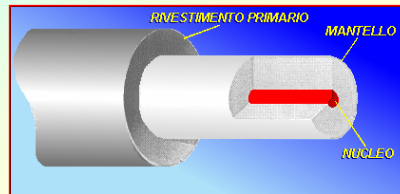


# FIBRE OTTICHE



Ricerca ed organizzazione appunti:

*Prof. ing. Angelo Bisceglia*

ver. 2.211

1

- Generalità
  - Natura fisica della fibra
  - Il segnale luminoso
  - Trasmissione ottica
  - Propagazione luminosa e indice di rifrazione
- Propagazione luminosa
  - Dispersione modale
  - Attenuazione
  - Dispersione cromatica e trasduttori elettro-ottici
  - Prodotto Banda-Lunghezza e Codici di linea
  - Trasduttori elettro-ottici
- Multiplazione a divisione di lunghezza d'onda - WDM
- Ridondanza e pericoli naturali
- Sonet

2

# Generalità

3

## Natura fisica della fibra

Una fibra ottica è realizzata in vetro o silicio fuso, ovvero qualunque materiale dielettrico trasparente alla luce, tanto che può essere realizzata anche in plastica.

Il suo utilizzo è quello di trasportare energia luminosa in modo guidato.

Una caratteristica che deriva direttamente dalla sua natura, è l'immunità della fibra ottica ai disturbi di natura elettromagnetica; tale proprietà impedisce fenomeni di interferenza (diafonia), così come non permette di prelevare segnale dall'esterno (intercettazione).

4

### Il segnale luminoso

Le lunghezze d'onda delle radiazioni elettromagnetiche nel campo del visibile sono comprese tra

50 nm dell'ultravioletto fino a circa 100  $\mu\text{m}$  dell'infrarosso, che corrispondono a frequenze (ricordando che  $f = c_0 / \lambda$ ) comprese da  $6 \cdot 10^{15}$  Hz a  $3 \cdot 10^{12}$  Hz.

Questi valori individuano una banda passante veramente notevole se comparata ad altri mezzi trasmissivi.

5

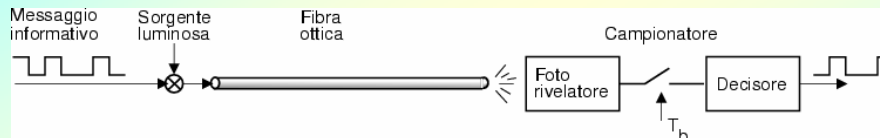


	Ultravioletto	→	Infrarosso	
$\lambda$	$50 \cdot 10^{-9}$	→	$9 \cdot 10^{-6}$	metri
$f$	$6 \cdot 10^{15}$	←	$3 \cdot 10^{12}$	Hz

6

## Trasmissione ottica

Anche se sono teoricamente possibili schemi di modulazione analogici, le fibre ottiche sono usate prevalentemente per trasportare informazione di natura *numerica* secondo lo schema



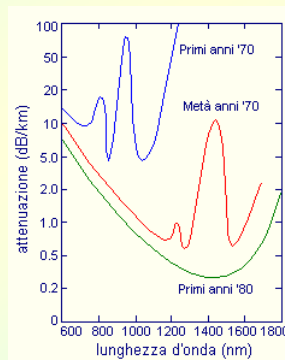
in cui la luce emessa da una sorgente è accesa o spenta (ovvero modulata in ampiezza con uno schema ON/OFF).

All'altro estremo della fibra, un fotorivelatore effettua una rivelazione incoerente dell'energia luminosa, che viene nuovamente convertita in un segnale elettrico.

7

Le prime fibre ottiche risalgono al 1970, e fornivano attenuazioni dell'ordine di 20 dB/Km.

Attualmente si sono raggiunti valori di attenuazione di 0.2 dB/Km, pari ad un quarto di quella dei migliori cavi coassiali.



8

D'altra parte, a differenza del rame, il materiale utilizzato per le fibre (vetro o silicio) è largamente disponibile in natura. Inoltre, a parità di diametro, una fibra ottica trasporta un numero anche 1000 volte maggiore di comunicazioni rispetto ad un cavo coassiale, fornendo quindi anche un risparmio di spazio.

9

**La propagazione della luce è studiabile secondo i metodi della:**

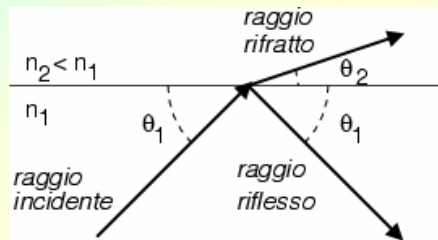
**Ottica geometrica:** la propagazione è descritta tramite raggi luminosi con i quali si visualizza la direzione di propagazione (metodo approssimato valido quando  $l$  è molto minore delle dimensioni della struttura in cui essa si propaga)

**Ottica fisica:** la propagazione è descritta tramite modi di propagazione (metodo più completo e preciso per analizzare la propagazione in una f.o. di dimensioni molto piccole)

10

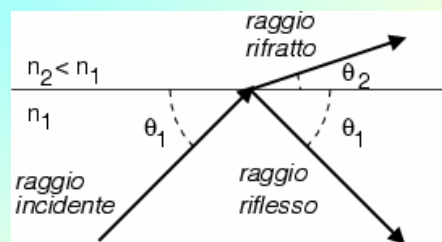
### Propagazione luminosa e indice di rifrazione

Lo spazio libero è il mezzo di propagazione in cui la luce viaggia più velocemente. Il rapporto tra  $c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  e la velocità di propagazione  $v$  di un mezzo trasparente, è l'*indice di rifrazione*  $n$  del mezzo stesso.



Quando un raggio luminoso incontra un mezzo con diverso indice  $n$  (ad es. da  $n_1$  ad  $n_2 < n_1$ ) una parte di energia si riflette con angolo uguale quello incidente, e la restante parte continua nell'altro mezzo, ma con diverso angolo.

11



Indice di rifrazione  
 $n = c_0 / v$

Risulta  $n_2 / n_1 = \cos \theta_1 / \cos \theta_2$

e dunque il raggio rifratto è più inclinato nel mezzo con  $n$  inferiore (dove viaggia più veloce).

Esiste un valore  $\theta_L = \arccos (n_2 / n_1)$

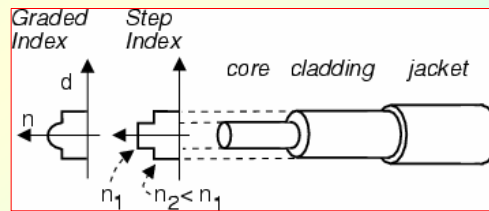
sotto il quale non si ha rifrazione, ma tutto il raggio viene riflesso (*RIFLESSIONE TOTALE* ;  $\theta_L$  *angolo limite*).

12

È proprio su questo fenomeno che si basa l'attitudine delle fibre ottiche di trasportare energia luminosa.

La fibra ottica è infatti costituita da:

un nucleo (*core*) centrale con indice di rifrazione  $n_1$ ,  
 circondato da un rivestimento (*cladding*) con indice  $n_2 < n_1$ ;  
 entrambi racchiusi in una guaina (*jacket*) di materiale opaco



**Step-index**

$n_1 = \text{cost.}$

$n_2 = n_1 \times (1 - D)$  con  $D \ll 1$

**Graded-index**

$n_1 = \text{cost.}$

$n_2(r) = n_1 [1 - D (r/a)^\alpha]$

$r$  distanza dall'asse della F.O.

$a$  raggio del core

$D$  varia tra 0.01 e 0.02

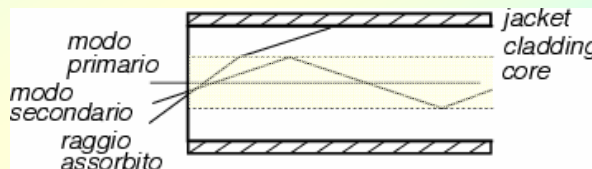
$\alpha$  prossimo a 2

13

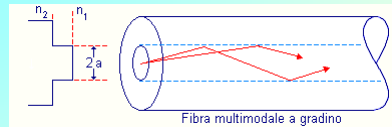
Quando una sorgente luminosa è posta davanti alla fibra, l'energia si propaga mediante diversi **modi di propagazione**, definiti nel contesto della meccanica quantistica, e identificabili in chiave di ottica geometrica come i diversi angoli di incidenza.

Il **modo principale** è quello che si propaga lungo l'asse rettilineo, mentre i **modi secondari** sono quelli con angolo  $< \theta_L$ , che si riflettono completamente al confine tra core e cladding.

I modi associati ad angoli  $> \theta_L$  vengono progressivamente assorbiti dalla guaina, e dunque non si propagano.

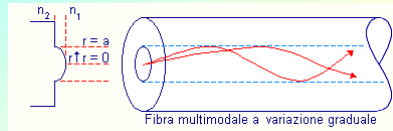


14



Si possono trasmettere solo raggi aventi tra loro

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$$



(modi di propagazione per quantizzazione degli angoli)

Il numero dei modi M è dato da:

$$M = \frac{(\pi NA a)^2}{2\lambda^2}$$

15

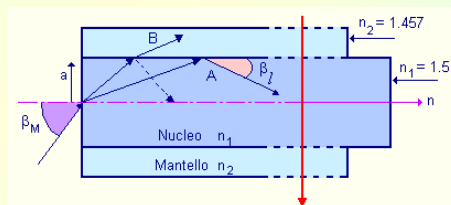
Il valore [in genere 0,15 ÷ 0,25]

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sin \theta_L$$

prende il nome di *apertura numerica*, e permette di risalire al massimo angolo di incidenza mediante la relazione

$$\theta_L = \arcsin \frac{NA}{n_1}$$

Come si vede, NA è tanto più piccolo quanto più  $n_1$  ed  $n_2$  sono simili.



16

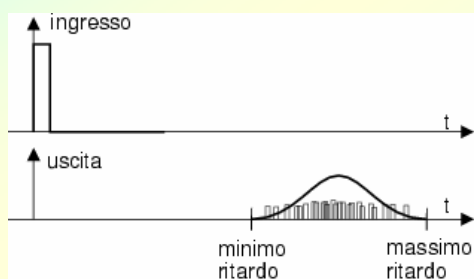


## Propagazione luminosa

17

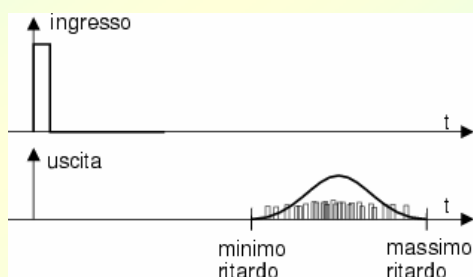
### Dispersione modale

Questo fenomeno è dovuto al fatto che i modi propagazione relativi agli angoli di incidenza più elevati, percorrono di fatto *più strada*, e dunque impiegano più tempo per giungere a destinazione.



18

Pertanto, ogni singolo impulso luminoso presente in ingresso produce in uscita più impulsi distanziati nel tempo, uno per ogni modo di propagazione. Dato che inoltre avviene un continuo scambio di energia tra i diversi modi, si ottiene che l'uscita sarà un segnale con una sagomatura allargata. L'entità della *dispersione temporale* (differenza tra ritardo max e min) sarà tanto maggiore quanto più il collegamento è lungo, e quanti più modi partecipano alla propagazione.



19

L'effetto più appariscente del fenomeno descritto consiste nella limitazione della massima frequenza con cui gli impulsi luminosi possono essere posti in ingresso alla fibra; impulsi troppo vicini risulterebbero infatti indistinguibili in uscita. Pertanto la massima frequenza di segnalazione in una fibra ottica, dipende dalla lunghezza della fibra stessa.

20

Si chiamano *fibre multimodo* le fibre ottiche in cui sono presenti più modi di propagazione( anche alcune centinaia).

Queste sono del tipo STEP INDEX se  $n$  cambia in modo brusco, o GRADED INDEX se il *core* ha un indice graduato.

Nel secondo caso la dispersione temporale è ridotta; infatti quando i modi secondari attraversano la sezione periferica del core incontrano un indice di rifrazione  $n$  ridotto e quindi viaggiano più veloci.

Si ricorda che il numero  $M$  dei modi è dato da:

$$M = \frac{(\pi NA d)^2}{2 \lambda^2}$$

21

Una diversa (e drastica) soluzione al problema della dispersione temporale, è fornita dalle *fibre monomodo*:

queste sono realizzate con un core di diametro così piccolo, da permettere la propagazione del solo modo primario.

Ovviamente le ultime due soluzioni (graded index e fibra monomodo) si sono rese possibili grazie ai progressi nei processi di fabbricazione.

Per concretizzare il discorso, è sufficiente citare che il diametro del core passa dai 50  $\mu\text{m}$  per le fibre multimodo, a circa 8  $\mu\text{m}$  nel caso monomodo.

22

Affinché una F.O. step-index sia monomodale occorre che l'indice modale o frequenza normalizzata  
(  $a \Rightarrow$  raggio del core )

$$\Gamma = \frac{2 \pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

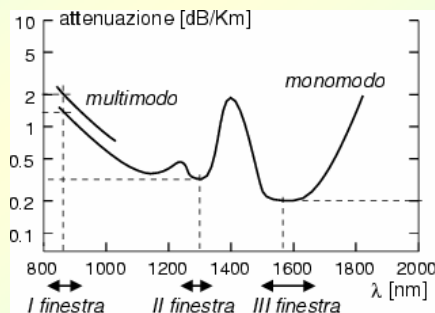
abbia un valore inferiore a 2.405  
(  $\Rightarrow$  raggio core tra 3 ÷ 10  $\mu\text{m}$  )

23

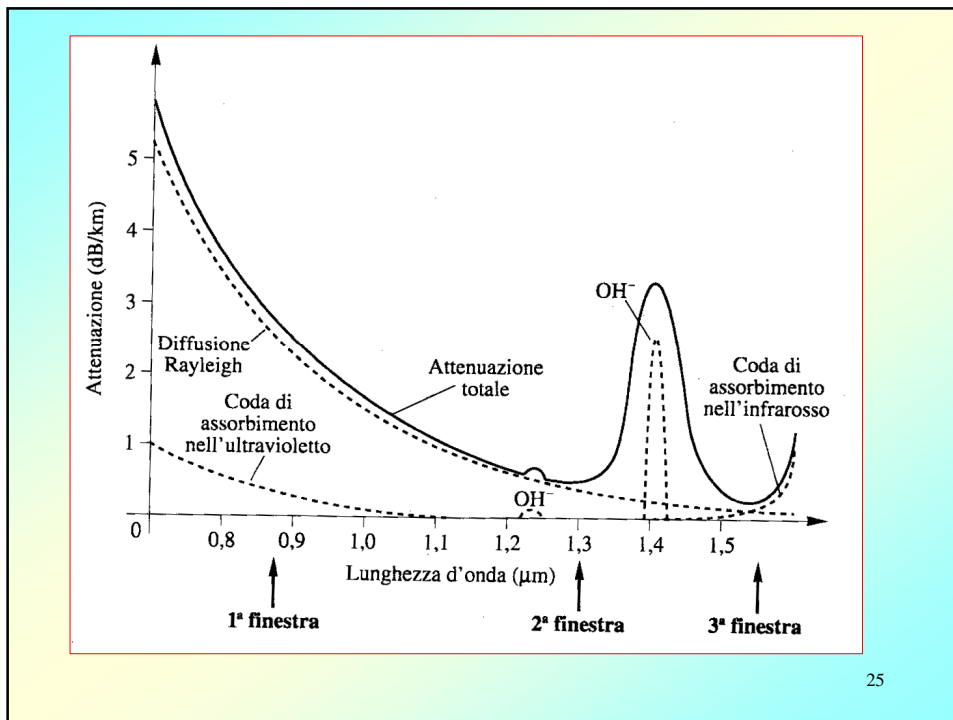
### Attenuazione

In modo simile ai cavi elettrici, anche le fibre ottiche sono mezzi dissipativi, in quanto parte dell'energia in transito viene assorbita dalla fibra stessa e trasformata in calore.

I fenomeni di assorbimento sono legati alla presenza di impurità chimiche, che possono ridurre la trasparenza oppure avere dimensioni (a livello molecolare) comparabili con le lunghezze d'onda in gioco.



24



25

Per questi motivi la caratteristica di attenuazione chilometrica ha un andamento fortemente dipendente da  $\lambda$ .

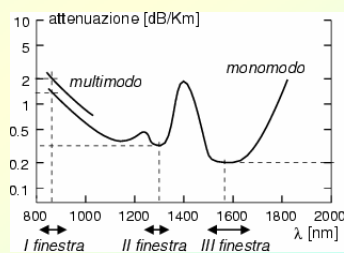
Sono stati individuati tre intervalli di lunghezze d'onda (detti *finestre*) per i quali l'assorbimento è ridotto ed in questi sono effettuate le trasmissioni ottiche.

Finestra	I	II	III
$\lambda$	.8 ÷ .9 $\mu\text{m}$	1.2 ÷ 1.3 $\mu\text{m}$	1.5 ÷ 1.7 $\mu\text{m}$
$A_d(\text{dB/Km})$	1.2 (monom.) 2 (multim.)	.35	.2

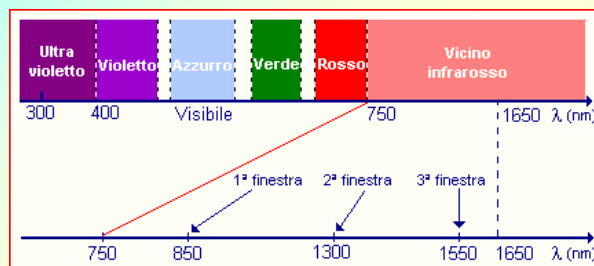
26

La **prima finestra** (con attenuazione maggiore) è stata l'unica disponibile agli inizi, a causa dell'assenza di trasduttori affidabili a frequenze inferiori, ed è tuttora usata per collegamenti economici e scarsamente critici.

La **seconda finestra** ha iniziato ad essere usata assieme alle fibre monomodo, grazie all'evoluzione tecnologica dei trasduttori; l'uso della **terza finestra** si è reso possibile dopo essere riusciti a limitare la *dispersione cromatica* delle fibre



27

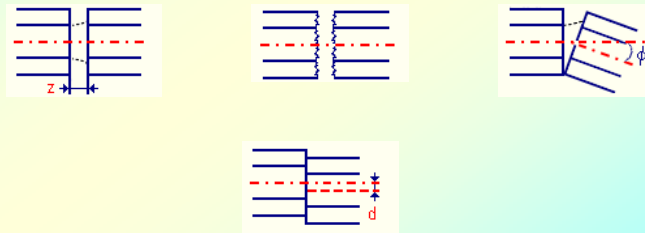


28

Un'altra fonte di attenuazione può avere origine dalle *giunzioni* tra tratte di fibre ottiche:

l'uso di connettori produce una perdita di  $0.4 \div 1$  dB, ed i giunti meccanici 0.2 dB oppure anche 0.05 dB se ottimizzati per via strumentale.

Si possono infine *fondere* tra loro le fibre, con perdite tra 0,01 e 0,1 dB.



29

### Attenuazione per interconnessione di due tronchi di F.O

{ sorgente (S) → ricevente (R) }

Differenza tra i diametri d (solo quando  $d_s > d_r$ )

$$A_d = 20 \lg (d_s/d_r) \quad [\text{dB}]$$

Differenza tra i NA (solo quando  $NA_s > NA_r$ )

$$A_{NA} = 20 \lg (NA_s/NA_r) \quad [\text{dB}]$$

Differenza tra gli indici di rifrazione del core:

trasmissione  $\rightarrow \tau = 4/(2 + n_s/n_r + n_r/n_s)$   $A_n = 10 \lg (1/\tau) \quad [\text{dB}]$

Errori di disaccostamento

(le 2 F.O. non perfettamente a contatto ma separate da una distanza x)

$$A_x = 3,6 \times NA / d \quad [\text{dB}]$$

Errori di disassamento

(disallineamento tra i 2 assi delle fibre di un valore s)

$$A_s = 5,6 s / d \quad [\text{dB}]$$

Errori di disallineamento angolare

(i 2 assi delle F. O. formano un angolo  $\alpha$ )

$$A_\alpha = 3,7 \alpha / NA \quad [\text{dB}]$$

30

### Dispersione cromatica e trasduttori elettro-ottici

Dopo aver ridotto od eliminato il fenomeno di dispersione modale, si è individuata una ulteriore causa di dispersione temporale dell'energia immessa nella fibra ottica: il problema si verifica se il segnale di ingresso non è perfettamente monocromatico, ovvero *sono presenti diverse lunghezze d'onda*.

Dato che il valore dell'indice di rifrazione dipende dalla lunghezza d'onda,  $\lambda$  diverse si propagano con velocità differenti e raggiungono l'altro estremo della fibra in tempi successivi. La dispersione cromatica nominale  $D_0$  della fibra si misura in [ps/(Km nm)] e dà luogo ad una dispersione temporale  $D = D_0 \cdot L \cdot \Delta\lambda$  tanto maggiore quanto più è lunga la fibra, e quanto più è estesa  $\Delta\lambda$  i. e. la gamma cromatica della sorgente.

31

Per ridurre il fenomeno è possibile:

- Utilizzare una lunghezza d'onda per la quale la dispersione cromatica è ridotta.  
*Ad es.* una fibra di silicio produce una dispersione cromatica 15 volte inferiore a 1.3  $\mu\text{m}$  che non a 1.5  $\mu\text{m}$ .
- Scegliere una sorgente con la minima estensione cromatica  $\Delta\lambda$  possibile.

32



Per ciò che riguarda il secondo punto, i trasduttori usati per primi sono stati gli economici **LED** (*Light Emitting Diode*), che richiedono una circuiteria di interfaccia semplice, sono poco sensibili alle condizioni ambientali, e quindi risultano affidabili. D'altra parte i LED emettono luce su più lunghezze d'onda mentre per limitare la dispersione cromatica (e quindi raggiungere frequenze di segnalazione più elevate) occorre ricorrere ai *Diodi Laser* (LD).

Sorgente	$\lambda$ (nm)	$W_{dR}$ (dBm)	$\Delta\lambda$ (nm)
Si LED	850	-16	50
Ge LED	1300	-19	70
InGaAsP LED	1300	-10	120
DFB LASER	1300	-5	1
DFB LASER	1550	-5	0.4
IL/DFB LASER	1550	+2	0.8

33

I **LASER** forniscono anche una maggiore potenza, e quindi divengono indispensabili per coprire distanze maggiori. D'altra parte sono più costosi, hanno vita media ridotta rispetto ai LED, e richiedono condizioni di lavoro più controllate. Si noti inoltre che una fibra ottica posta inizialmente in opera mediante sorgenti LED, può essere potenziata (in termini di banda) sostituendo il LED con il LASER.

L'uso di sorgenti che operano in III finestra, che (presentando una attenuazione ridotta) permette di operare con tratte più lunghe, obbliga in generale a ridurre la frequenza di segnalazione, a causa della maggiore dispersione cromatica. Quest'ultima limitazione è stata rimossa da un particolare tipo di fibra, detta *dispersion shifted*, che presenta un minimo di dispersione cromatica  $D$  in III finestra anziché in II, e che raggiunge valori migliori di 3.5 psec /Km · nm.

34

### Confronto tra diodo LED e Laser

Diodo	Larghezza spettrale [μm]	Potenza in fibra [μW]	Vita media [ore]	f <sub>c</sub> di lavoro	costo	Sensibilità alla temperatura	Utilizzo tipico
LED	10÷100	10÷100	10 <sup>6</sup> ÷ 10 <sup>7</sup>	100 M bit/s	minore	minore	f. multimod. step index
LASER	1	1000	10 <sup>5</sup> ÷ 10 <sup>6</sup>	100 G bit/s	maggiore	maggiore	f. monomod.

35

### Prodotto Banda - Lunghezza e Codici di linea

La dispersione cromatica  $D$  risulta proporzionale alla lunghezza del collegamento  $L$  ed all'estensione cromatica  $\Delta\lambda$  della sorgente. Se si pensa di effettuare una trasmissione con codici NRZ e periodo  $T = 1/f_L$  e si impone che la dispersione temporale sia non maggiore di  $T_L/4$ , si ha  $D_0 \cdot L \cdot \Delta\lambda \leq 0.25 \cdot T$  in cui:

- $D_0$  è la dispersione cromatica [psec/Km · nm],
- $L$  è la lunghezza [Km],
- $\Delta\lambda$  è l'estensione cromatica della sorgente [nm],
- $T$  è la durata di un bit [psec].

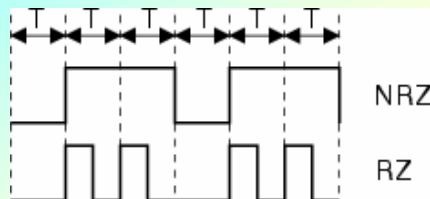
36

Associando ora il concetto di *banda B* alla frequenza di segnalazione  $f_s = 1/T_s$ , si può affermare che il *prodotto della banda per la lunghezza* è pari al valore

$$PBL_{NRZ} = BL = \frac{0.25}{D_0 \Delta\lambda} [\text{Tbps.Km}]$$

che è una grandezza dipendente dalla coppia fibra-sorgente. Inserendo i valori di  $\Delta\lambda$  (della sorgente) e  $D_0$  (della fibra), si ottiene una costante da usare per calcolare la banda (frequenza) massima trasmissibile per una data lunghezza (o viceversa).

37



Qualora si usi un codice RZ, i cui simboli hanno durata metà del periodo di bit  $T$ , la dispersione temporale tollerabile può essere elevata al 50% di  $T$ , e quindi in questo caso il prodotto banda-lunghezza risulta doppio rispetto al caso precedente:

$$PBL_{RZ} = \frac{0.5}{D \Delta\lambda} = 2 PBL_{NRZ}$$

38

La tabella seguente riporta i valori di  $PBL_{NRZ}$  per alcune coppie fibra-sorgente.

<i>Fibra</i>	<i>Sorgente</i>	$\lambda$ [ $\mu\text{m}$ ]	$PBL$ [Gbps · Km]
<i>Multimodo</i>	<i>LED</i>	820	0.013
<i>Graded Index</i>	<i>LED</i>	820	2
<i>Monomodo</i>	<i>LASER</i>	1300	250
<i>Monomodo</i>	<i>LASER</i>	1550	36.8
<i>Monomodo DS</i>	<i>LASER</i>	1550	179

39

### **Esercizio**

determinare la lunghezza massima di un collegamento in fibra ottica monomodo, operante con  $\lambda=1.3 \mu\text{m}$ , e che garantisca una velocità  $f_L=417 \text{ Mbps}$ , assumendo un guadagno di sistema di 42 dB (ovvero disponendo di una potenza di trasmissione 42 dB maggiore della minima potenza necessaria in ricezione).

40

### **Soluzione**

*Si trova che per  $\lambda = 1300 \text{ nm}$ , l'attenuazione chilometrica è di  $0,35 \text{ dB/Km}$ , e questo valore determina una lunghezza non superiore a  $L = 120 \text{ Km}$ , che identifica il Limite di Attenuazione del collegamento.*

*Verifichiamo quindi che non intervenga un limite più stringente per causa della dispersione cromatica.*

*Supponendo di utilizzare la sorgente laser in grado di conseguire un PBL di  $250 \text{ Gbps} \cdot \text{Km}$ , si ottiene una lunghezza massima pari  $L = 600 \text{ Km}$ , che costituisce il Limite di Dispersione.*

41

L'esercizio svolto ha lo scopo di mostrare la metodologia di progetto per un collegamento in fibra ottica, in cui vengono calcolati entrambi i limiti di *Attenuazione* e di *Dispersione*, e la massima lunghezza del collegamento è determinata dal vincolo più stringente. Nel caso dell'esercizio, la lunghezza è determinata dal limite di attenuazione, ed il progetto può essere rivisto utilizzando una sorgente *meno pura* per risparmiare, oppure una sorgente *più potente* per aumentare il guadagno di sistema e conseguentemente migliorare il limite di attenuazione. In questo secondo caso, può essere opportuno prestare attenzione al fatto che, aumentando la potenza di emissione, la purezza cromatica della sorgente può degradare (in quanto si verifica un aumento di  $\Delta\lambda$  dovuto a fenomeni non lineari) con un conseguente peggioramento del limite di dispersione; è pertanto possibile ricercare la soluzione di migliore compromesso tra potenza di emissione e purezza spettrale.

42

Qualora non si riesca a rientrare nelle specifiche di progetto con una unica tratta, occorrerà suddividere il collegamento in più tratte, collegate da ripetitori rigenerativi, oppure ripartire la banda su più fibre poste in parallelo, ovvero bilanciarsi tra queste due soluzioni.

43

Dopo un periodo di ampia proliferazione di vari tipi di f.o. l'azione normativa ha delineato alcune tipologie in modo definito.

Denominazione	Racc.	Diametro nucleo [μm]	Diametro mantello [μm]	λ cut-off [μm]	λ di lavoro [μm]	Attenuazione [dB/km]	Fattore di dispersione
Multimodale grandex index	G.651	50 ± 3	125 ± 3	-	0,85 1,31	< 4 < 2	-
Monomodale standard	G.652	(9 ÷ 10) ± 10 %	125 ± 2	< 1,27	1,31 1,55	< 1 < 0,5	3,5 20
Monomodale dispersion shifted	G.653	(7 ÷ 8,3) ± 10 %	125 ± 2	< 1,27	1,31 1,55	< 1 < 0,5	20 3,5
Monomodale attenuazione minimizzata	G.654	10,5 ± 10%	125 ± 2	< 1,53	1,55	< 0,22	20

44

### Trasduttori ottico – elettrici (uscita)

La conversione del segnale uscente dalla fibra ottica meriterebbe una ampia trattazione approfondita.

Qui ci si limita a riferire esclusivamente poche nozioni fondamentali.

Il trasduttore utilizzato inizialmente, economico ed affidabile, è il **diodo P-I-N**, che però non è adatto all'impiego con  $\lambda$  più elevate.

Un secondo tipo di trasduttore molto usato è il **diodo APD** (*Avalanche Photo Detector*), caratterizzato da un "effetto valanga" che lo rende più sensibile di  $10 \div 15$  dB rispetto ai P-I-N; d'altra parte però gli APD sono più delicati, e più sensibili alla temperatura.

45

La tabella che segue riporta i valori di sensibilità  $W_R$  (i.e. la minima potenza che è necessario ricevere) di diversi fotorivelatori, per una probabilità di errore per bit  $P_e = 10^{-11}$

<i>Fotorivelatore</i>	$\lambda$ [nm]	<i>Sensibilità</i> [dBm]	$f_b$ [Mbps]
<i>Si P-I-N</i>	850	-48	50
<i>Si APD</i>	850	-58	50
<i>InGaAs P-I-N</i>	1310	-35	420
<i>InGaAs APD</i>	1310	-43	420
<i>InGaAs APD</i>	1550	-37.5	678

46

Nella tabella è riportato anche il valore della frequenza di segnalazione  $f_b$  a cui si riferisce la sensibilità, in quanto le prestazioni conseguite dal decisore che si trova a valle del trasduttore dipendono, come noto, da  $E_b/N_0$  in cui  $E_b$  è l'energia per bit che vale  $E_b = W_R \cdot T_b = WR/f_b$ . Pertanto, i trasduttori dimezzano la sensibilità (che aumenta di 3 dB) se la velocità  $f_b$  raddoppia, in quanto si dimezza l'energia per bit  $E_b$ . La sensibilità a frequenze diverse da quelle in tabella può quindi essere calcolata come

$$W_R(f'_b)[dBm] = W_R(f_b) + 10.1g \frac{f'_b}{f_b}$$

47

### **Multiplicazione a divisione di lunghezza d'onda - WDM**

Abbiamo visto come nelle fibre ottiche siano presenti tre diverse finestre di valori di lunghezza d'onda per cui si ha una bassa attenuazione;

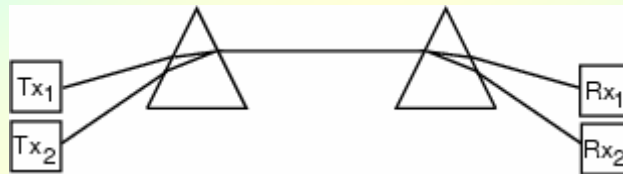
è possibile effettuare allora tre diverse comunicazioni nella stessa fibra, ognuna nella propria finestra .

L'acronimo **WDM** (*Wavelength Division Multiplex*) identifica proprio questa tecnica di moltiplicazione, estesa al caso in cui le diverse comunicazioni avvengano anche nella medesima finestra.

48

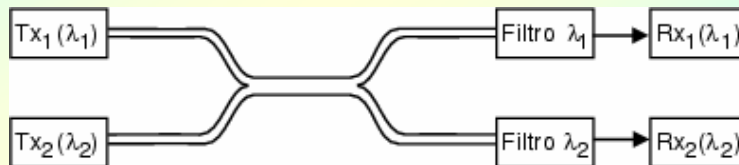


Il modo più semplice ed intuitivo di realizzare la multiplazione di lunghezza d'onda è di adottare dei *rifrattori prismatici*, realizzando un circuito ottico del tipo illustrato in figura



49

I dispositivi di multiplazione di forma d'onda del tipo descritto vengono detti *passivi e reversibili*, in quanto non necessitano di alimentazione, ed uno stesso apparato può indifferentemente svolgere una funzione e la sua inversa. La passività del WDM rende questa tecnica attraente, qualora si pensi di distribuire fibre ottiche di casa in casa: ognuno avrebbe una sua lunghezza d'onda  $\lambda_i$  e la fibra sarebbe una per tutto il condominio.



50

Se le  $\lambda_i$  sono troppo vicine tra loro (con una spaziatura dell'ordine di 0.015 nm), allora i prismi non riescono più nel compito di separazione geometrica, e conviene ricorrere ad una separazione della potenza (si fa uscire parte di segnale luminoso da *jacket*) ed un filtraggio (realizzato otticamente mediante gelatine) di ognuna delle  $\lambda_i$ . Così facendo però si perde molta potenza.

51

## **Ridondanza e pericoli naturali**

52

Le fibre vengono normalmente interrate, e per questo sono esposte ai pericoli di essere mangiate da talpe e topi, o di essere interrotte a causa di lavori stradali od agricoli.

Quelle sottomarine sono a rischio per via di squali e reti a strascico.

È più che opportuno prevedere una adeguata ridondanza, in modo che in caso di interruzione di un collegamento sia possibile deviare tutto il traffico su di un altro collegamento.

53

**Sonet**

54

SONET è l'acronimo di *Synchronous Optical Network* ed è uno standard *mondiale* definito allo scopo di permettere l'interconnessione diretta tra reti in fibra ottica. Lo stesso standard è noto anche come *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH). L'unità di moltiplicazione fondamentale è un flusso numerico da 51.84 Mbps, ovvero 3 volte tanto (155,52 Mbps) per l'Europa.

<i>Data Rate (Mbps)</i>	<i>Sigla CCITT</i>
51.84	
155.52	STM-1
466.56	STM-3
622.08	STM-4
933.12	STM-6
1244.16	STM-8
1866.24	STM-12
2488.32	STM-16