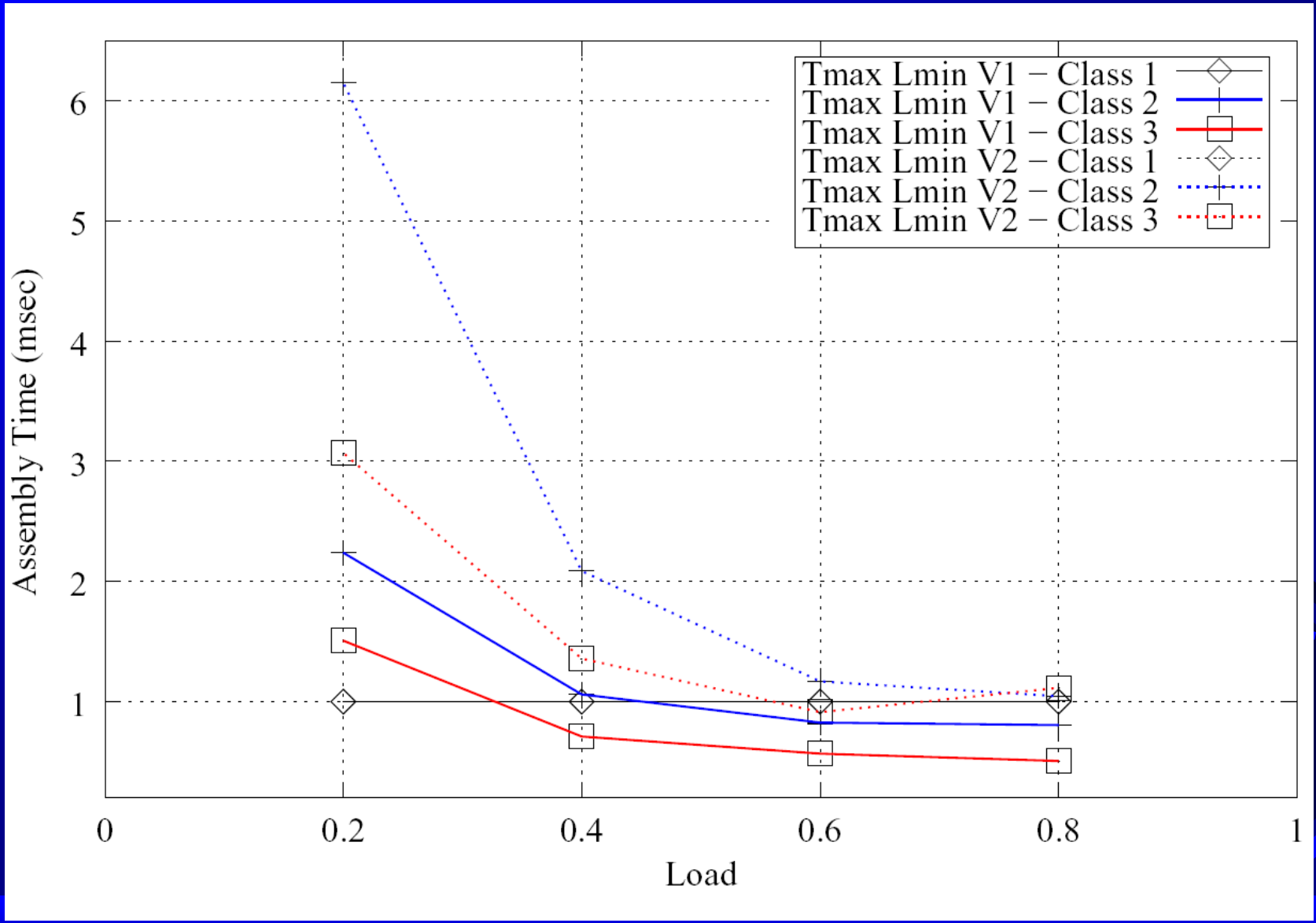
- ✓ **diretto alla stessa destinazione**
- ✓ **appartenenete alla stessa classe di servizio**

Cosa si è valutato

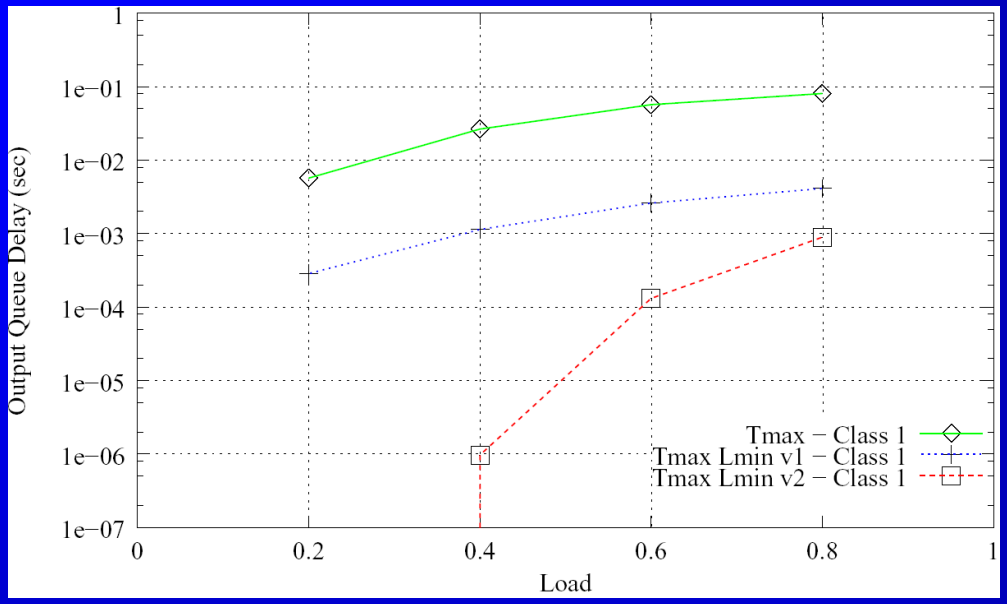
- Input queue delay
- Assembly Time
- Assembly Length
- Burst sovrapposti in trasmissione
- Output queue delay

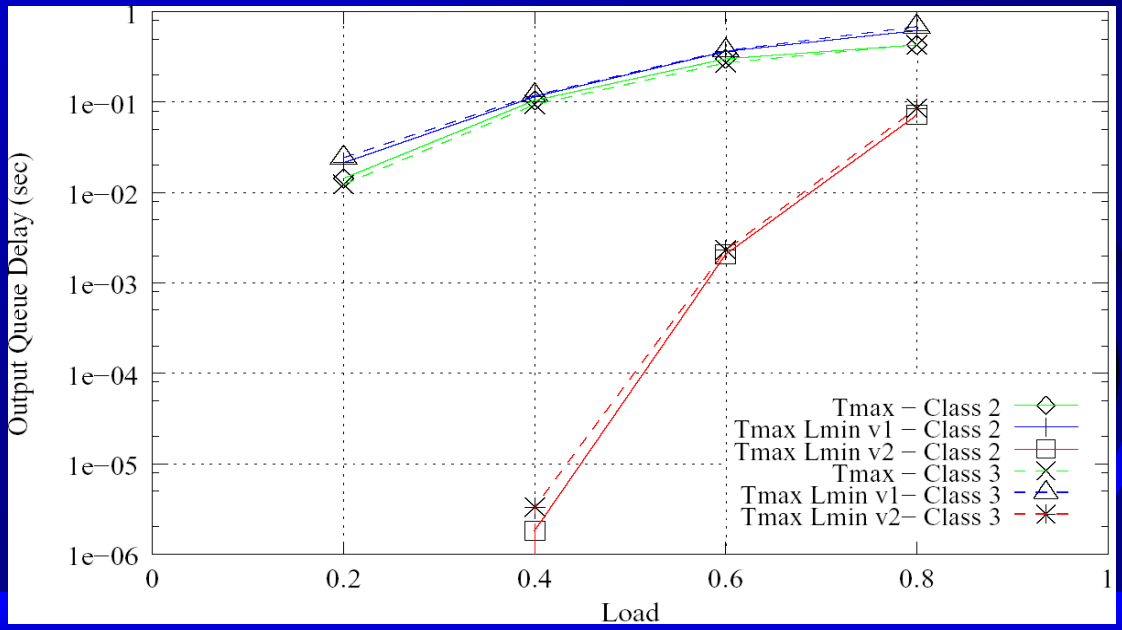


Assembly time



Output queue delay





Rete europea

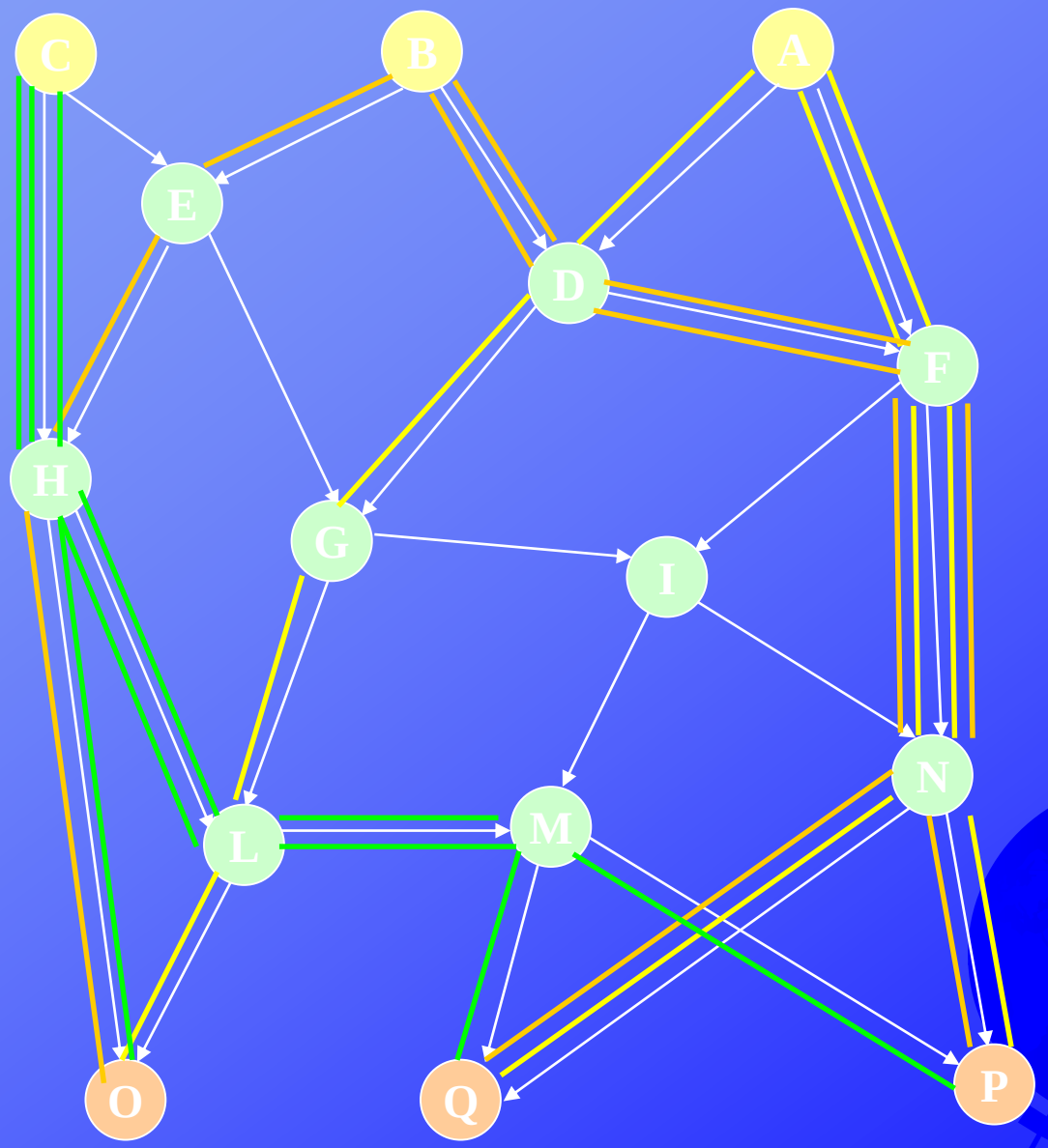


16 λs per fibra

Classe di servizio burst generati	Valor medio ON Pareto datagrammi in ingresso	Percentuale	JET impiego extra offset (8 μs)	numero di convertitori condivisi impiegati	Deflection routing
Classe 1	218 bytes	50%	si	32	no
Classe 2	10 Kbytes	20%	no	32	si
Classe 3	10 Kbytes	30%	no	0	si

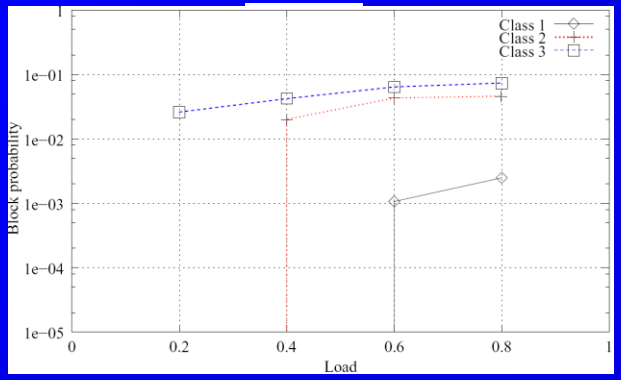
Rete europea

A – Stoccolma
B – Oslo
C – Londra
D – Berlino
E – Bruxelles
F – Varsavia
G – Francoforte
H – Parigi
I – Vienna
L – Lione
M – Milano
N – Budapest
P – Atene
Q – Roma
O - Madrid

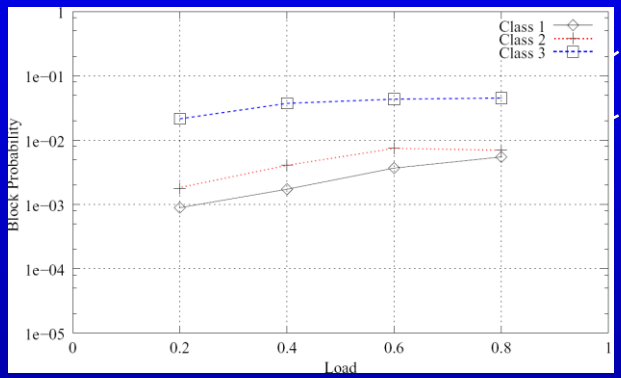


Probabilitá di blocco da C a Q

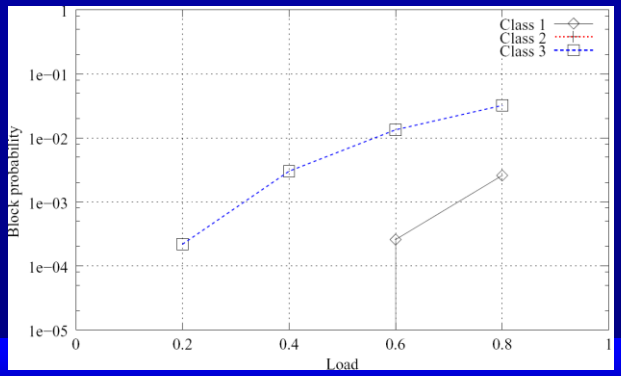
Tmax

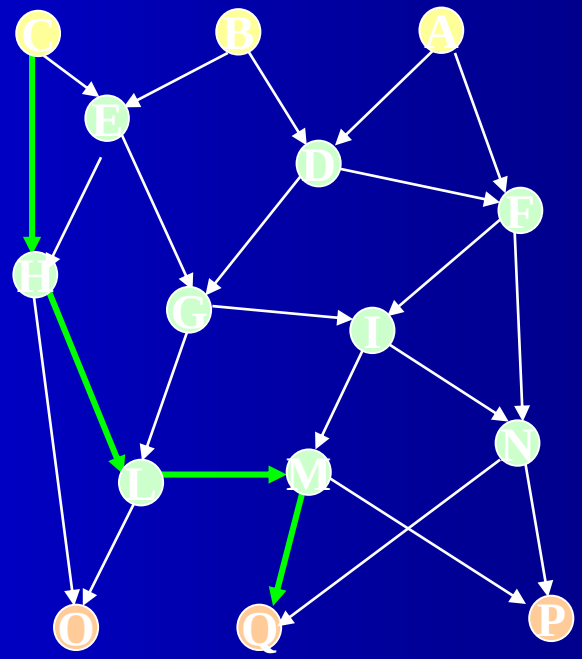


Tmax Lmin



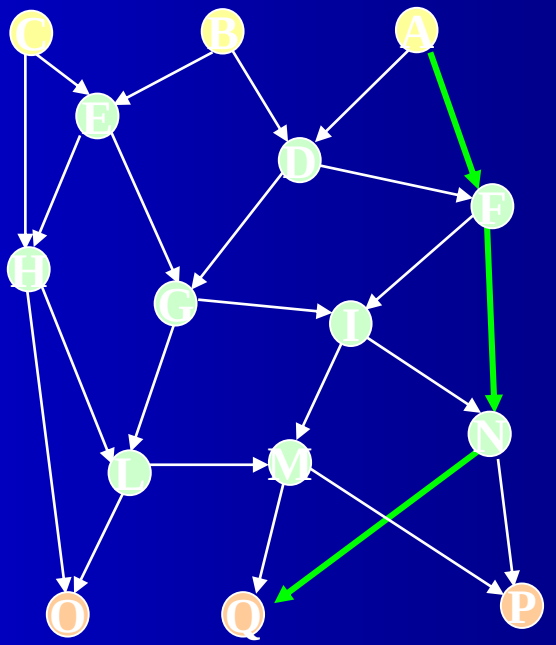
Tmax Lmin modificato



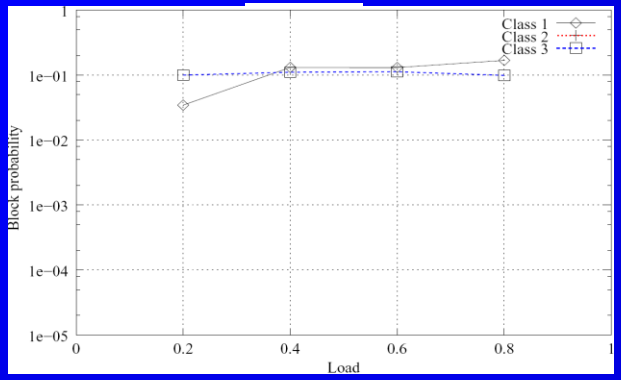


- Tmax Lmin modificato risulta quello fornire le prestazioni migliori

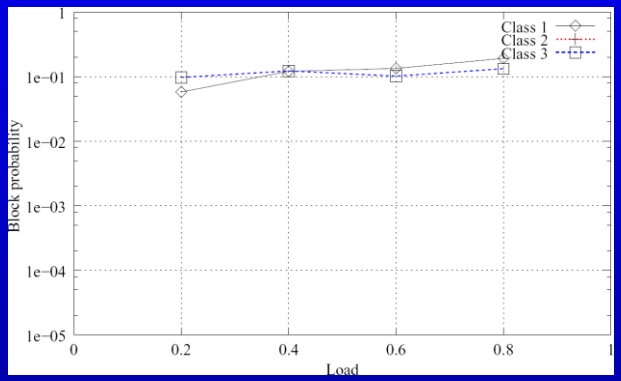
Probabilitá di blocco da A a Q



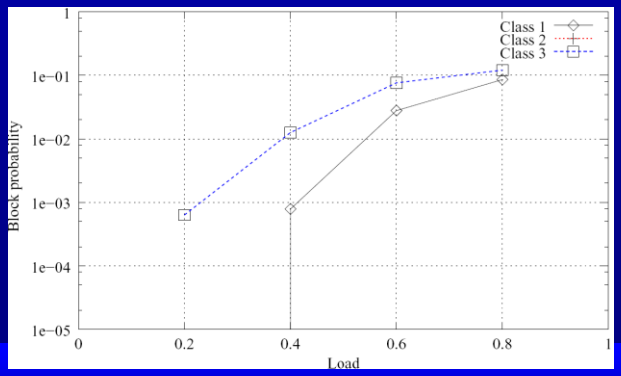
Tmax



Tmax Lmin



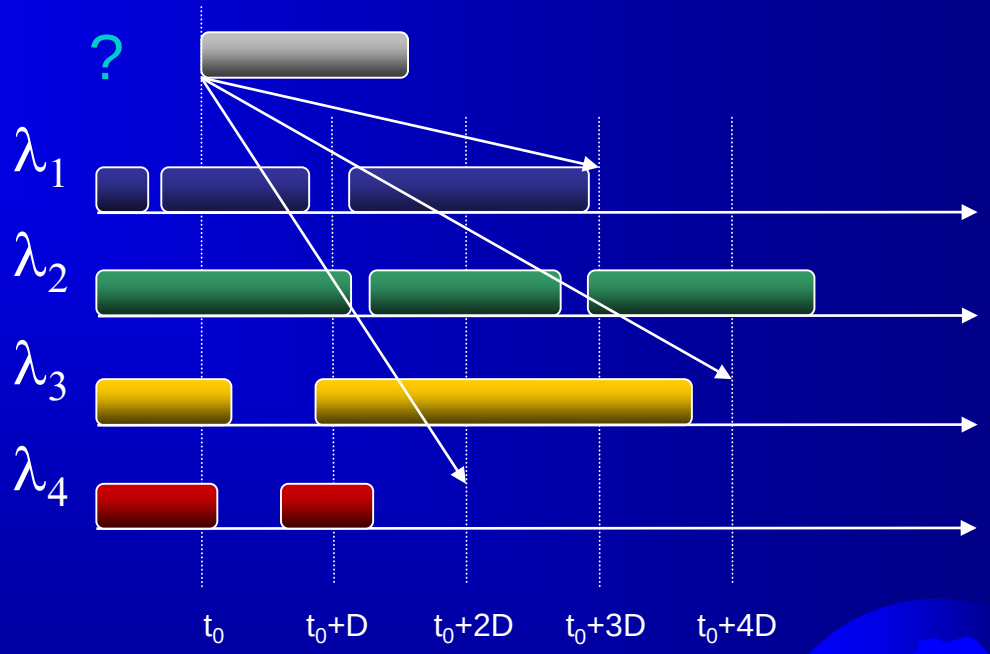
Tmax Lmin modificato



Tuttavia nel caso di percorsi che includono nodi particolarmente congestionati come F si nota un notevole peggioramento

Applicazioni della molteplicita' di lunghezza 'onda

- Problematiche di scheduling temporale sulle lunghezze d'onda

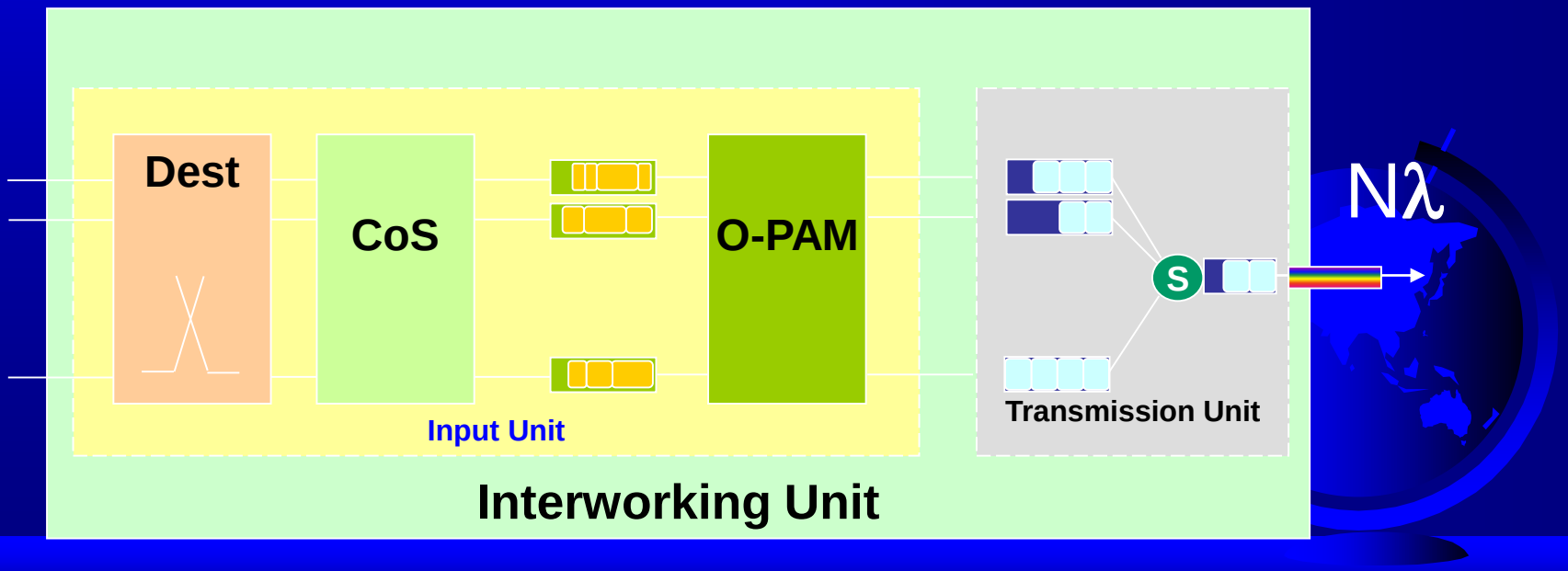


  - Nel pacchetto ottico: per gestire l'accodamento
  - Nel burst ottico: per gestire la riservazione

- Questi algoritmi possono tenere conto anche di tecniche per la gestione della qualita' di servizio

La formazione del pacchetto/burst all'ingresso

- Interfacciamento con le reti elettroniche
- Classificazione in base ai requisiti di QoS (se richiesti)
- Procedura di assemblaggio dei pacchetti ottici (O-PAM)
  - In base alla destinazione
  - In base alla classe di servizio
- Trasmissione dei pacchetti ottici sulla fibra di uscita



Qualita’ di servizio differenziata

- Commutazione di circuito
  - Si risolve a livello di chiamata
- Commutazione di pacchetto
  - Classificazione all’ingresso
  - Algoritmi di gestione delle code nei nodi
- Commutazione a burst
  - Si agisce sul ritardo tra la segnalazione e la prenotazione delle risorse nel nodo



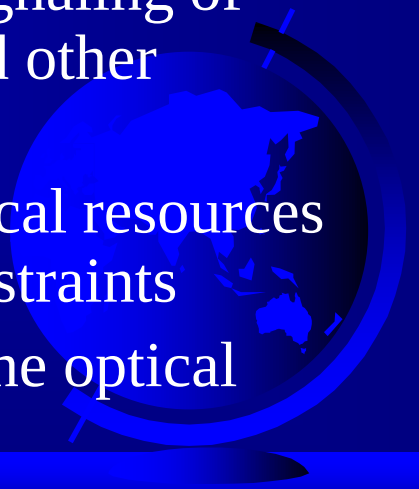
Il ruolo di MPLS

- MPLS consente di definire percorsi virtuali anche per la rete ottica identificati link by link da label
- E’ applicabile sia al packet switching che al burst switching
- Svolge il ruolo di ridurre i tempi di instradamento nel momento in cui l’informazione deve essere trasmessa
- Consente maggior controllo sui trasferimenti di traffico attraverso la rete



GMPLS: Generalized MPLS

- GMPLS is a multipurpose control plane paradigm able to manage not only packet switching devices, but also devices that perform switching in time, wavelength, space domain.
- GMPLS aims at extending the existing MPLS routing and signaling protocols to address the characteristics of optical transport networks.
  - Improve the RSVP-TE and CR-LDP to allow signaling of optical channel in optical transport networks and other connection-oriented environments
  - Enhancements to OSPF and IGP to manage optical resources in the network, other network attributes and constraints
  - A new Link Management Protocol suitable for the optical network scenario

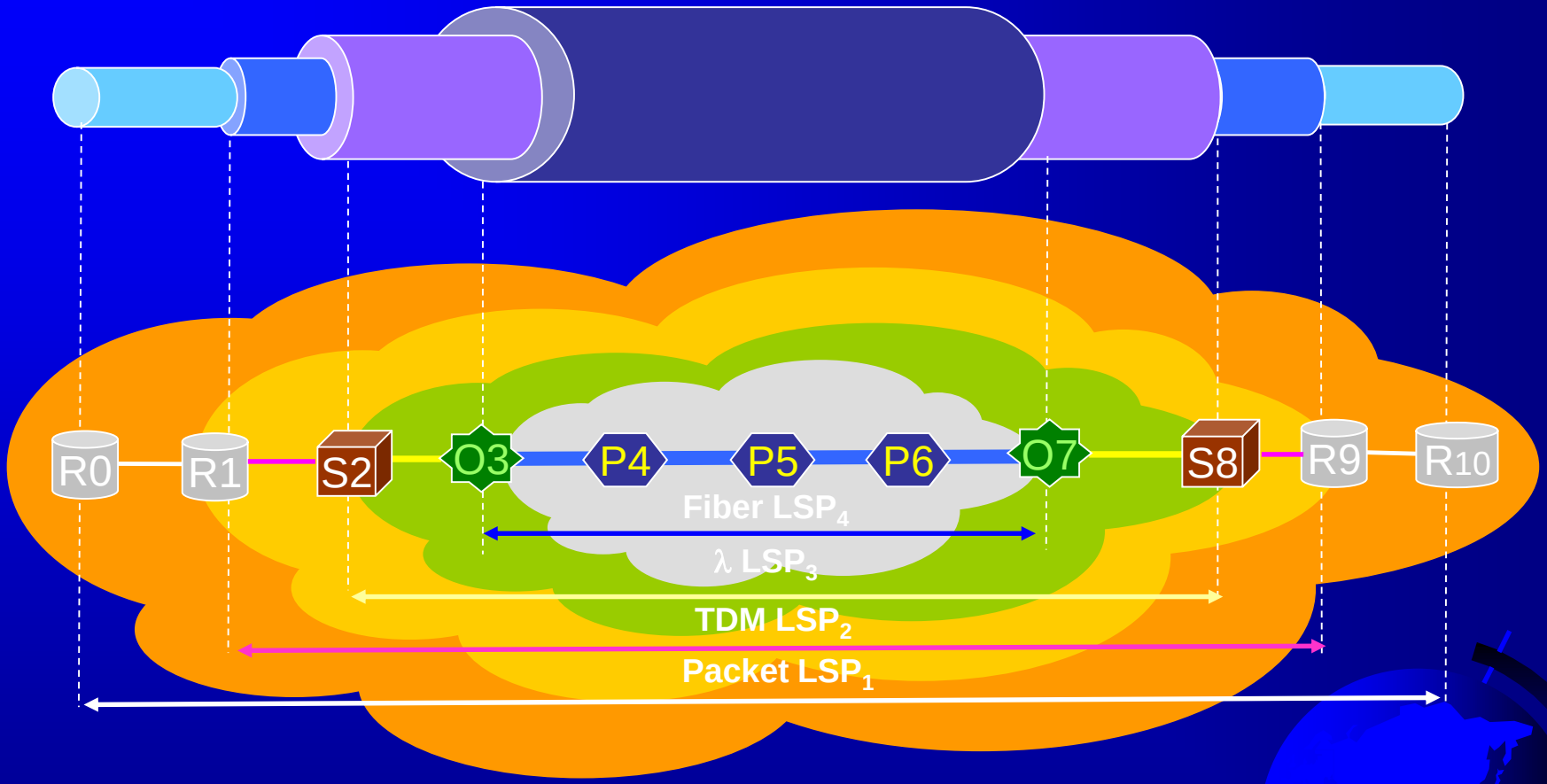


GMPLS: main issues

- GMPLS requires that each LSP starts and ends on devices of the same kind
- In MPLS the control plane is logically separate from the data plane. GMPLS extends these concept, allowing the control plane to be physically diverse from the related data plane.
- GMPLS defines a hierarchical LSPs set up
  - LSPs may be tunneled inside an existing higher-order LSP, that acts as a link along the path of the new LSP
  - Nodes at the border of two regions, different from the MUX point of view, have the task to form higher-order LSPs by aggregating lower-order LSPs



GMPLS: hierarchical LSPs



GbEth
OC-12
OC-192
Fiber
R IP-LSR
S SONET switch
O Optical OEO Switch
P Photonic Switch

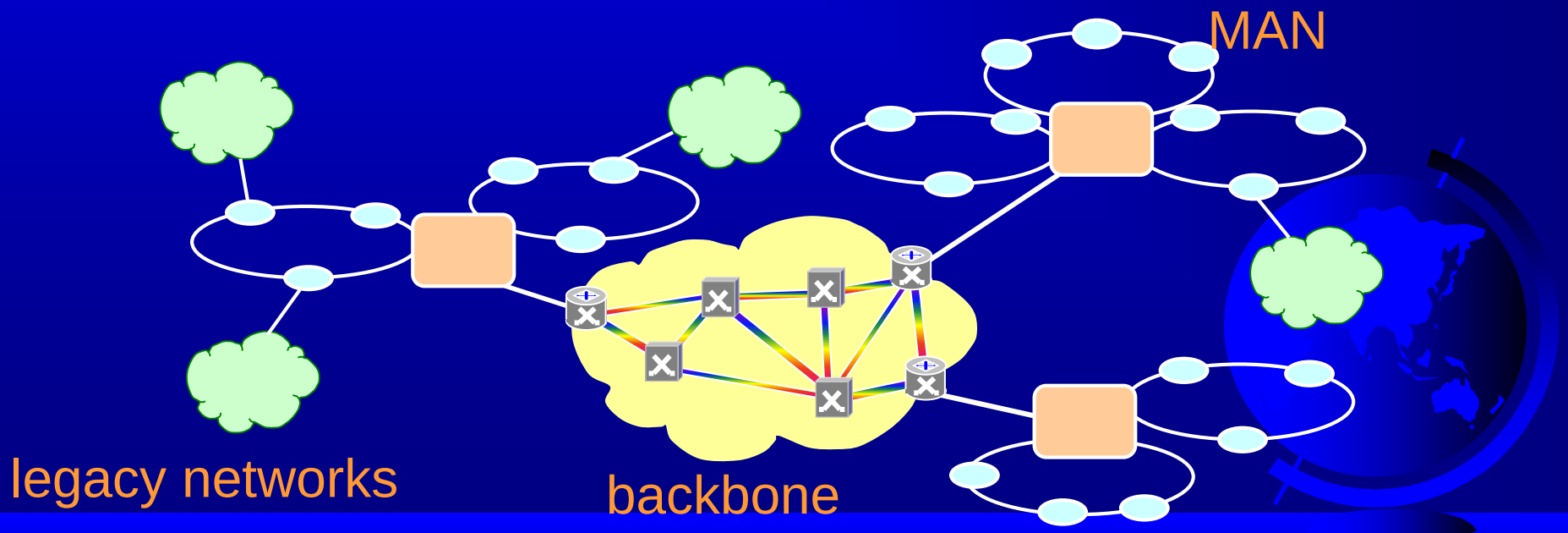
J. Drake et al.

"GMPLS: An oveview of sgnaling enhancements and recovery techniques",

IEEE Communication Magazine

Scenari di rete

- La configurazione di rete e' costituita da
  - Reti di accesso di tipo elettronico (Gigabit Ethernet, PON, …)
  - MAN ottiche (anelli SDH, RPR, anelli DWDM/time slotted dinamici)
  - Backbone DWDM (a circuito, a burst o a pacchetto)

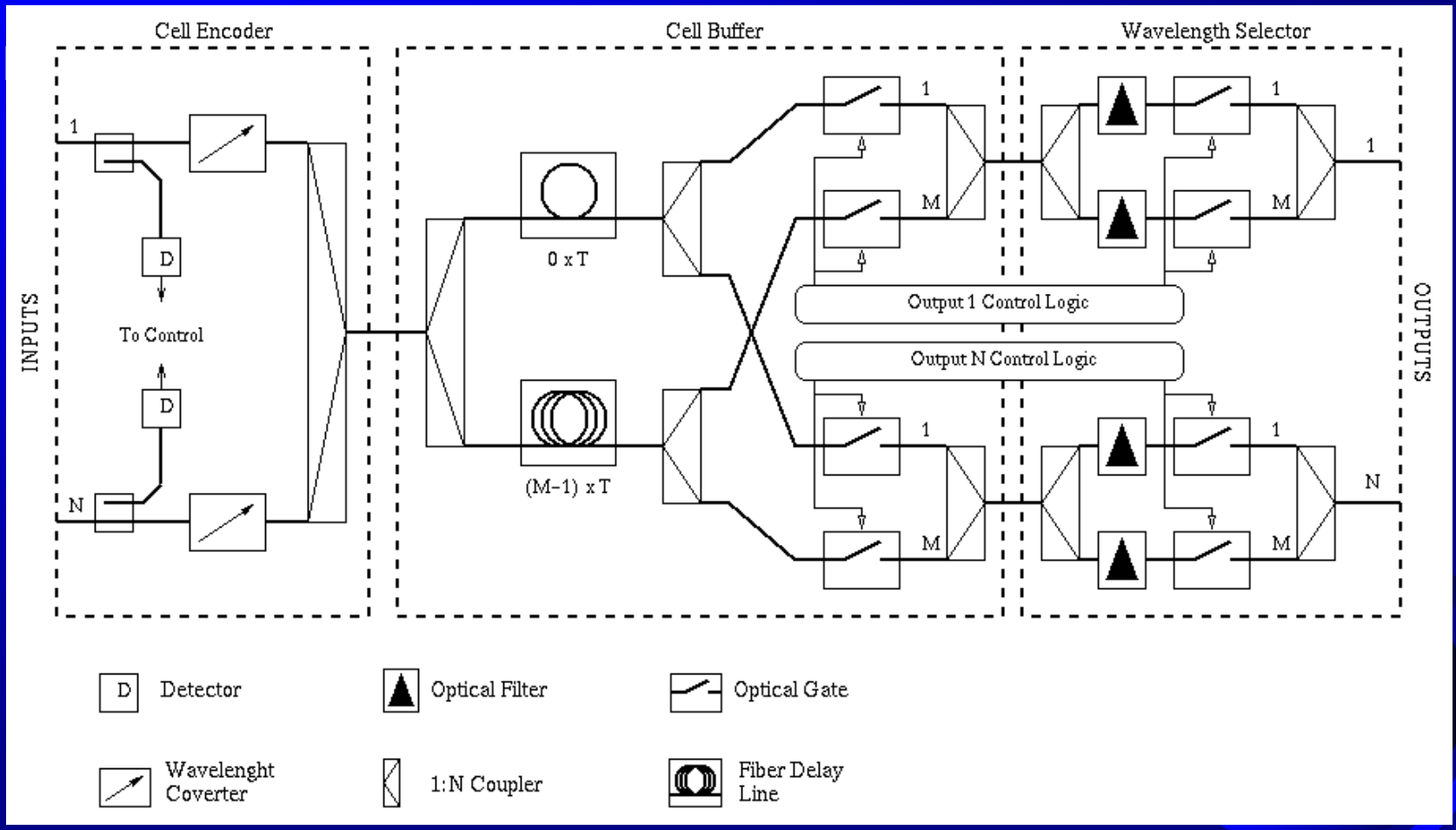


Considerazioni

- Sicuramente l'ottica a pacchetto presenta vantaggi di flessibilità
- Occorre sapere quali vantaggi di prestazioni possa offrire globalmente il nuovo approccio per giustificare i costi richiesti
  - Condivisione di risorse per multiplazione statistica -> prestazioni
  - Trattamento a granularità fine del traffico -> efficienza
- Confronto CS e PS
  - Occorre tenere conto delle dimensioni della rete e delle effettive possibilità di aggregazione del traffico



Il nodo di commutazione B&S

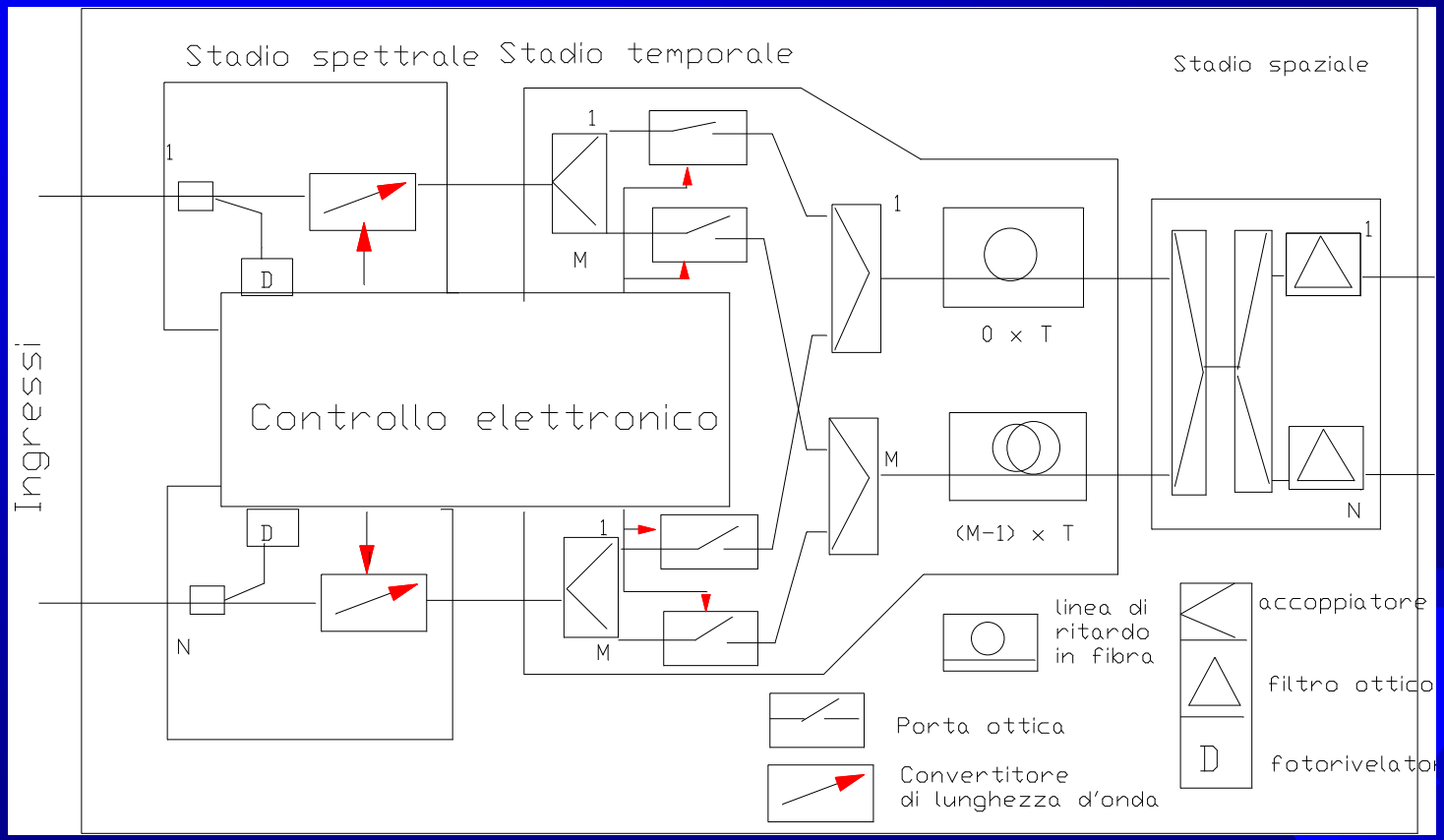


B&S:descrizione

- I pacchetti in ingresso vengono codificati con una lunghezza d'onda associata all'ingresso da cui provengono
- Essi vengono poi inviati alla batteria di linee di ritardo (da 0 (*cut-through*) a (M-1)T) e da queste a ciascun blocco di uscita
- l'unita'di controllo del generico blocco di uscita, sulla base delle informazioni trasmesse dall'elaboratore della intestazione, pilota i gate di selezione del ritardo e quelli di selezione della lunghezza d'onda: si realizza in questo modo l'associazione ingresso-uscita richiesta dalla funzione di inoltro
- Osservazione: ciascun pacchetto è disponibile nel commutatore con tutti i possibili ritardi per tutte le possibili uscite
- IL FUNZIONAMENTO DELLA LOGICA DI CONTROLLO REALIZZA **ACCODAMENTO IN USCITA**



La rete di connessione OASIS



OASIS: descrizione

- Utilizza gli stessi componenti principali dello schema precedente combinati in modo differente
- Ad ogni pacchetto in ingresso viene associata una lunghezza d'onda corrispondente alla uscita su cui deve essere inoltrato
- Il pacchetto viene immesso sulla fibra ottica che realizza il ritardo corrispondente allo stato del buffer *logico* associato alla uscita cui e'diretto
- Ogni pacchetto è presente nel commutatore per una sola uscita con un solo ritardo
- Anche in questo caso si realizza accodamento in uscita.



Limitazioni tecnologiche

- Esistono limitazioni tecnologiche alla realizzzazione dei commutaori ottici descritti principalmente derivanti da
  - splitting
  - tempi di risposta dei laser
  - degenerazione del segnale ottico
- Attualmente si possono realizzare i suddetti commutatori fotonici con
  - 32 ingressi e uscite
  - buffer fino a 32 locazioni
  - alcuni stadi in cascata
  - velocità fino a 10 Gbit/s
- Di conseguenza per realizzare commutatori di dimensioni maggiori occorre adottare architetture composite come quelle multistadio, mediante l'interconnessione di moduli elementari



Commutatori di grandi dimensioni

- Una proposta è di utilizzare ***reti di Clos*** a tre stadi in quanto offrono alcuni gradi di libertà architetturali

- **reti con espansione**: il numero di blocchi utilizzati al secondo stadio è maggiore del numero di blocchi utilizzati al primo stadio

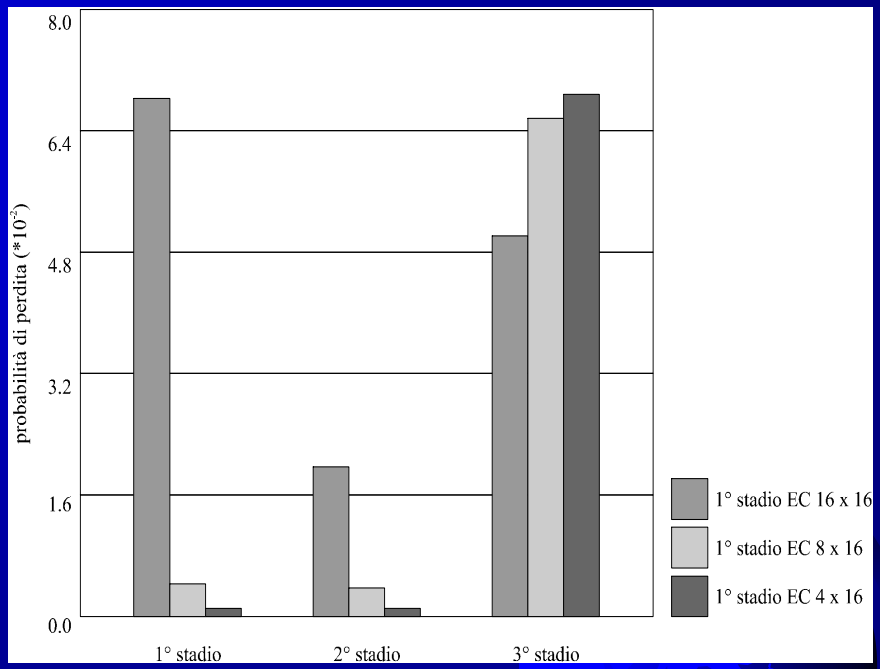
- **reti senza espansione**: il numero di blocchi utilizzati al secondo stadio è uguale al numero di blocchi utilizzati al primo stadio



Effetto della espansione

- L’effetto della espansione interna e’di portare la perdita al terzo stadio. In queste condizioni il commutatore multistadio si comporta come un unico elemento di commutazione con buffer in uscita

- In figura viene presentato l’effetto della espansione sulla distribuzione della perdita ai vari stadi (buffer 3, carico 0.8, 32 x 32)



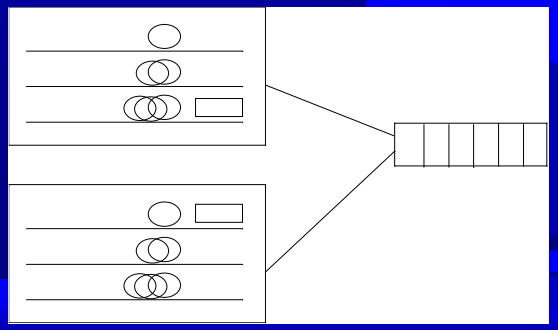
Controllo di flusso interstadio

- Per limitare la perdita e'possibile introdurre un sistema di controllo di flusso interstadio che, per ciascuno stadio, segnali allo stadio a monte lo stato di congestione di una o piu'code
- E'realizzabile mediante l'introduzione di segnalazione a divisione di lunghezza d'onda in direzione opposta a quella dell'inoltro delle informazioni
- In elettronica e'possibile attuare questo controllo di flusso mediante il mantenimento nelle memorie a monte dei pacchetti da trasmettere fino a che la situazione di congestione non si e'esaurita
- In ottica la memorizzazione mediante linee di ritardo impone un limite al massimo tempo per cui un pacchetto può permanere nelle memorie a monte, dopo il quale è comunque perduto
- Il controllo di flusso si può realizzare con gli elementi di tipo broadcast and select che rendono disponibili i pacchetti per una uscita con tutti i ritardi possibili
- I pacchetti vengono comunque trasmessi verso lo stadio a valle. In condizioni di congestione (buffer pieno) solo uno di essi può essere accettato mentre gli altri devono essere trasmessi successivamente
- A seconda delle politica adottata per la scelta del pacchetto da accettare possono definirsi diversi tipi di controllo di flusso



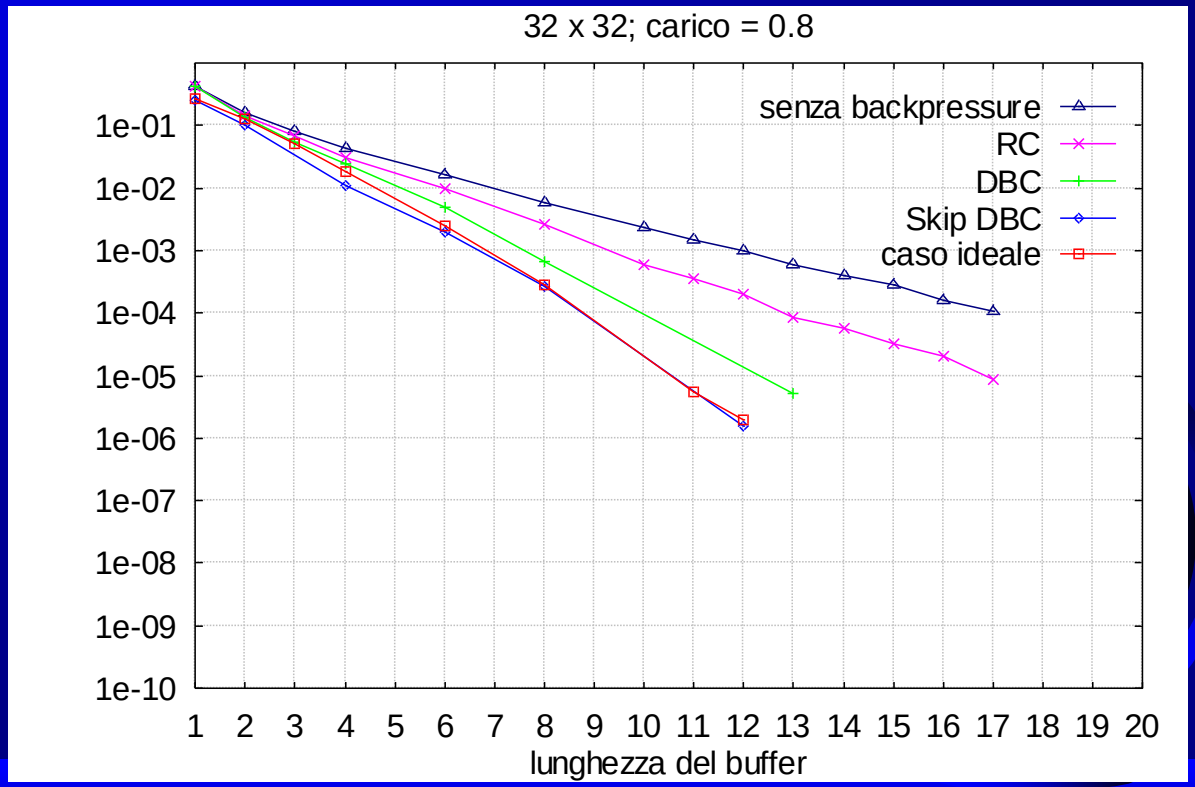
Tipi di controllo di flusso

- Si diversificano a seconda della tecnica con cui viene scelto il pacchetto da accettare e delle modalita'di gestione delle ritrasmissioni
- **random choice:** questa tecnica e'la piu'semplice: il pacchetto da inoltrare viene scelto in maniera casuale tra quelli contentendenti per l'accesso al buffer. Richiede l'invio di un segnale a ritroso con l'indicazione dei pacchetti che devono essere ritrasmessi
- **delay based choice (DBC):** tra i pacchetti contendenti viene scelto quello che ha gia'subito il ritardo maggiore (ed e'quindi piu'prossimo ad andare perduto). Richiede l'invio, insieme al pacchetto, dell'informazione relativa alla linea di ritardo da cui proviene
- **skip-DBC:** nel momento in cui si verifica la contesa viene assegnato a ciascun pacchetto il ritardo con cui effettuare la ritrasmissione. Pacchetti diretti ad altri buffer possono "saltare" il pacchetto in attesa, riducendo l'effetto di testa. Non c'e'fuori sequenza perche'i pacchetti che avanzano appartengono ad altre connessioni virtuali



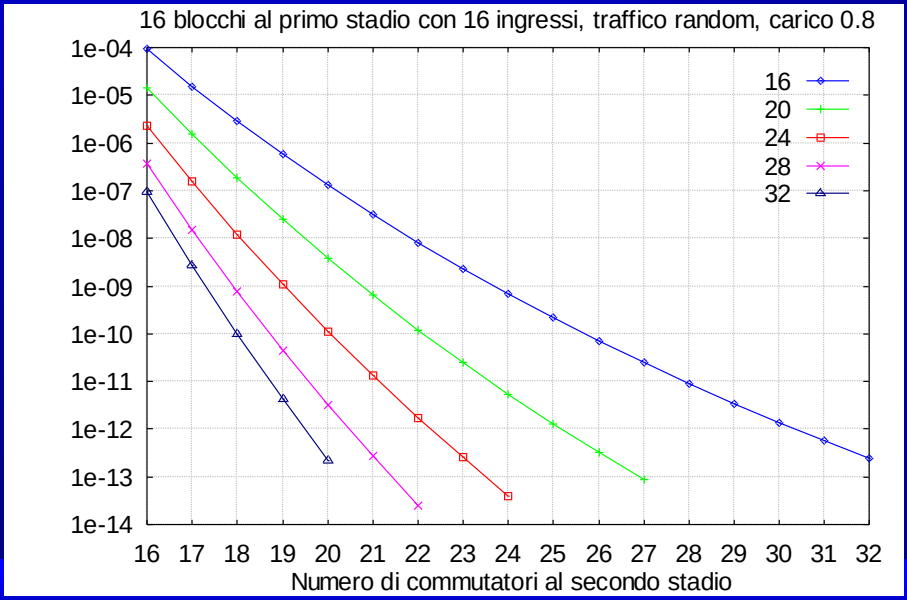
Controllo di flusso:prestazioni

- Se non si introduce controllo di flusso non si riescono ad ottenere le prestazioni desiderate
- La tecnica *skip* consente di ottenere prestazioni simili a quelle del controllo di flusso *ideale* realizzabile in tecnologia elettronica



Espansione:prestazioni

- L'espansione produce lo spostamento della perdita verso il terzo stadio
- dal grafico e'possibile dedurre il fattore di espansione che rende trascurabile la probabilita'di perdita al primo stadio (e al secondo) in corrispondenza a prefissate capacita'di buffer
- in condizioni di annullamento della probabilita'di perdita nei primi due stadi il commutatore multistadio si comporta come un elemento con accodamento in uscita



Esempio di dimensionamento

- Occorre dimensionare il commutatore in modo da ottenere probabilita'di perdita
- 10-9 con carico 0.8
- I dimensionamenti s fanno con ipotesi di traffico bernoulliano distribuito in maniera casuale sugli ingressi
- I requisiti di memoria si possono individuare facendo riferimento a una rete con espansione che da luogo a perdita solo all'ultimo stadio
- Occorrono piu'di 40 locazioni per raggiungere gli obiettivi di perdita: tale lunghezza non e'fisicamente realizzabile
- Esistono tecniche che realizzano buffer piu'lunghi utilizzando gli elementi descritti

