



Livello Fisico II

Attenuazione, mezzi trasmissivi, rete in fibra ottica

Proprietà del LOGARITMO

- Dato un numero x si definisce $\log_{10} x$ quel numero y per cui $10^y = x$
- Esempi:
 - $\log_{10} 0,001 = -3$ poiché $10^{-3} = 0,001$
 - $\log_{10} 0,01 = -2$ poiché $10^{-2} = 0,01$
 - $\log_{10} 0,1 = -1$ poiché $10^{-1} = 0,1$
 - $\log_{10} 1 = 0$ poiché $10^0 = 1$
 - $\log_{10} 10 = 1$ poiché $10^1 = 10$
 - $\log_{10} 100 = 2$ poiché $10^2 = 100$
 - $\log_{10} 1000 = 3$ poiché $10^3 = 1000$
- Proprietà del logaritmo:
 - $\log_{10}(x \cdot y) = \log_{10} x + \log_{10} y$
 - $\log_{10}(x/y) = \log_{10} x - \log_{10} y$



DECIBEL

Il decibel (indicato sinteticamente con dB) viene utilizzato ampiamente nel mondo delle telecomunicazioni per indicare un VALORE RELATIVO di tensione, corrente oppure potenza

- $\text{dB} = 20 \log_{10} (V_2 / V_1)$
- $\text{dB} = 20 \log_{10} (I_2 / I_1)$
- $\text{dB} = 10 \log_{10} (P_2 / P_1)$



Attenuazione



Se il segnale di ingresso ha un potenza P_{IN} e il segnale di uscita ha una potenza P_{OUT} si definisce ATTENUAZIONE (o GUADAGNO) del collegamento A il rapporto:

$$A = P_{OUT} / P_{IN}$$

in **dB**: $A_{dB} = 10 \log_{10} (P_{OUT} / P_{IN})$

$$\left\{ \begin{array}{l} -10 \text{dB} \text{ significa } P_{OUT} = P_{IN}/10 \\ -3 \text{dB} \text{ significa } P_{OUT} = P_{IN}/2 \\ -40 \text{dB} \text{ significa } P_{OUT} = 10^{-4} P_{IN} \end{array} \right.$$

dBm : potenza in dB relativa a 1mW

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} (P / 1mW)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -10 \text{dBm} \text{ significa } P = 0,1 \text{mW} \\ 3 \text{dBm} \text{ significa } P = 2 \text{mW} \\ 40 \text{dBm} \text{ significa } P = 10 \text{W} \end{array} \right.$$

$$A_{dB} = P_{OUT} - P_{IN} \quad (\text{con } P_{OUT} \text{ e } P_{IN} \text{ in dBm})$$



dB e dBm

Rapporto di Potenza	dB	Rapporto di potenza	dB
10^0	0		
10^1	10	10^{-1}	-10
10^2	20	10^{-2}	-20
10^3	30	10^{-3}	-30
10^4	40	10^{-4}	-40
10^5	50	10^{-5}	-50
10^6	60	10^{-6}	-60

dBm	Watt	dBm	MilliWatt
66	4000	30	1000
63	2000	27	500
60	1000	23	200
57	500	20	100
50	100	17	50
47	50	13	20
43	20	10	10
40	10	7	5
37	5	6	4
33	2	3	2
30	1	0	1
		-3	0,5
		-6	0,25

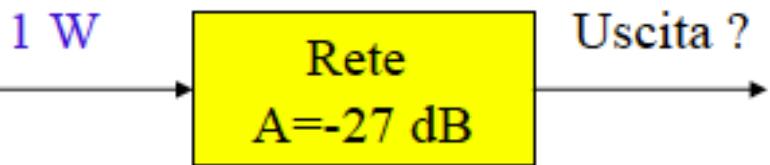


Attenuazione



- Attenuazione in dB: $A(\text{dB}) = 10 \log_{10}(\frac{P_o}{P_i}) = P_o (\text{dBW}) - P_i (\text{dBW})$
- Esempio:
 - $P_i = 1000 \text{ W}$, $P_o = 1 \text{ W}$, si ha una perdita o attenuazione $A = -30 \text{ dB}$;
 - $P_i = 1 \text{ W}$, $P_o = 2 \text{ W}$, si ha un guadagno $A = 3 \text{ dB}$;
 - $P_i = 1 \text{ W}$, $P_o = 0,5 \text{ W}$, si ha una perdita o attenuazione di $A = -3 \text{ dB}$;

Esempio:



- Se l'attenuazione fosse -30 dB si avrebbe una potenza di uscita pari a $1/1000$ dell'ingresso e quindi 1 mW . Poiché si ha $A = -27 \text{ dB}$ e quindi di 3 dB inferiore l'ampiezza è doppia cioè $P_o = 2 \text{ mW}$



Attenuazione del mezzo trasmittivo



L'attenuazione per km del mezzo trasmittivo α può espressa per comodità in unità logaritmiche (in **dB/km**).

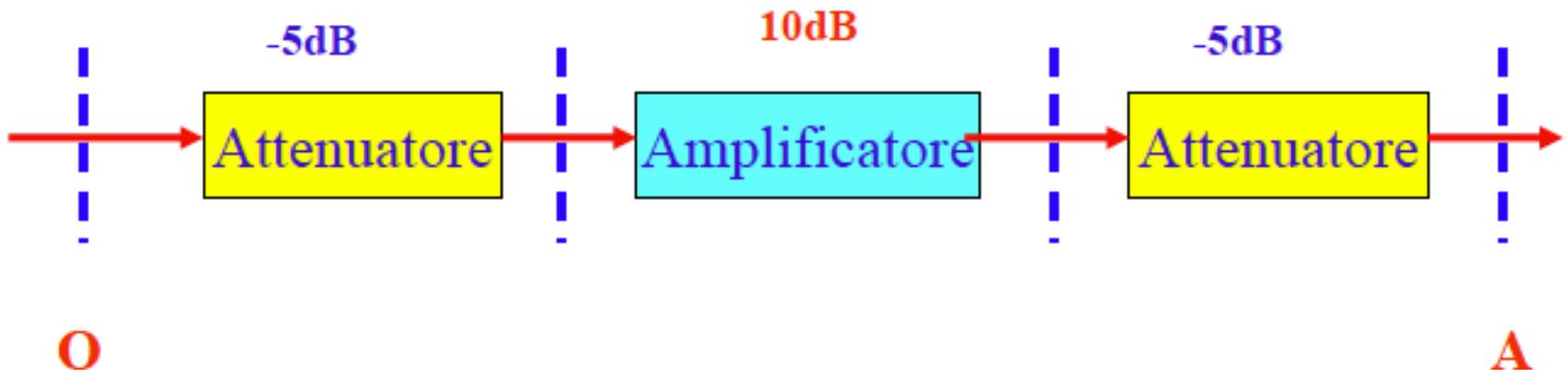
Attenuazione per km α è definita da: $P_{\text{OUT}} = P_{\text{IN}} e^{-\alpha L}$

$$10 \log_{10} \frac{P_{\text{OUT}}}{P_{\text{IN}}} = -\alpha_{\text{dB}} L$$

$$\text{dove } \alpha_{\text{dB}} = (10 \log_{10} e) \alpha = 4,343 \alpha$$



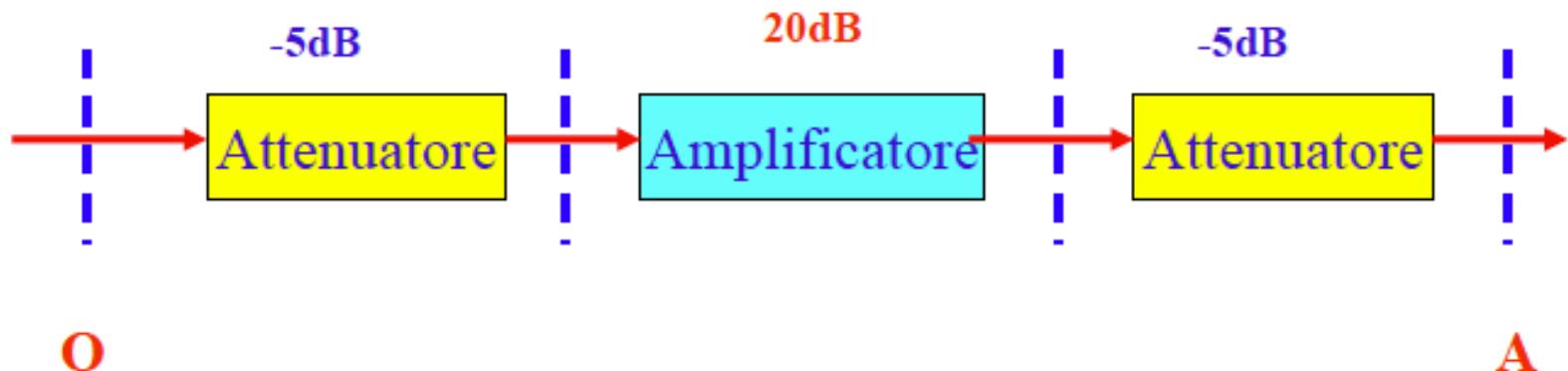
Esempio 1



- **O** e **A** hanno lo stesso livello di potenza
- Se $P_o = 0 \text{ dBm}$ allora $P_2 = 0 \text{ dBm}$
- Se $P_o = 3 \text{ dBm}$ allora $P_2 = 3 \text{ dBm}$



Esempio 2



- Il segnale in A ha un potenza 10 volte più grande che in O
- Se $P_0 = 0 \text{ dBm}$ (1 mW) allora $P_2 = 10 \text{ dBm}$ (10 mW)
- Se $P_0 = 3 \text{ dBm}$ (2 mW) allora $P_2 = 13 \text{ dBm}$ (20 mW)



Power budget

- **POWER BUDGET:** differenza (in dB) tra potenza media del trasmettitore e la potenza al ricevitore necessaria per ottenere le prestazioni volute.
 - E' la "dotazione" di potenza del sistema che si può "spendere" per supportare
 - tutte le attenuazioni note: perdite di linea $\alpha \cdot l$, altre perdite A_{extra} (es. connettori, giunzioni, ecc.)
 - un margine di sistema M per gli "imprevisti"

$$P_{TX} - P_{RX} = \alpha \cdot l + A_{extra} + M$$

perdite o attenuazione di linea = α (in dB/km) x lunghezza di tratta l (in km)

ATTENZIONE AL SEGNO

Se sono perdite in dB, si SOTTRAGGONO alla POTENZA DI PARTENZA in dBm



Classificazione dei mezzi trasmissivi

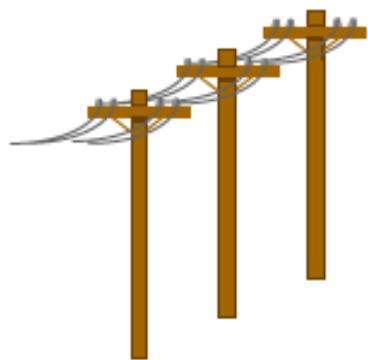
In base al fenomeno fisico utilizzato per trasportare i bit, i mezzi trasmissivi che costituiscono il canale di comunicazione possono essere classificati come:

- **Mezzi elettrici:** sono i mezzi trasmissivi classici che si basano sulla proprietà di certi metalli di condurre energia elettrica. Ad ogni bit è associato un particolare valore di tensione o corrente, oppure determinate variazioni di tali grandezze
- **Onde radio (wireless):** il segnale è associato ad un'onda elettromagnetica che si propaga nello spazio che ha la proprietà di riprodurre a distanza una corrente elettrica in un dispositivo ricevente (antenna)
- **Mezzi ottici (fibre ottiche):** basati sulla propagazione guidata della luce



Modalità di propagazione dell'informazione

Guidata



- **doppino telefonico**
- **cavi coassiali**
- **fibre ottiche**

Libera



- **canale radio**



Trasmissione WIRELESS

Le onde elettromagnetiche, generate dal movimento degli elettroni, viaggiano nello spazio (anche vuoto) alla velocità della luce e possono indurre una corrente in un dispositivo ricevente (antenna) anche molto distante .

Man mano che si sale in frequenza si hanno comportamenti diversi per le onde:

- le onde radio, di frequenza più bassa, passano attraverso gli edifici, percorrono lunghe distanze e vengono riflesse dalla ionosfera;
- a frequenze più elevate (lunghezza d'onda dell'ordine dei mm o meno) sono estremamente direzionali e vengono fermate dagli ostacoli (anche gocce di pioggia);
- la trasmissione è inerentemente di tipo broadcast.



Trasmissione WIRELESS

DENOMINAZIONE	SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA	USO
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE	ELF	0 - 3kHz	> 100Km	Bande marittime
FREQUENZE BASSISSIME	VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km	
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm

La velocità di trasmissione è funzione della ampiezza della banda passante utilizzata.

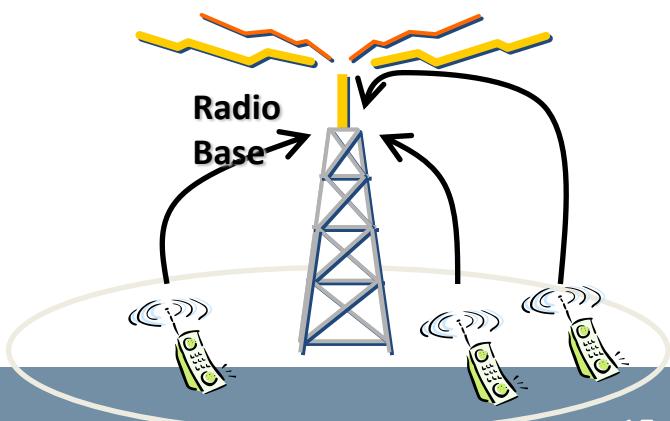
Si sfrutta trasmissione a banda traslata con modulazione di ampiezza e/o di fase.



Trasmissione WIRELESS

DENOMINAZIONE	SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA	USO
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE	ELF	0 - 3kHz	> 100Km	Bande marittime
FREQUENZE BASSISSIME	VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km	
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm

tel cellulari,
GPS



Attenuazione per propagazione in spazio libero

L'attenuazione in spazio libero aumenta con il bit-rate (e la corrispondente frequenza del segnale) e con la distanza percorsa.

Esempio satellite geostazionario: $\left\{ \begin{array}{l} f_{\text{portante}} = 6,126 \text{ GHz} \\ \text{distanza} = 35.800 \text{ km} \end{array} \right. \Rightarrow A = -198,6 \text{ dB}$

Esempio:

- $f=900 \text{ MHz}$
 - $d=100 \text{ m}$ $L_s=71,5 \text{ dB}$
 - $d=1 \text{ Km}$ $L_s=91,5 \text{ dB}$
 - $d=10 \text{ Km}$ $L_s=111,5 \text{ dB}$
 - $d=100 \text{ Km}$ $L_s=131,5 \text{ dB}$

L_s perdite della tratta

Esempio:

- $f=20 \text{ GHz}$
 - $d=100 \text{ m}$ $L_s=98,5 \text{ dB}$
 - $d=1 \text{ Km}$ $L_s=118,5 \text{ dB}$
 - $d=10 \text{ Km}$ $L_s=138,5 \text{ dB}$
 - $d=100 \text{ Km}$ $L_s=158,5 \text{ dB}$

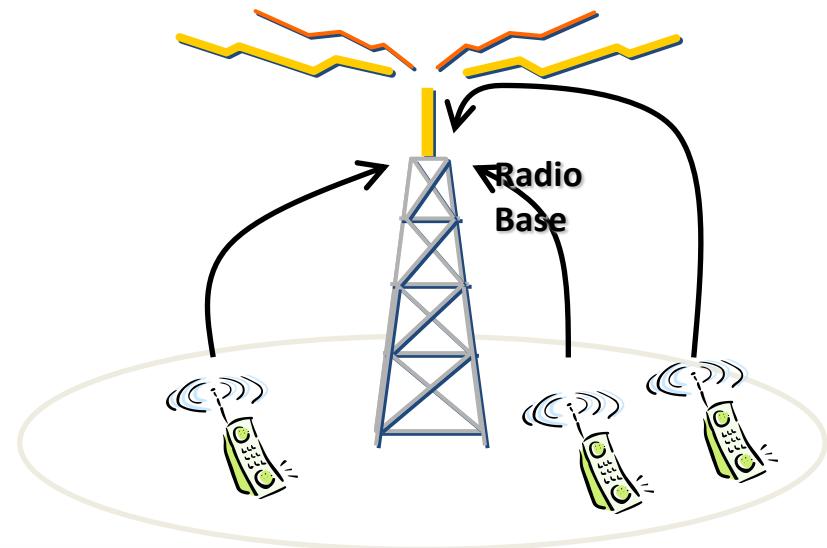
Esempio:

- $d=10 \text{ Km}$
 - $f=100 \text{ MHz}$ $L_s=92,4 \text{ dB}$
 - $f=1 \text{ GHz}$ $L_s=112,4 \text{ dB}$
 - $f=10 \text{ GHz}$ $L_s=132,4 \text{ dB}$



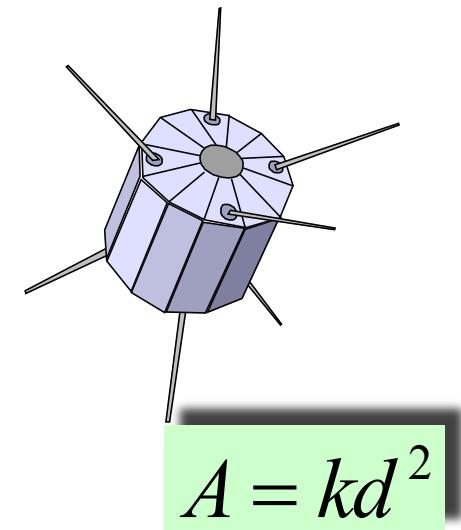
Attenuazione per propagazione in spazio libero

- Mezzo Radio
 - Banda limitata



$$A = kd^x$$

x compreso fra 3 e 4 ma d è piccola (fino a 30-50 Km)



DOPPINO

Consiste in una coppia di conduttori in rame (ricoperti da una guaina isolante) intrecciati l'uno con l'altro in forma elicoidale. Ciò minimizza le interferenze fra coppie adiacenti (2 fili paralleli costituirebbero infatti un'antenna; se intrecciati no). È stato usato in particolare per le connessioni terminali del sistema telefonico (da casa alla centrale più vicina).



La banda passante dipende dalla lunghezza.

Normalmente si utilizzano cavi con più coppie, in versione schermata o non schermata.

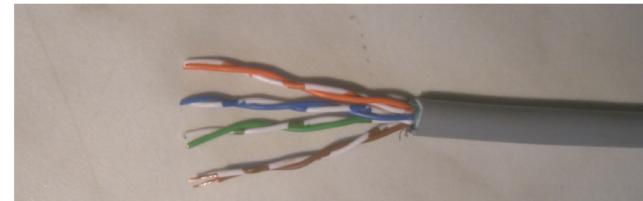


DOPPINO

I doppini sono divisi in categorie in funzione della velocità di trasmissione che possono supportare. Ricordiamo:

- categoria 3: 4 coppie contenute in una guaina di plastica. Comune nei cablaggi telefonici interni agli edifici (4 telefoni per stanza);
- categoria 5: simile alla 3, ma con un avvolgimento più fitto e con isolamento in teflon. Migliore qualità del segnale sulle lunghe distanze, adatto a collegamenti in ambito LAN (per esempio reti Ethernet fino a 100 Mb/s).

Attenuazione tipica:
Cat 5 → 20 dB/100m



DOPPINO



Tipico cavo con doppino ritorno non schermato a 4 coppie (8 fili) in categoria 5.

Tipico spinotto in plastica RJ45 usato come connettore in tutto le reti che funzionano su doppino. Contiene 8 fili.



CAVO COASSIALE

Offre un migliore isolamento rispetto al doppino e quindi consente velocità di trasmissione maggiore su distanze superiori.

E' costituito da un conduttore centrale in rame circondato da uno strato isolante all'esterno del quale vi è una calza metallica.

Usato in passato per sistemi telefonici su tratte lunghe (ora sostituito dalla fibra). Usato per la TV via cavo.



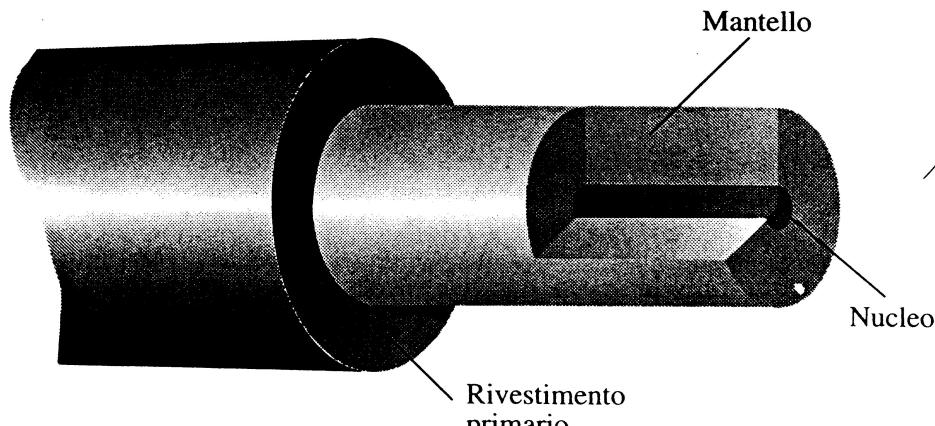
Attenuazione tipica:
versione thick → **5-8 dB/100m**
versione thin → **10-15 dB/100m**

Capacità di trasmissione:
→ **10 Mb/s x km**



FIBRA OTTICA

- Struttura guidante per i segnali ottici.
- Il salto d'indice di rifrazione n_1-n_2 tra il core e il cladding determina il confinamento del fascio ottico e l'instaurazione di modi di propagazione.



- Due tipi di fibra:
 - Multimodo **MMF**: diametro di core grande (50 - 62 μm)
 - Singolo modo **SMF**: diametro di core piccolo (<10 μm)

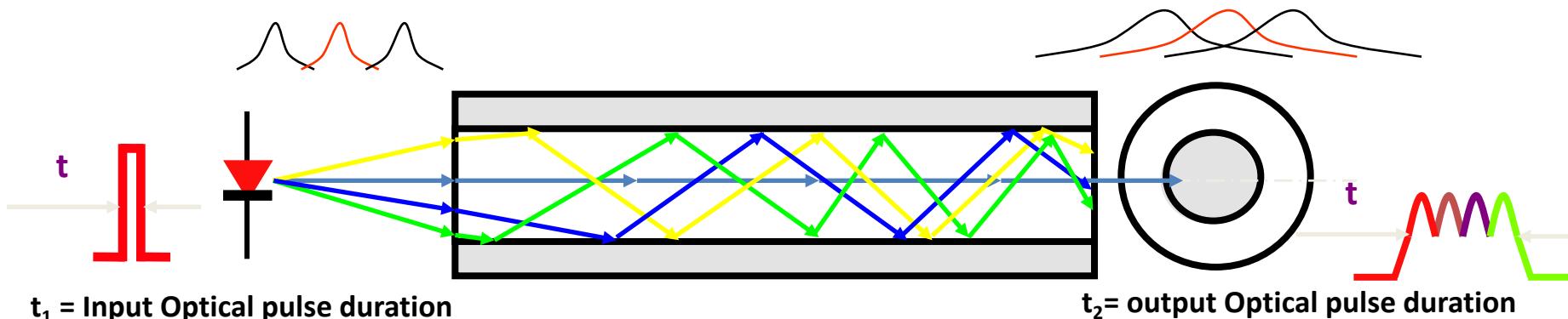
Fig. 1 - Costituzione di una fibra ottica.



Fibra ottica MULTIMODO MMF

- **Fibre ottiche multimodo:** la luce si propaga con diversi percorsi
 - distanza di trasmissione limitata dal fenomeno della **dispersione modale**
 - funzionamento nella cosiddetta 1° finestra (portante ottica a 850 nm) e in 2° finestra (a 1300 nm)
 - utilizzo per reti locali Ethernet e per collegamenti nei datacenter.

Max distanza di trasmissione:
-> 2 km a 100Msimboli/s
-> 1 km a 1 Gsimboli/s
-> 550m a 10 Gsimboli/s



t_1 = Input Optical pulse duration

t_2 = output Optical pulse duration



Fibra ottica SINGOLOMODO SMF

- Fibre ottiche monomodo: la luce si propaga in 1 modo
 - un solo modo di propagazione. Non si ha limite dovuto a dispersione modale.
 - banda passante è elevatissima (decine di THz)
 - funzionamento nella cosiddetta 2° finestra (portante ottica a 1300 nm) e in 3° finestra (a 1500 nm)
 - utilizzo per reti a lunga distanza e a grandi capacità: oggi oltre 100 Gb/s per canale su migliaia di km.



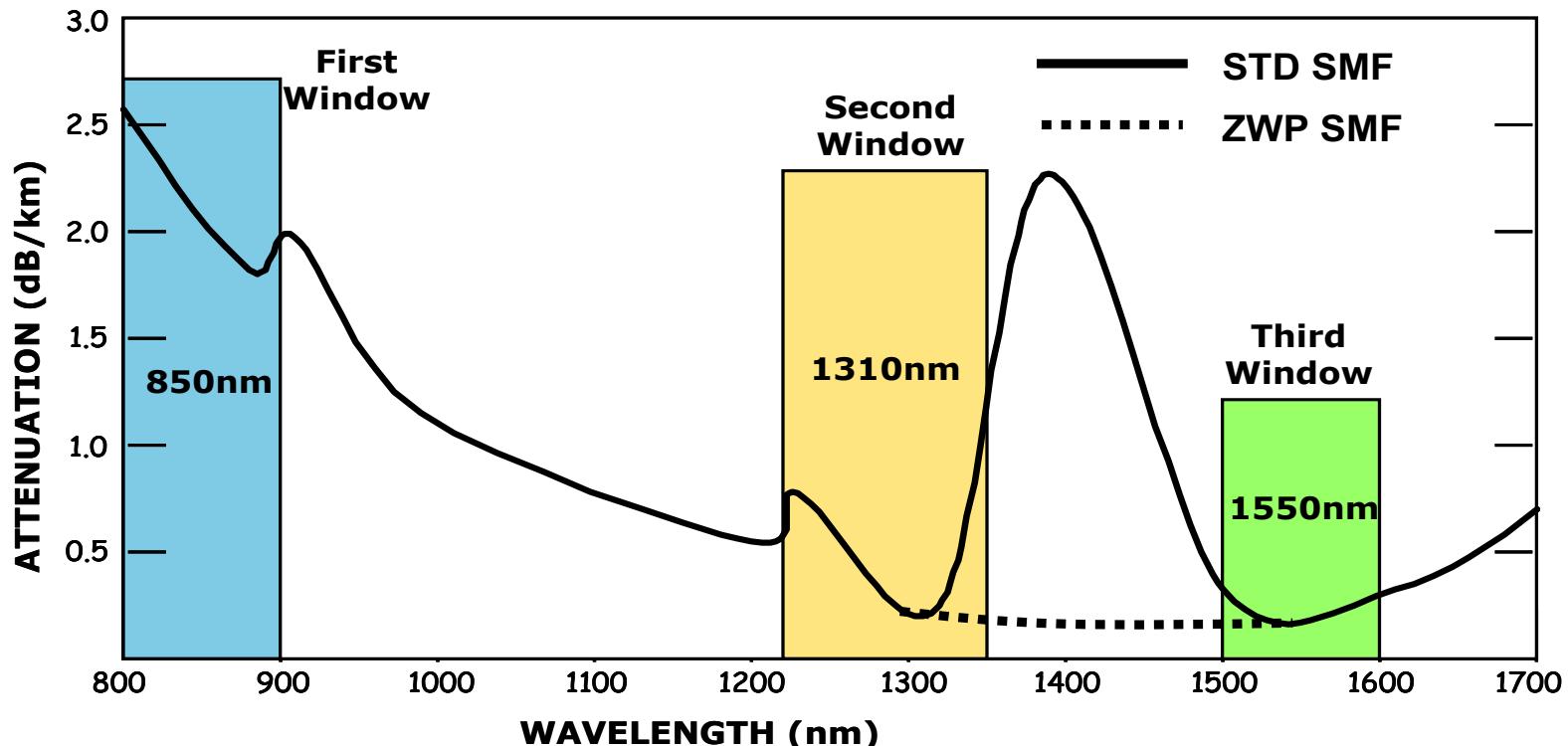
Attenuazione nelle fibre in vetro

Attenuazione tipica:

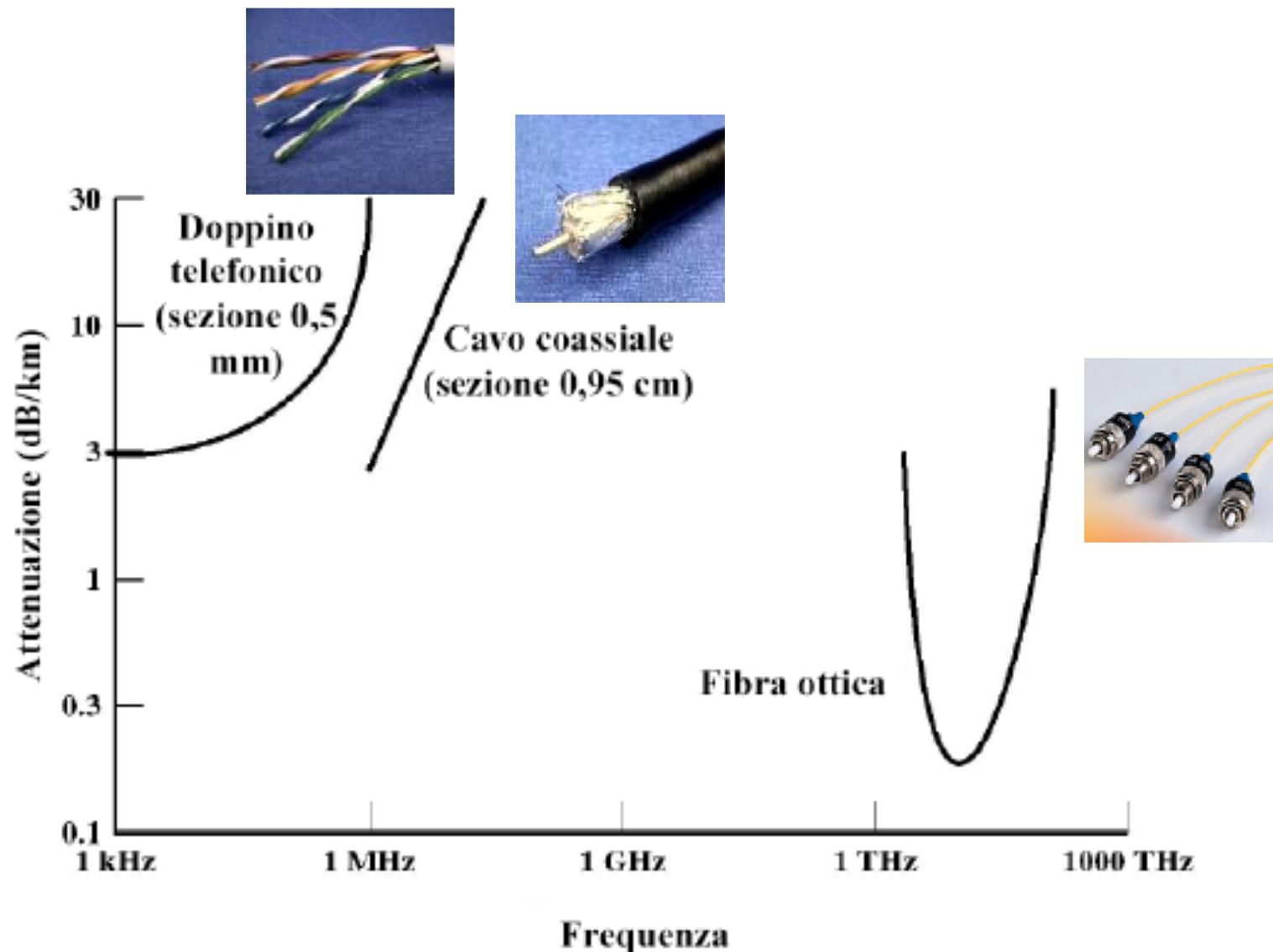
1° finestra 850 nm → 2 dB/km

2° finestra 1310 nm → 0.4 dB/km

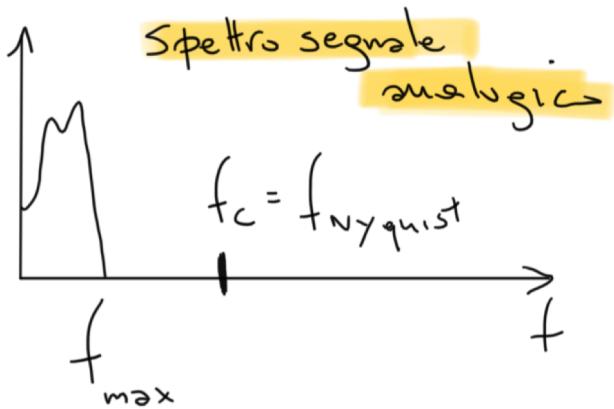
3° finestra 1550 nm → 0.2 dB/km



Mezzi trasmissivi guidanti a confronto



Conversione analogica-digitale

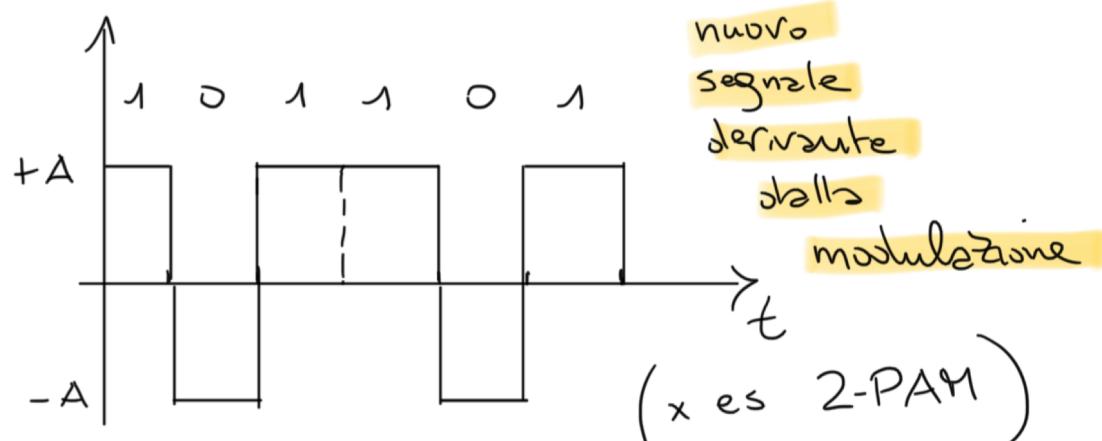


$$f_c = 2f_{max} \Rightarrow \text{QUANTIZZAZIONE}$$

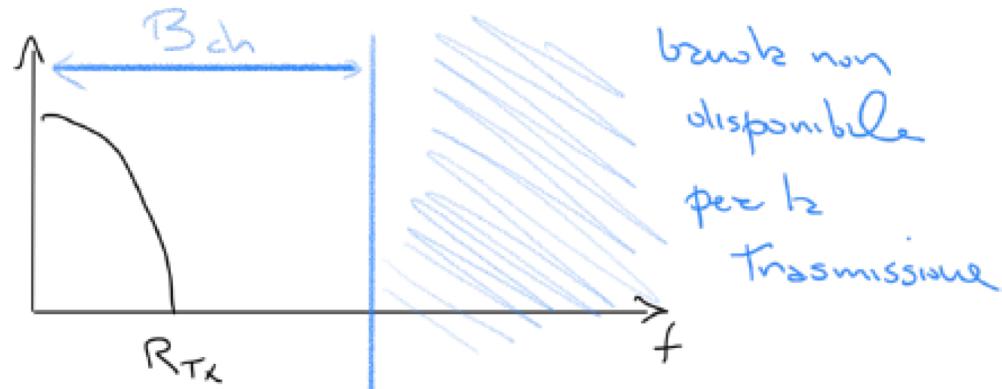


b bit per campione
(bit per livello)

$$R_{TX} = b f_c$$



Trasmissione in banda base



$$B_{ch} \geq R_{Tx}$$

rate di trasmissione (fisico dell'impulso)

$$B_{ch} \geq \frac{R_b}{n}$$

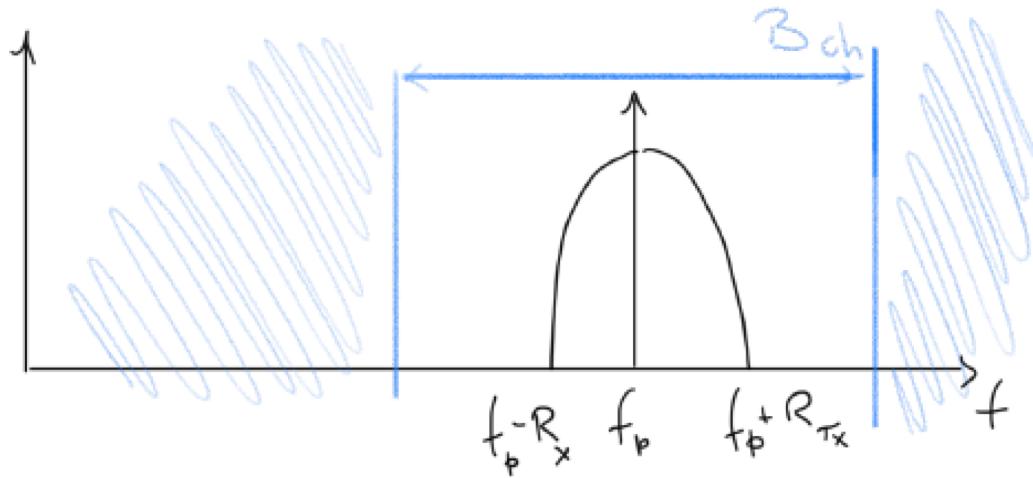
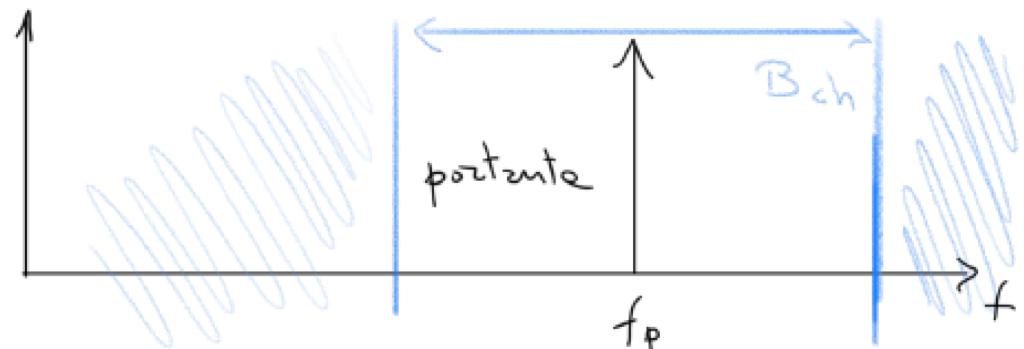
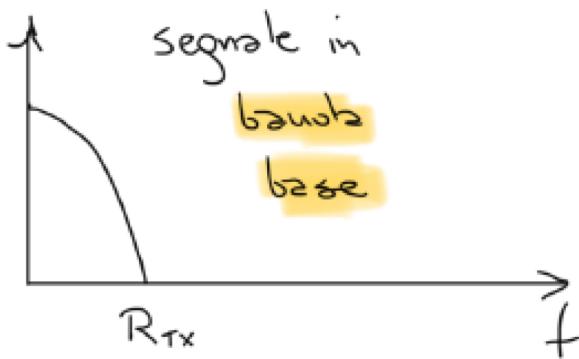
R_b bit-rate

n bit per simbolo

(modulazione multi-level)



Trasmissione in banda passante

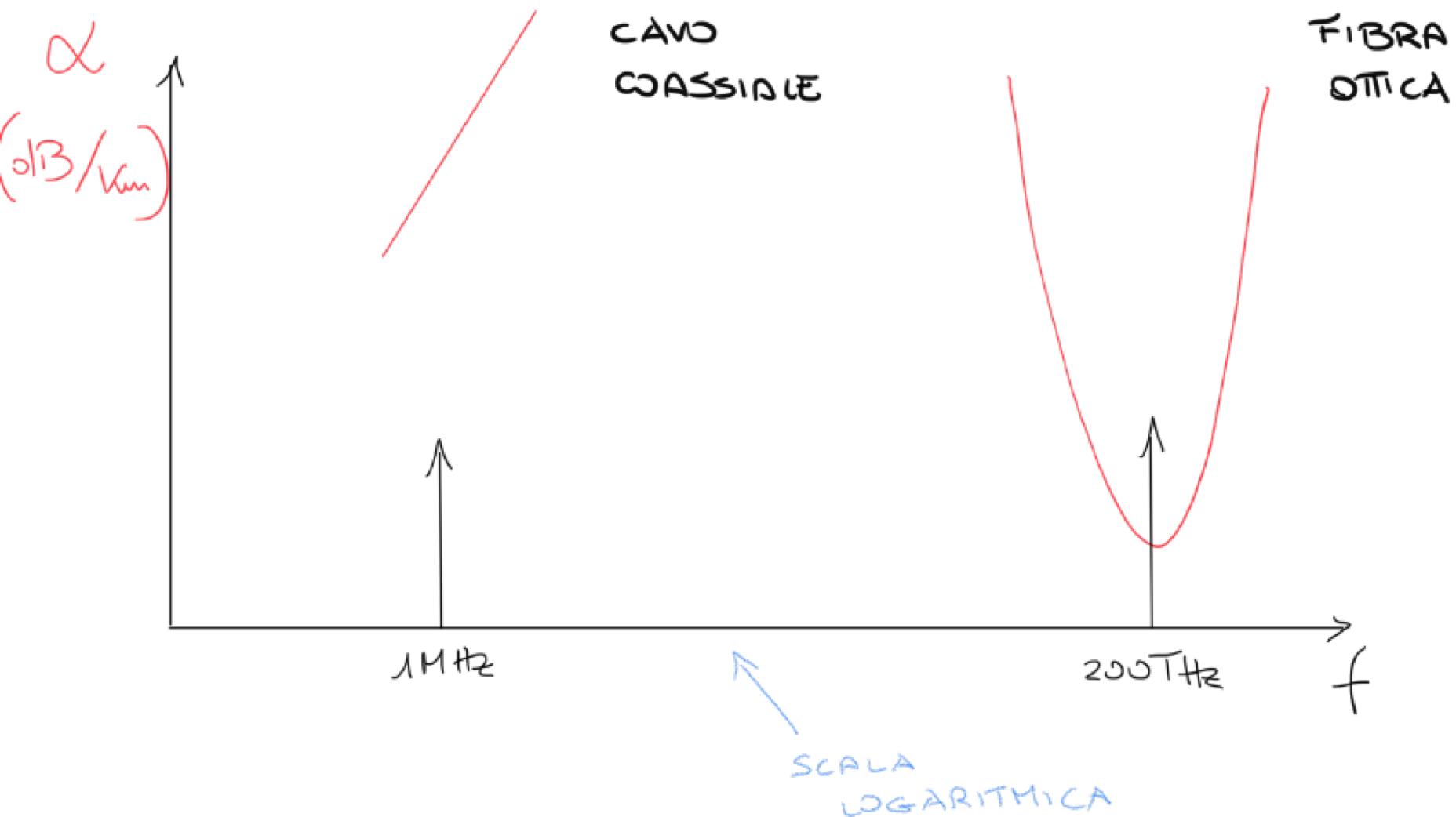


segnale in banda traslata

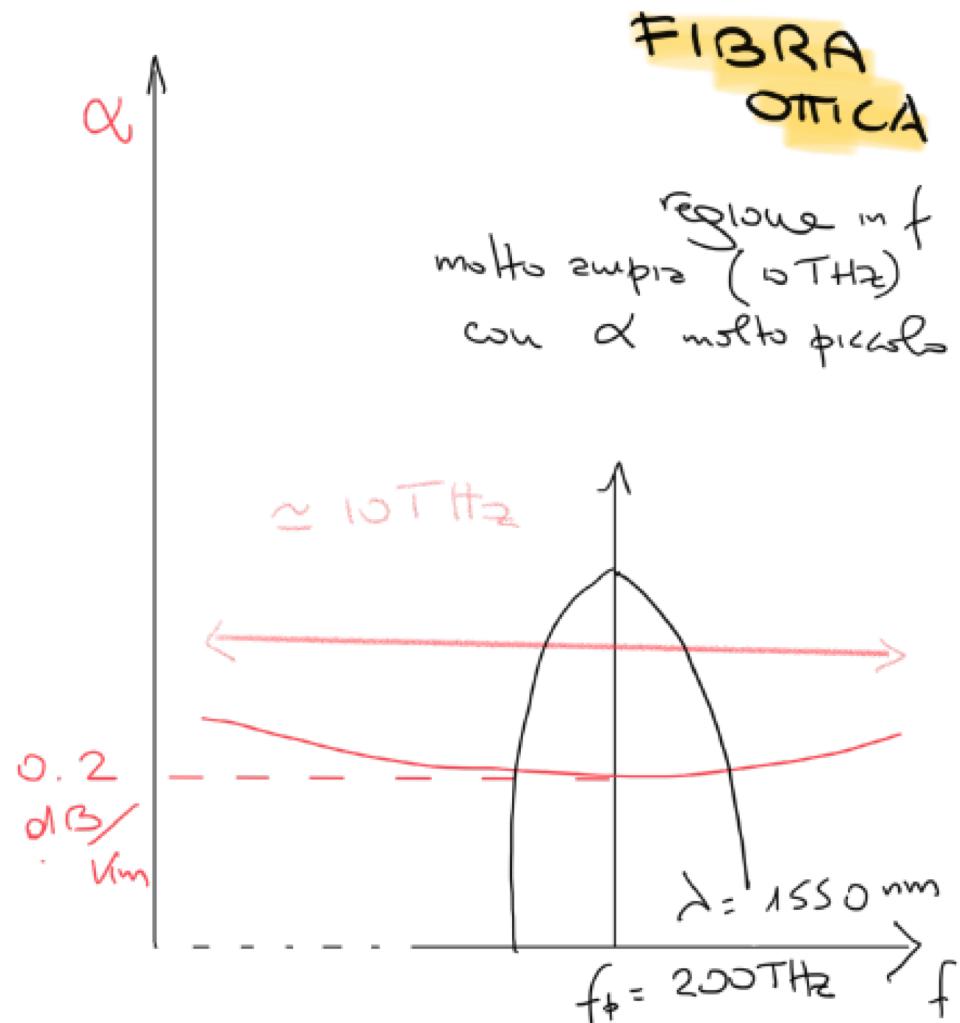
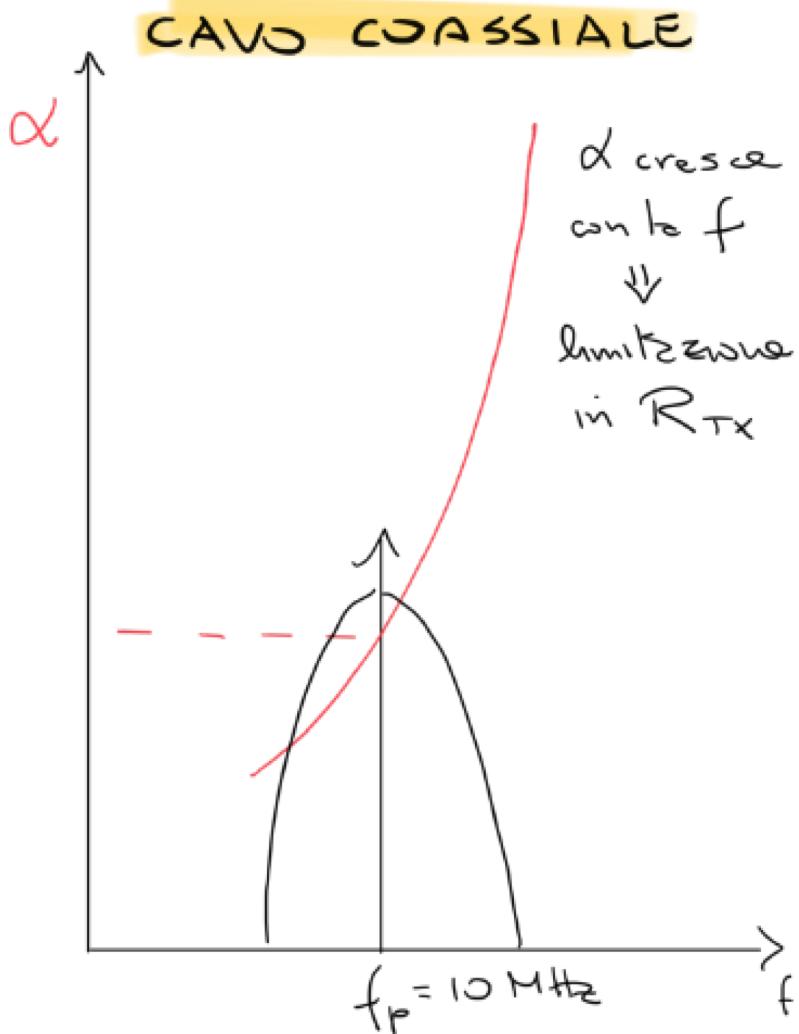
→ GRAZIE A MODULAZIONE
DELLA PORTANTE, LO SPETTRO DEL SEGNALE È TRASLATO



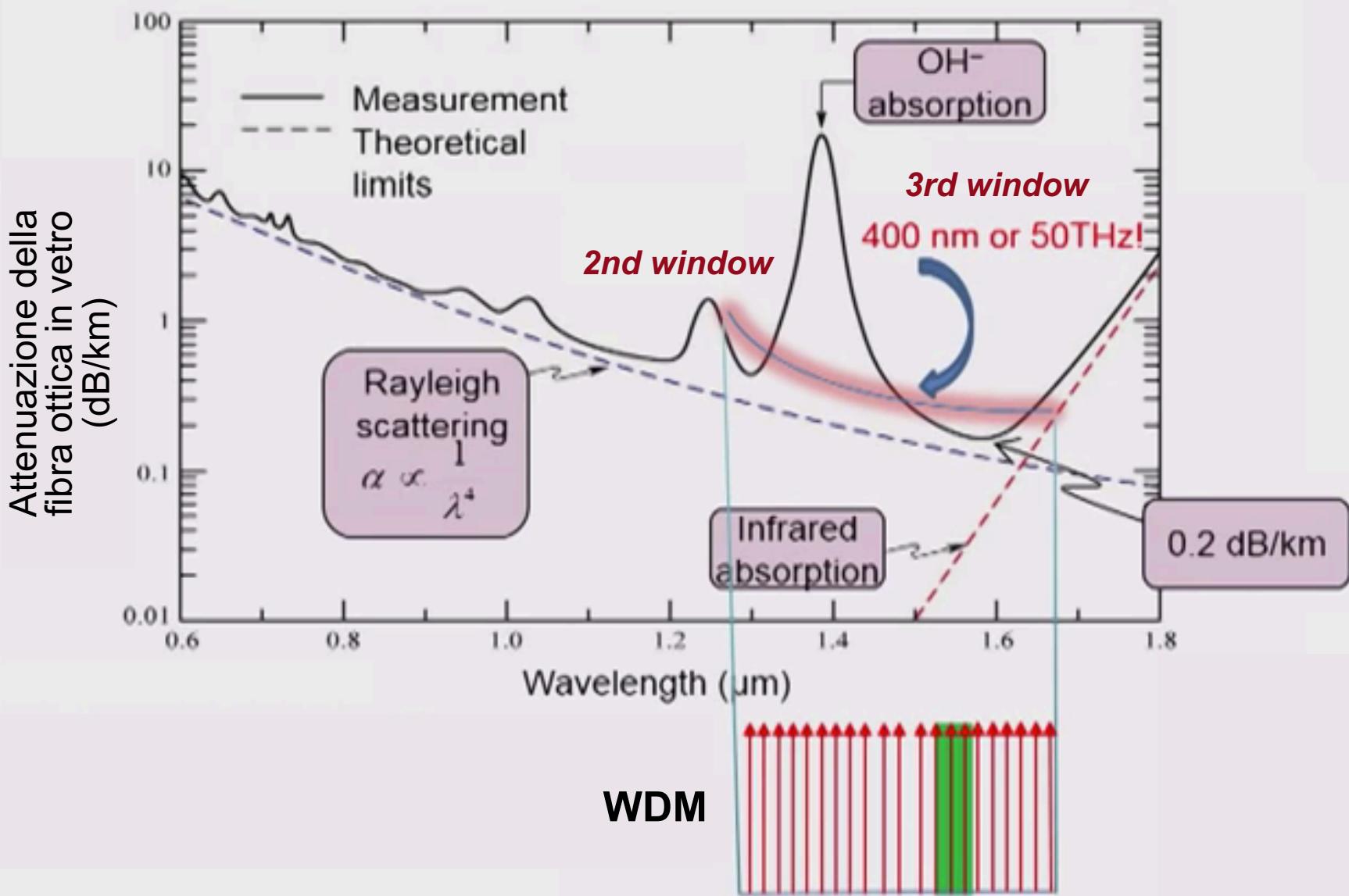
Mezzi trasmissivi guidanti a confronto



Mezzi trasmissivi guidanti a confronto



Lunghezza d'onda: WDM



Record di capacità trasportata in fibra ottica

- Highest **total capacity** on a fibre: **102.3 Tbit/s**, 240km [1], FDM PDM-64-QAM modulation/digital coherent detection
- Largest **capacity x distance** product over trans-oceanic distances: **52.2 Tb/s over 10230 km (534 Pbit/s*km)** and **54 Tbit/s over 9150 km (494 Pbit/s*km)** @ 5-6 bit/s/Hz, 180/200 Gbit/s PDM-16 QAM [2]
-
- Highest **spectral efficiency** [3]: **15.3 (bit/s)/Hz**, 66.6 Gb/s singlecarrier PDM-2048-QAM, 150 km
- Record **SE x distance** product [4]: 61740 (bit/s*km)/Hz (**6 (bit/s)/Hz x 10290 km**), PDM-16 QAM
- highest **bitrate per channel** is **10.2 Tbit/s** (1.28 TBd) [5], OTDM/PDM 16-QAM
- SDM highest **total capacity** [6]: **1 petabit/s** over 52km, 12-core fibre

[1] A. Sano et al, NTT, OFC Postdeadline 2012

[2] J. X. Cai et al, Tyco Subsea Communications, ECOC 2014

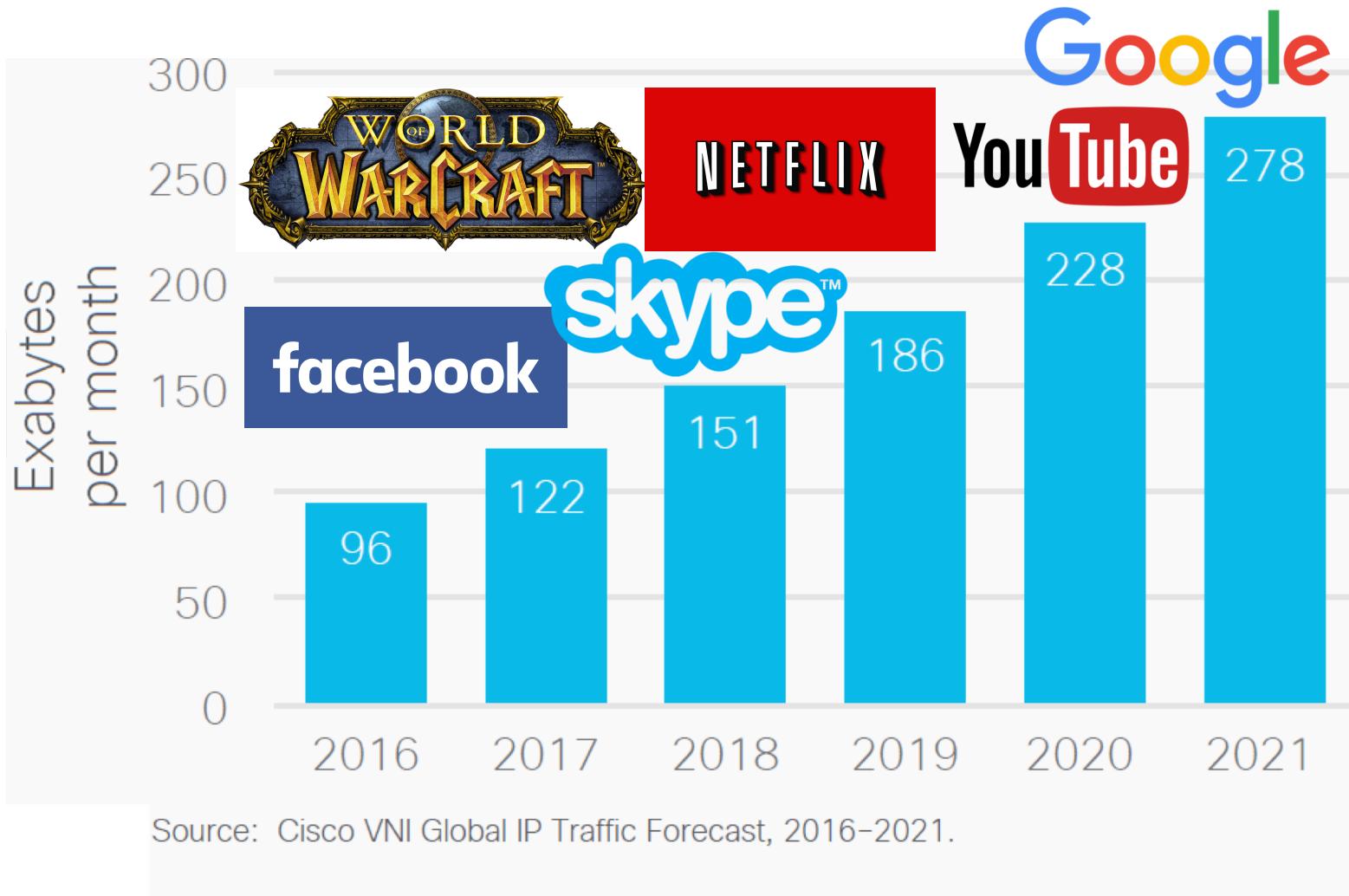
[3] M. Beppu et al, Tohoku University, OFC 2014

[4] H. Zhang et al, Tyco Subsea Communications, OFC Postdeadline 2013

[5] T. Richter et al, HHI, OFC Postdeadline 2011

[6] H. Takara et al, NTT, ECOC Postdeadline 2012

Crescita del Traffico



Banda Ultra Larga a casa dell'utente

La **BANDA ULTRA LARGA** a casa dell'utente finale significa portare tutte le soluzioni di rete che permettano di offrire connettività da 30Mb/s fino a oltre 10Gb/s . Ciò è reso possibile **solo** grazie all'uso della **FIBRA OTTICA**

Sono possibili tre distinte tecnologie:

- **FTTCab** – Fiber to the Cabinet (**fibra fino agli armadi**) -> velocità fino a 100Mb/s con evoluzione a 200Mb/s
- **FTTB** – Fiber to the Building (**fibra fino all'edificio**) -> velocità da 100Mb/s a 1Gb/s
- **FTTH** – Fiber to the Home (**fibra fino a casa**) -> velocità superiore a 1Gb/s



Banda Ultra Larga a casa dell'utente

Da soluzione tutto RAME (ADSL) alla soluzione tutto FIBRA (FTTH) con soluzioni complementari e scalabili

