

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Corso per la laurea di primo livello in Ingegneria delle Telecomunicazioni

Corso di Trasmissioni Ottiche
Prof. Maria-Gabriella Di Benedetto
a.a. 2004/2005

Sistemi di comunicazione in fibra ottica

Michela Svaluto Moreolo

<http://www.dea.uniroma3.it/fotonica>

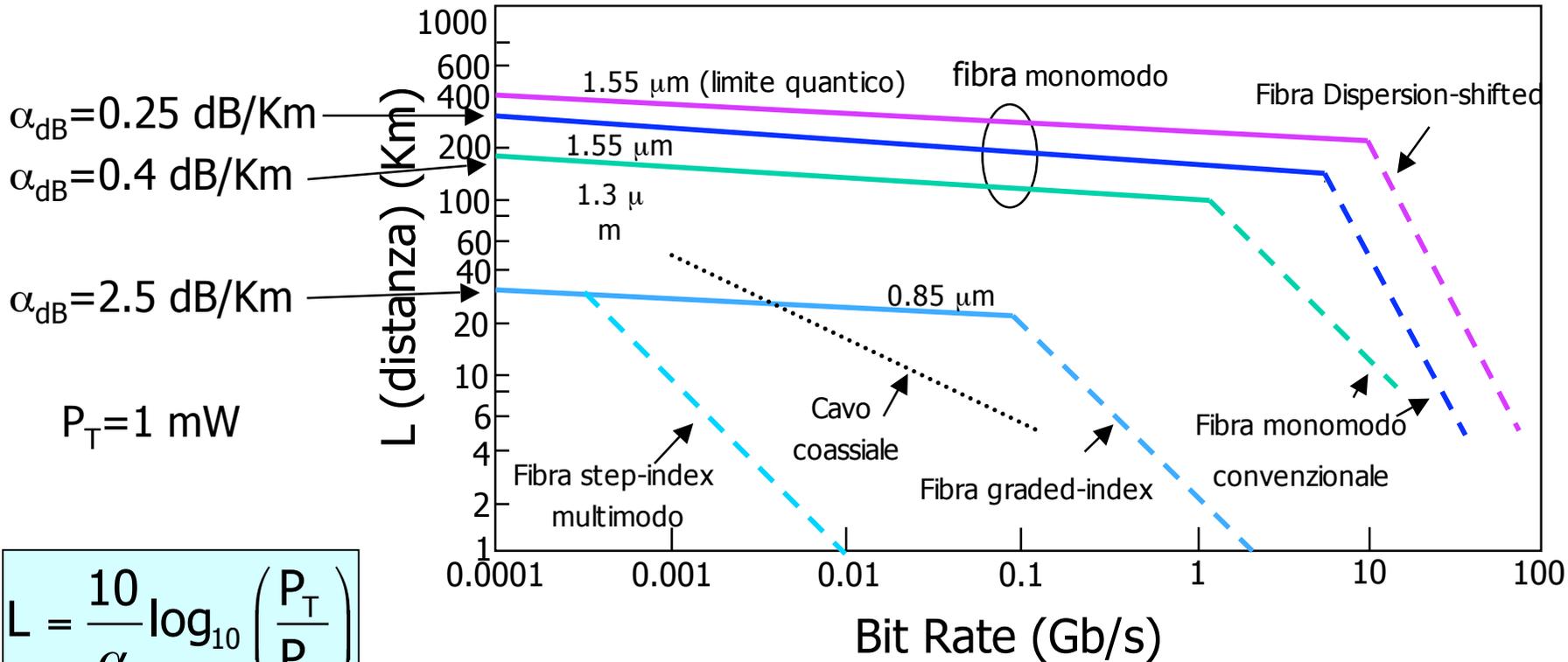
parte II

- Linee di progetto: esempi
- Generazioni di sistemi ottici
- Architetture di sistema
- Sistemi ottici DWDM
- Componenti DWDM

linee di progetto

sistemi limitati dall'attenuazione

sistemi limitati dalla dispersione



esempio 1

Un collegamento in fibra ottica deve trasmettere dati alla velocità di $B=2\text{Gb/s}$ ad una distanza di 100km . La potenza media in trasmissione è $P_T=1\text{mW}$ e la potenza minima in ricezione è $P_R=1\mu\text{W}$. Discutere quale sia la soluzione ottimale scegliendo tra le seguenti possibilità:

- larghezza di banda della sorgente
 - $\Delta\lambda=40\text{ nm}$ (LED)
 - $\Delta\lambda=8\text{ nm}$ (laser multi-modo)
 - $\Delta\lambda=0.1\text{ nm}$ (laser singolo-modo)
- coefficiente di dispersione cromatica
 - $D=50\text{ ps/nm Km}$ (I finestra)
 - $D=1\text{ ps/nm Km}$ (II finestra)
 - $D=17\text{ ps/nm Km}$ (III finestra)
- coefficiente di attenuazione
 - $\alpha=2.5\text{ dB/Km}$ (I finestra)
 - $\alpha=0.6\text{ dB/Km}$ (II finestra)
 - $\alpha=0.25\text{ dB/Km}$ (III finestra)

esempio 2

Una fibra ottica ha indici di rifrazione $n_{\text{cladding}}=1.45$ e $n_{\text{core}}=n_{\text{cladding}}+0.005$ e raggio $a=3.2\mu\text{m}$. Il parametro di attenuazione è $\alpha=0.4\text{dB/Km}$ e il parametro di dispersione è $D=15\text{ ps/nm Km}$. Un laser di lunghezza d'onda $\lambda=1.55\mu\text{m}$ e larghezza di spettro $\Delta\lambda=3\text{nm}$ è utilizzato come sorgente, con potenza ottica $P_T=1\text{mW}=0\text{dBm}$, modulato con bit rate $B=200\text{Mb/s}$. La potenza minima che può essere rivelata dal ricevitore è $P_R=10^{-4}\text{mW}=-40\text{dBm}$. Determinare se il sistema di comunicazione è limitato per attenuazione o per dispersione, calcolando la distanza massima L tra due ripetitori consecutivi in entrambi i casi.

5 generazioni di sistemi ottici

1. 1980 $\lambda=0.85 \mu\text{m}$ sorgenti AlAsGa rivelatori APD (Avalanche PhotoDiode) Si
B=45 Mb/s L=10 km $\alpha=2.5 \text{ dB/km}$
2. $\lambda=1.3 \mu\text{m}$ (minimo della dispersione cromatica) sorgenti InGaAsP
B<100 Mb/s (multimodo) $\alpha=0.4 \text{ dB/km}$
1987 fibre monomodo: B=1.7 Gb/s L=50 km 1988 TAT-8
3. 1990 $\lambda=1.55 \mu\text{m}$ (minimo dell'attenuazione)
laser DFB (Distributed Feedback); fibre DS (Dispersion-Shifted)
B=2.5 Gb/s L=60-70 km $\alpha=0.25 \text{ dB/km}$ sistemi ottici coerenti
4. OA Optical Amplifier L=60-100 km
1996 TPC-5 B=5 Gb/s 1997 FLAG B=5-10 Gb/s
DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing
2000 TPC-6 B=100 Gb/s
5. compensazione della dispersione; compensazione PMD; solitoni ottici

TDM Time Division Multiplexing

SONET B (Mb/s)	SDH B (Mb/s)	CANALI vocali	L Km
STS-1 51.84		783 (50.112)	150
STS-3 155.52	STM-1 155.52	2349 (150.336)	
STS-9 466.560		7047 (451.008)	
STS-12 622.08	STM-4 622.08	9396 (601.344)	100
STS-48 2488.32	STM-16 2488.32	37584 (2405.376)	85
STS-192 9953.28	STM-64 9953.28	150336 (9621.504)	90

OOK On-Off Keying

IM/DD Intensity Modulation Direct Detection

Canale vocale: 64 Kb/s

SONET Synchronous Optical Network (IEFT)

SDH Synchronous Digital Hierarchy (ITU-T)

STS Synchronous Transport Signal

STM Synchronous Transport Module

PoS Packet over Sonet

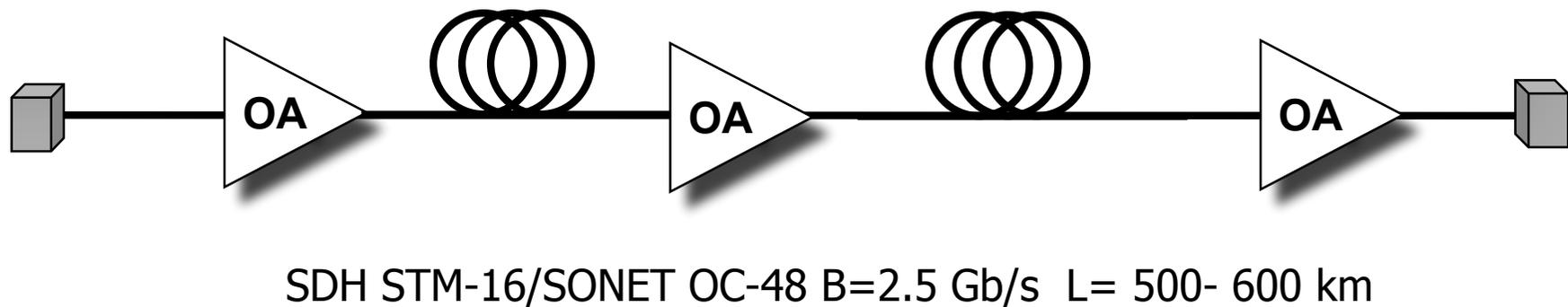
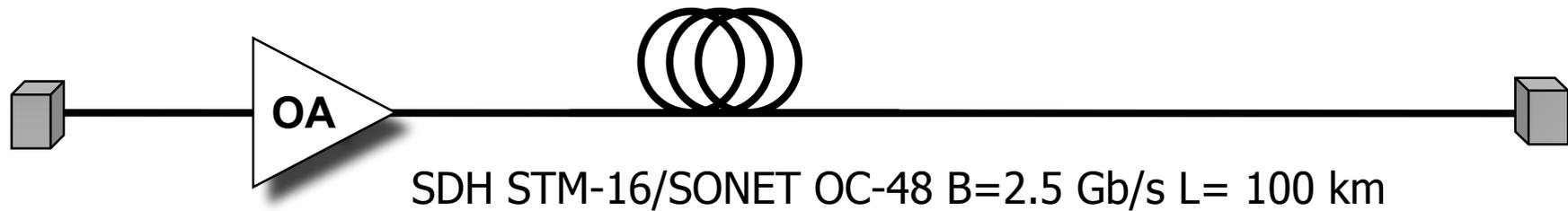
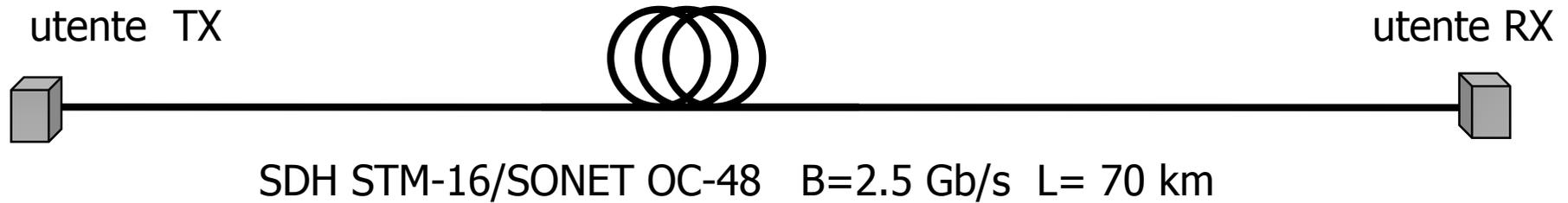
STS-1 Frame: 810 byte= 9 righe X 90 colonne

STM-1 Frame: 2430 byte= 9 righe X 270 col.

8000 frame/s (125 μ s) header 3.3 %

OTDM Optical Time Division Multiplexing

sistema di comunicazione ottico



1 OA in trasmissione + 1 OA in ricezione+ fino a 4 OA in linea

long-haul networks

Per collegamenti $L > 20/100$ km è necessario compensare le perdite dovute alla propagazione in fibra



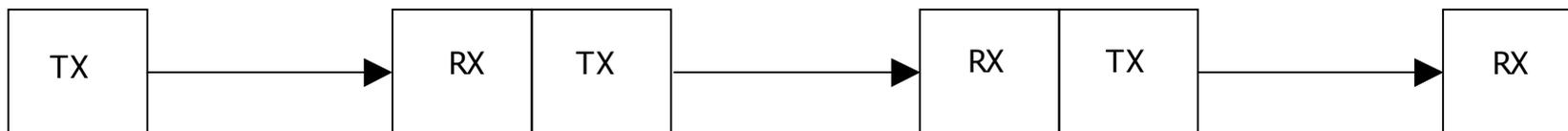
amplificatori ottici

SOA Semiconductor Optical Amplifier
EDFA Erbium Doped Fiber Amplifier

- + banda larga 4 THz (DWDM)
- + indipendenti dalla modulazione
- amplificano solo (~ 30 dB) = rigenerazione 1R
- rumore
- effetto della dispersione e delle non linearità

rigeneratori

ripetitori optoelettronici



sistemi terrestri

	anno	λ (μm)	B (Mb/s)	L (km)	CANALI vocali
FT-3	1980	0.825	45	10	672
FT-3C	1983	0.825	90	15	1344
FT-3X	1984	1.3	180	25	2688
FT-G	1985	1.3	417	40	6048
FT-G-1.7	1987	1.3	1668	46	24192
STM-16	1991	1.55	2488	85	37584
STM-64	1996	1.55	9953	90	150336

10^6 km di fibre installate:

- ✓ schemi di compensazione della dispersione
- ✓ DWDM

sistemi sottomarini

	anno	λ (μm)	B (Mb/s)	L (km)	
TAT-8	1988	1.3	280	70	
TPC-3	1989	1.3	280	70	
TAT-9	1991	1.55	560	80	DFB
TPC-4	1992	1.55	560	80	DFB
TAT-10/11	1993	1.55	560	80	DFB
TPC-5	1996	1.55	5300	50	AO
TAT-12/13	1996	1.55	5300	50	AO

FLAG	1997	1.55	5300/10600	27300 Km
Africa one	2000	1.55	5300	35000 Km

25 anni di vita

short-haul networks

Reti di distribuzione

(B)-ISDN Integrated-Services Digital Network $L < 50$ km $B = (155) 144$ Mb/s

- HUB (collegamenti telefonici)
- BUS (CATV Common Antenna Television)

MAN Metropolitan Area Networks

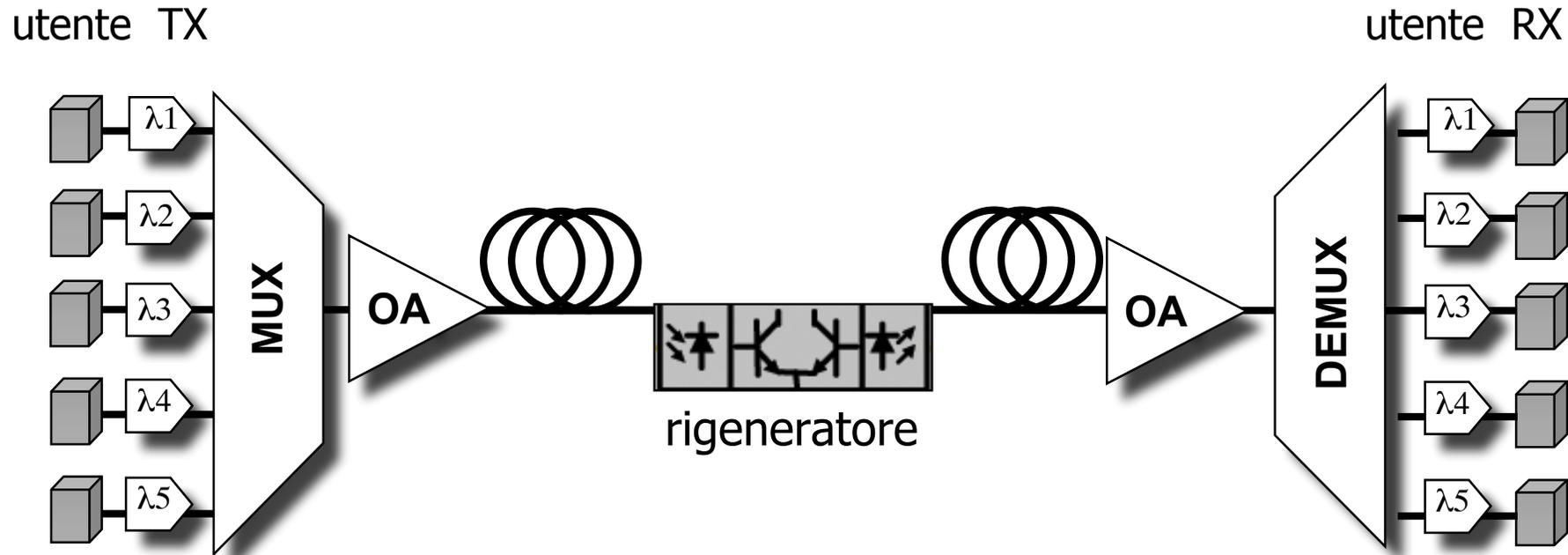
LAN Local Area Networks

- LLC Logic Link Control

Progetto IEEE 802 ■ MAC Media Access Control

- CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection
BUS (Ethernet) $B = 100$ Mb/s
- TOKEN BUS
- TOKEN RING delayed release; switch bypass
THT Token Holding Time TRT Token Rotation Time = $N \cdot THT + \text{ritardo di propagazione}$
- FDDI Fiber Distributed Data Interface $B = 100$ Mb/s; $N_{\max} = 500$
fault tolerance optical bypass; immediate token release
- STAR attiva o passiva

DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing



distanze tra gli amplificatori 30-120 km

distanze tra i rigeneratori 50-600 km

$B=N*2.5$ Gb/s $L=$ fino a 600 km senza rigenerazione

DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing

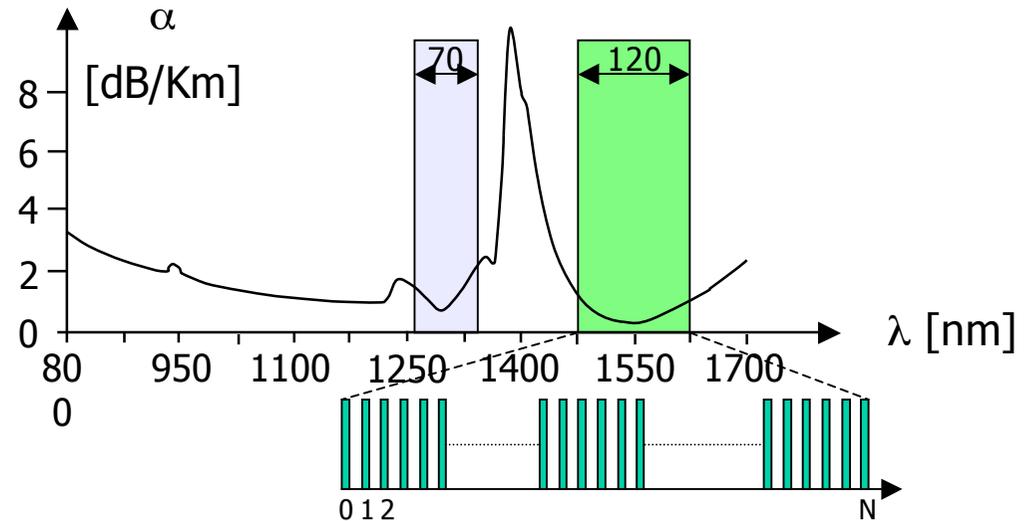
Griglia (ITU-T) G.692

C band N=41 canali

$\lambda_{\text{START}} = 1569.59 \text{ nm}$ (191.0 THz)

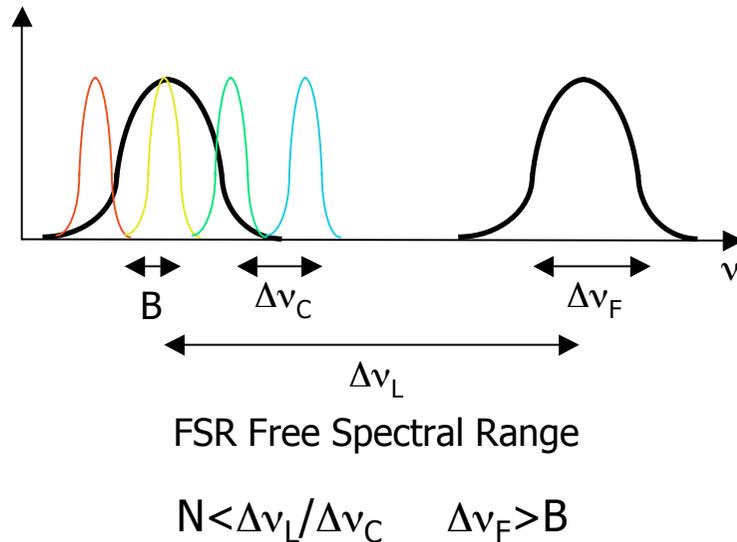
$\lambda_{\text{END}} = 1530.33 \text{ nm}$ (195.9 THz)

$\Delta\nu = 100 \text{ GHz}$; $\Delta\lambda = 0.804 \text{ nm}$



- + potenziamento della capacità di canale
- + funzioni di rete nel dominio ottico (wavelength routing)
- + indipendente dal protocollo o bit rate B
- + AO amplificano tutte le λ (Banda C 1530-1565 nm, Banda L 1570-1610 nm)
- stabilità laser DFB
- HCT Heterowavelength Cross Talk; XPM, FWM

componenti DWDM

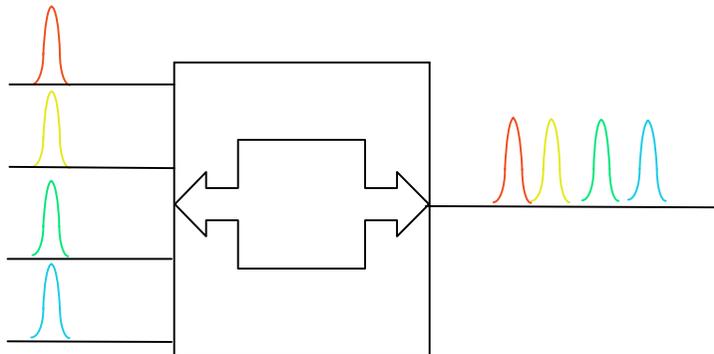


filtri ottici

sintonizzabili/fissi

- interferometro Fabry Perot
- interferometro Mach Zehnder
- reticoli: Bragg; acusto-ottici; elettro-ottici

MUX / DEMUX



- reticoli
- interferometro Mach Zehnder
- waveguide grating
- add/drop filter