

ITIS B. Castelli - Telecom Italia

«TIM: Il mondo Iperconnesso»

VIII° Edizione - 2016

4° modulo: IL MONDO DELLE TRASMISSIONI

*Prof. Marco Belloni
M.d.M. Marco Zanini
Diego Forelli*



4^ Sessione:

Principi base di una rete di trasporto

Funzionalità principali di una rete di trasporto

Panoramica sulle tecnologie delle reti di trasporto

La rete di trasporto nazionale

L'evoluzione della rete di trasporto nazionale

I sistemi di gestione

Principi base di una rete di trasporto



Rete di telecomunicazione

- Una Rete di Telecomunicazione è la *piattaforma* su cui è possibile eseguire la logica di ogni servizio supportato
- Consente quindi di
 - *trasferire* l'informazione a distanza secondo quanto richiesto nell'espletamento di ogni servizio (**Infrastruttura**)
 - *controllare e gestire le sue parti componenti*, in modo che il trasferimento avvenga entro prefissati obiettivi di *qualità* e di *costo* (**Sistema di Gestione**)
 - assicurare al cliente/utente e al fornitore *il controllo e la gestione dei servizi supportati* (**Piattaforme di Servizio**)



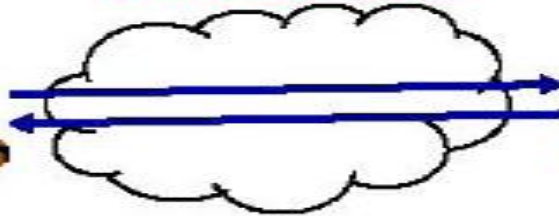
La comunicazione a distanza

- Una *comunicazione a distanza* avviene sulla base di un rapporto di *domanda* e di *offerta*
- *Oggetto* del rapporto è un *Servizio di Telecomunicazione*
- **Soggetti del rapporto sono:**
 - il *cliente del servizio* (service customer)
 - il *fornitore del servizio* (service provider)
 - il *gestore di rete* (network operator)



Esempi di Servizi (1)

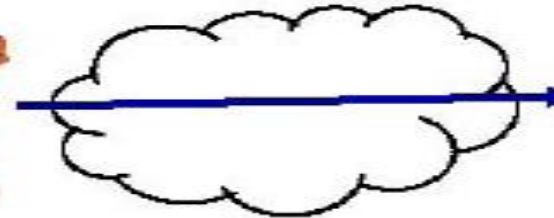
Telefonia Fissa



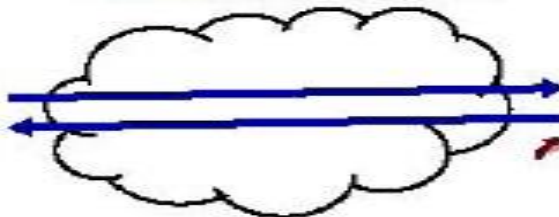
Scambio real-time di informazioni vocali (emulazione di una conversazione in presenza)

Short Message Service

Consegna veloce (non real time) di brevi messaggi di testo



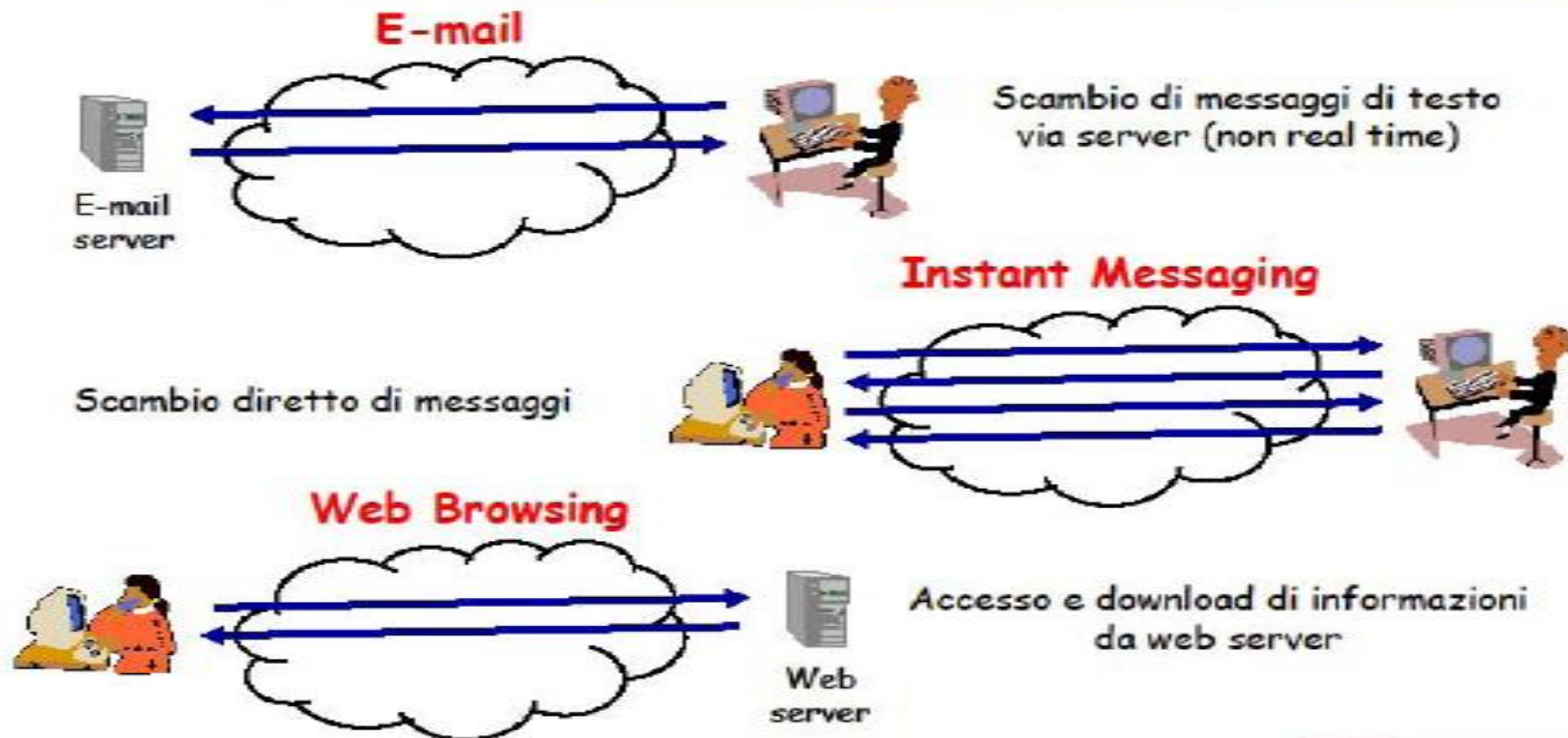
Telefonia Mobile



Scambio real-time di informazioni vocali con utenti in mobilità

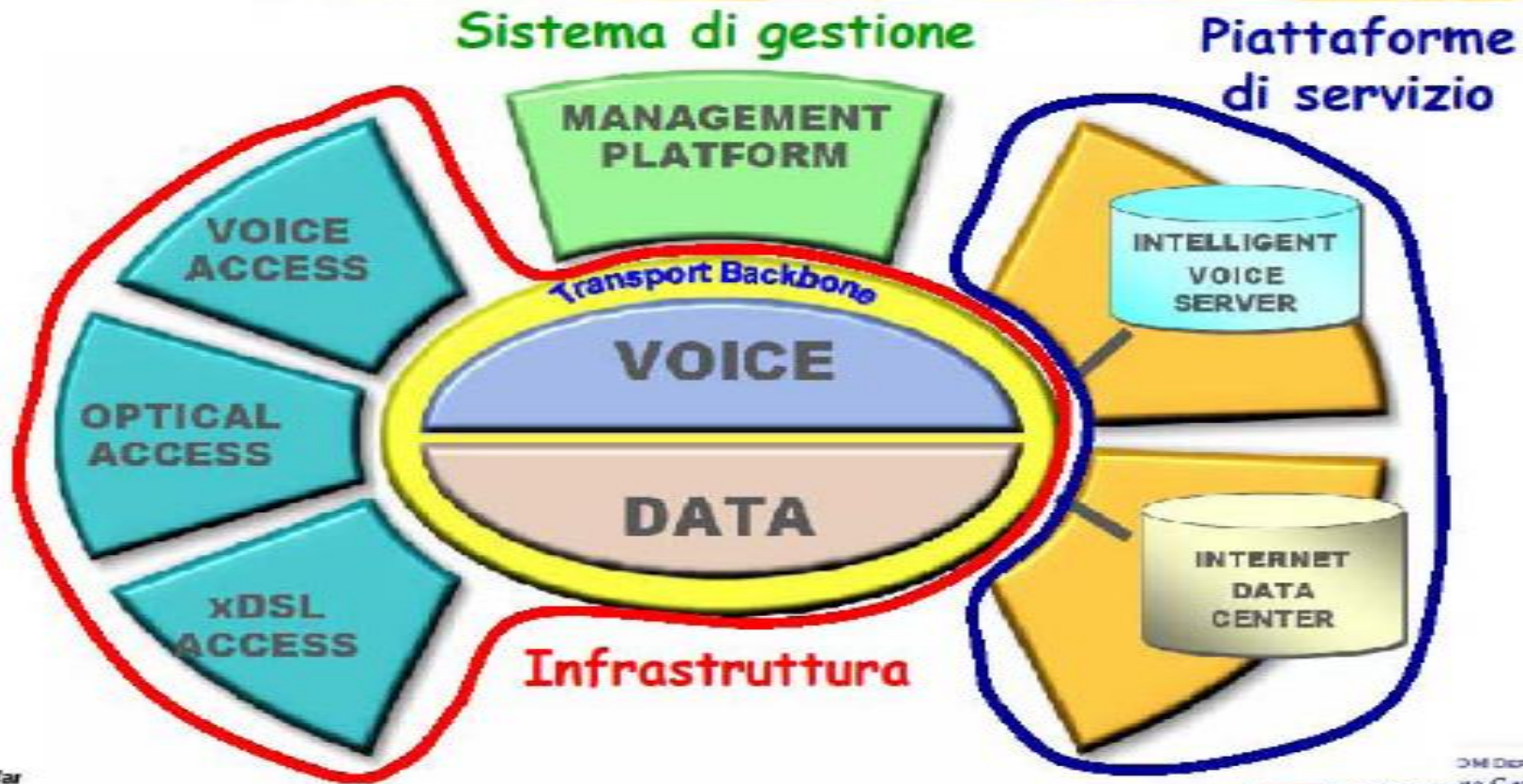


Esempi di Servizi (2)





Rete di telecomunicazione



Fondar

DM Dept
Telecom Italia Group



Topologia della rete

- Il modello più semplice e intuitivo di una rete di telecomunicazioni descrive la relativa *configurazione geometrica (topologia)*
- Elementi componenti di questa sono i *rami* e i *nodi*
 - Un *ramo* costituisce elemento di connessione di due nodi
 - Un *nodo* è l'estremità comune di due o più rami convergenti nello stesso punto
 - Il significato di queste entità geometriche è diverso a seconda del tipo di operatività che si considera
- Nell'operatività di una rete occorre distinguere le funzioni di *natura logica* da quelle di *natura fisica*
 - Entrambe concorrono al trasferimento della informazione tra sorgente e collettore, ma con finalità ben distinte



Funzioni

- **Funzioni di natura logica**
 - L'oggetto di queste funzioni è l'informazione
 - Funzioni di **elaborazione**
 - Funzioni di **trasferimento**
- **Funzioni di natura fisica**
 - Provvedono al trasferimento dei *segnali* che supportano l'informazione
 - Funzioni di tipo trasmissivo
 - Funzioni di **trasmissione** dei segnali sui mezzi fisici di comunicazione

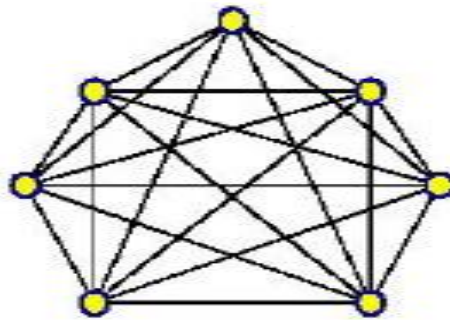


Topologia della rete logica (1/3)

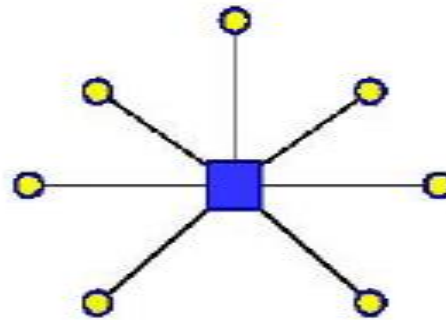
- Un ramo rappresenta il *percorso diretto* che l'informazione segue per essere trasferita tra due nodi
- Un nodo descrive il *mezzo di scambio* tra due o più rami che ad esso fanno capo
 - lungo un ramo della topologia logica può essere eseguito un insieme di funzioni di tipo fisico
- Rami e nodi sono coinvolti nella formazione di *percorsi di rete*



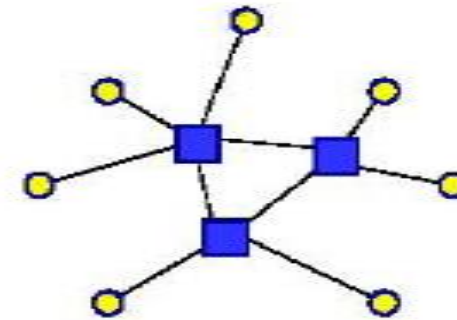
Topologia della rete logica





a
Maglia Completa



b
Stella



c
Topologia gerarchica

-  apparecchio o nodo terminale
-  nodo di commutazione



Topologia della rete logica

- Un ramo è in corrispondenza con gli apparati di rete che svolgono la funzione di *multiplazione*
 - la funzione di multiplazione ha lo scopo di ottimizzare l'uso della risorsa trasmissiva messa a disposizione dalla rete fisica
- Un nodo è in corrispondenza con gli apparati di rete che svolgono la funzione di *commutazione* (commutatori)
 - la funzione di commutazione ha lo scopo di consentire a ciascun flusso informativo di seguire il percorso tra sorgente e collettore all'interno della rete logica



Sezioni della rete logica

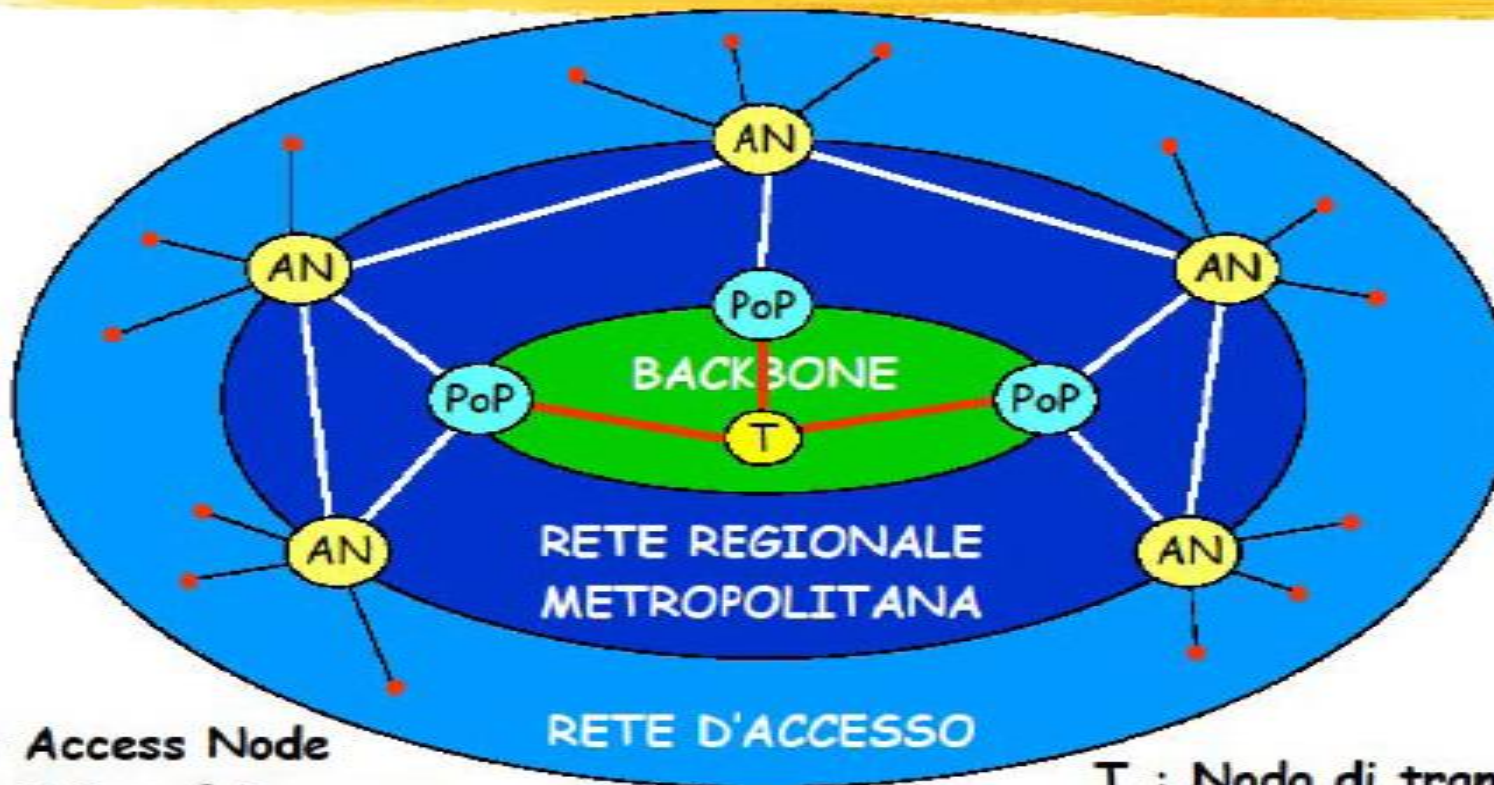
- **Rete di accesso**
 - Connette gli utenti terminali ai Nodi di Accesso (**Access Node** - AN) e fornisce la connettività necessaria per il supporto dei servizi agli utenti
- **Rete Regionale/Metropolitana**
 - Raccoglie i flussi di traffico generato da utenti localizzati in un'area geografica (es. grandi città, regione)
 - Forma flussi ad alta capacità che sono diretti verso il backbone di rete per la commutazione a lunga distanza (**Traffic Grooming**)
 - I nodi di frontiera con il backbone sono detti **Point of Presence** (PoP)
- **Backbone (rete di transito)**
 - E' la parte centrale della rete che ha lo scopo realizzare l'interconnessione delle aree regionali e la commutazione dei flussi ad alta capacità provenienti da queste



**Capacità
crescente**



Struttura di una rete



AN: Access Node
PoP: Point of Presence

T : Nodo di transito

Fondamenti di Reti - Prof. Marco Listanti - A.A. 2010/2011





Rete di trasporto

- Comprende le sezioni di rete Regionale-Metropolitana e di Backbone
- Ha il ruolo di trasferire l'informazione tra *nodi di accesso*, utilizzando, se necessario, anche *nodi di transito*
- E' la sede di *risorse condivise* (di trasferimento e di elaborazione)
- E' supportata da una rete fisica, che usa in modo praticamente esclusivo le fibre ottiche

Le funzionalità principali di una rete di trasporto

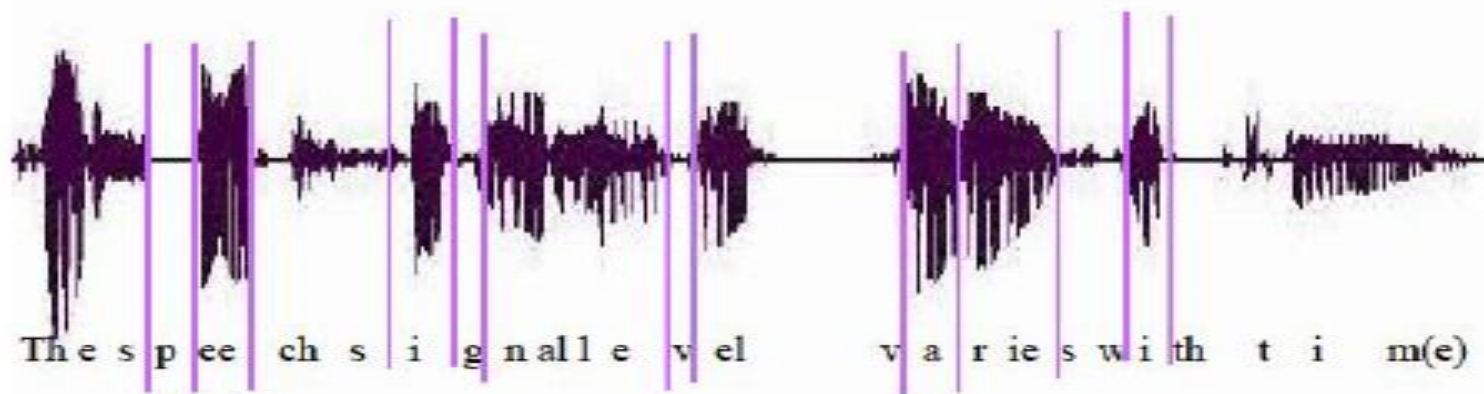
La rete di trasporto

- ▶ **Compito**
 - ▶ Trasportare i flussi di traffico fra i nodi di una rete
 - ▶ Garantire l'integrità del contenuto trasportato
- ▶ **Caratteristiche principali**
 - ▶ Efficienza: capacità elevata, basso ritardo, basso costo
 - ▶ Scalabilità: adattamento al crescere della domanda di banda
 - ▶ Protezione: garantire la sopravvivenza ai guasti
 - ▶ Gestibilità: garantire un'efficace configurazione e controllo delle funzionalità svolte dalla rete



Flusso Stream: esempio segnale vocale

- Un segnale vocale nella forma originale è di tipo analogico
- Un segnale vocale deve essere digitalizzato e trasmesso in tempo reale
- Il livello del **segnale analogico** varia nel tempo



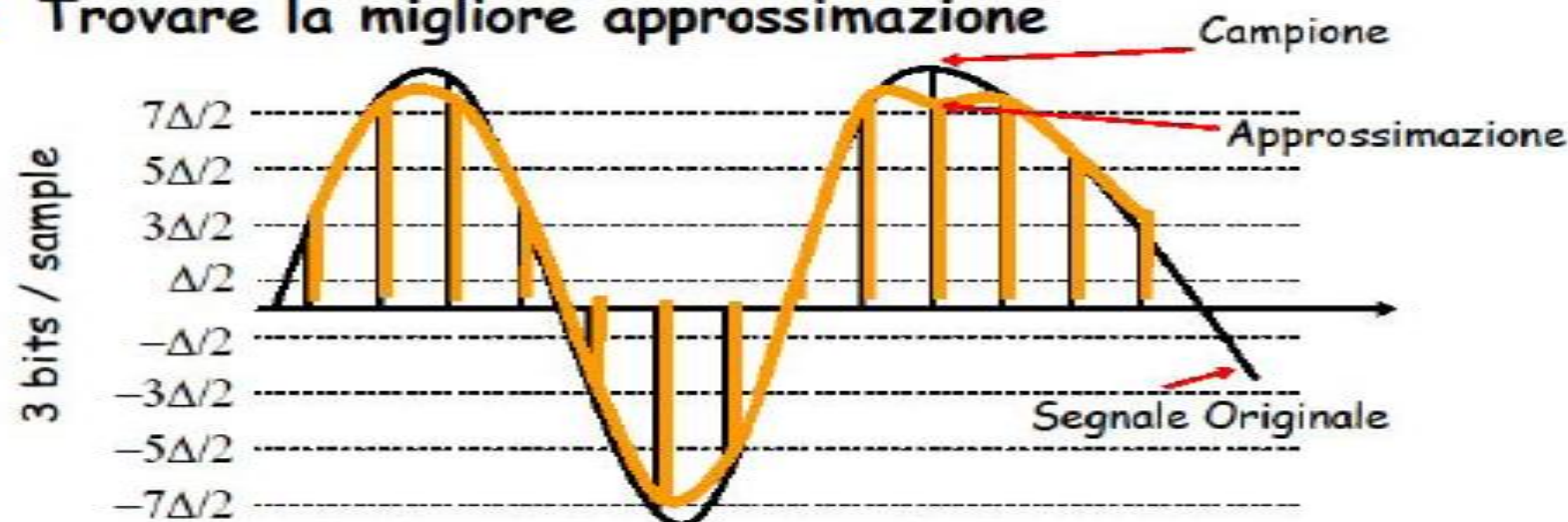
Fondati

Dipartimento
Group



Digitalizzazione di segnali analogici

- **Campionamento** (sampling) del segnale analogico nel tempo e **codifica** dell'ampiezza dei campioni
- Trovare la migliore approssimazione



$$R_s = \text{Bit rate} = \# \text{ bit/sample} \cdot \# \text{ sample/second}$$



Esempio: Voce & Audio

Codifica vocale (Telefonia)

- $W_s = 4 \text{ kHz} \rightarrow 8000$ sample/sec
- 8 bit/sample
- $R_s = 8 \times 8000 = 64 \text{ kbit/s}$
- Nella telefonia mobile si usano codifiche con maggiore rapporto di compressione
 - $R_s = 8-12 \text{ kbit/s}$

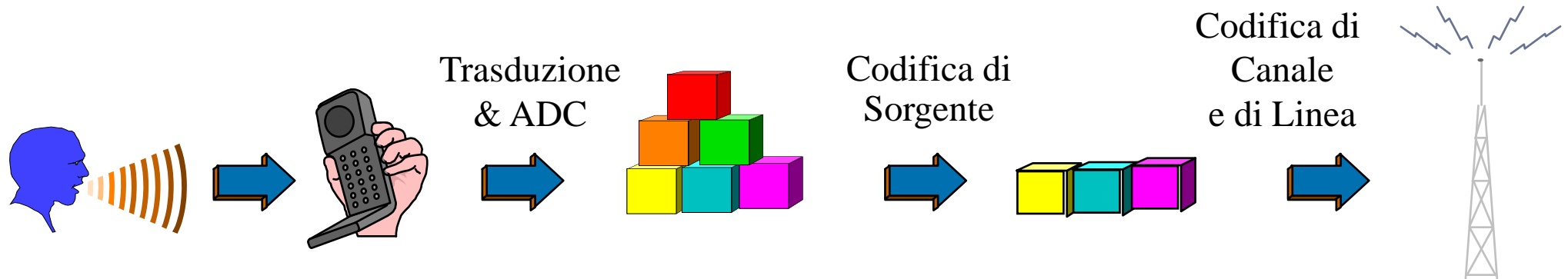
CD Audio

- $W_s = 22 \text{ kHz} \rightarrow 44000$ sample/sec
- 16 bit/sample
- $R_s = 16 \times 44000 = 704 \text{ kbps}$ per canale
- MP3 usa una codifica con maggiore rapporto di compressione
 - $R_s = 50 \text{ kbit/s}$ per canale audio

Codifica del Segnale Vocale

La codifica di sorgente estrae dalla forma d'onda l'informazione "significativa" producendo un flusso binario

La codifica di canale e di linea sono processi che permettono di realizzare un collegamento numerico affidabile tra sorgente e destinazione

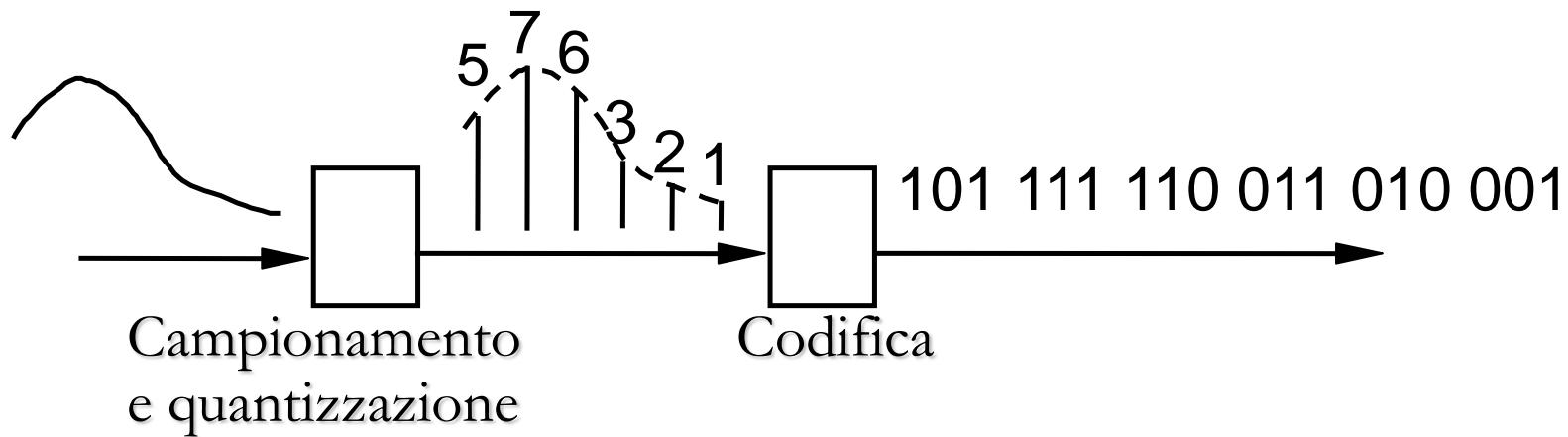


Pulse Code Modulation

Campionamento

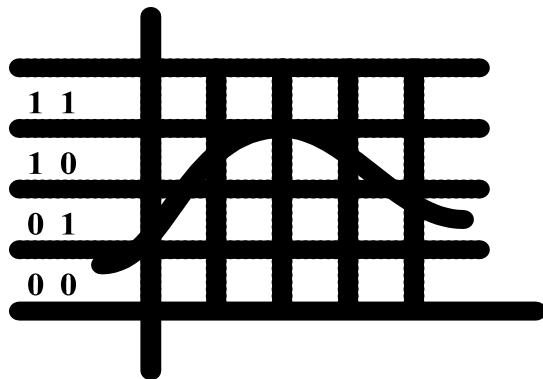
Quantizzazione

Codifica



Codifica PCM

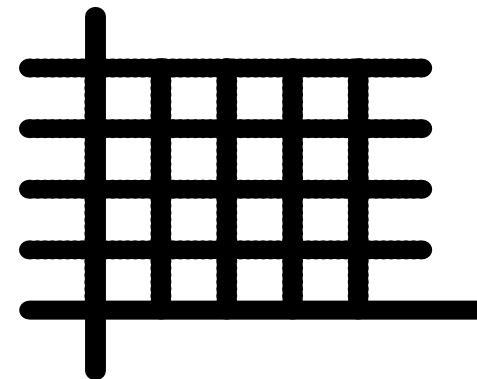
Per ottenere una rappresentazione numerica del segnale, è necessario:
misurare l'ampiezza del segnale in istanti isolati di tempo (**campionamento**)
rappresentare l'ampiezza dei campioni con precisione finita (**quantizzazione**)



segnale analogico



codifica PCM



campioni quantizzati

Generalità

Il multiplex primario opera le funzioni di codifica e decodifica PCM e la moltiplicazione TDM

Esso esegue le seguenti operazioni:

- codifica di sorgente a 64 kbit/s

 - filtraggio per limitare la banda a 4 kHz

 - campionamento ad 8 kHz (periodo 125 μ s)

 - codifica PCM ad 8 bit

- creazione di una trama a 2048 kbit/s

 - moltiplicazione TDM di 30 canali telefonici byte a byte

 - inserimento parola di allineamento e bit di servizio (8 bit)

 - eventuale inserimento della segnalazione associata al canale (8 bit)

Poiché tutte le temporizzazioni dei flussi numerici sono ricavate da un unico clock, non esistono problemi di sincronizzazione

Trama

La trama è organizzata in 32 intervalli temporali (TS = Time Slot) ciascuno contenente 8 bit:

TS0: parola di allineamento

A = X0011011 (trama pari)

B = X1S₁XXXXX (trama dispari): X = bit di servizio per uso nazionale,
S₁ = allarme terminale lontano (ATL)

TS1 ÷ TS15: 15 canali telefonici

TS16: segnalazione associata o un ulteriore canale telefonico

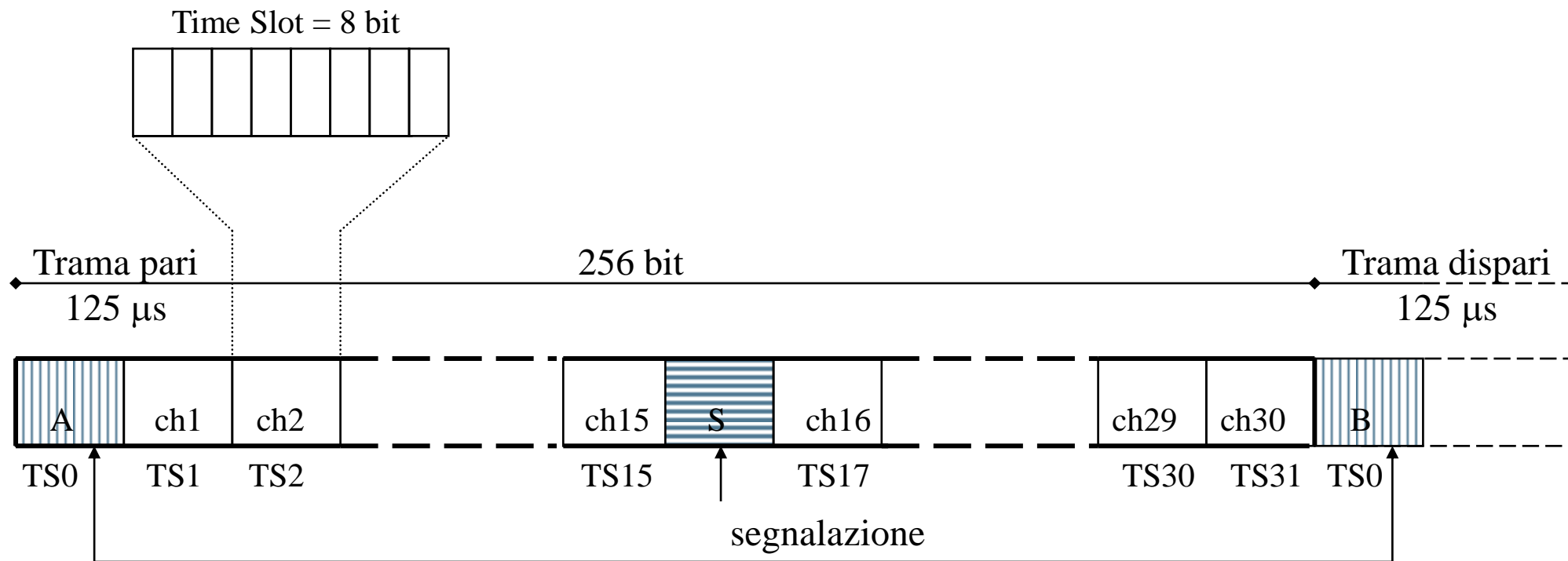
TS17 ÷ TS31: 15 canali telefonici

Nel TS0 sono inserite anche informazioni aggiuntive: allarmi e informazioni di servizio. La nomenclatura corrente definisce

payload i bit che costituiscono l'informazione utile dell'utente

over-head i bit aggiuntivi che servono per il funzionamento e la gestione del link trasmissivo

Struttura di Trama a 2048 kbit/s



N.B. La struttura di trama americana è costituita da 24 canali di 8 bit (traffico + segnalazione) ed un bit per l'allineamento, in totale 193 bit. La velocità di cifra è pertanto $193 \times 8000 = 1544$ kbit/s

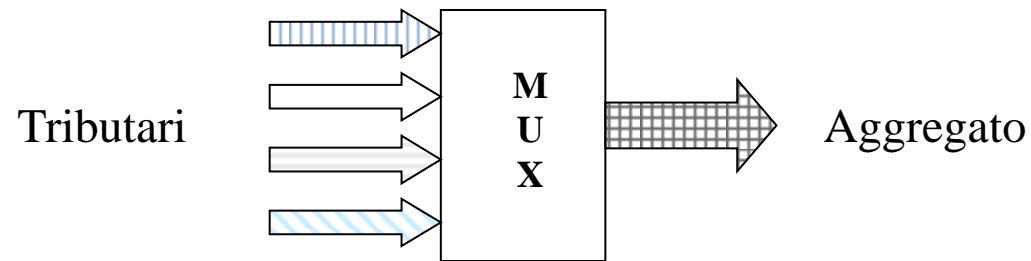
Allineamento A e B

- A = X0011011
- B = X1S₁XXXXX

Generalità

La multiplazione permette a più flussi numerici, denominati **tributari**, di essere affasciati a divisione di tempo (TDM) in un unico flusso a più alta velocità, denominato **aggregato**

Le apparecchiature corrispondenti sono denominate **multiplatori**



Poiché le sorgenti di temporizzazioni sono molteplici, tributari ed aggregato, si pone il problema della loro sincronizzazione

Classificazione temporale dei flussi numerici

Due flussi numerici sono detti:

sincroni: quando i rispettivi cronosegnali hanno la stessa frequenza *istantanea* (cioè differenza di fase costante)

mesocroni: quando i cronosegnali hanno la stessa frequenza *media* (cioè fase variabile)

plesiocroni: quando i cronosegnali hanno differenze di frequenza rispetto ad un medesimo valore nominale contenute in un intervallo prefissato

eterocroni: quando i cronosegnali hanno una frequenza nominale diversa

I sistemi trasmissivi reali si basano su flussi plesiocroni e mesocroni, ma nel gergo trasmissivo essi sono impropriamente denominati:

asincroni, quelli che di fatto sono **plesiocroni**

sincroni, quelli che di fatto sono **mesocroni**

Panoramica sulle tecnologie impiegate nelle reti di trasporto

In ordine cronologico...

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

OTN (Optical Transport Network)

ROADM (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer)

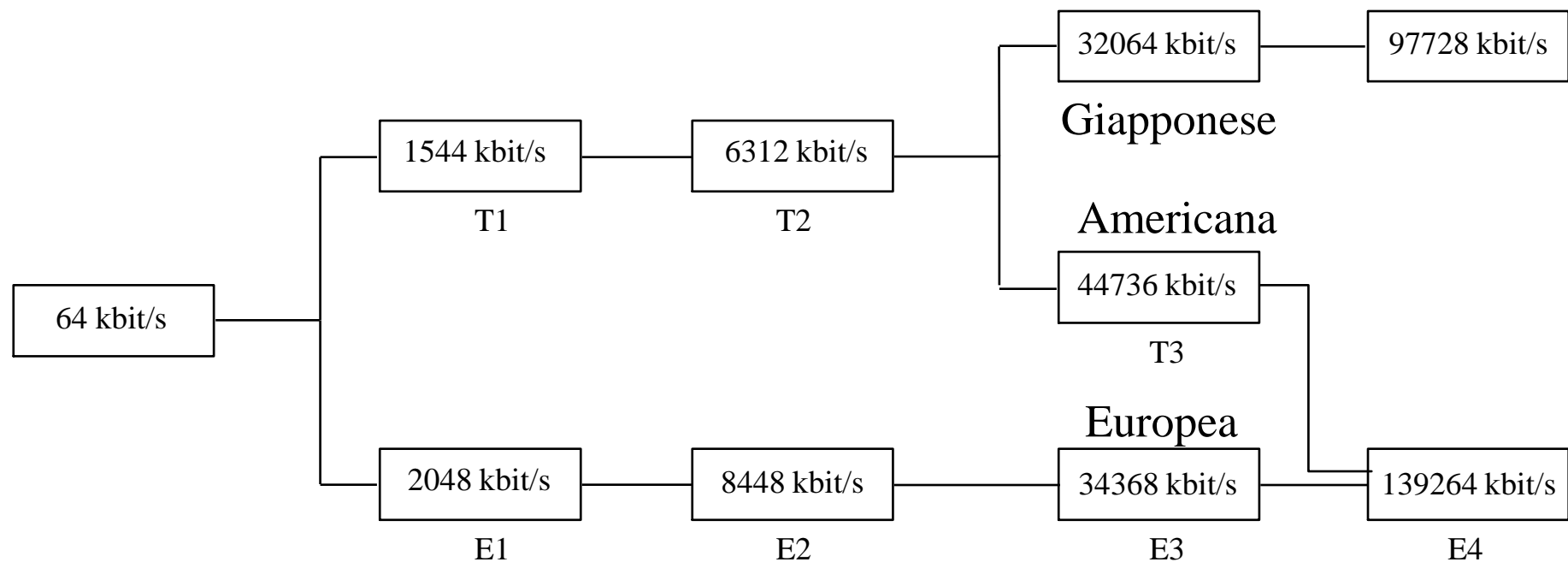
PTN (Packet Transport Network)

Gerarchia plesiocrona PDH

Nel PDH è possibile moltiplicare solo flussi di uguale capacità

La struttura gerarchica europea è basata sulla moltiplicazione bit a bit di quattro tributari.

Gerarchie numeriche PDH (ITU-T G.702)



Gerarchia plesiocrona PDH

La gerarchia Europea è indicata con la lettera E seguita dal numero di livello, E1, E2 (in disuso) E3, e E4. Lo sviluppo del flusso E5, 565 Mbit/s, è stato bloccato dall'utilizzo della gerarchia SDH

La gerarchia negli USA è indicata con T1, T2 e T3

Tali flussi sono anche denominati DMX, Dati Multipli a livello X, con X=0, 1, 2, 3, 4 e 5

Le caratteristiche elettriche e fisiche delle interfacce nella gerarchia numerica sono specificate nella Raccomandazione G.703

Tecnica di Multiplazione Plesiocrona

In questo caso non esiste un clock master ma ogni apparato lavora con un clock la cui frequenza differisce da quella nominale entro tolleranze specificate dallo standard

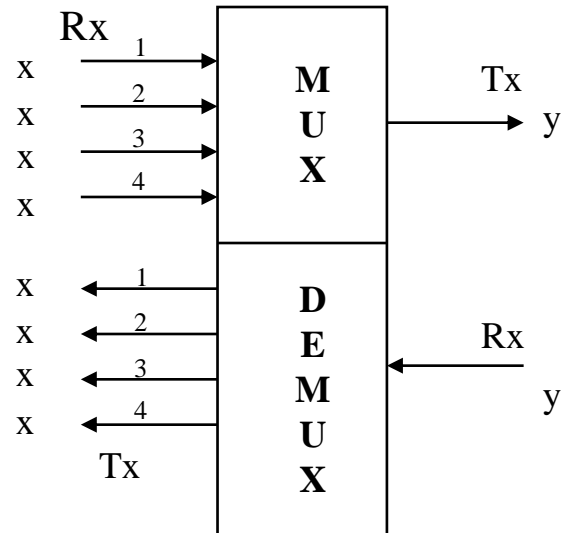
Per utilizzare solo un metodo di stuffing, quello positivo, il bit rate attribuito ad ogni tributario è leggermente superiore al massimo bit rate del tributario all'ingresso del moltiplicatore

Caratteristiche dei sistemi PDH

Caratteristiche	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
Frequenza di cifra [Mbit/s]	2.048 ±50ppm	8.448 ±30ppm	34.368 ±20ppm	139.264 ±15ppm	564.992 ±15ppm
Capacità telefonica [canali]	30	120	480	1920	7680
Lunghezza trama [bit]	256	848	1536	2928	2688
Durata trama [μs]	125	≈100	≈44.7	≈21	≈4.8
Codice interfaccia	AMI/HDB3	AMI/HDB3	HDB3	CMI	non standard

Schema di un Multiplatore PDH

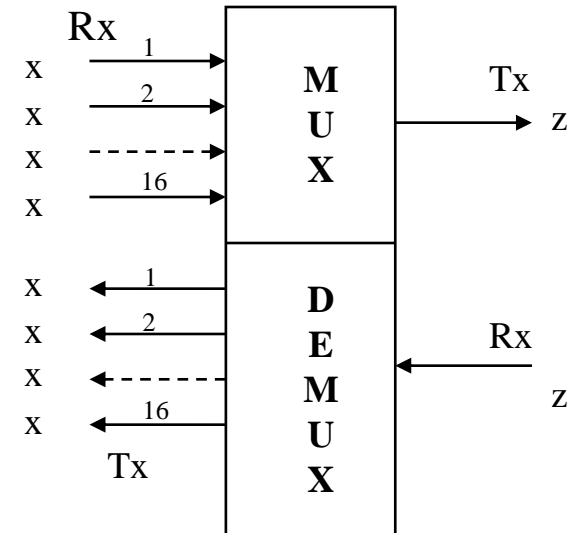
Tributari x/y Aggregato



Singolo Salto

Tributario x	Aggregato y
2	8
8	34
34	140
140	565

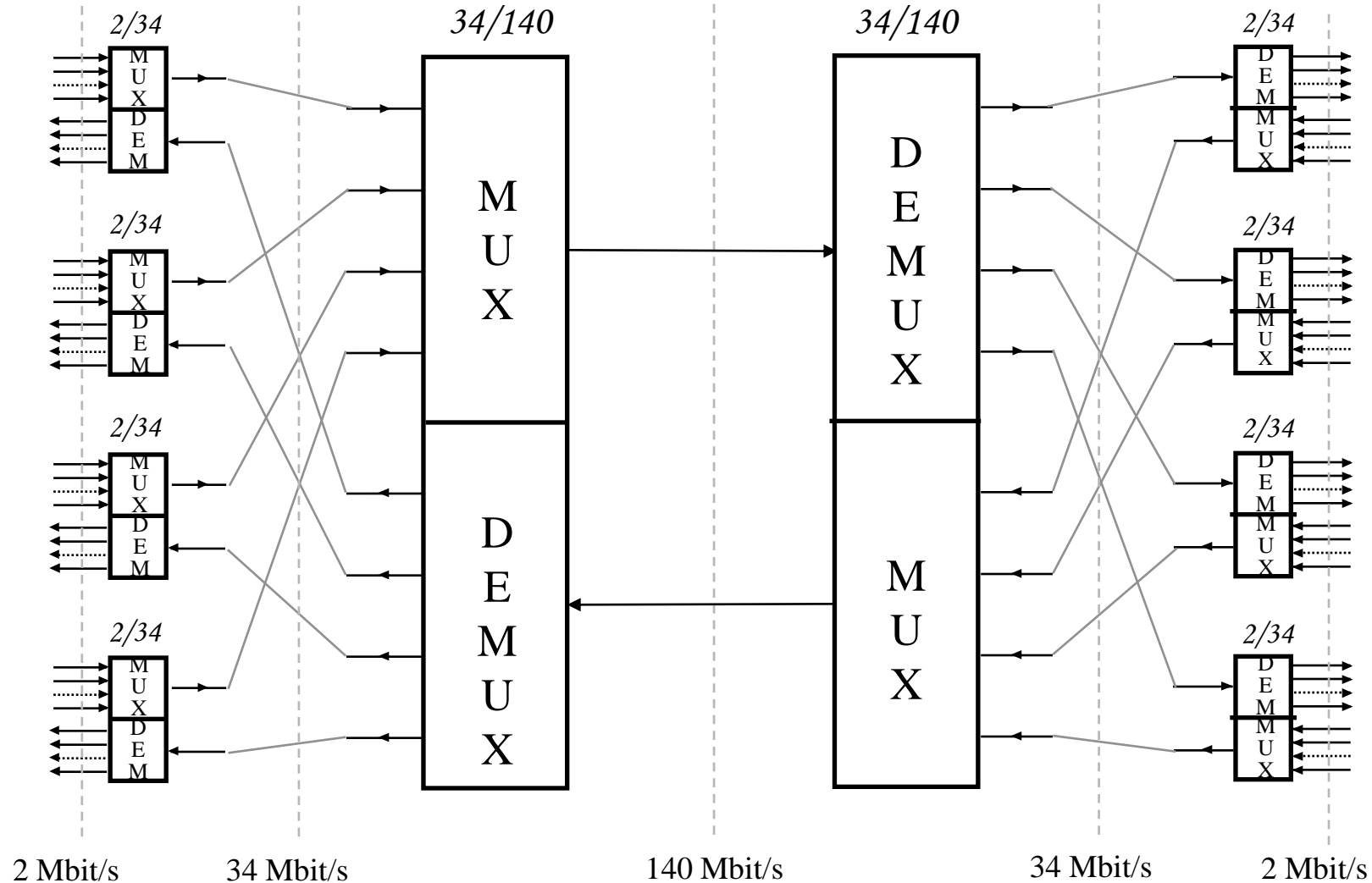
Tributari x/z Aggregato



Doppio Salto

Tributario x	Aggregato z
2	34
8	-
34	565
140	-

Multi-Demultiplazione 2/140 Mbit/s

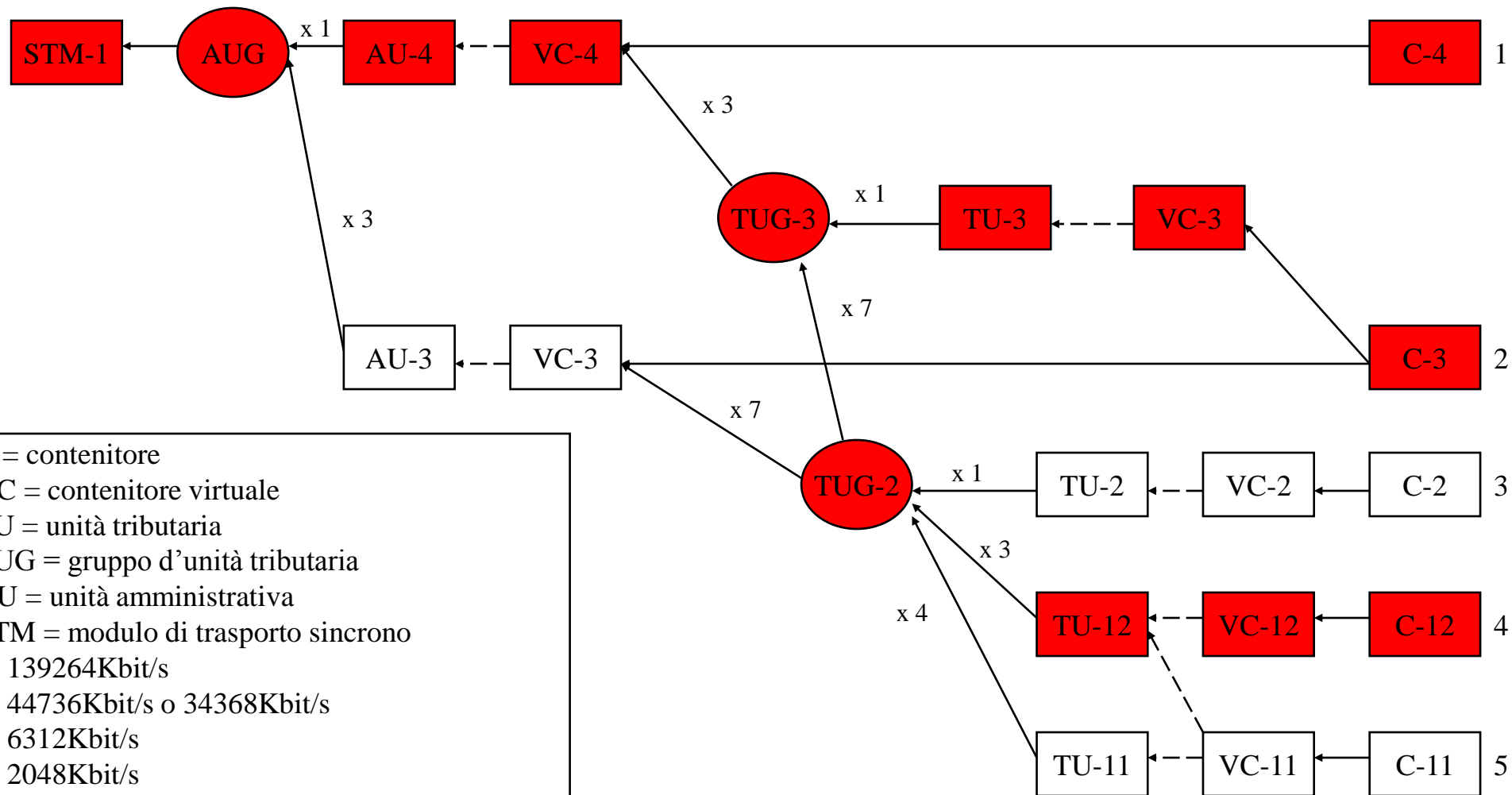


Gerarchia sincrona SDH

La rete SDH, basata sulla gerarchia sincrona (segnali mesocroni : segnali aventi la stessa frequenza ma non la stessa fase), attuale è definita dalle raccomandazioni ITU-T G.707, G.708 e G.709 che prevedono quanto riportato nella tabella seguente :

LIVELLO GERARCHICO	FREQUENZA DI CIFRA	TEMPO DI TRAMA
STM-1	155,520 Mb/s	125 μ s
STM-4	622,080 Mb/s	125 μ s
STM-16	2488,320 Mb/s	125 μ s
STM-64	9953,280 Mb/s	125 μ s

STM-1 FRAME MULTIPLEXING STRUCTURE



Modulo di Trasporto Sincrono STM-1

Il modulo di trasporto sincrono è costituito da un PAYLOAD (AU4) e da una capacità di servizio SOH (Section Overhead), la quale si suddivide a sua volta in RSOH (Overhead di sezione di rigenerazione) e MSOH (Overhead di sezione di moltiplicazione).

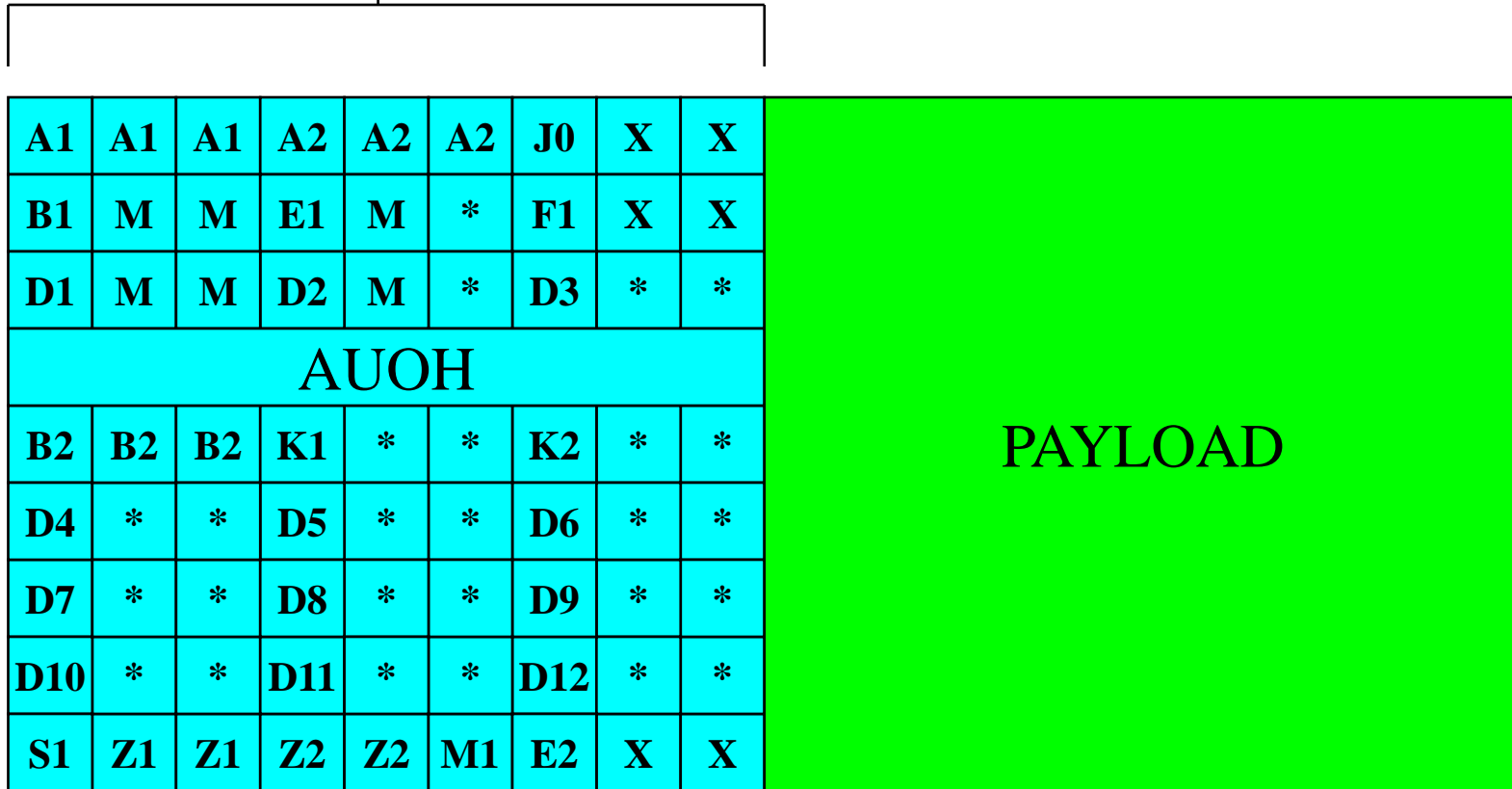
L'SOH è strutturata nel modo sopraccitato in quanto la parte di RSOH viene “estratta” e “ricostruita” dagli apparati di rigenerazione, mentre gli apparati che effettuano Add Drop Insert di flussi PDH sono in grado di leggere e ricostruire entrambi i tipi di sezione.

In particolare un flusso STM-1 (9 righe e 270 colonne) è strutturato come indicato dalla figura successiva.

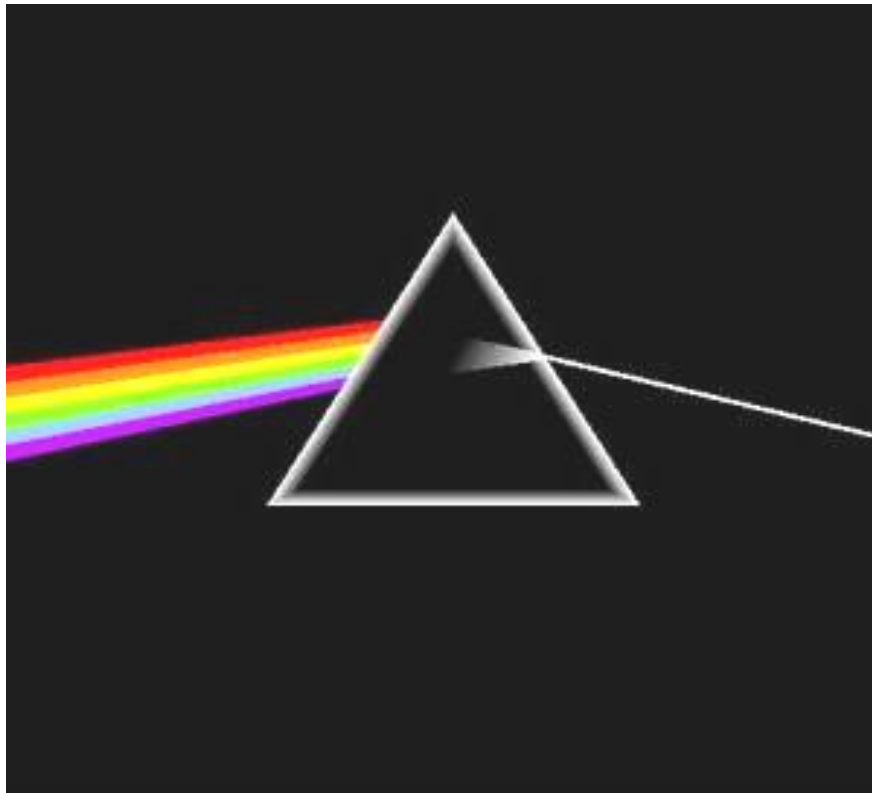
SOH

R
S
O
H

M
S
O
H



SISTEMI DWDM



Le esigenze

Aumento del numero di comunicazioni

Aumento della velocità di trasmissione della singola comunicazione

Trasporto integrato di servizi voce, video, dati

Migliore sfruttamento della banda passante del mezzo trasmissivo

Raddoppio della frequenza trasmissiva dei collegamenti ottici terrestri ogni due anni circa

Le risposte

Innalzamento della capacità trasmissiva nel mondo PDH con l'utilizzo di apparati fuori standard ETSI (565 Mbit/s)

Introduzione della tecnologia SDH (TDM) per il trasporto integrato di varie tipologie di segnale

Innalzamento del bit rate degli apparati SDH fino a 40 Gbit/s

Introduzione di nuove tecnologie per l'ottimizzazione della banda passante sulle fibre ottiche (WDM Wavelength Division Multiplexing)

TDM oltre 40 Gbit/s perché no

Basso sfruttamento della capacità delle fibre, è stimato che gli apparati TDM utilizzano solo l'1% della capacità intrinseca della fibra

Esigenza di fibre di alta qualità

WDM perché sì?

Il sistema di trasmissione WDM combina più segnali ottici su di un'unica fibra, trasmettendo i segnali ottici componenti la trasmissione d'aggregato su lunghezze d'onda differenti (λ)

Consequente aumento della capacità trasmissiva senza dover posare nuove fibre

Abbassamento dei costi degli EDFA (Erbium Doped Fibre Amplifier)

Gli amplificatori ottici

Gli amplificatori ottici sono “laser senza specchi”

Il guadagno è realizzato direttamente in fibra

L’amplificatore più diffuso è l’EDFA (Erbium Doped Fibre Amplifier)

Pompaggio del mezzo attivo con un fascio ottico

Costituiti da una fibra simile ad una fibra ordinaria (in silice), ma oltre ai droganti necessari per la realizzazione della corretta distribuzione dell’indice di rifrazione, contiene anche il drogante attivo

Sfruttando l’effetto RAMAN si può ottenere il guadagno direttamente nella fibra non drogata

Gli amplificatori ottici vantaggi

Elevata potenza di uscita

Uniformità spettrale del guadagno

Banda di guadagno molto larga

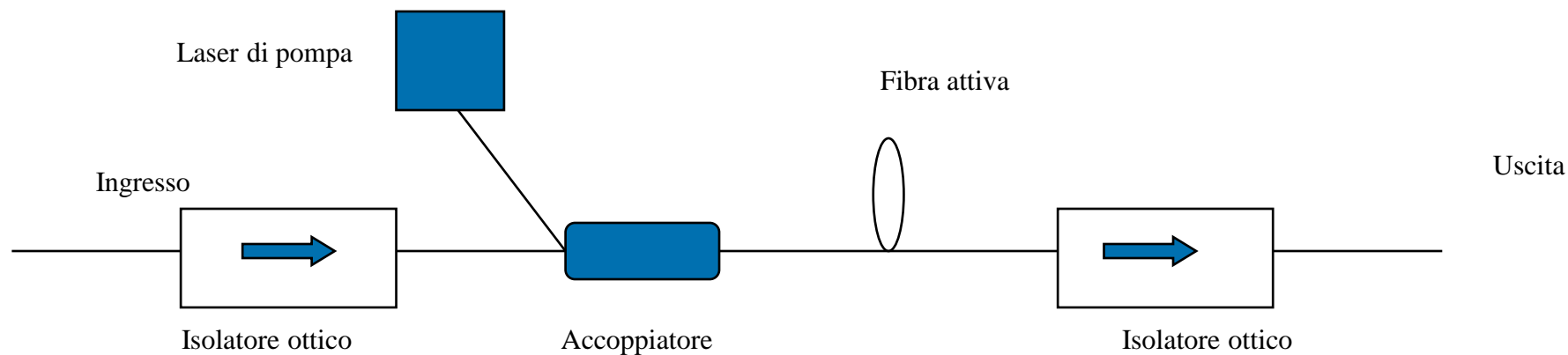
Basso rumore

Come funzionano gli EDFA

In condizioni normali l'erbio assorbe fotoni a 1550 nm

Per far prevalere l'emissione, occorre "caricare" (pompare) gli atomi di erbio fornendo loro energia dall'esterno

Una volta "caricato" l'erbio può generare un segnale attorno ai 1550 nm o amplificarne uno che investe gli atomi pompanti (effetto laser)



Le fibre ottiche caratteristiche

Le fibre ottiche si dividono in:

multimodo il nucleo ha un diametro varia da 50 μm (1 μm 10⁻⁶ M)

monomodo il nucleo ha un diametro di 10 μm

Le fibre maggiormente utilizzate nelle telecomunicazioni sono le fibre monomodo

Le fibra G. 652

E' la fibra più diffusa (90% della fibra installata dai principali operatori)

***Dispersione cromatica in terza finestra pari a 16/18 ps/nm/Km (piuttosto elevata),
attenuazione attorno a 0,2 dB/Km***

***Fino ad una bit rate di 2,5 Gbit/s la dispersione non rappresenta un problema, passi di
rigenerazione di 600 Km, grazie agli OLA***

***Con bit rate di 10 Gbit/s le sezione di rigenerazione si riducono al massimo a 100 Km,
vanificando gli effetti dell'amplificazione ottica in linea***

***Copre la totalità dei collegamenti regionali e circa il 10% dei collegamenti della rete
nazionale***

Ottimizzata in dispersione intorno a 1310 nm

Compensa gli effetti dell' FWM

Le fibra G. 653

Diffusione limitata nel mondo

E' caratterizzata da una dispersione cromatica praticamente nulla in terza finestra

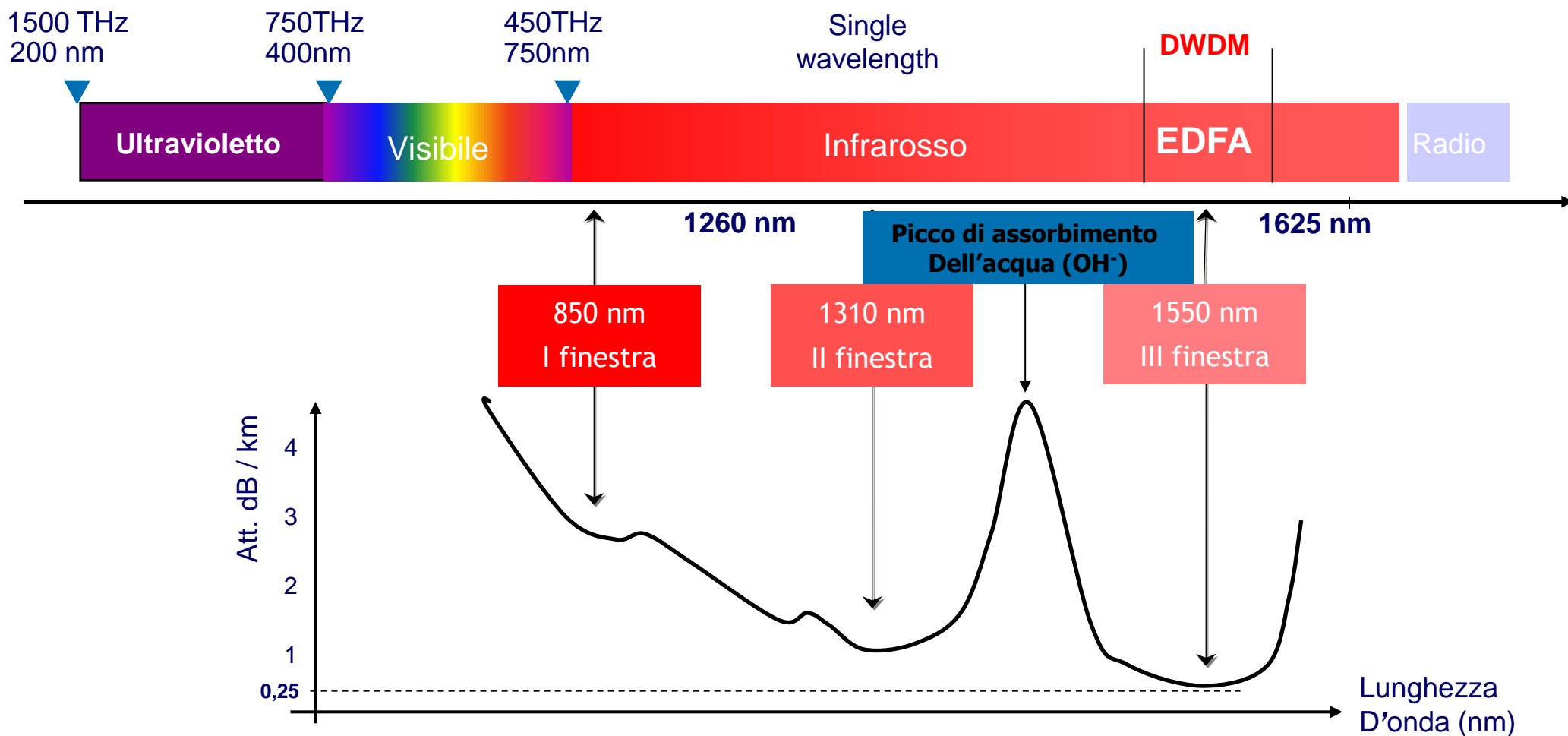
Ha un valore di dispersione di polarizzazione di circa 2/3 volte più elevato rispetto alla fibra G.652

E' quindi possibile effettuare collegamenti amplificati otticamente di diverse centinaia di chilometri a 10 Gbit/s, ma se la frequenza di cifra sale a 40 Gbit/s la PMD diventa estremamente penalizzante ed il passo di riduce a poche decine di chilometri

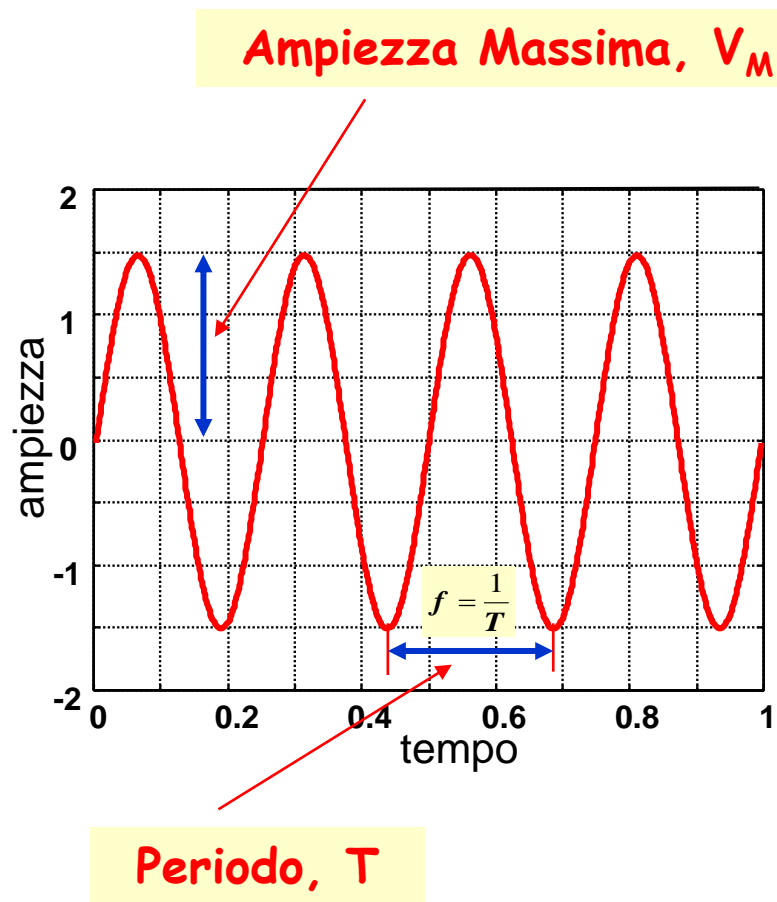
Costituisce il 90% dei collegamenti della rete nazionale

In banda “C” enfatizza gli effetti dell’FWM in banda “L” si comporta come una fibra G.652

La luce ... e la fibra



Periodo, frequenza, lambda, indice



Frequenza:

numero di cicli al secondo

$$f = \frac{1}{T}$$

Lunghezza d'onda:

Spazio percorso in un periodo T

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

Indice di rifrazione:

Rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e quella nel vetro

$$n = \frac{c}{v}$$

Il decibel/km e il dBm

Decibel/km è l'unità di misura logaritmica dell'attenuazione di 1 km di linea (in rame o in FO)

Nel caso delle FO, dette P_i e P_u le potenze ottiche rispettivamente all'inizio e alla fine di 1 km di fibra, si ha:

$$\text{Attenuazione in grandezza logaritmica (decibel)} = 10 \log_{10} (P_i/P_u) \text{ [dB/km]}$$

Es.: $P_i = 10 \text{ mW}$, $P_u = 5 \text{ mW} \rightarrow a = 10 \log_{10} (10/5) = 3 \text{ dB}$; si dice anche che 'la potenza di uscita è 3 dB sotto la potenza di ingresso'

Il dBm esprime in unità logaritmiche una potenza riferita al mW; se P è una potenza espressa in mW, in dBm vale:

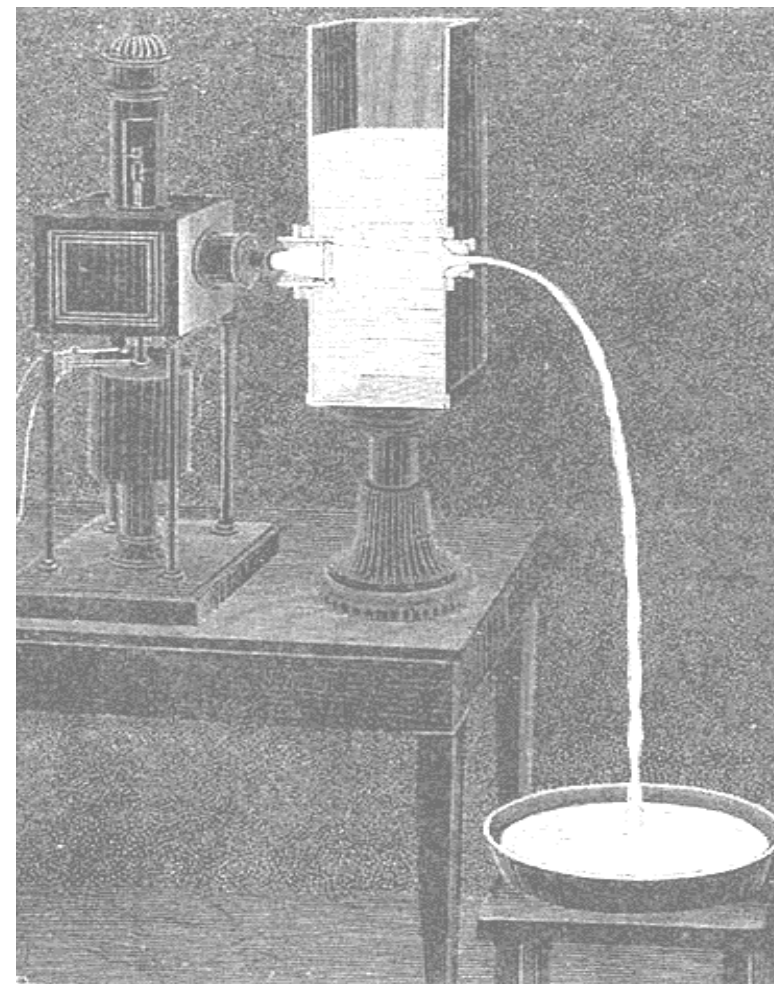
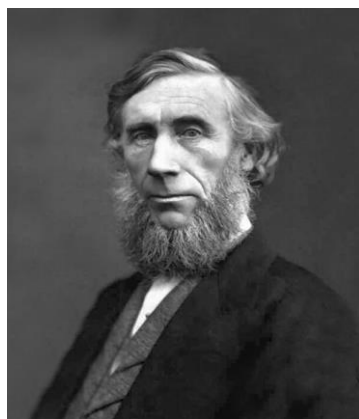
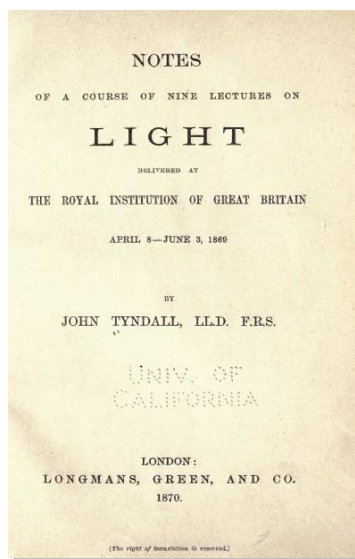
$$10 \log_{10} (P) \text{ [dBm]}$$

Es: $P = 100 \text{ mW} \rightarrow 20 \text{ dBm}$, $P = 1 \text{ W} \rightarrow 30 \text{ dBm}$, $P = 1 \text{ mW} \rightarrow 0 \text{ dBm}$

L'antesignano

“La luce viene convogliata all'interno del rivolo d'acqua grazie al fenomeno della riflessione totale visto che l'indice di rifrazione dell'acqua è maggiore di quello dell'aria”

John Tyndall, 1863



Il padre delle Fibre Ottiche

Nel 1965, Charles K. Kao e George A. Hockam dimostrarono che l'attenuazione delle fibre di vetro poteva essere ridotta da 1000 dB/km a meno di 20 dB/km. (da 10^{100} volte/km a 100 volte/km)



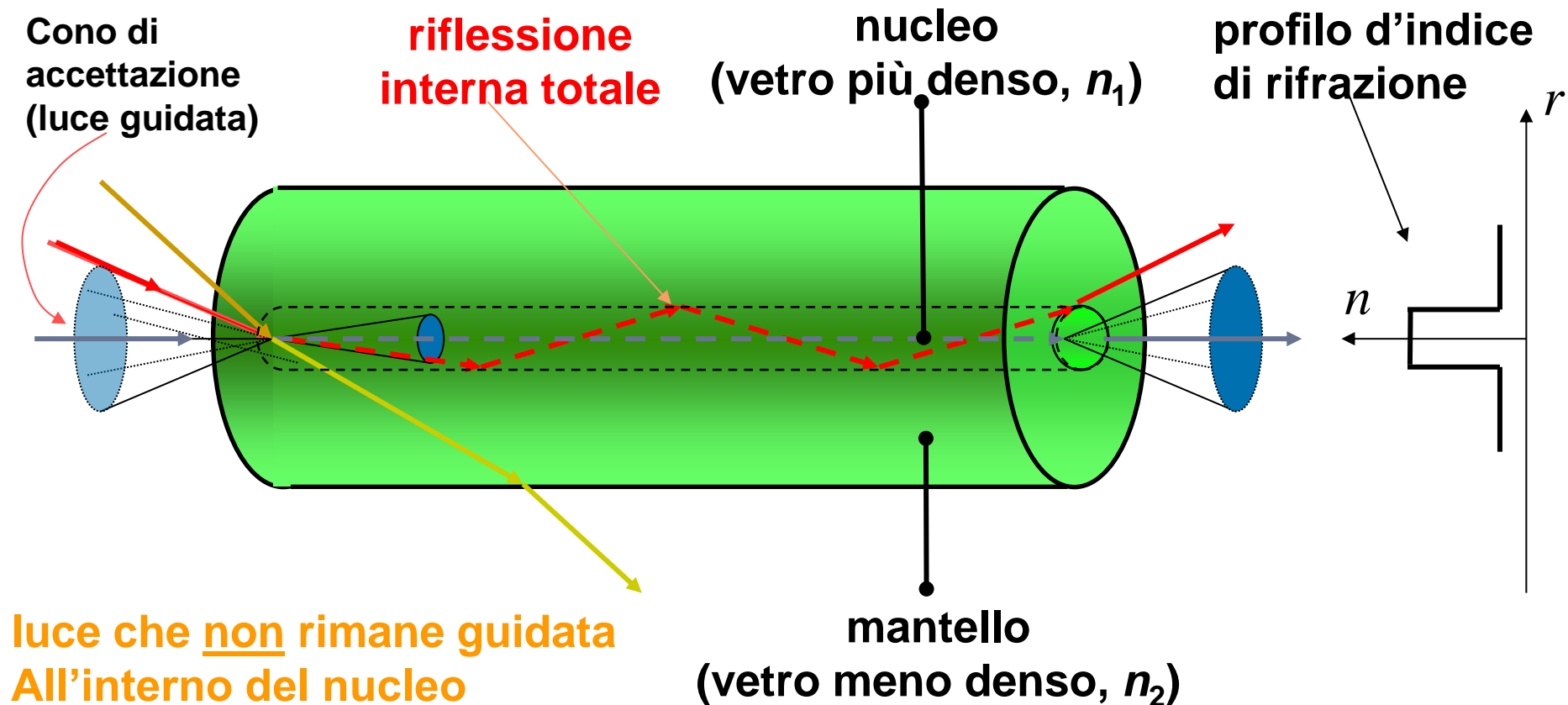
Charles A. Kao è stato insignito del Nobel per la fisica nel 2009:

"For groundbreaking achievements concerning the transmission of light in fibers for optical communications"

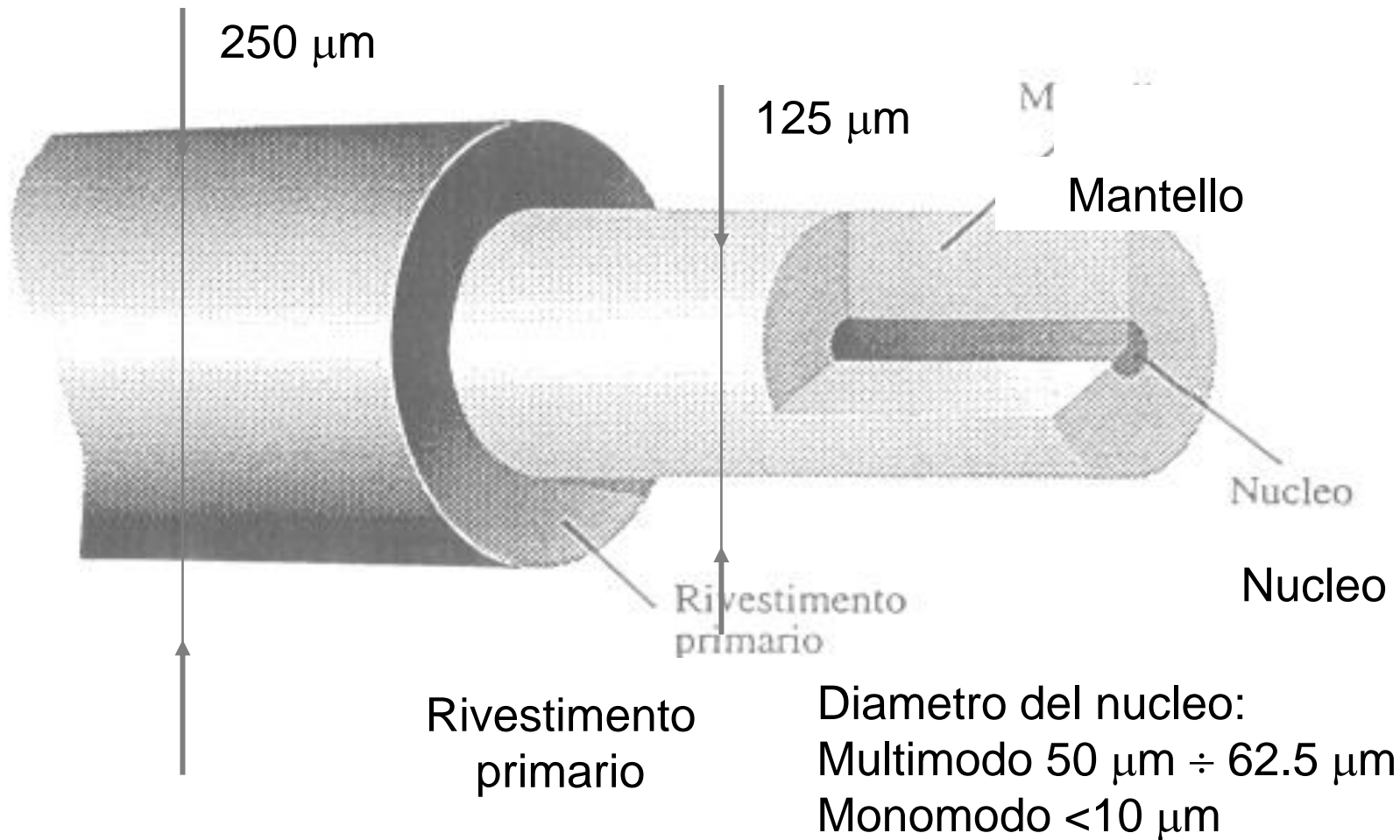


Attualmente l'attenuazione è 0.2 dB/km (0.05

La fibra ottica



La fibra ottica

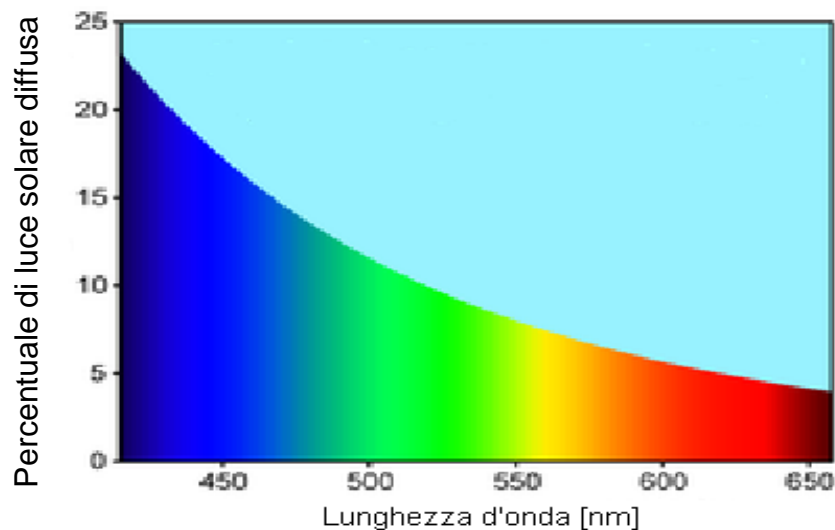


Attenuazione delle fibre ottiche

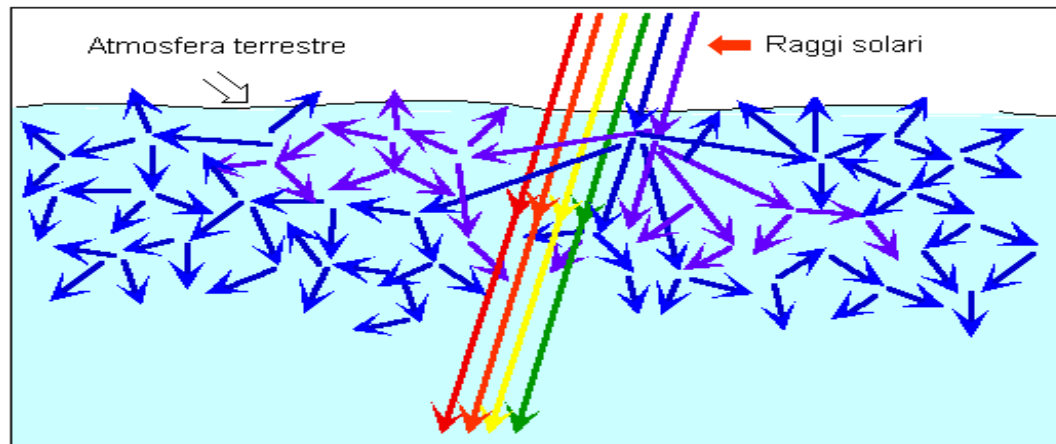
L'attenuazione delle fibre ottiche è dovuta a due fenomeni fondamentali:

La diffusione della luce nel materiale vetroso

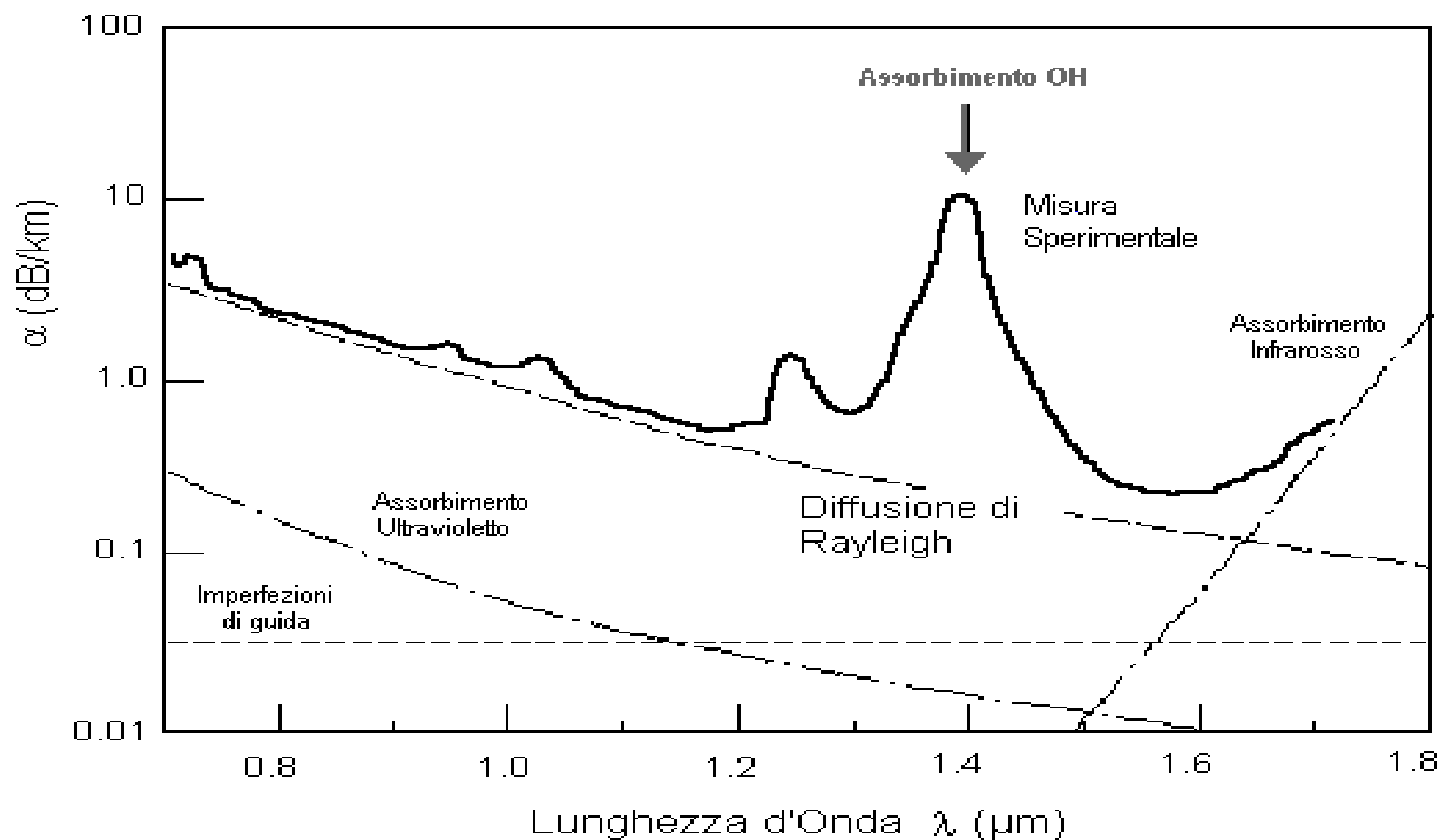
L'assorbimento della luce da parte del vetro e delle eventuali impurità



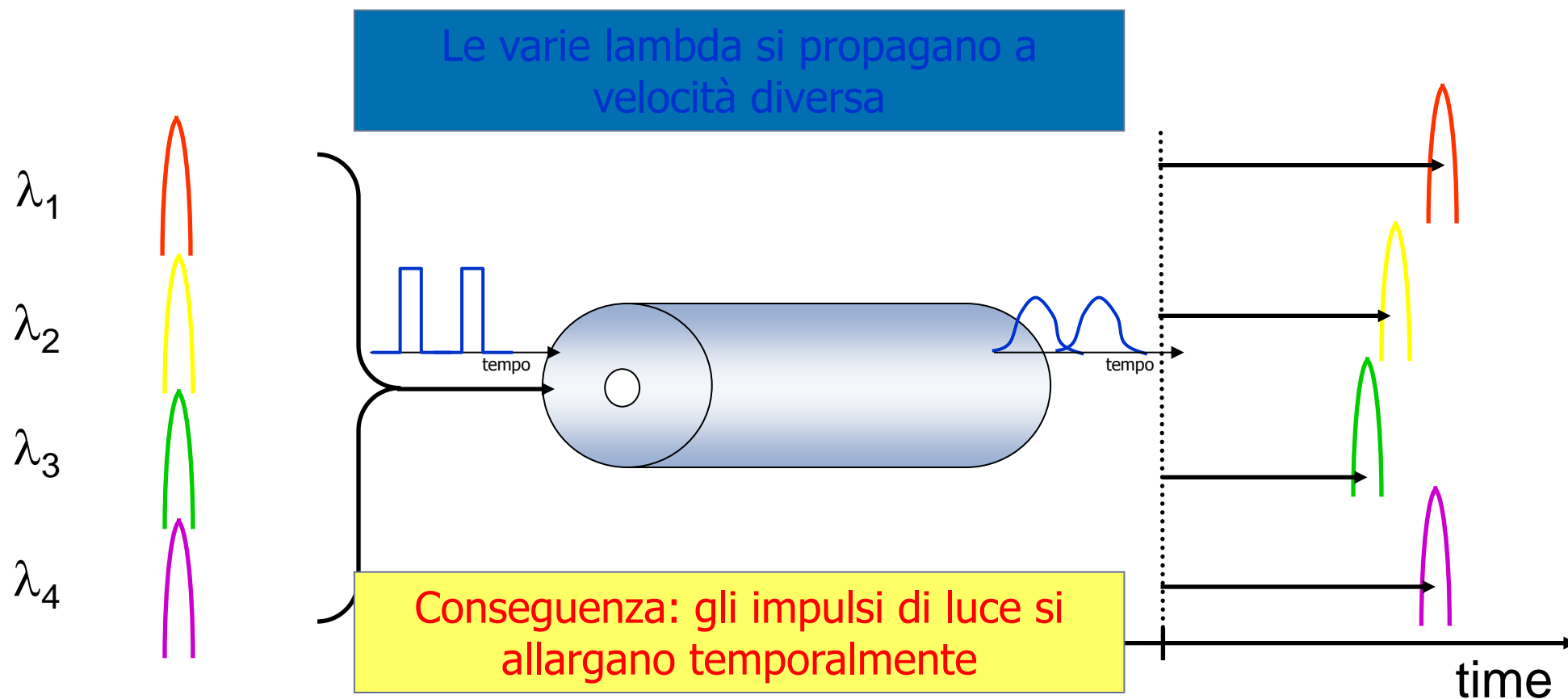
- ▶ La diffusione della luce nel vetro è analoga a quella della luce solare nell'atmosfera (diffusione di Rayleigh)



Attenuazione: andamento teorico



Dispersione cromatica



Limitazione del bit rate!!!

Le fibre standard sono una “coperta corta”

Le fibre monomodali standard (G.652) presentano la caratteristica di avere:

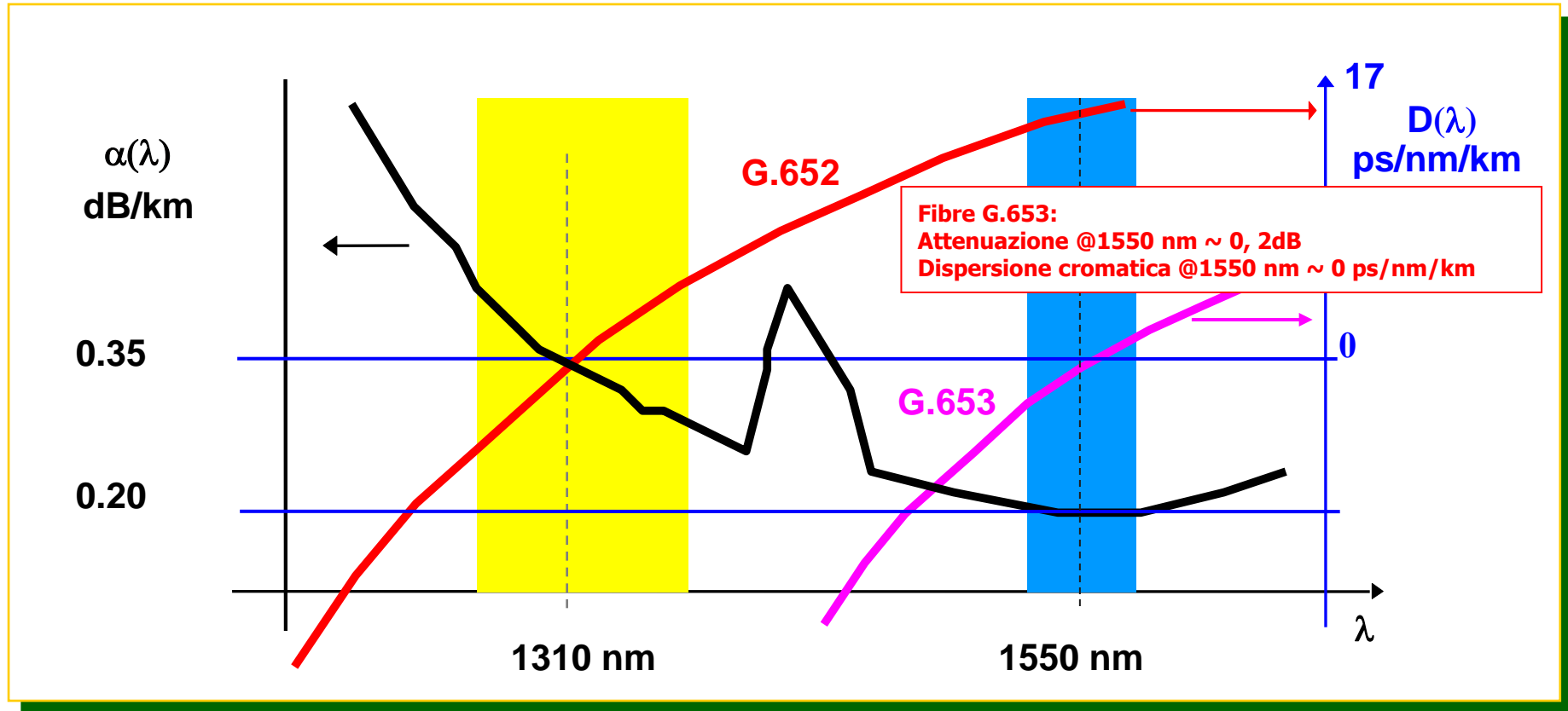
il minimo assoluto di attenuazione in terza finestra

il minimo assoluto di dispersione cromatica in seconda finestra

Sarebbe stato meglio se i due minimi fossero capitati insieme!

Per questo è stato definito lo standard G.653, cioè fibre a dispersione cromatica spostata con minimo assoluto di attenuazione e dispersione cromatica minima entrambe a 1550 nm

Attenuazione e dispersione insieme



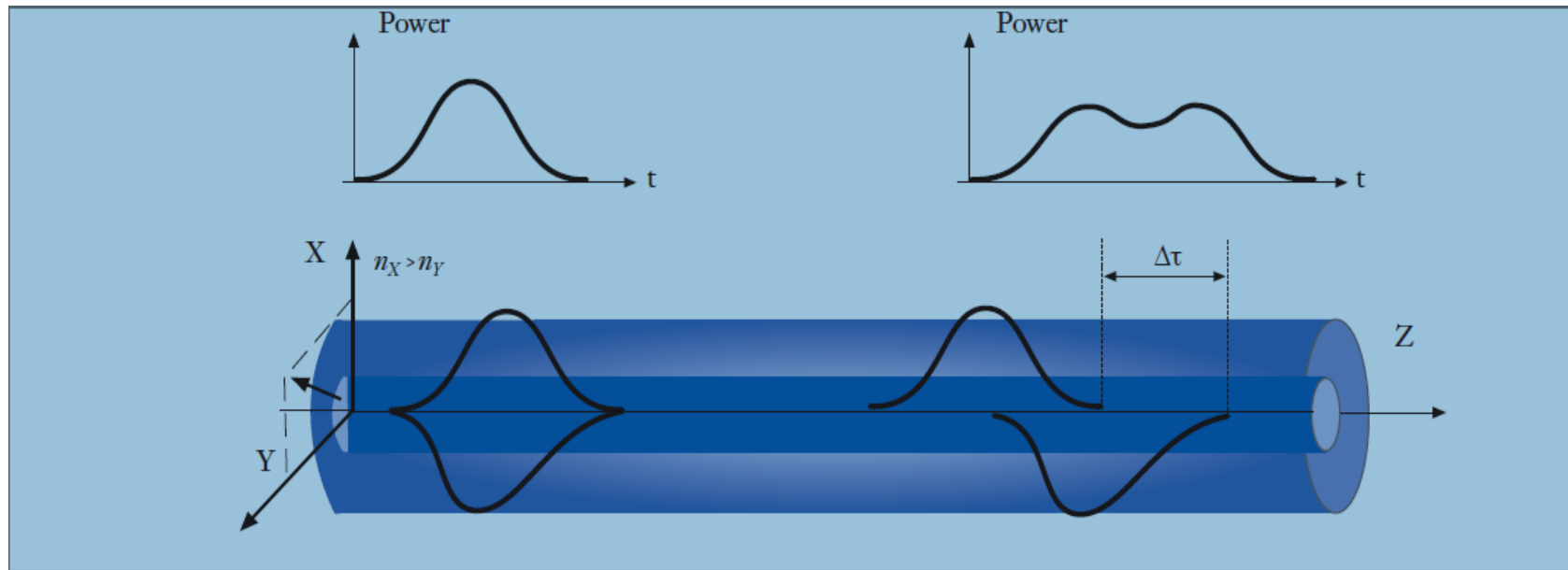
Tipi di fibre: parametri

denominazione	Racc. ITU-T	Diam. Core (μm)	cut-off(*)	Finestra di lavoro	Atten.ne	dispersione
Multimodale "graded-index"	G.651	50 \pm 3	prima seconda	< 4 dB/km < 2 dB/km
Monomodale "standard"	G.652	(8.6÷9.5) @1300nm	1270 nm	seconda terza	< 1 dB/km < 0.5 dB/km	< 3.5 ps/nm km < 20 ps/nm km
Monomodale "dispersion shifted"	G.653	(7÷8.3) @1550nm	1270 nm	terza	< 0.5 dB/km	< 3.5 ps/nm km
Monomodale "NZD"	G.655	(9÷11) @1550nm	1480 nm	terza	< 0.35 dB/km	< 6 ps/nm km

NZD: Non Zero Dispersion

*cut-off= lunghezza d'onda oltre la quale si entra in regime monomodale

Polarisation Mode Dispersion (PMD)



$\langle \Delta\tau \rangle$ cresce con la distanza come \sqrt{L} , si misura in $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$

Valori tipici sono nel campo $0.05 \div 0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

PMD si considera alta quando $> 0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

Si considera solo per lunghe distanze (in rete di accesso si può trascurare)

LEAF: Large Effective Area Fiber

per fibre LEAF: $\text{PMD} < 0.04 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

Giunzione tra FO e relative perdite

Giunti (splice): collegamenti permanenti tra fibre

Di solito Giunti a fusione; fusione dei nuclei di due fibre mediante arco elettrico

Precisione dipendente da:

meccanismo di allineamento

Differenze di caratteristiche ottiche (mode mismatching, ad es. tra fibra e splitter in guida d'onda o tra fibre diverse)

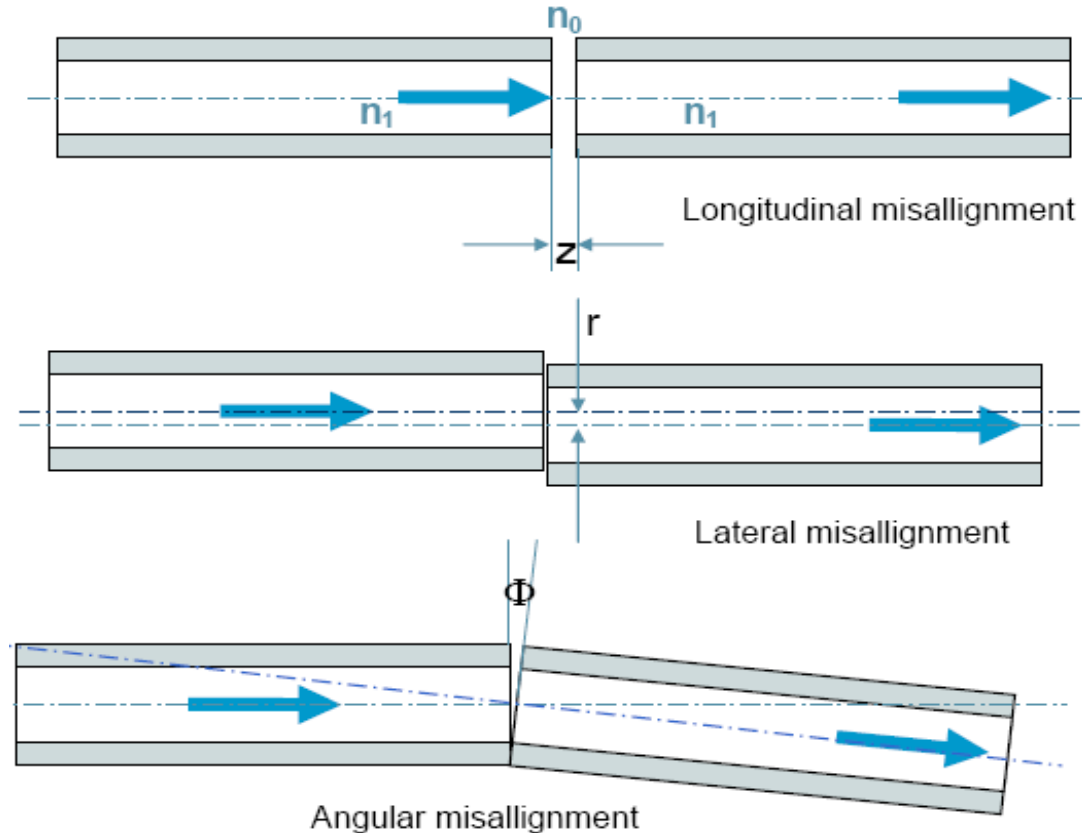
Impurità tra le interfacce

Allineamento dei core: attenuazione

$A_j < 0.05 \text{ dB}$

Allineamento dei cladding (giuntatrici portatili):

$A_j < 0.1 \text{ dB}$



Connettori per FO e relative perdite

I connettori vengono utilizzati per collegamenti non permanenti fibra-fibra o fibra-dispositivo

Bloccano meccanicamente le fibre per realizzare allineamenti precisi

Caratterizzati da 2 parametri

Perdite di inserzione (si intende misurate attraverso una coppia maschio-femmina) (da 0.5 dB - 0.2 dB fino a 0.15 dB per connettori low-loss)

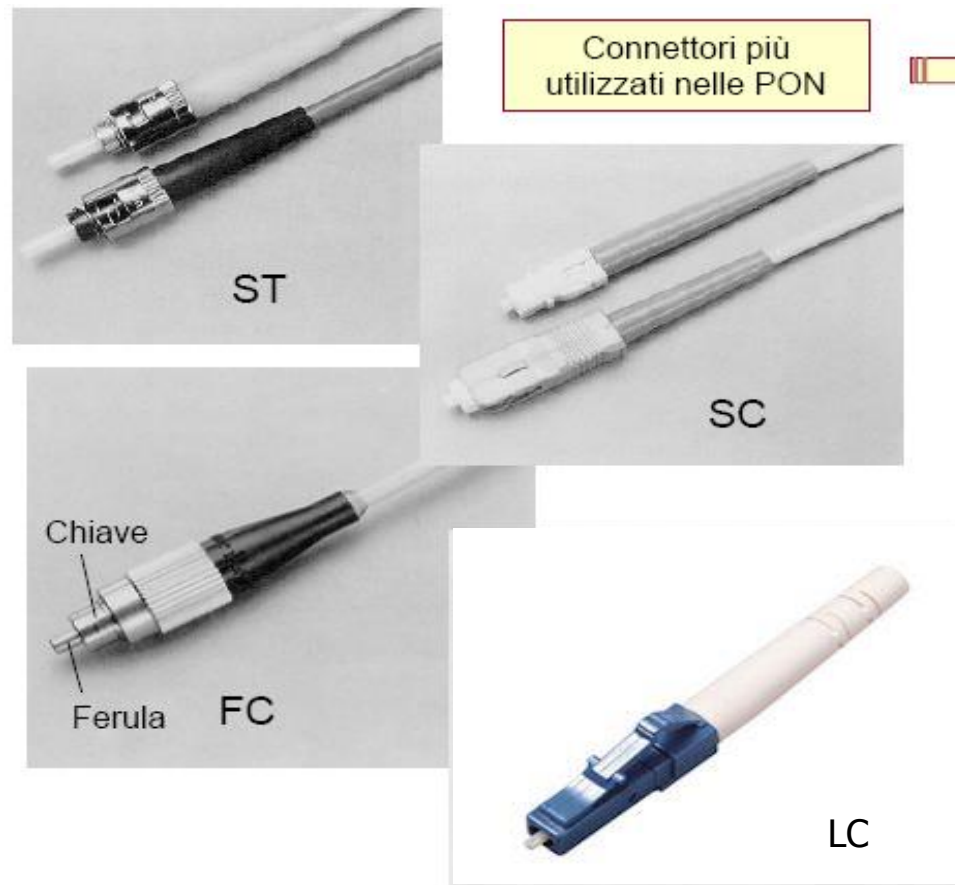
Directivity loss: parte di potenza retroriflessa (-40 - -50dB)

Vari standard e tecnologie differenti

Con (APC) o senza lappatura angolata (PC, UPC)

Standard size (SC, FC, E2000, ST, DIN) o small form factor (half size) (LC, MU, F3000)

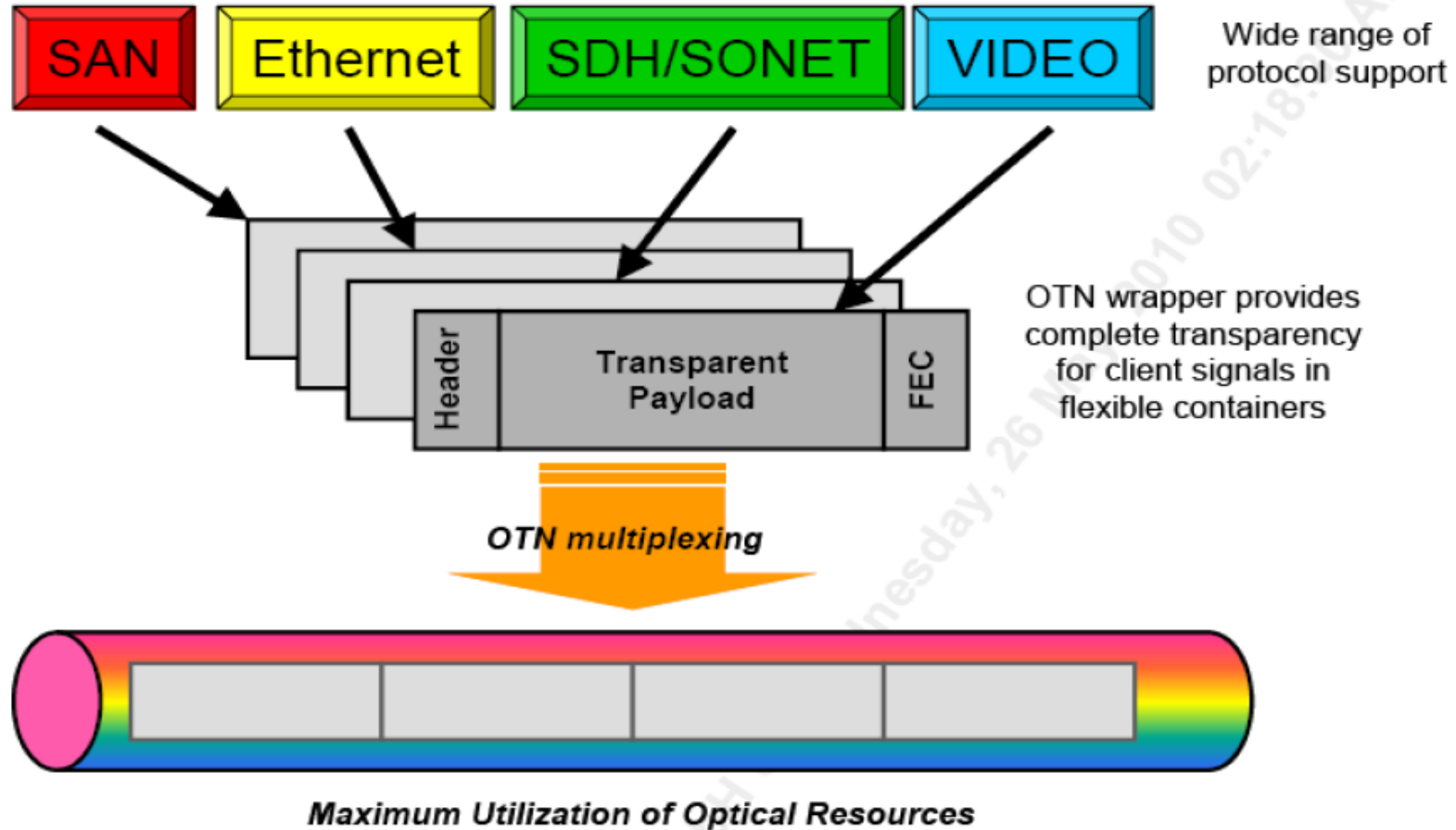
Standard più comuni: SC e LC



Evoluzione delle reti di trasporto

Optical Transport Network

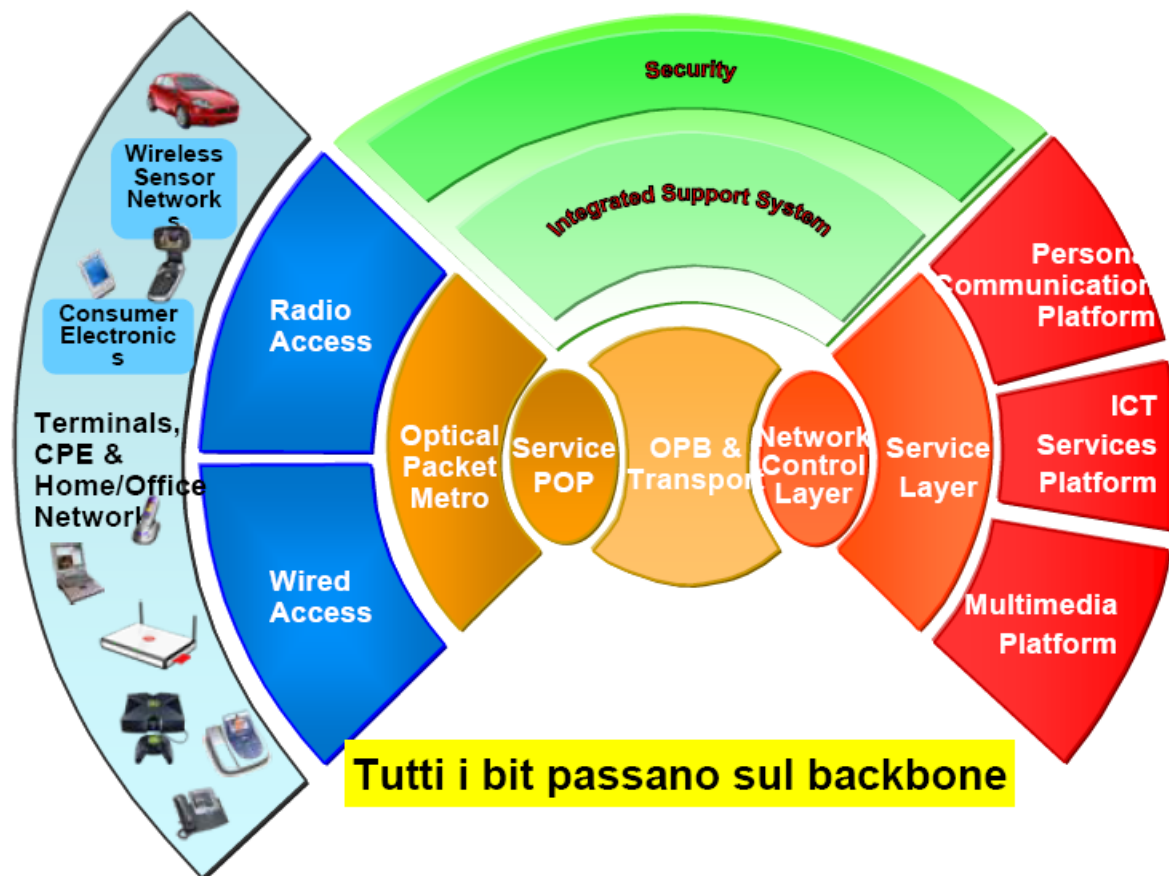
- ▶ E' un “nuovo” strato di rete di trasporto (carrier grade)
- ▶ E' il prossimo passo (dopo l' SDH/SONET) per supportare le esigenze sempre crescenti di banda e di nuovi servizi
 - ✓ Terabit/s per fibra con il DWDM (transport level)
 - ✓ Gigabit/s paths a 1,25Gb/s, 2.5 Gb/s, 10 Gb/s, 40 Gb/s (networking level)
- ▶ Trasparenza al servizio per SDH/SONET, ETHERNET, ATM, IP, MPLS
 - ✓ L'SDH non deve subire modifiche
- ▶ Funzionalità di rete e OAM esteso per tutti i servizi
- ▶ De-layering per le reti dati (IP ⇒ OTN ⇒ Fibra)

OTN: Optical Transport Network

SAN: Storage Area Network

La rete di trasporto nazionale

Il contesto di riferimento



Compito

- ▶ Trasportare i flussi di traffico fra i nodi di una rete
- ▶ Garantire l'integrità del contenuto trasportato
- ▶ Assicurare la gestione del trasporto

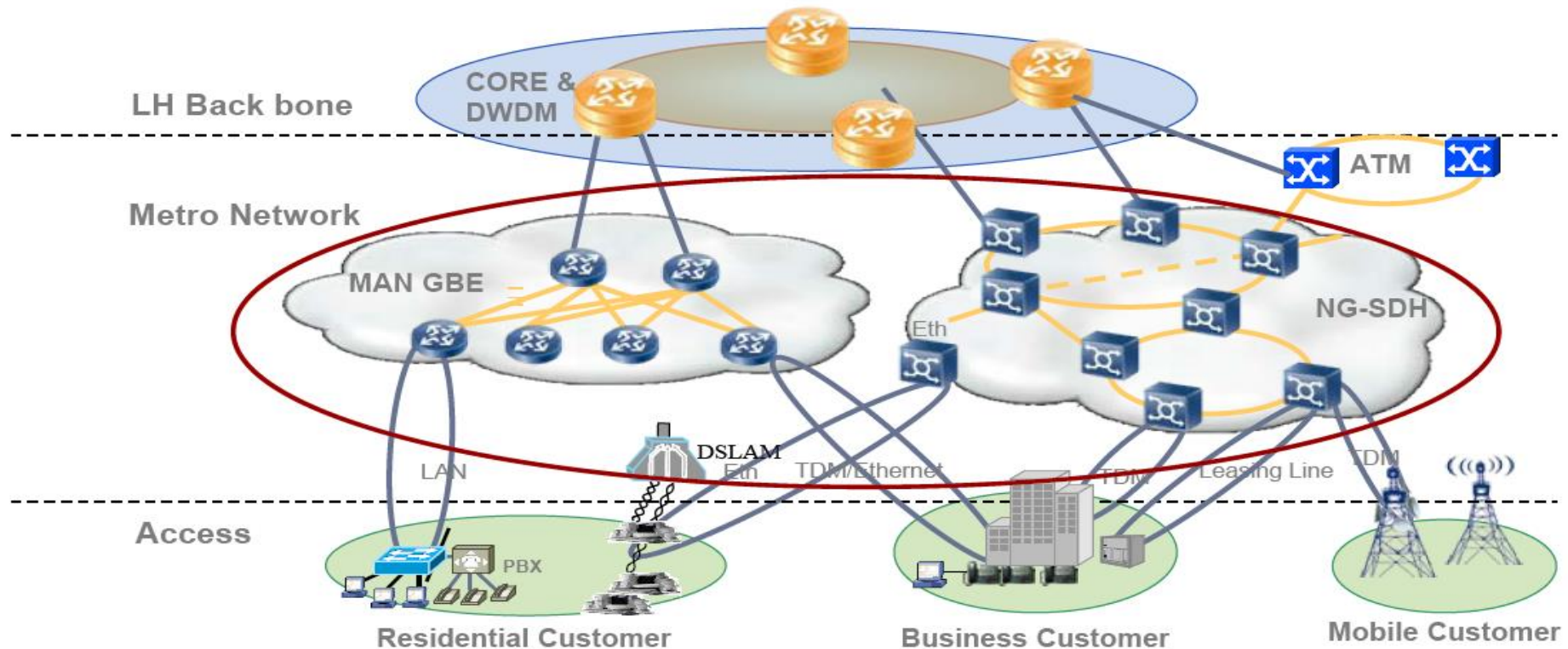
Caratteristiche principali

- ▶ Efficienza: capacità elevata, basso ritardo, basso costo
- ▶ Scalabilità: adattamento al crescere della domanda di banda
- ▶ Protezione: garantire la sopravvivenza ai guasti

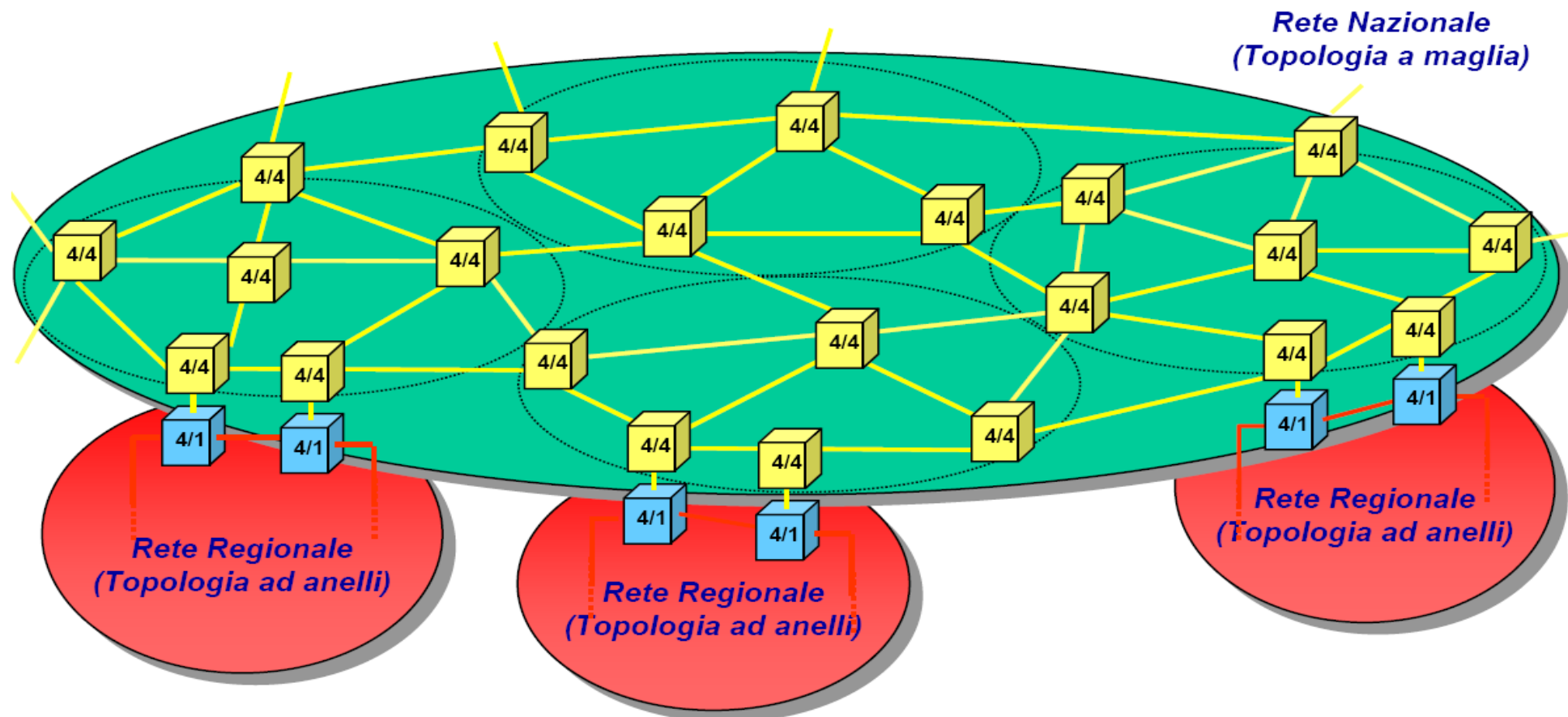
Il "backbone"

Il *backbone* è la sezione più interna della rete (*core network*)

Il backbone è paragonabile da un punto di vista logico alla rete autostradale nazionale



Partendo dall'inizio: la prima Rete Nazionale SGF



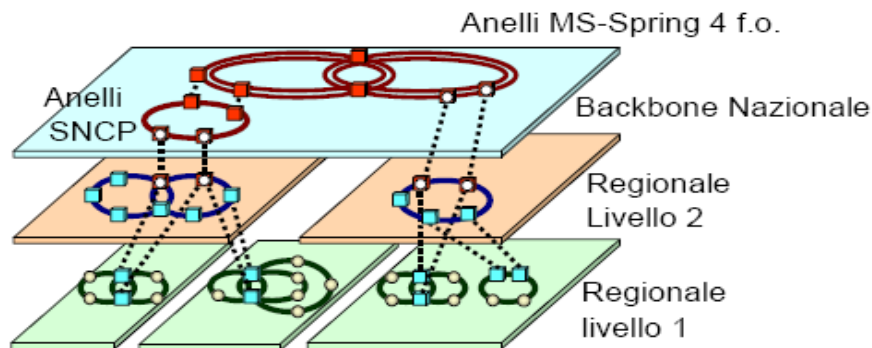
I link trasmissivi tra nodi DXC 4/4 della RTN sono realizzati con sistemi PDH a 565 Mbit/s e/o SDH a 2.5 Gbit/s

La protezione e' attuata mediante restoration implementata dal sistema SGF

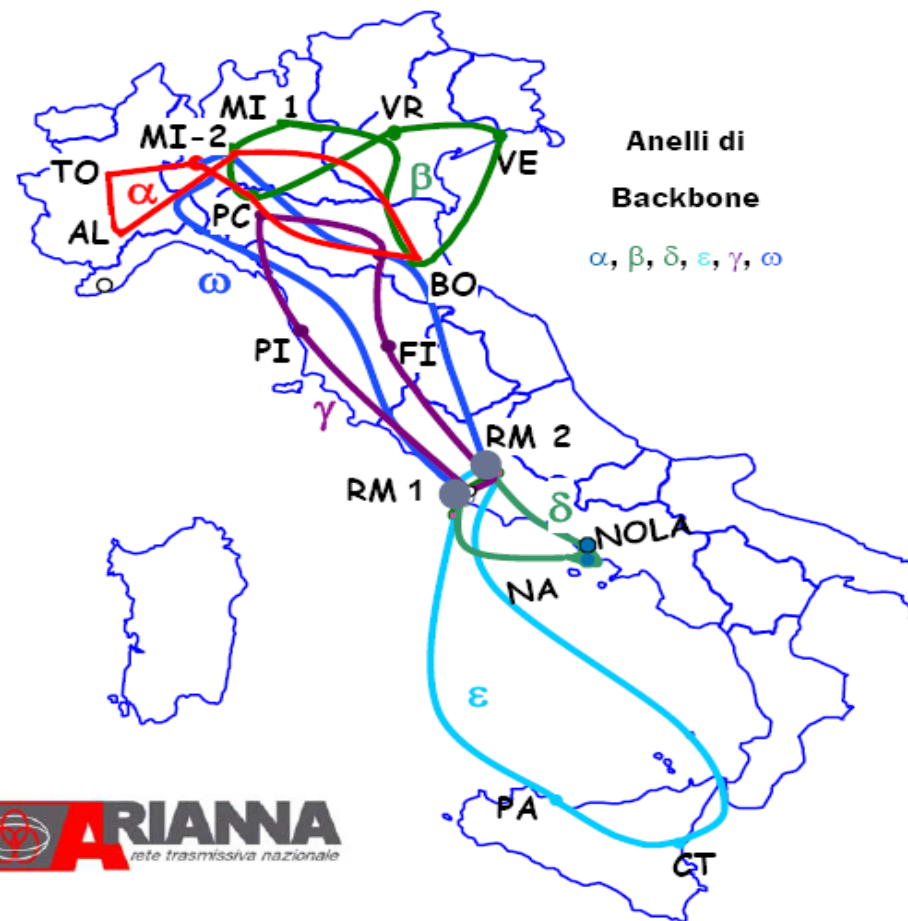
Rete Arianna: Rete SDH ad anelli

Realizzata a partire dalla fine del 1999, è costituita da strati di anelli SDH a 2.5 Gbit/s:

- 6 anelli di Backbone (MS-SPRing a 4 f.o.)
- 9 anelli di Raccordo Regionale (SNCP a 2 f.o.)



Disponibilità di rete pari al 99.99%



La Rete Phoenix logo

- ▶ Principi generali
- ▶ Funzionamento

Caratteristiche generali

Phoenix è una ASTN (Automatically Switched Transport Network) basata su cross connect ad alta capacità (MSH64C, MSH2k 80 Gbit/s, 320 Gbit/s, MSHES 960 Gbit/s) equipaggiati con matrici elettriche ed interfacce sia ottiche sia elettriche, connessi tra di loro mediante sistemi DWDM

Ciascun cross connect è equipaggiato con due controllori con capacità elaborativa sufficiente a gestire protocolli di routing e segnalazione (control plane) per implementare meccanismi di Fast Restoration

Il routing è centralizzato (ASTN-M) mentre la segnalazione è distribuita: il piano di controllo è quindi semi-distribuito. I protocolli utilizzati sono quelli tipici delle reti IP MPLS (OSPF-TE, RSVP-TE) adattati ai contesti trasmissivi

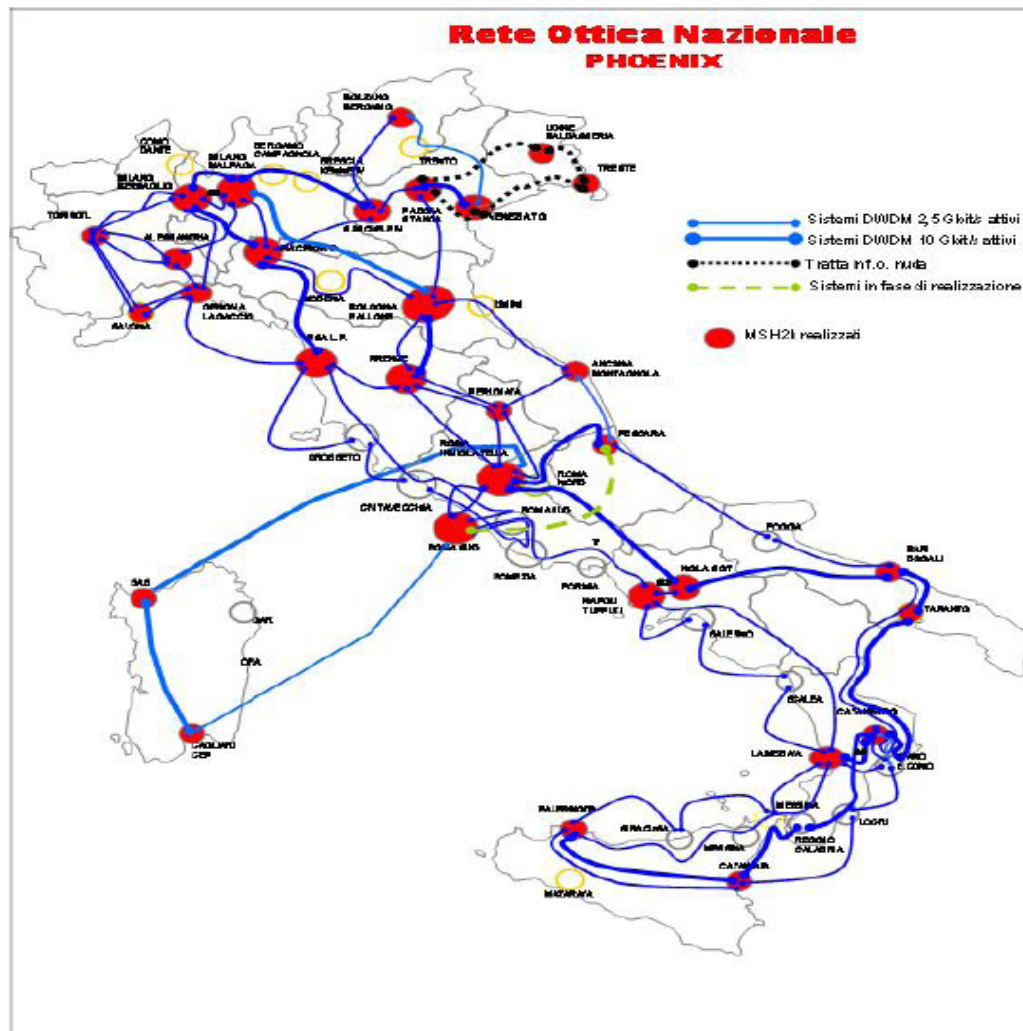
Trasporta flussi da 155 Mbit/s a 10 Gbit/s

Tempi di ripristino:

- ▶ Restoration *end-to-end pre planned* per il primo guasto (80-250 ms)
- ▶ Restoration *end-to-end on the fly* per guasti successivi al primo (40-50 s)

Consistenze di rete (aggiornare)

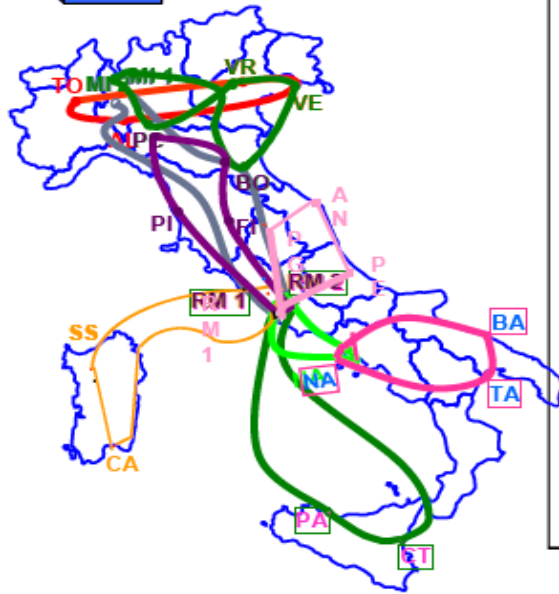
- ▶ 32 nodi (di cui 16 MSHEs)
- ▶ 68 direttrici, su cui sono instradati 240 link a 2.5 Gbit/s e 31 link a 10 Gbit/s, per una banda disponibile totale pari a 910Gbit/s (5824 VC4)
- ▶ 3847 VC4 attivi (sezioni nodo - nodo)
- ▶ 782 Optical Tunnel (763x155 Mbit/s, 9x 622 Mbit/s e 10x2,5 Gbit/s)



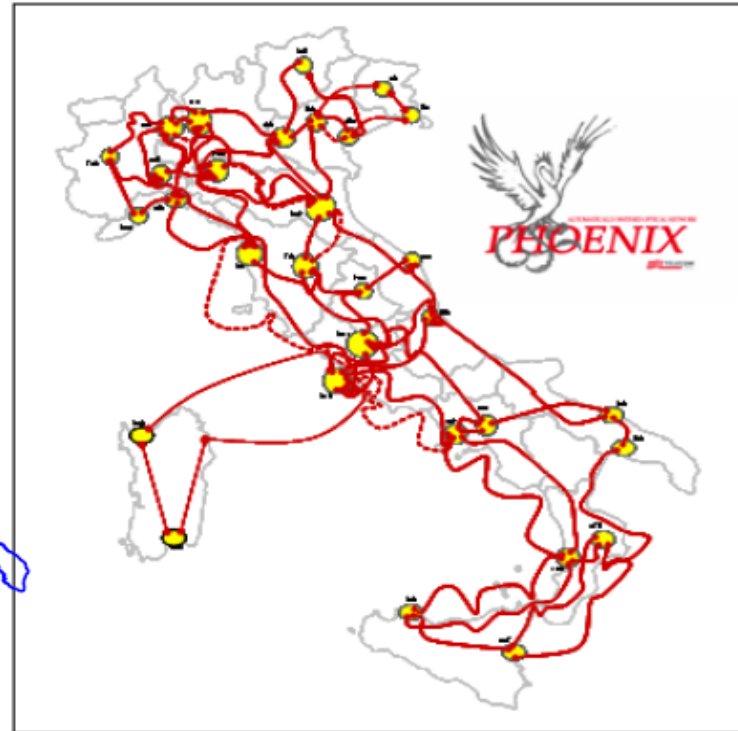
L'evoluzione della rete di trasporto nazionale

Le reti "client" nazionali principali

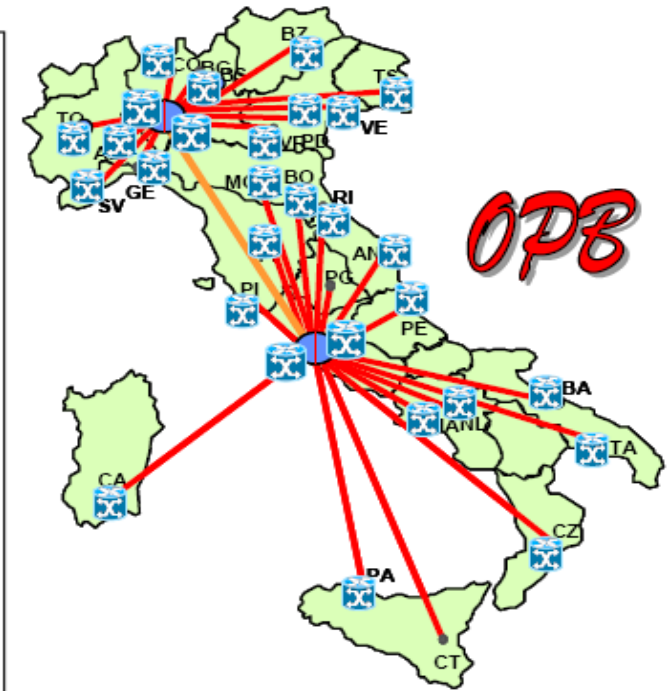
ARIANA
rete trasmissiva nazionale



Anelli SDH a 2.5 Gbit/s
Affidabilità eccellente



Rete ASON magliata
Cross-connect SDH e link DWDM
Control Plane



Tera-router nei POP
Interfacce POS (Packet over Sonet/SDH) a 10 Gbit/s su DWDM
Dal 2011 Interfacce POS a 40 Gbit/s su DWDM

L'evoluzione tecnologica: dai punto-punto alle Reti Fotoniche

Le due linee di evoluzione principale attualmente in essere riguardano:

La **velocità di linea**: sono oggi commercialmente disponibili i transponder a 40Gbit/s ed i sistemi DWDM di ultima generazione sono in grado di trasportare sino ad 80 canali @ 40Gbit/s. Esistono i primi field trial per trasmissione a 100Gbit/s

La **flessibilità** della rete, tramite l'introduzione dei cosiddetti nodi **ROADM Multidegree** che consentono di realizzare reti a Fotoniche a maglia (superando il concetto dei link punto-punto) e di introdurre meccanismi di "intelligenza" (Piani di controllo, come ad oggi utilizzati nelle reti IP e SDH) che consentono di implementare meccanismi di protezione e restoration anche nello strato fotonico

Fondamentalmente si introduce a livello Fotonico il concetto di "Rete", fino ad oggi tipico delle applicazioni SDH e IP

Le reti magliate trasparenti e la Restoration Fotonica

Gli elementi chiave sono:

- **Multidegree ROADM**, ovvero un nodo Ottico DWDM multidirezionale in grado di realizzare lo switch ed il rerouting di canali ottici tramite comandi da remoto.

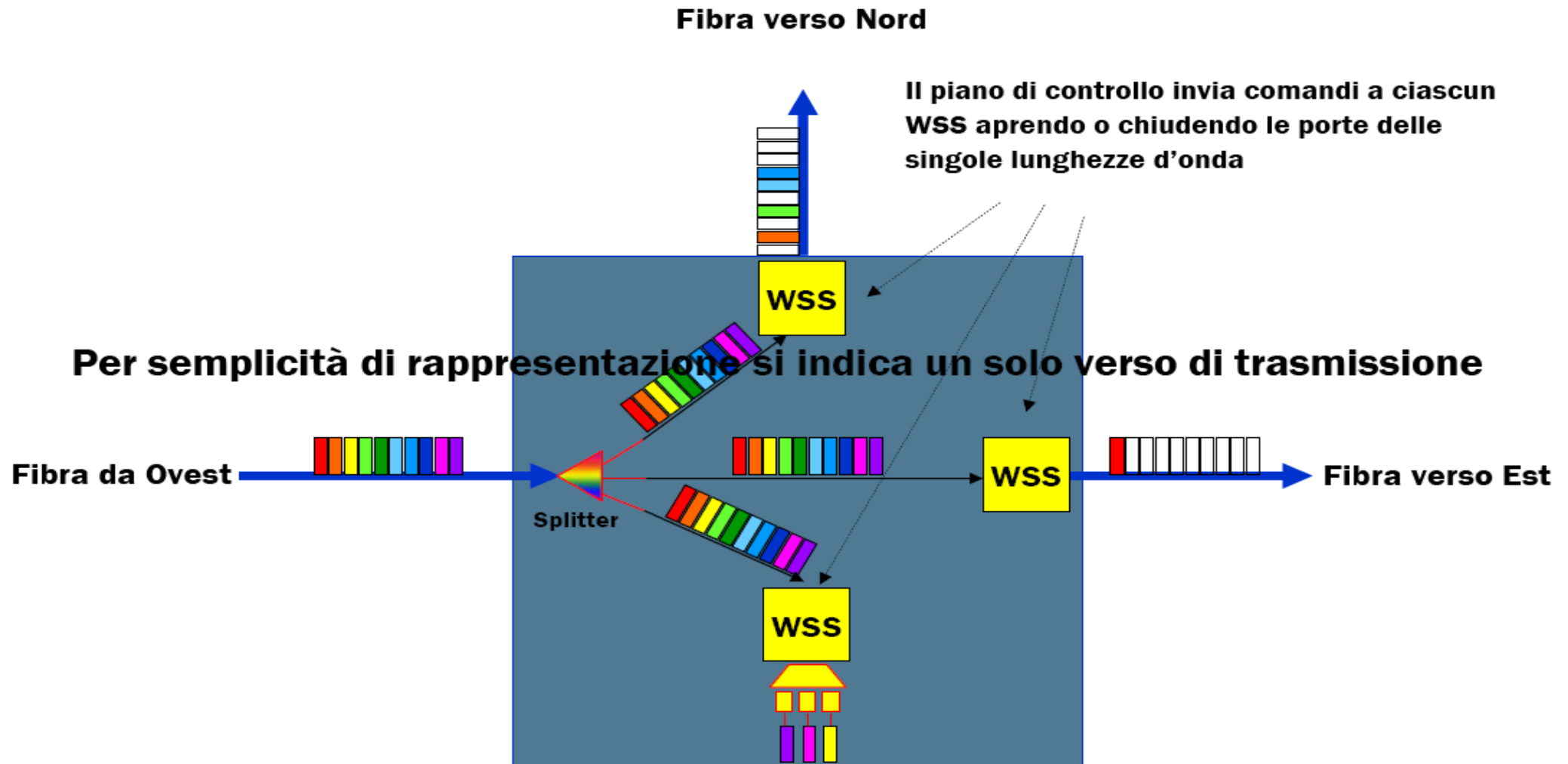
Es . Nodo ROADM 4 direzioni: ciascuna lambda proveniente da ognuna delle direzioni può essere instradata su una qualsiasi delle altre direzioni, tramite comandi da remoto e senza ricorrere alla riconversione ottico/elettrica

L'implementazione tecnologica più diffusa avviene tramite la tecnologia dei WSS (Wavelength Selective Switch):

- **Piano di Controllo**: sviluppato a partire dal Piano di Controllo delle reti più tradizionali (dette anche opache; tipicamente SDH vedi Phoenix) con l'aggiunta di funzioni tipiche dell'applicazione fotonica

L'introduzione del piano di controllo è il fattore abilitante per l'applicazione di meccanismi di protezione automatica quali la **Restoration**

Come funziona un nodo ROADM

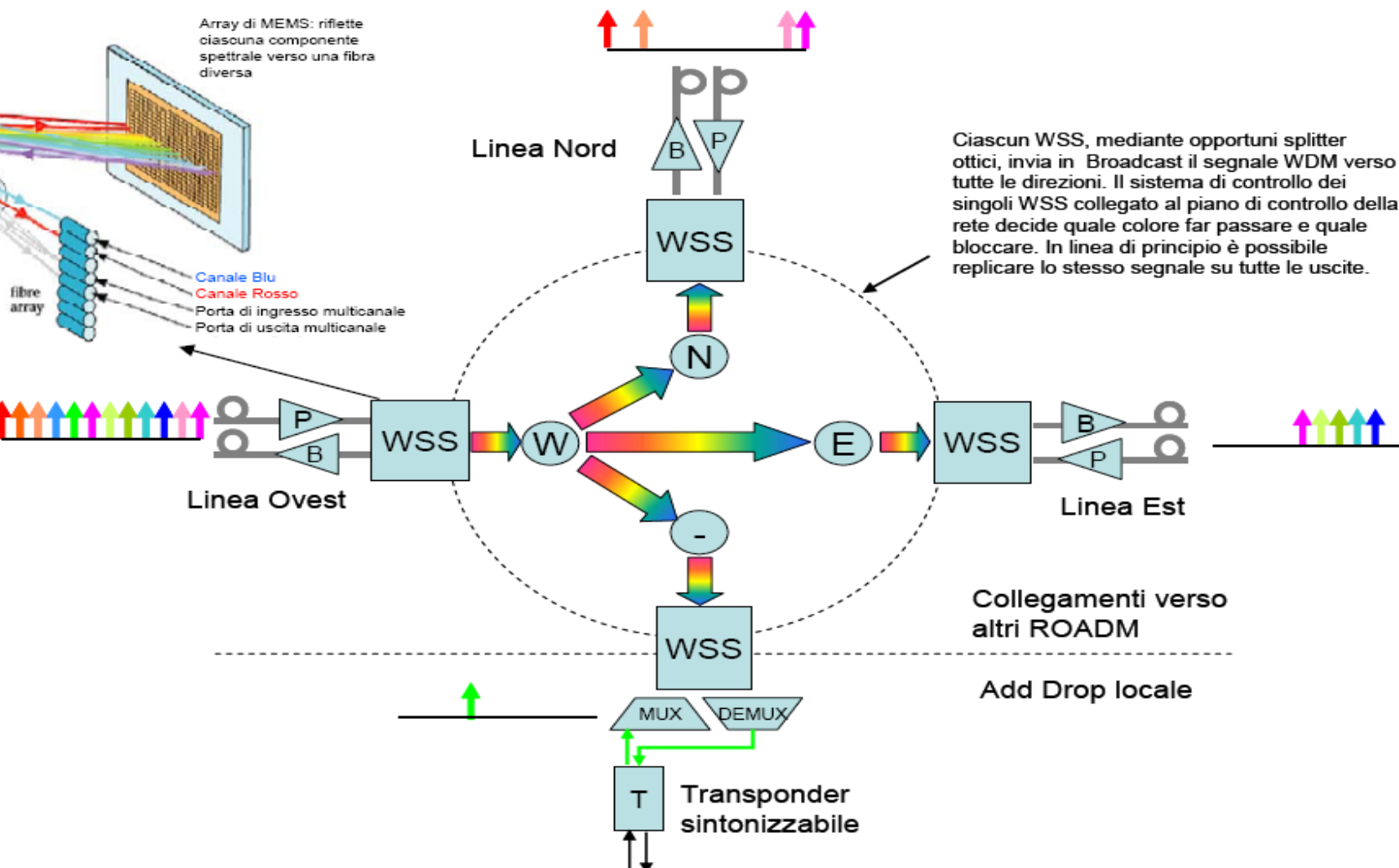


Struttura di un nodo ROADM Multidegree a 3 vie

Grating: effettua la scomposizione in componenti spettrali (canali)

Array di MEMS: riflette ciascuna componente spettrale verso una fibra diversa

Lente per la collimazione



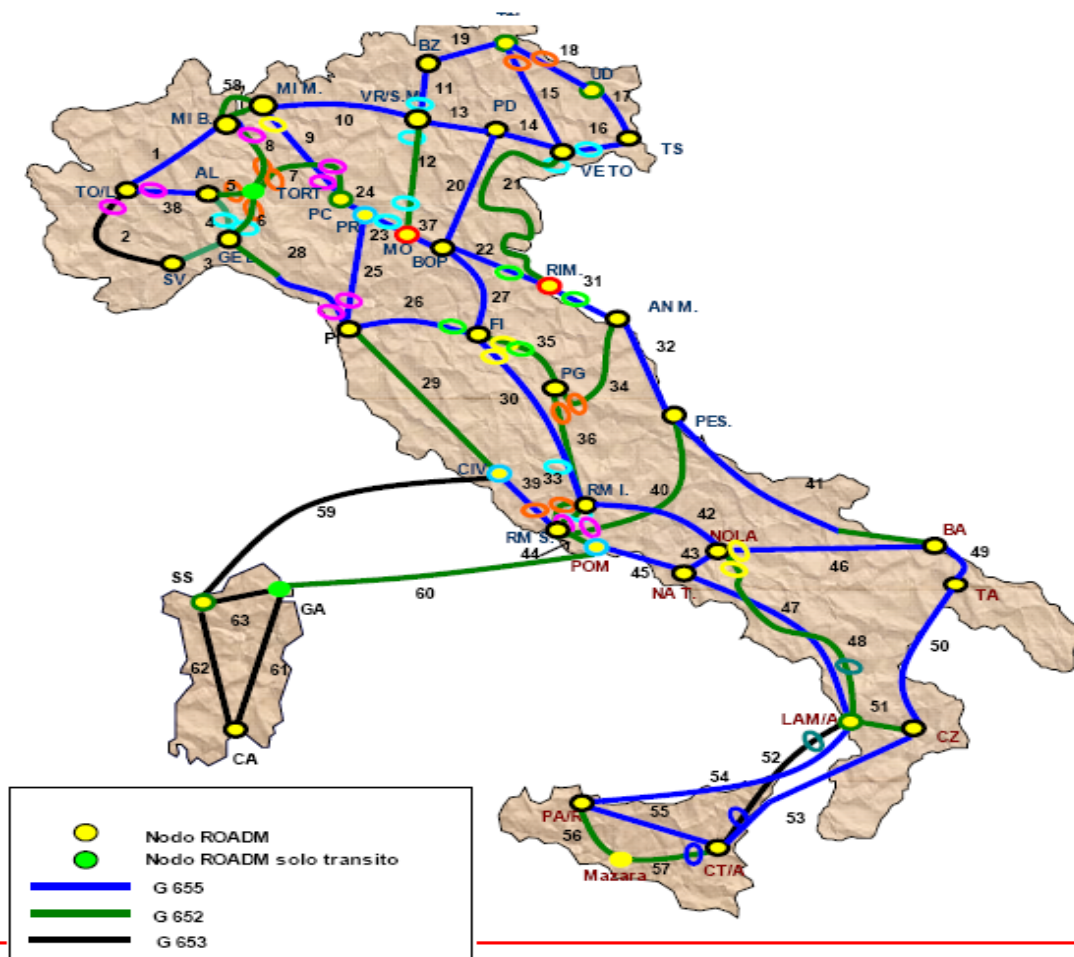
Come è fatto il Nuovo Backbone Fotonico

Il Nuovo Backbone Fotonico è una rete ottica basata su nodi ottici riconfigurabili (ROADM) in grado di:

- ▶ **trasportare flussi a 40Gbit/s (in prospettiva anche a 100G)**
- ▶ **instradare tra ogni coppia di nodi fino a 80 flussi a 40Gbit/s (in prospettiva anche a 100G)**
- ▶ **gestire end-to-end la multiplazione sub-lambda per il trasporto efficiente di flussi GbE, STM-16, STM-64 e 10GbE**
- ▶ **proteggere il traffico utilizzando meccanismi di protezione veloce (<50ms) e di restoration (qualche secondo)**
- ▶ **instradare e proteggere il traffico usando il piano di controllo GMPLS-WSN**
- ▶ **integrarsi in modo “seamless” con la catena gestionale completa di Telecom Italia (dalla progettazione, al provisioning all’esercizio)**

Architettura del nuovo backbone fotonico

k a λ e i d o n
p h o t o n i c b a c k b o n e



Architettura "target": 44 nodi **ROADM Multidegree** (up to 9 degree) in tecnologia **WSS**

Tecnologia **ALU1626** from Rel. 6.0

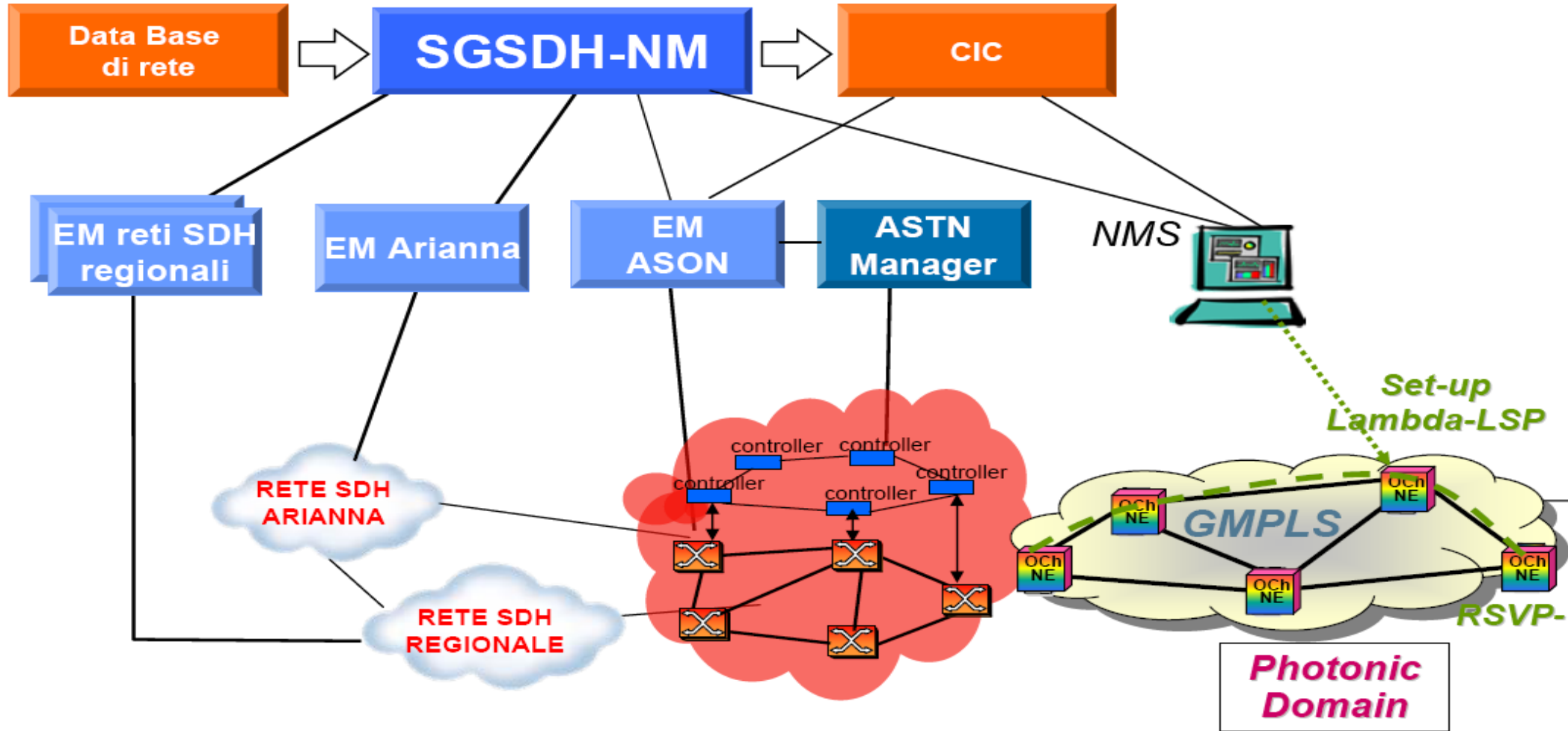
70 sistemi **DWDM ULH** (per un totale di **12000 km f.o.**) equipaggiati

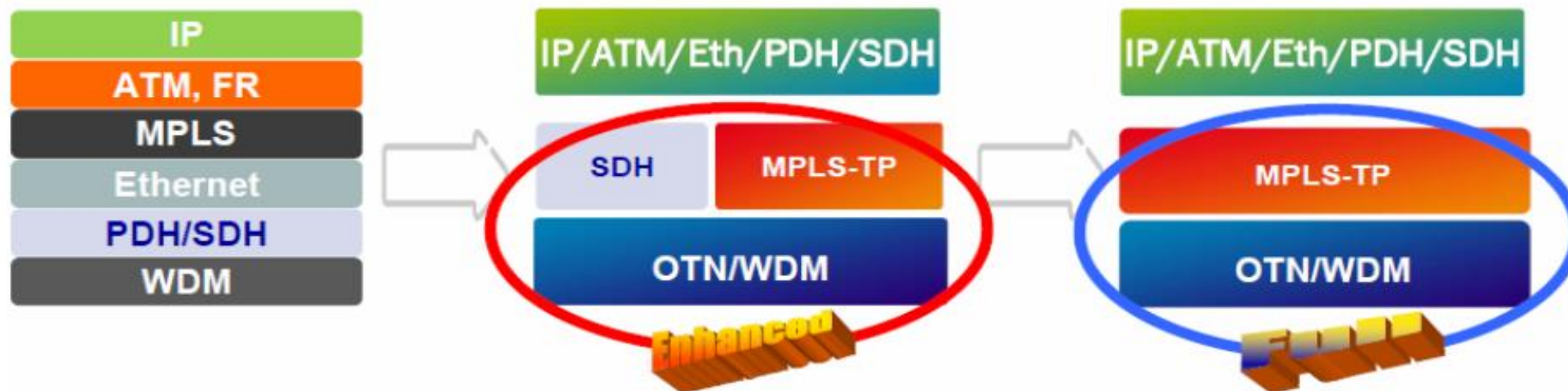
Ready for **100G**

Control Plane (GMPLS-WSN) per proteggere il traffico utilizzando meccanismi di protezione veloce (<50ms) e di restoration (qualche secondo)

Integrazione "seamless" con la catena gestionale completa di Telecom Italia (dalla progettazione, al provisioning all'esercizio)

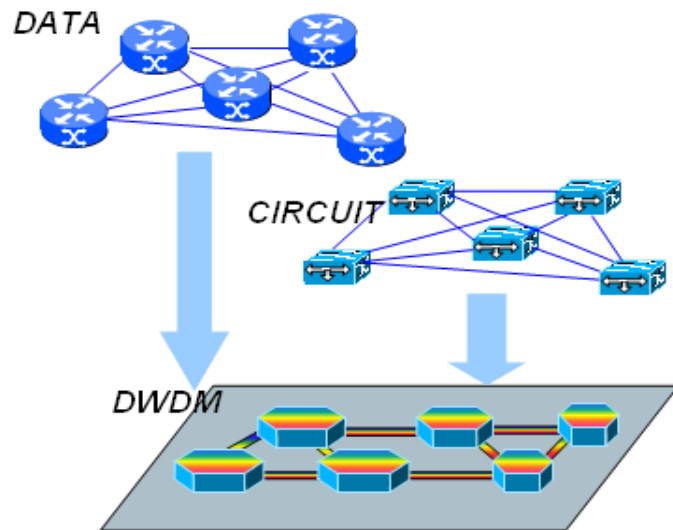
La catena gestionale





Verso il Packet Transport

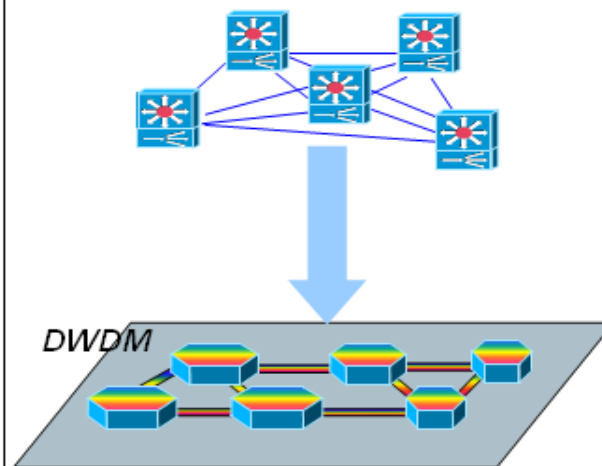
Separated networks for data and circuits



Separate equipment for packet and TDM

Separate lambdas for circuits and data traffic

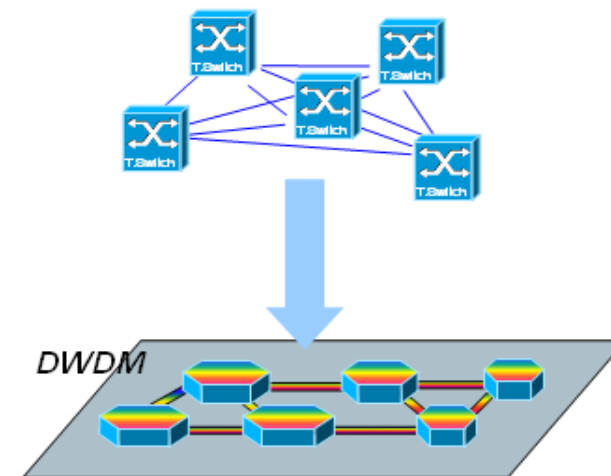
Universal (agnostic) fabric



Pre-defined bandwidth partition between data and circuit

Only equipment sharing between packets and TDM

Packet Transport



Dynamic bandwidth allocation between packet and TDM-quality services

Unique control plane and OAM

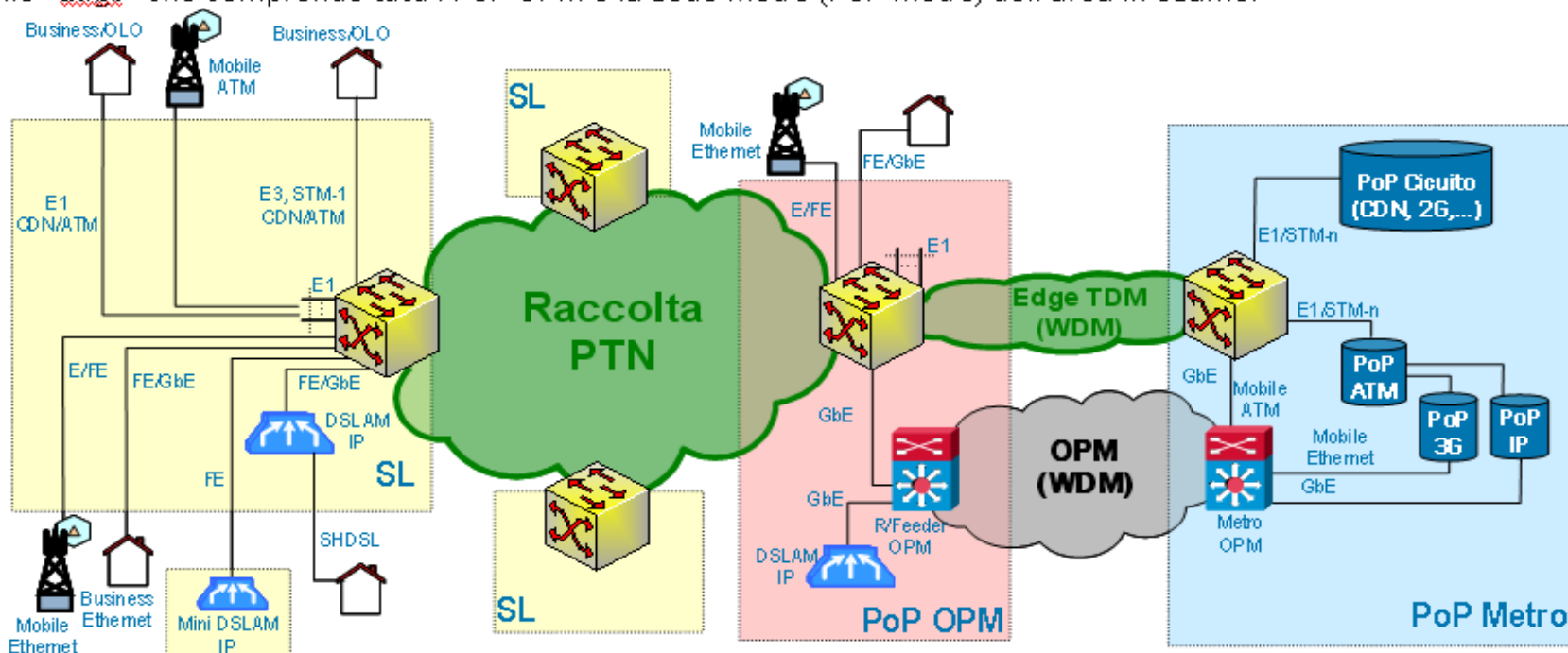


La tecnologia di trasporto Packet Transport è in linea con i requisiti definiti da IETF e ITU-T nella RFC 5654. In particolare, gli elementi caratterizzanti la tecnologia PTN sono sintetizzati nelle capacità di:

- trasportare diverse tipologie di traffico a circuito e a pacchetto
- garantire una adeguata distribuzione del sincronismo;
- supportare solo trasporto di tipo orientato alla connessione;
- commutare pacchetti sulla base di etichette MPLS;
- configurare il forwarding del traffico senza la presenza di un piano di controllo
- monitorare la rete e gestire in modo automatico situazioni di guasto attraverso l'uso di adeguati meccanismi di Operation, Administration & Maintenance (OAM);
- offrire alta affidabilità grazie ad una adeguata ridondanza di apparato e alla disponibilità di meccanismi di protezione di rete equivalenti a quelli delle reti di trasporto a circuito, sia in termini di architettura sia di tempi di intervento (tipicamente < 50ms);
- essere configurati e controllati mediante un sistema di gestione centralizzato.

Le entità di trasporto della rete Packet Transport (genericamente indicabili come Transport Path) sono PW (Pseudowire), LSP (Label Switched Path) e Section in linea con quanto definito per MPLS-TP da IETF e ITU-T.

Lo scenario di utilizzazione degli apparati PTN, ovvero la rete di trasporto metro regionale, è rappresentato in generale nella Figura sotto, in cui è evidenziata la rete PTN (*Packet Transport Network*). Nella rete metro regionale si possono identificare due segmenti: quello di raccolta tra gli Stadi di Linea (SL) e le centrali sede di nodi della rete OPM (PoP OPM, *Optical Packet Metro*) e quello "Edge" che comprende tutti i PoP OPM e la sede Metro (PoP Metro) dell'area in esame.



La rete PTN aggrega e trasporta il traffico generato nelle sedi SL.

In particolare, gli apparati PTN sono in grado di trasportare in modo efficiente traffico a pacchetto (Ethernet e ATM) e a circuito (2 Mbit/s). Il traffico Ethernet proviene dalla raccolta di servizi per la rete broadband fissa (DSLAM IP), servizi per la rete mobile 3G, servizi business e circuiti dedicati Ethernet. Il traffico ATM (business o backhauling 3G) è tipicamente trasportato con interfacce E1, IMA Nx E1, E3 o STM-1. Il trasporto di traffico a circuito TDM è richiesto per circuiti dedicati a 2Mbit/s (E1), e per la raccolta del traffico della rete mobile 2G.

In un numero limitato di casi può inoltre essere richiesto il trasporto di traffico TDM a 34 Mbit/s (E3) o VC-4.

Nel PoP OPM, la maggior parte del traffico Ethernet viene consegnato tramite interfacce UNI (GE o 10GE) e funzioni di Link Aggregation (LAG) alla rete OPM che realizza il trasporto fino alla sede Metro.

La gestibilità:
I sistemi di gestione

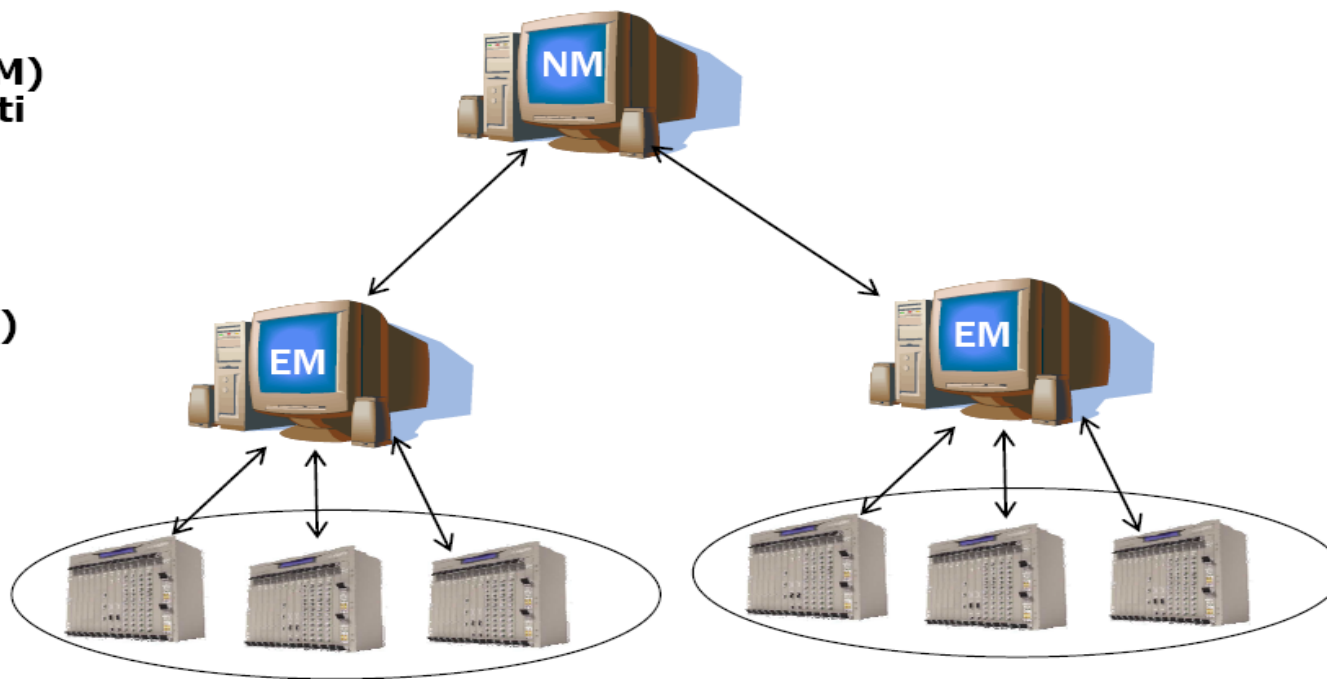
I sistemi di gestione

Per costruire la rete, attivare i circuiti e gestire sia la manutenzione preventiva sia gli eventi di guasto complessi è necessario disporre dei sistemi di gestione. Lo schema gerarchico standard è il seguente:

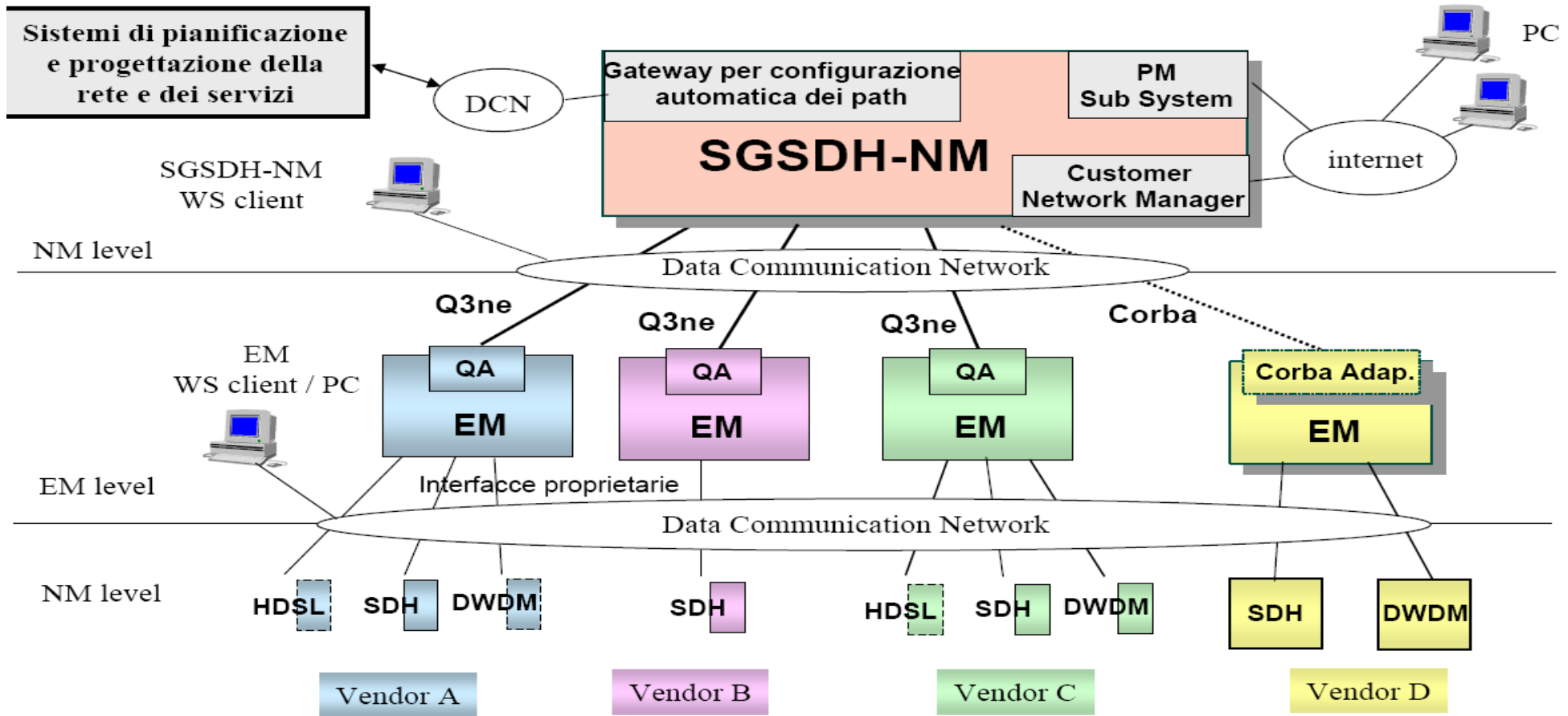
**Il Network Manager (NM)
conosce la rete e i circuiti**

**L'Element Manager (EM)
conosce gli apparati**

**Gli apparati o
Network Element (NE)**



Architettura gestionale attuale TI



Grazie per l'attenzione