



Reti di Calcolatori

Il livello fisico



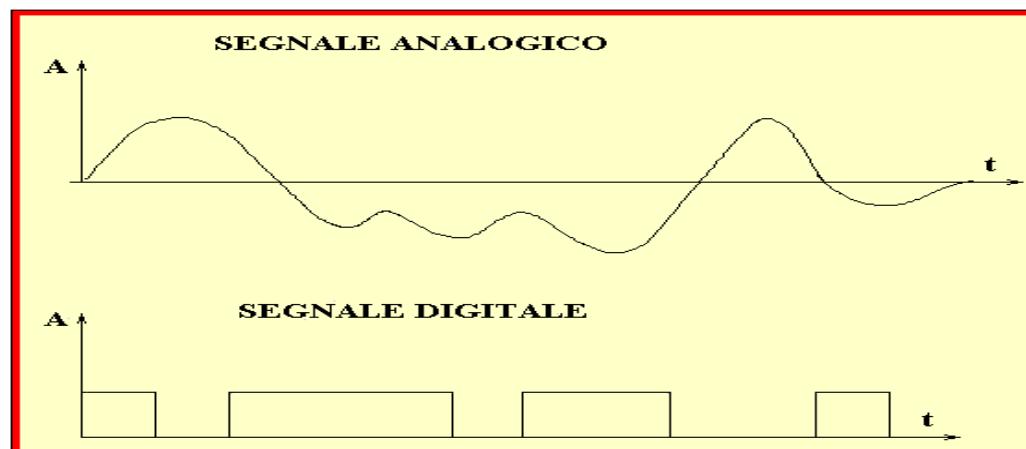
I Segnali

I segnali sono variazioni di grandezze fisiche che trasportano informazioni.

Le telecomunicazioni studiano la trasmissione di informazioni a distanza per mezzo di segnali che possono essere di vario tipo: **acustico, elettrico, luminoso, elettromagnetico, ecc.**

I segnali elettrici trasmessi da una linea possono essere essenzialmente di due tipi:

- **ANALOGICI:** Sono analogici quei segnali che, al variare del tempo, possono assumere tutti i valori compresi fra i valori massimo e minimo consentiti dal canale di comunicazione.
- **DIGITALI:** Con il termine digitale, o numerico, si intende invece un segnale che può assumere solo due valori, o comunque soltanto un numero discreto di valori, come, ad esempio avviene per i dati che sono generati dai computer.



Serie di Fourier

All'inizio del XIX secolo Jean-Baptiste Fourier ha dimostrato che: *una funzione periodica **y(t)** è sviluppabile in una serie costituita da un termine costante **A₀** e da una somma di infinite sinusoidi:*

$$y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega_0 t)$$

*le cui frequenze **f_n** sono multiple intere della frequenza **f₀** della funzione data:*

$$f_0 = \frac{1}{T} \quad f_n = n f_0$$

*e di ampiezze **A_n** e **B_n** calcolabili secondo le formule:*

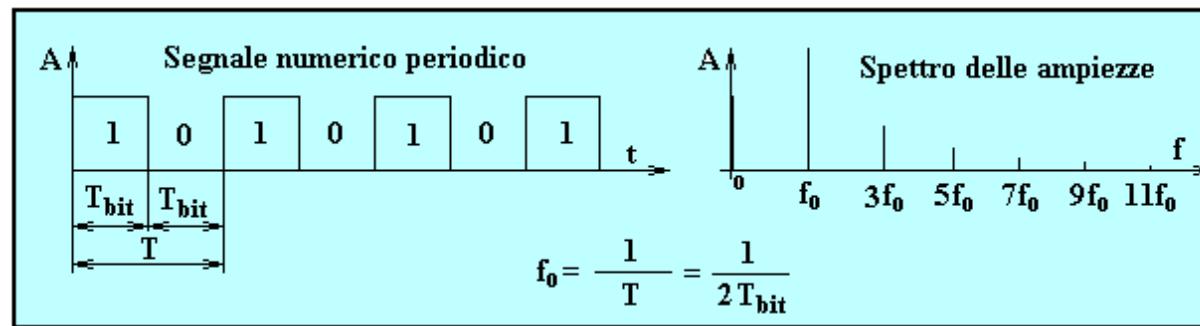
$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos(n\omega_0 t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

Lo spettro di un segnale

Un segnale numerico di periodo T può essere sviluppato in serie di Fourier in una somma di infinite sinusoidi di ampiezza variabile.

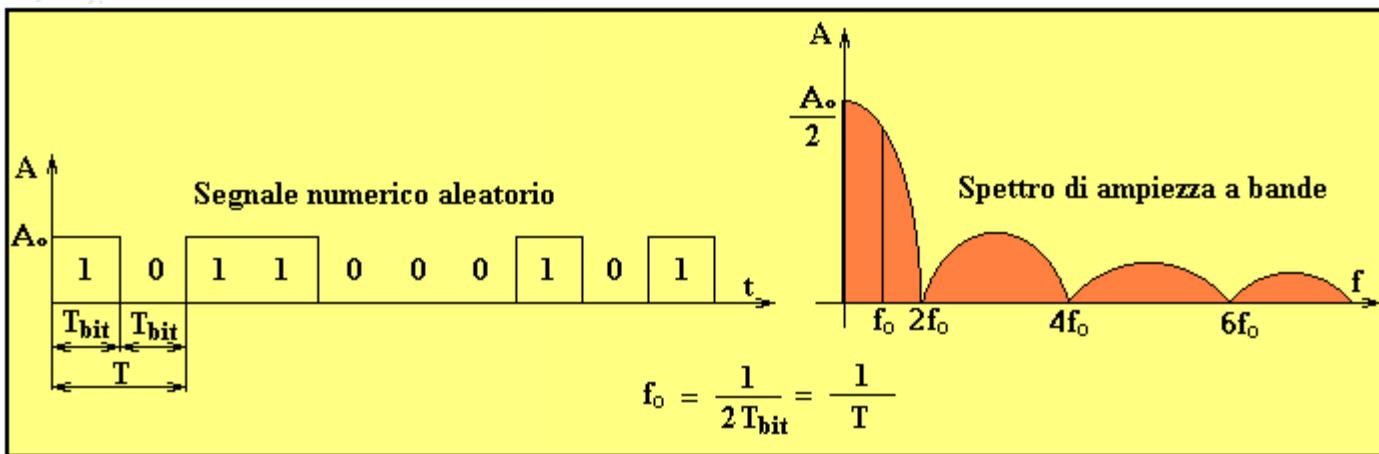


In questo, la frequenza f_0 è uguale a:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot T_{bit}}$$

Lo spettro di un segnale

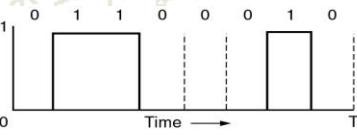
Lo studio dello sviluppo in serie e dell'integrale di **FOURIER**, però, ci dice che lo spettro di un segnale **ALEATORIO**, costituito da impulsi discreti rettangolari, comprende la componente continua e larghezza di banda teoricamente infinita



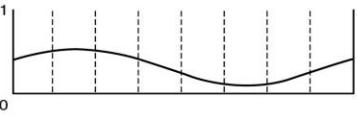
Un segnale numerico aleatorio si sviluppa secondo uno spettro a bande

Serie di Fourier

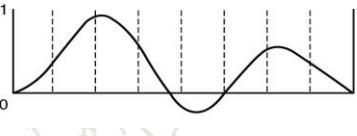
Le componenti di Fourier del segnale o armoniche vengono attenuate in maniera differente dal mezzo trasmissivo:



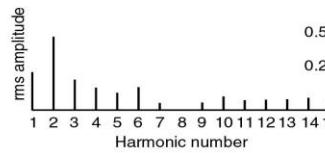
(a)



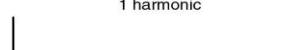
(b)



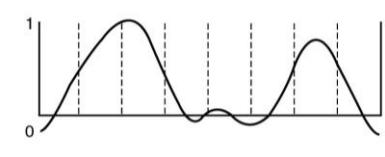
(c)



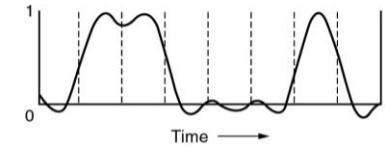
1 harmonic



2 harmonics



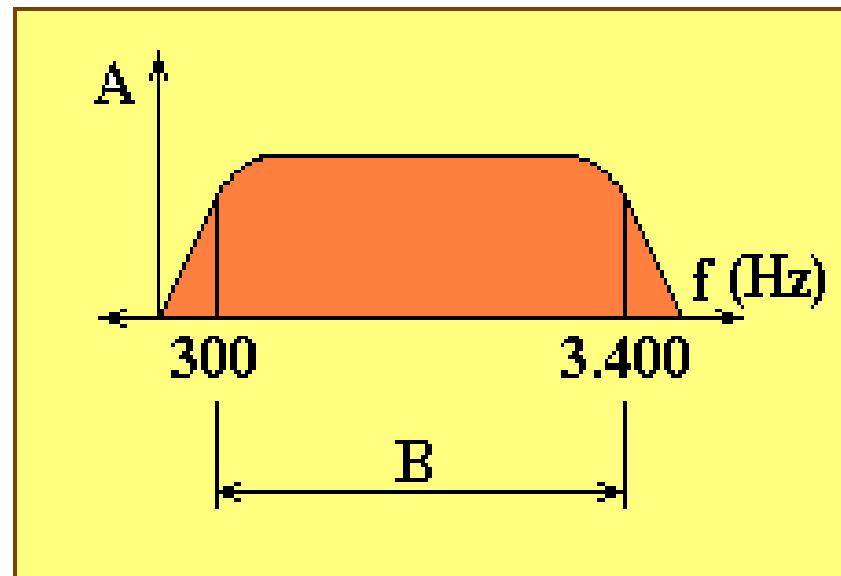
4 harmonics



8 harmonics

Larghezza di banda di un canale

- I canali di telecomunicazioni usati per trasmettere dati sono basati su mezzi trasmissivi quali: **il rame, la fibra ottica, l'etero**
- Ogni canale trasmissivo di norma consente il passaggio solo di alcune componenti in frequenza del segnale ed escludendone altre.
- E' definita pertanto larghezza di banda **B** l'insieme delle frequenze che un canale di telecomunicazioni fa passare.



Capacità del mezzo

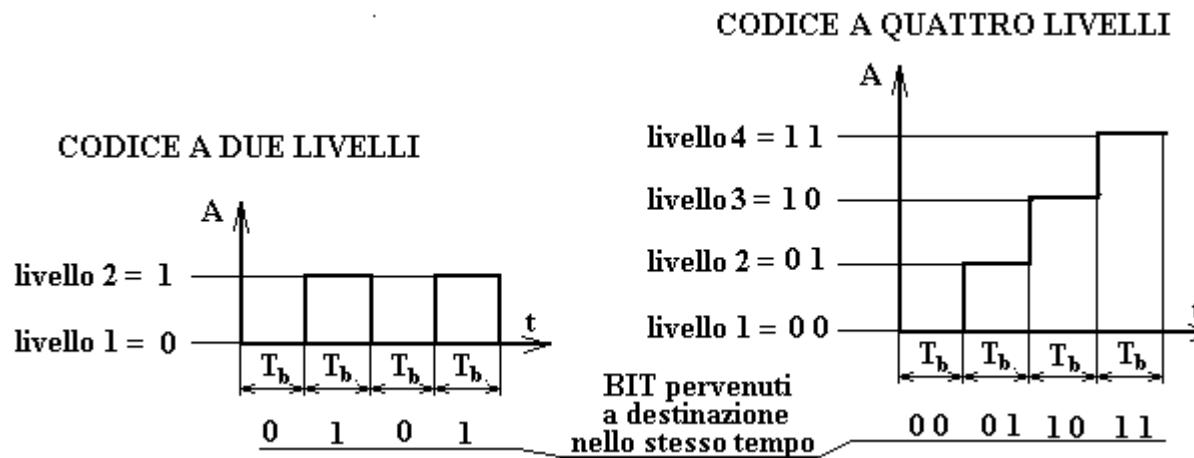
Nel 1924 H. Nyquist dimostrò che un segnale a larghezza di banda B può essere ricostruito perfettamente campionando lo stesso al doppio della larghezza di banda, quindi a partire da $2B$ campioni del segnale stesso.

Con l'ausilio di questa relazione riuscì a stabilire che considerando di usare un numero V di livelli trasmissivi equiprobabili, dato che la quantità di informazione associata è esprimibile come $Q = \log_2 V$, allora la massima quantità di informazione trasmessa in un canale non rumoroso, dato un segnale costituito da V livelli, è di $2BQ$ cioè:

$$I[\text{bit/s}] = 2B \log_2 V$$

Capacità del mezzo (continua)

Usando un codice in cui si trasmettono quattro livelli diversi di tensione invece di due, per ogni livello in arrivo l'informazione sarà di due bit e non di uno solo e poiché il tempo di arrivo di un livello di tensione è sempre lo stesso, perché determinato dallo stesso criterio di **NYQUIST**, otterremo che, mentre la velocità di modulazione rimane la stessa, la velocità di trasmissione invece raddoppia.



Capacità del mezzo (continua)

Aumentando il numero dei livelli di tensione, è possibile aumentare la quantità di informazione che va a destinazione nello stesso tempo. Ma aumentare il numero dei livelli, a parità di tensione massima, comporta che il singolo livello diventa sempre più piccolo, finché in ricezione non sia più distinguibile dal rumore, sempre presente, come indicato nel disegno seguente in cui si fa un esempio di codifica a 2, 4 e 8 livelli.



Esiste comunque un limite massimo all'aumento dei livelli definito, analiticamente da una formula determinata da **C. SHANNON**

Capacità del mezzo (continua)

Nel 1948 C. Shannon estese il lavoro di Nyquist a canali soggetti a rumore casuale (termico).

Se indichiamo con S la potenza del segnale e con N la potenza del rumore, la massima informazione trasmessa è:

$$I[\text{bit/s}] = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

In questa formula, **C** è detta **CAPACITÀ DI CANALE**, si misura in **BIT AL SECONDO**, ed indica la massima velocità teorica di trasmissione dei bit oltre la quale in ricezione essi vengono confusi con il rumore; quindi, in un canale telefonico banda di circa 3 KHz, il rapporto S/N è di circa 30 dB (cioè $10 \log_{10} 1000 = 30$ dB), allora la quantità massima di bit trasmessi è di circa 33.000 bps.

Il Rumore

- 💡 Il rumore è una forma di energia indesiderata che si somma al segnale utile degradandone il contenuto informativo, ed impedendo così di rilevare, in ricezione, tutto l'insieme delle informazioni trasmesse.
- 💡 Esistono vari tipi di rumore che interessano il campo dell'Elettronica e delle Telecomunicazioni e che si schematizzano come segue:
 - **Rumore bianco** - *Forma di rumore il cui spettro comprende energia a tutte le frequenze dello spettro elettromagnetico ed equamente distribuita.*
 - **Rumore di intermodulazione** - *Rumore prodotto dalla non linearità dei dispositivi elettronici e che consiste nella presenza, nel segnale in uscita dal dispositivo, di armoniche indesiderate non presenti nel segnale in ingresso.*
 - **Rumore di modo comune** o **di modo normale** - *Rumore presente in ingresso ad uno strumento di misura insieme al segnale da misurare e non separabile da questo.*
 - **Rumore di quantizzazione** - *Perdita di informazione che ha luogo durante la trasformazione di un segnale analogico in digitale, ad esempio nel P.C.M.*
 - **Rumore termico** - *Rumore dovuto all'agitazione termica degli elettroni presenti in una resistenza. È funzione della temperatura ma è anche un rumore bianco.*

Mezzi trasmissivi

Linee

- Rame
 - Doppini
 - Cavi coassiali
- Fibre ottiche

Wireless

- Suoni
- Luce
- Raggi infrarossi
- Radiofrequenza
- Microonde

I mezzi trasmissivi

💡 E' possibile classificare i mezzi fisici di trasmissione dei segnali in due categorie

- Mezzi guidati: elettrici, ottici
- Mezzi non guidati: onde radio, laser via etere

💡 Ogni mezzo è tipicamente caratterizzato da:

- Larghezza di banda
- Delay
- Costo
- Facilità di installazione e manutenzione

I mezzi trasmissivi elettrici

- 💡 I mezzi trasmissivi elettrici rappresentano ancora oggi il mezzo più diffuso, e nell'ambito delle reti locali assumono fondamentale importanza soprattutto per la realizzazione di infrastrutture per la trasmissione di segnali all'interno degli edifici.
- 💡 Dovendo trasportare il segnale in forma di energia elettrica, è necessario che le caratteristiche elettriche del mezzo siano tali da rendere massima la trasmissione dell'energia da un estremo all'altro e minima la dissipazione in altre forme (ad esempio calore, irradiazione elettromagnetica).
- 💡 Con l'attuale tecnologia è possibile realizzare mezzi trasmissivi elettrici di caratteristiche sufficientemente elevate da permettere la trasmissione dei dati a velocità superiori a 100 Mb/s.

La sezione dei conduttori

- La sezione dei conduttori può essere espressa come misura del diametro in millimetri (valori tipici 0.4 - 0.7 mm), ma questa soluzione è poco usata. Molto più diffusa è l'unità di misura detta AWG (American Wire Gauge).
- L'AWG è una scala a regressione geometrica con 39 valori compresi nell'intervallo da 0 gauge (0.460 pollici di diametro) a 36 gauge (0.005 pollici di diametro);
- Nella tabella seguente sono riportati i valori di AWG più utilizzati nei cavi per la trasmissione dati.
- Avere un basso AWG, e quindi diametro elevato, è un parametro di merito, in quanto diminuisce la resistenza e quindi la potenza dissipata sul cavo.
- I diametri dei cavi comunemente usati per la trasmissione dati sono compresi tra 26 AWG (doppini per sola telefonia) e 22 AWG (cavo di tipo 1 IBM).

Compromessi di realizzazione

- 💡 Un mezzo trasmissivo elettrico *ideale*, che trasporti tutta l'energia del segnale trasmesso senza attenuazione né distorsione, non esiste.
- 💡 Un mezzo trasmissivo elettrico *ottimale* è caratterizzato da bassa resistenza, bassa capacità e bassa induttanza, cioè è un mezzo poco dispersivo e poco dissipativo.
- 💡 In tale mezzo quasi tutta la potenza inviata sul canale dal trasmettitore arriva al ricevitore ed il segnale non viene distorto.

Compromessi di realizzazione

- 💡 Un tale cavo dovrebbe avere elevata dimensione del conduttore interno, buona spaziatura tra i conduttori, bassa costante dielettrica dell'isolante (al limite quella dell'aria) e schermatura individuale delle coppie e globale del cavo.
- 💡 Ne risulterebbe un cavo ingombrante, pesante, difficile da posare e facilmente incendiabile; invece le esigenze pratiche per un'agevole installazione indicano la flessibilità, la resistenza alla trazione e il rispetto delle varie normative di sicurezza.
- 💡 Perciò la scelta cade sempre su un compromesso subottimale.

la schermatura

- ⚠ È in continua crescita l'attenzione al problema dei disturbi elettromagnetici (EMI), dei quali le reti locali sono al contempo vittime e sorgenti.
- ⚠ Con la presenza di schermi e con una corretta messa a terra si possono ridurre drasticamente la sensibilità e l'emissione di disturbi elettromagnetici, e possono migliorare anche notevolmente le caratteristiche elettriche di un cavo.

la schermatura

Esistono numerosi tipi di schermo, tra i quali i più utilizzati nelle LAN sono:

- "foglio" (*foil*): si tratta normalmente di un foglio di alluminio o di mylar alluminato, molto sottile (da 0.05 mm a 0.2 mm) che avvolge il cavo immediatamente sotto alla guaina di protezione esterna.
- Poiché l'alluminio presenta elevata resistenza elettrica rispetto al rame, e, a spessori così ridotti, una notevole fragilità, lungo il foglio scorre un filo di rame nudo, detto *drain*, che garantisce continuità elettrica anche in caso di eventuali crepe;
- tale filo è utilizzato per il collegamento di terra;

la schermatura

- 💡 "calza" (*braid*): si tratta di una trecciola di fili di rame che avvolgono il cavo in due direzioni opposte.
- 💡 Presenta una conducibilità molto migliore del foglio di alluminio, ma la copertura non è completa, in quanto in corrispondenza degli intrecci rimangono inevitabilmente dei fori nello schermo.
- 💡 Inoltre, l'ossidazione dei fili di rame e la loro deformazione in fase di posa del cavo possono alterare l'efficacia della schermatura.

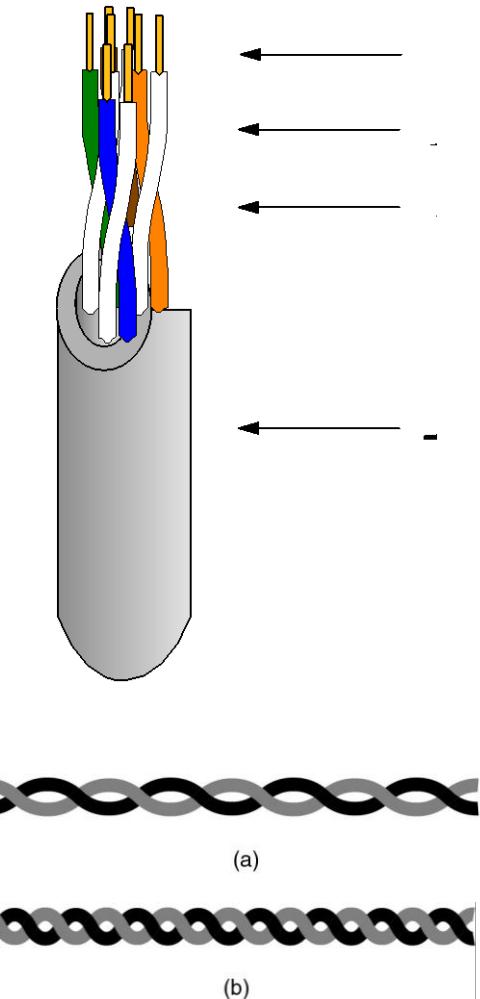
la schermatura

- 💡 I migliori risultati si ottengono dalla combinazione di più schermi diversi, come foglio più calza, foglio più calza più foglio, e così via.
- 💡 Tuttavia questo può creare problemi in fase di installazione, soprattutto su certi tipi di connettori non studiati per schermature così complesse, quali gli RJ45 previsti per il cablaggio strutturato degli edifici, di cui si parlerà più avanti.
- 💡 Nel caso di cavi con più coppie di conduttori, la schermatura può essere applicata all'intero cavo o a tutte le coppie di conduttori singolarmente, riducendo così la diafonia tra le coppie vicine.

Il doppino

💡 Il doppino è il mezzo trasmissivo classico della telefonia e consiste in due fili di rame ricoperti da una guaina isolante e ritorti (o "binati" o "twisted") detti comunemente "coppia" (*pair*, in inglese, da cui *twisted pair* o *TP*).

💡 Il tipo di doppino più usato attualmente ha un diametro di 24 AWG e un'impedenza di 100 ohm.



Il doppino

- 💡 La binatura serve a ridurre i disturbi elettromagnetici
- 💡 Normalmente si utilizzano cavi con più coppie (4, 25, 50 e oltre) ed è allora necessario adottare passi di binatura differenziati da coppia a coppia per ridurre la diafonia tra le coppie.
- 💡 Infatti, se i passi di binatura fossero uguali, ogni conduttore di una coppia si troverebbe sistematicamente affiancato, ad ogni spira, con uno dei due conduttori dell'altra coppia, e quindi verrebbe a cadere l'ipotesi di perfetta simmetria della trasmissione bilanciata.
- 💡 I campi elettromagnetici generati dalle due coppie interferirebbero reciprocamente con un considerevole peggioramento della diafonia.

Il doppino

- 💡 I doppini sono nati come mezzo trasmissivo a banda molto ridotta (la banda fonica usata nella telefonia è inferiore a 4 KHz), ma negli ultimi anni hanno raggiunto prestazioni una volta raggiungibili soltanto con i cavi coassiali.
- 💡 I miglioramenti sono stati ottenuti realizzando nuovi materiali isolanti, curando la geometria delle coppie (anche tramite l'adozione di particolari guaine esterne), mettendo a punto sofisticati algoritmi di differenziazione dei passi di binatura e aumentando la sezione dei conduttori.
- 💡 Attualmente i doppini possono competere nelle medie velocità (10 - 100 Mb/s) e sulle brevi distanze (inferiori a 100 m) con le fibre ottiche.

Il doppino

Le caratteristiche che hanno tuttavia inciso maggiormente sulla diffusione del doppino sono la compatibilità con la telefonia e la facilità di posa in opera (la connettorizzazione a perforazione di isolante è semplice, veloce ed economica, anche se alle alte velocità rappresenta un elemento critico, in quanto è il punto in cui le coppie devono essere per forza sbinate).

Il doppino

Esistono varie versioni di doppino:

- STP (*Shielded Twisted Pair*), versione con uno schermo per ogni coppia più uno schermo globale;
- Screened, FTP (*Foiled Twisted Pair*) o S-UTP (figura 3.22), versione con un unico schermo (normalmente in foglio di alluminio) per tutto il cavo;
- UTP (*Unshielded Twisted Pair*) (figura 3.23) versione non schermata.

Classificazione dei doppini

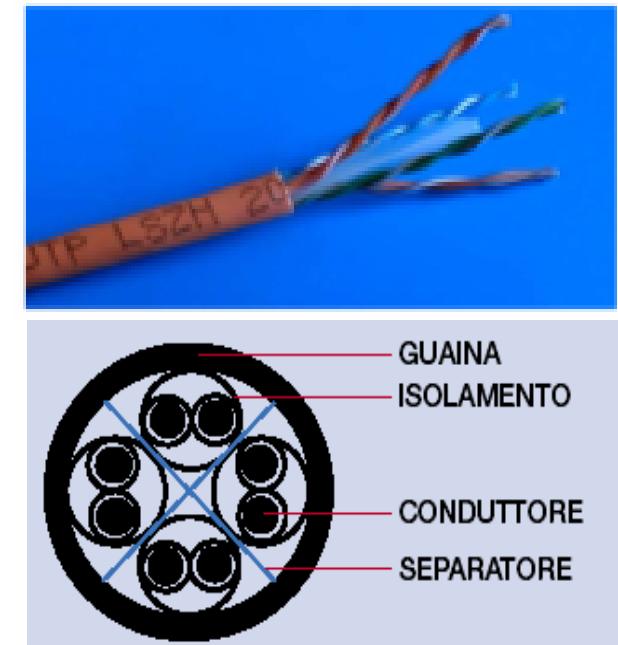
- 💡 I parametri elettrici di qualsiasi cavo variano al variare della frequenza.
- 💡 Occorre pertanto chiedersi, per una data applicazione, a quale frequenza sia opportuno analizzare i parametri per decidere se un cavo sia adeguato all'applicazione stessa.
- 💡 A tal proposito è stata creata una classificazione che prevede sei categorie, in base alle applicazioni per le quali i cavi sono idonei.
- 💡 La categoria 1 è quella dei cavi peggiori, la 6 quella dei cavi migliori.
- 💡 Ogni categoria è inoltre idonea a fornire tutti i servizi offerti dalle categorie inferiori.

Classificazione dei doppini

- La categoria 1 (*Telecommunication*) comprende i cavi adatti unicamente a telefonia analogica.
- La categoria 2 (*Low Speed Data*) comprende i cavi per telefonia analogica e digitale (ISDN) e trasmissione dati a bassa velocità (per esempio linee seriali).
- La categoria 3 (*High Speed Data*) è la prima categoria di cavi adatti a realizzare reti locali fino a 10 Mb/s, in particolare per soddisfare gli standard 10BaseT di 802.3 e Token-Ring a 4Mb/s.
- La categoria 4 (*Low Loss, High Performance Data*) comprende i cavi per LAN Token-Ring fino a 16 Mb/s.
- La categoria 5 (*Low Loss, Extended Frequency, High Performance Data*) comprende cavi per applicazioni fino a 100 Mb/s, su distanze di 100 metri.
- La categoria 6 (*Low Loss, High Frequency, High Performance Data*) comprende i migliori cavi disponibili, per applicazioni fino a 1000 Mb/s, su distanze di 100 metri.

Classificazione dei doppini

- 💡 I cavi di categoria 6 rappresentano oggi lo stato dell'arte nel campo del cablaggio delle LAN.
- 💡 Tutti gli standard di rete a velocità di 100 Mb/s maggiori con trasmissione su due coppie prevedono l'uso di cavi di categoria 5 o superiore.
- 💡 Oggi sono diffusi cablaggi secondo la categoria 6, ed è stata standardizzata anche la categoria 7.



Il cavo coassiale

- 💡 Il cavo coassiale ha avuto per lungo tempo notevole diffusione nelle reti locali; per esempio è stato utilizzato in due diverse versioni dello standard 802.3 (Ethernet) e per il collegamento di terminali IBM.
- 💡 Ora è caduto in disuso nelle LAN, eliminato dallo standard ISO/IEC 11801 per i cablaggi strutturati e sostituito dalle fibre ottiche nella fascia ad alte prestazioni e dai doppini in quella a medie prestazioni, mentre continua ad essere utilizzato nelle reti geografiche (micro-coassiale).

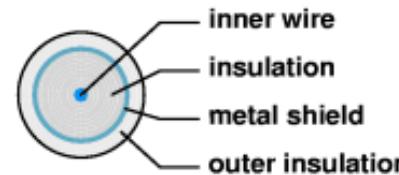
Il cavo coassiale

- Un cavo coassiale è formato da un conduttore centrale e da uno o più schermi (calze, fogli);
- per la trasmissione di segnali ad alta frequenza il trasmettitore, il cavo e il ricevitore devono costituire un sistema adattato in impedenza.
- La coassialità dei conduttori e la schermatura che il conduttore esterno offre nei confronti di quello interno rendono il cavo coassiale più immune ai disturbi elettromagnetici rispetto ai doppini non schermati;
- tuttavia, ogni eventuale corrente di disturbo che scorre lungo lo schermo determina un'alterazione del valore della tensione di riferimento che può provocare errori nella ricezione del segnale.

Mezzi di trasmissione

[continua]

- **Cavo coassiale a banda base:** Consiste in un filo di rame rigido circondato da una garza metallica che funge da schermo:



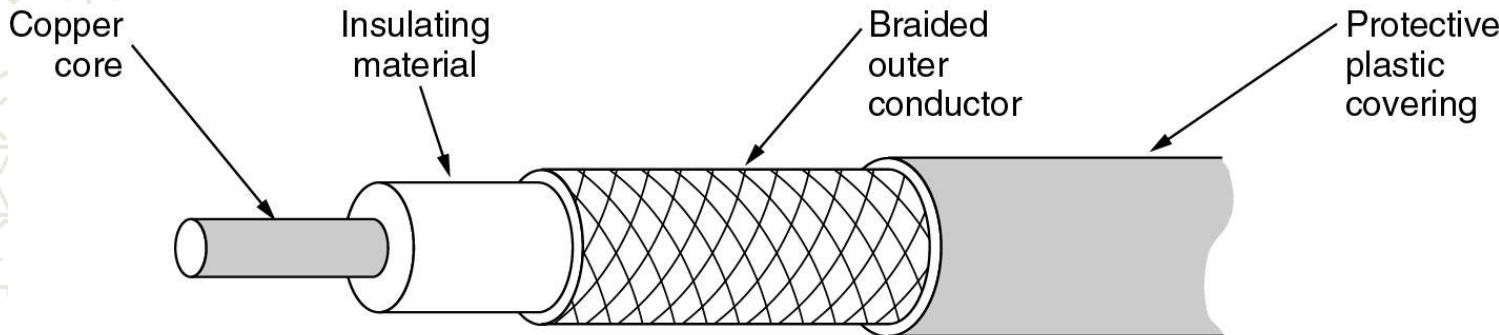
L'impedenza tipica dei cavi coassiali (**coax**) è di 50Ω .

La larghezza di banda dipende dalla lunghezza del cavo: per lunghezze di 1 km sono possibili velocità che variano da 1 a 2 Gbps. Si possono avere anche cavi più lunghi, ma occorre ridurre la velocità di trasmissione e frammezzare ai tratti di cavo degli amplificatori di segnale.

Mezzi di trasmissione

[continua]

- **Cavo coassiale a larga banda:** Consiste in un cavo identico a quello in banda base, ma con un sistema di trasmissione diverso.
Su coassiale in banda larga, la trasmissione avviene in analogico, cioè in maniera del tutto simile alla trasmissione televisiva.



La larghezza di banda in questo caso è di 300 Mhz, con lunghezze anche di 100 km.

I sistemi a banda larga suddividono il canale totale in canali da 6 Mhz, che possono essere utilizzati per la trasmissione di emittenti TV, audio ad alta qualità (1,4 Mbps) o un flusso digitale a 3 Mbps.

Mezzi di trasmissione

[continua]

- **Fibra ottica:** Consiste in un cavo composto da un anima trasparente di silicio avvolto in un rivestimento di vetro con indice di rifrazione diverso. Tutta la parte in vetro è ricoperta da una guaina di plastica nera. Le fibre sono normalmente raggruppate insieme intorno ad un filo di metallo che facilita la posa del cavo.
- Dalla soluzione di particolari equazioni dette di Maxwell si ricavache l'energia si propaga nella fibra in un numero discreto di configurazioni.
- Queste configurazioni sono chiamate modi e ogni singolo modo ha sue caratteristiche di propagazione.

La larghezza di banda in questo caso è di oltre 30.000 GHz.

L'attuale limite di trasmissione è dovuto semplicemente al fatto che un sistema a fibra ottica necessita di due conversioni: la prima da elettrico a luce, e la seconda luce ad elettrico.

Fibre ottiche

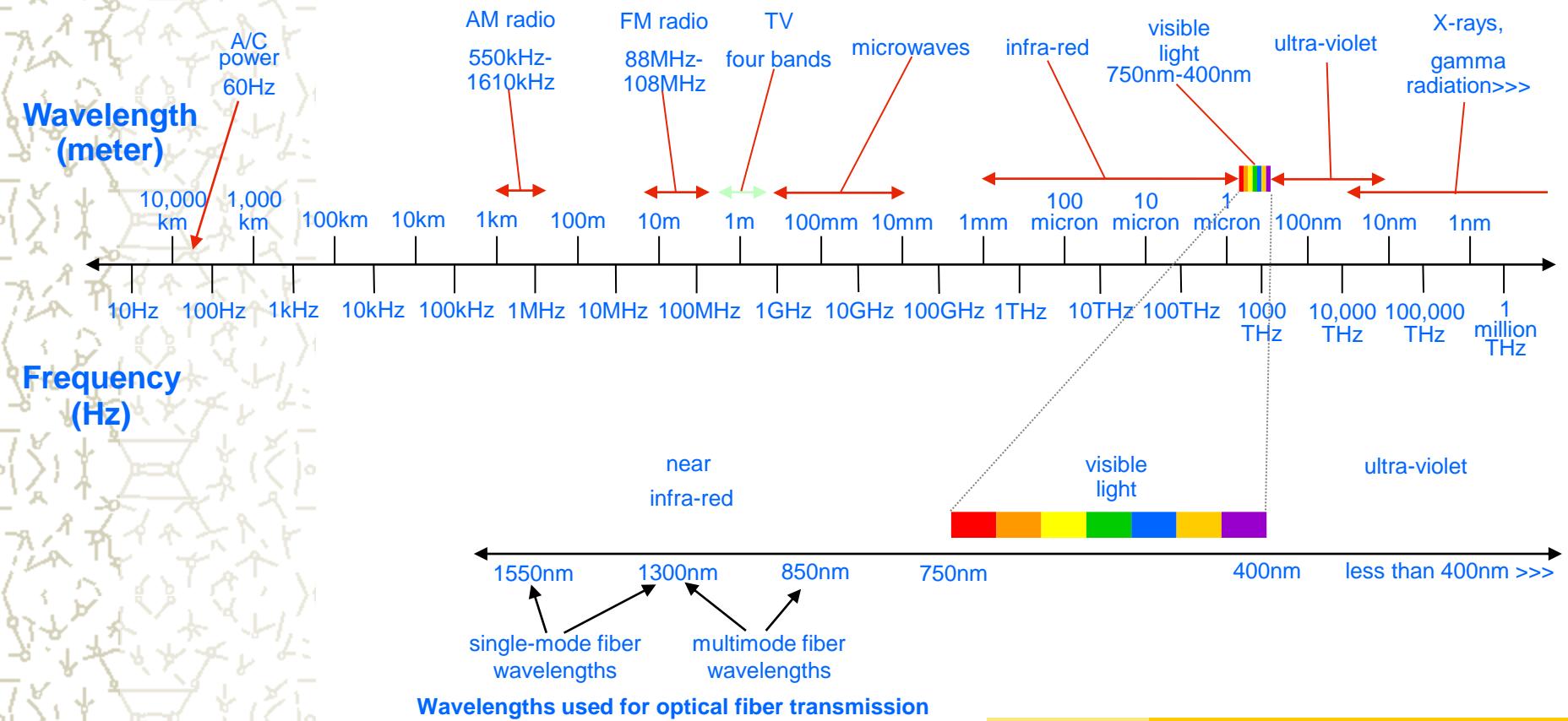
💡 Caratteristiche principali:

- + banda (alcune decine di THz)
- + immunità ai disturbi
- + leggerezza e flessibilità
- + meno pericolosa dei mezzi metallici
- + meno costosa dei mezzi metallici
- + sicurezza e protezione da intrusioni
- difficoltà di connettorizzazione e interfacciamento
- dispersioni
- effetti non lineari

Lunghezza d' onda

- Lo spettro elettromagnetico

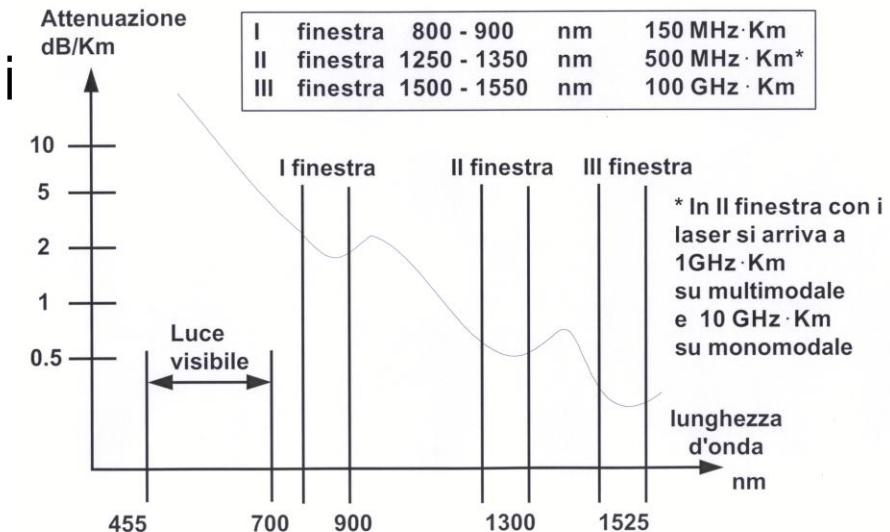
- Mezzo per definire la luce
- Misurata in nanometri
- 1 nanometer = 10^{-9} m



Finestra operativa

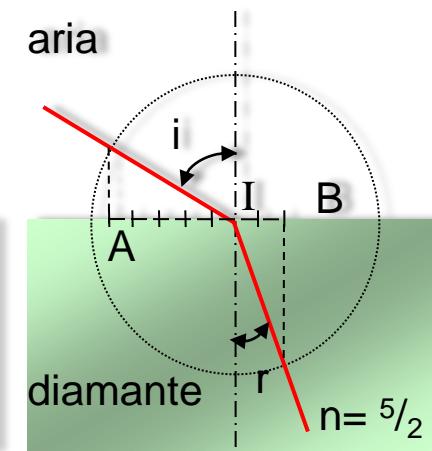
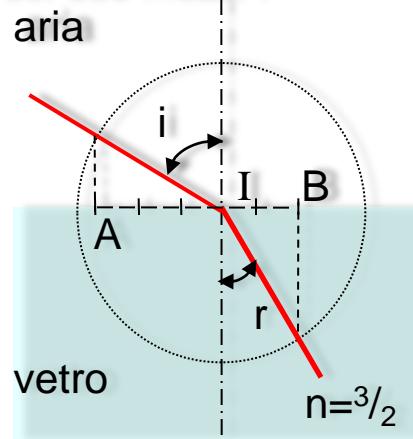
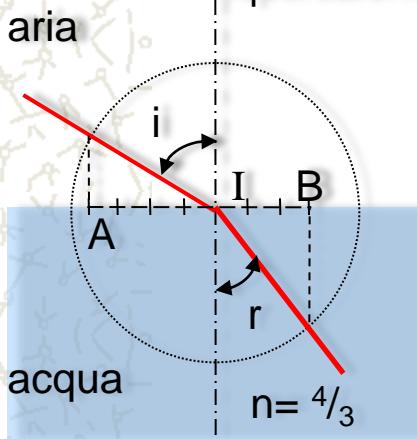
<i>Window</i>	<i>Operation</i>
800 - 900 nm	850 nm
1250 - 1350 nm	1300 / 1310 nm
1500 - 1600 nm	1550 nm

- E' il range di lunghezze d' onda i cui la fibra funziona meglio
- Centrata intorno alla lunghezza d' onda di funzionamento tipica



Rifrazione

Si definisce rifrazione “il fenomeno per cui un raggio luminoso (non perpendicolare alla superficie di contatto) passando da un mezzo trasparente ad un altro, anch’esso trasparente, cambia direzione nel punto in cui attraversa la superficie di separazione dei due mezzi”.



$$n = \frac{IA}{IB} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

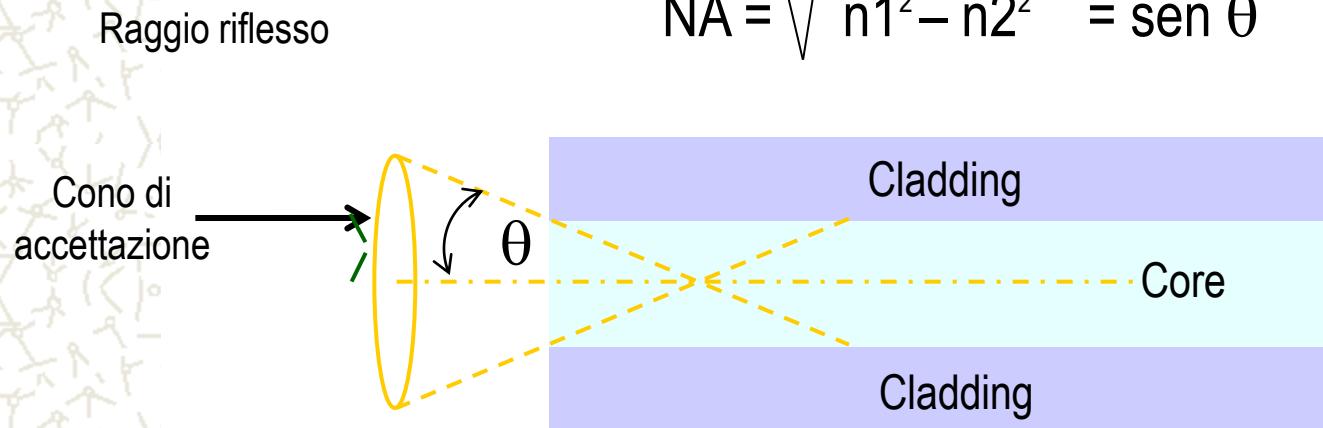
Indice di rifrazione del secondo mezzo (attraversato dal raggio luminoso) rispetto al primo; il rapporto è costante al variare dell’angolo “i” del raggio incidente.

Gli angoli dei raggi incidenti e rifratti sono misurati rispetto alla perpendicolare della superficie di contatto dei due mezzi

Apertura numerica

- L'apertura numerica indica la “quantità di luce che è possibile lanciare all'interno della fibra senza che questa venga riflessa”
 - E' quindi caratterizzata da un angolo limite che varia in funzione degli indici di rifrazione del core e del cladding

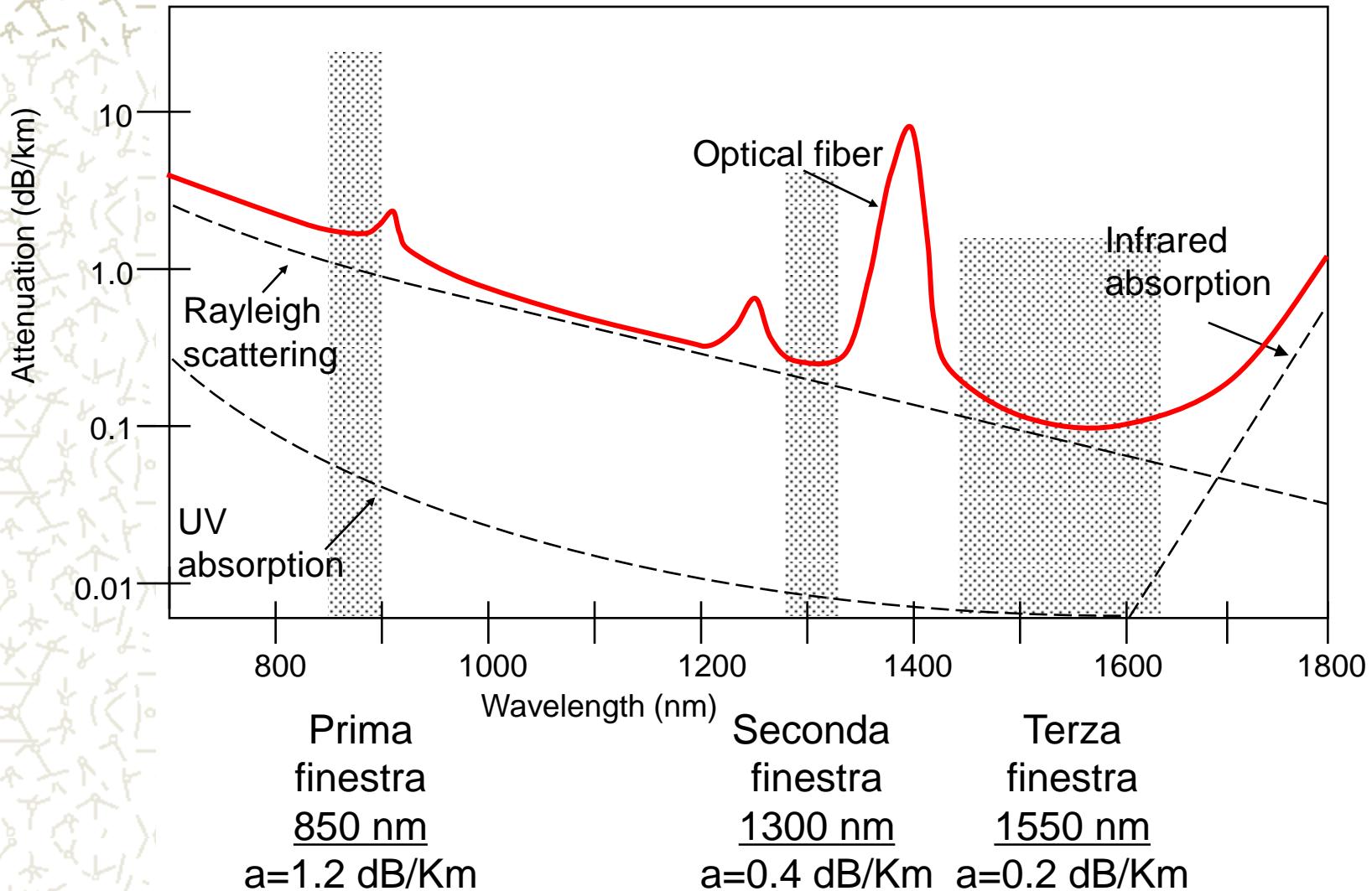
$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sin \theta$$



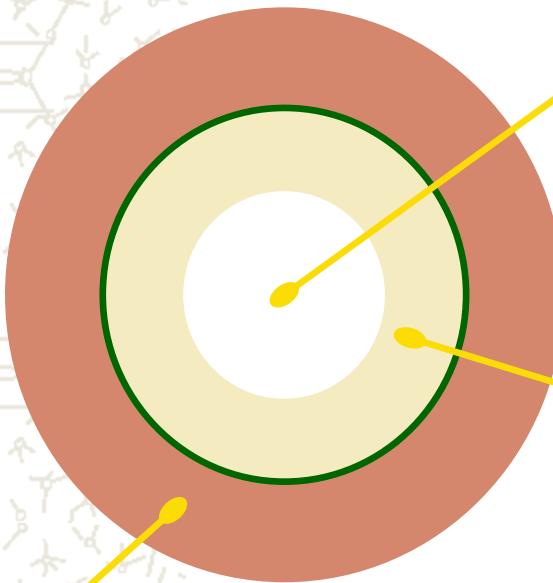
Attenuazione

Parte dell'energia luminosa che si propaga lungo la fibra viene assorbita dal materiale o si diffonde in esso, costituendo quindi una perdita ai fini del segnale trasmesso. Il rapporto tra la potenza ottica trasmessa e quella ricevuta, dopo aver percorso una lunghezza di fibra di riferimento, definisce l'attenuazione della fibra stessa, in funzione della lunghezza d'onda e del tipo di fibra

Attenuazione delle fibre



Elementi base



Rivestimento primario

- Rivestimento plastico applicato direttamente sulle fibre
- Protegge le fibre
- Diametri fino a 250 µm

Core

- La luce viaggia attraverso il core
- Le dimensioni del core vanno da 8 a 100 µm

Cladding

- Elemento in vetro come il core
- Fornisce un diverso indice di rifrazione rispetto al core
- Diametri da 125 - 140 µm

Mezzi di trasmissione

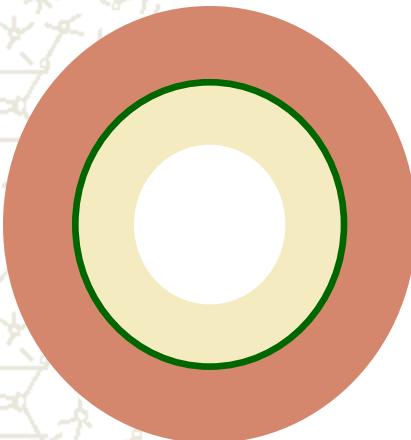
[continua]

La trasmissione all'interno dell'anima di vetro può avvenire con modalità diverse:

Fibra multimodale: È una fibra il cui nucleo è abbastanza ampio da permettere diversi angoli di rimbalzo della luce trasmessa

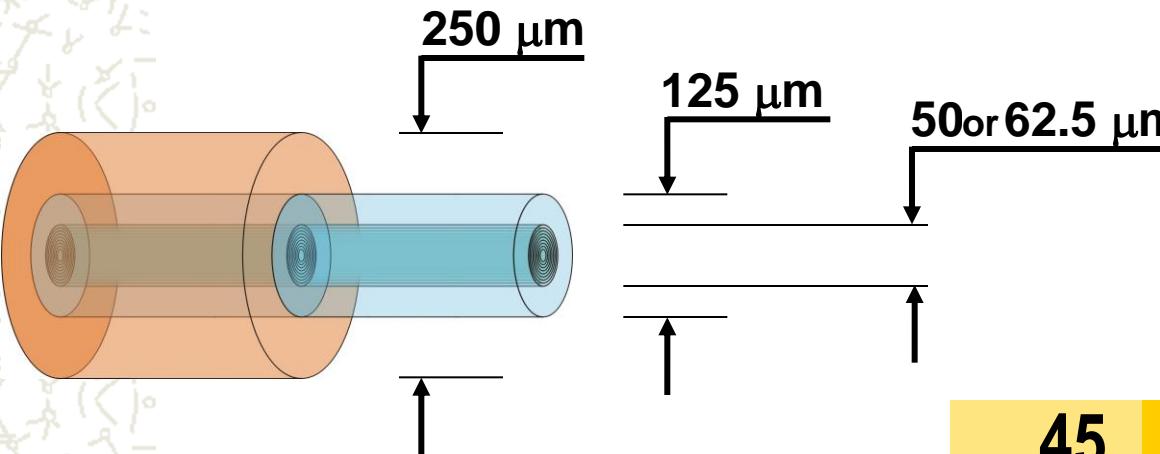
Fibra monomodale: È una fibra il cui nucleo permette il passaggio di poche lunghezze d'onda. Questo fa comportare la fibra come una semplice guida d'onda

Geometria delle fibre

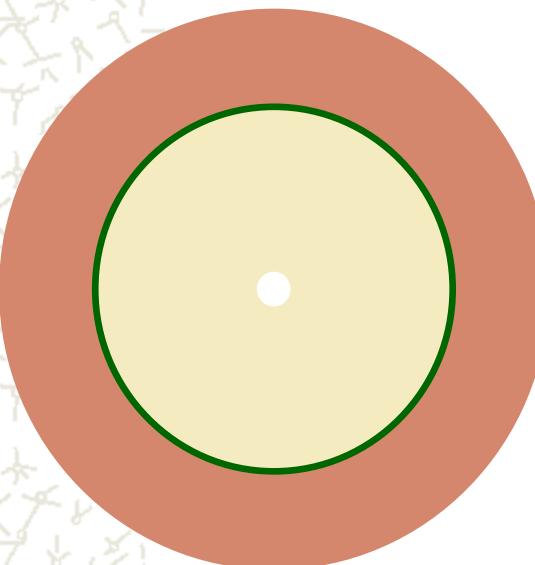


Fibra MULTIMODE

- 💡 Disponibile in diverse dimensioni
 - 50/125mm
 - 62.5/125mm
- 💡 Distanze fino a 2000 m
- 💡 Uso relativamente poco costoso con trasmettitori LED & VCSEL
- 💡 Finestre di operazione (1^a e 2^a)
 - 850 nm
 - 1300 nm



Geometria delle fibre



Fibra SINGLE MODE

- 💥 Dimensioni del core 8.1 - 10 mm
- 💥 La fibra si comporta come una guida d'onda ammettendo una sola modalità di propagazione
- 💥 La banda passante è elevatissima (centinaia di GHz*Km)
- 💥 Dimensione del cladding 125mm
- 💥 Distanze fisiche fino a 60 km, ma limitata in applicazioni locali a 3 Km
- 💥 Uso di trasmettitori laser
- 💥 Finestre di operazione (2^a e 3^a finestra)
 - 1310 nm
 - 1550 nm

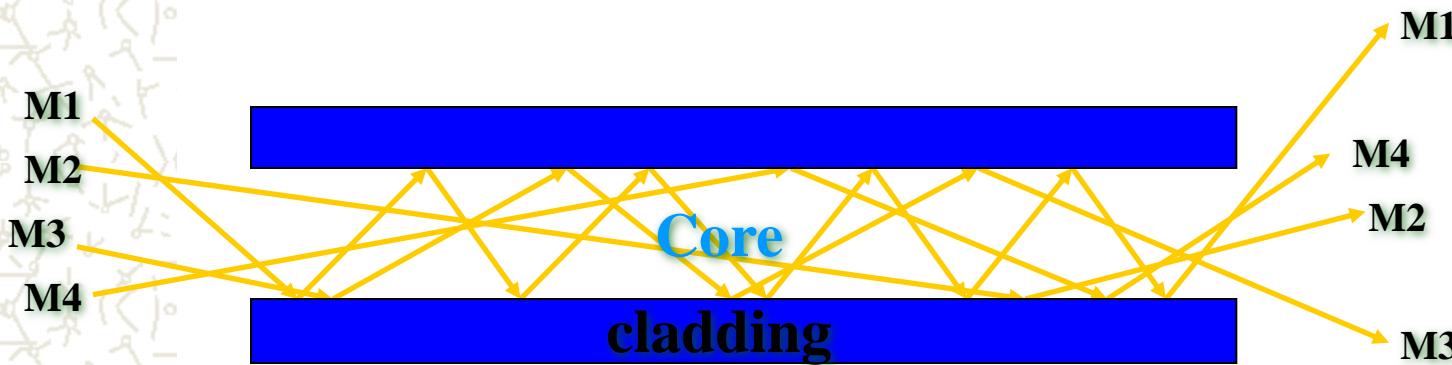
Modi di propagazione

- All'interno di una fibra ottica la luce ha più modi di propagazione, ciò genera la dispersione modale che ne limita la banda; esistono diversi modi di “propagare” la luce all'interno della fibra
- Fibre ottiche multimodali: propagazione con diversi modi e percorsi
 - Fibre ottiche multimodali step-index
 - Fibre ottiche multimodali graded-index
- Fibre ottiche monomodali: propagazione in un unico modo

Modi di propagazione

Fibre multimodali step-index

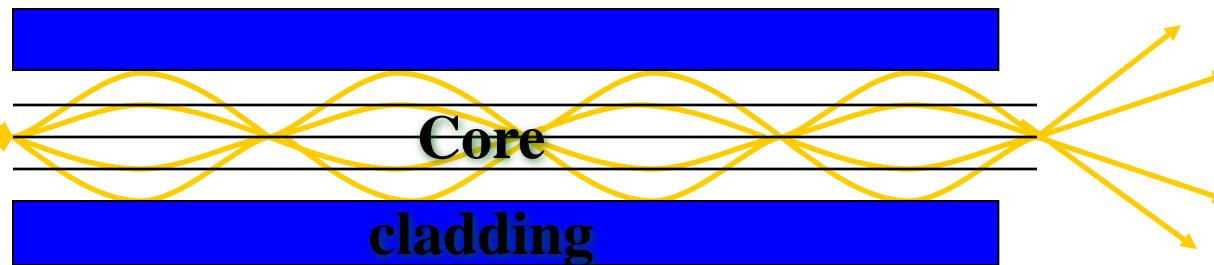
- La variazione dell'indice di rifrazione tra core e cladding è brusca e causa molta dispersione modale, per questo motivo non vengono ormai più utilizzate



Modi di propagazione

Fibre multimodali graded-index

- La variazione continua degli indici di rifrazione rallenta i raggi più centrali, per questo hanno una banda passante molto superiore alle step-index possono lavorare in 1^a e 2^a finestra (850 e 1300 nm)



Modi di propagazione

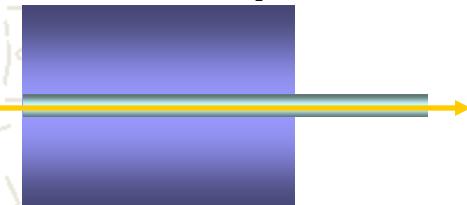
Fibre monomodali

- La fibra si comporta come una guida d'onda quindi con una sola modalità di propagazione
- Non si ha dispersione modale
- La banda passante è elevatissima
- Possono lavorare in 2^a e 3^a finestra

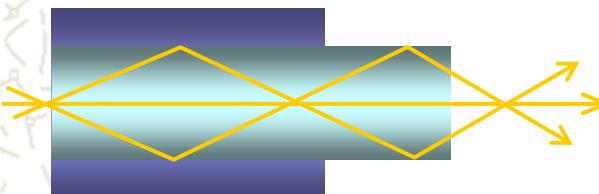


Modi di propagazione

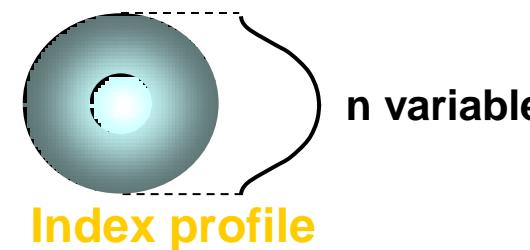
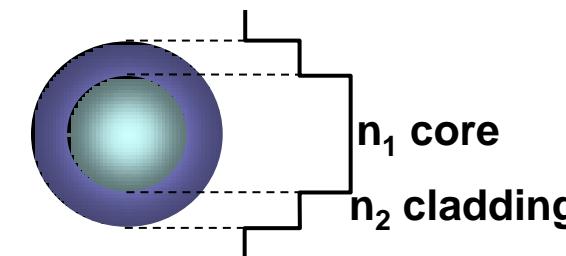
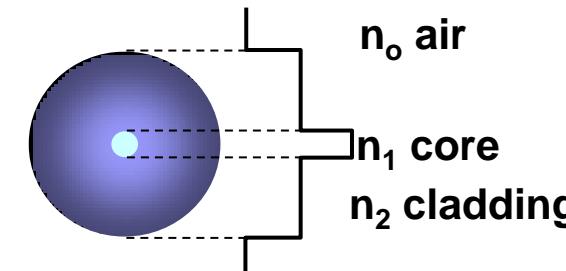
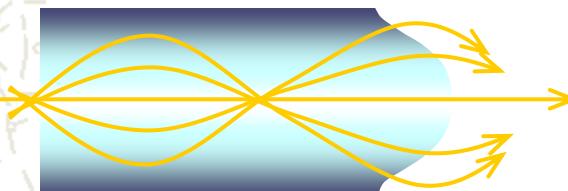
Singlemode step-index fibre



Multimode step-index fibre

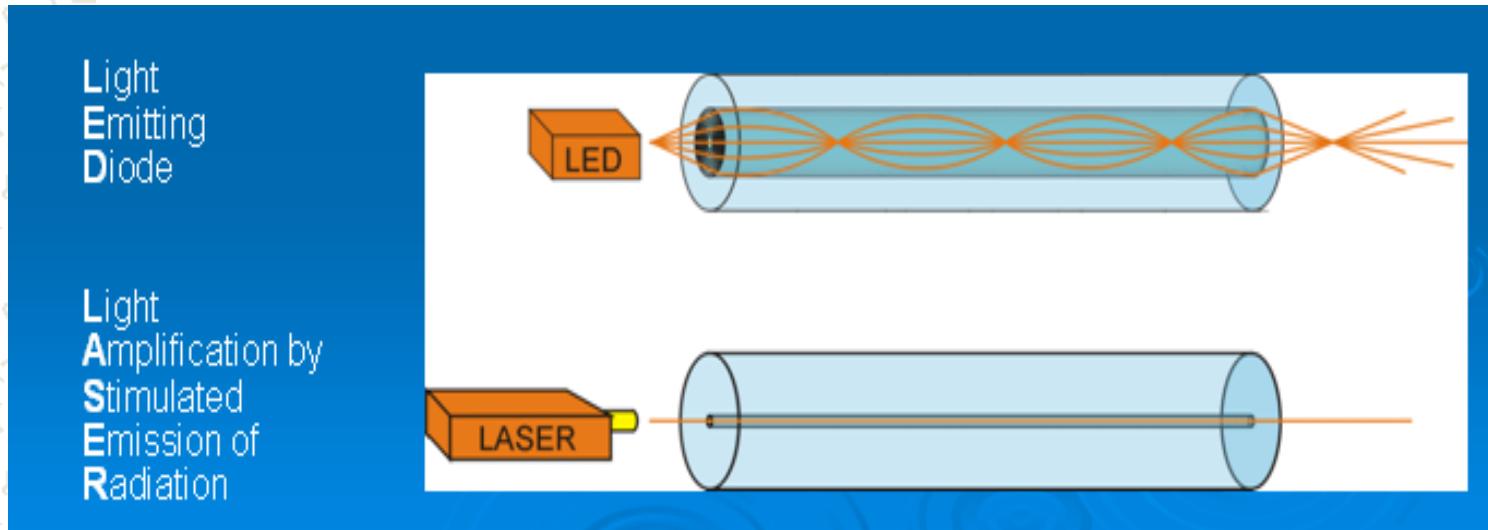


Multimode graded-index fibre



Trasmissione sulla fibra

- La trasmissione attraverso la fibra ottica può essere effettuata con due diverse modalità
- Con LED Light Emission Diode sulle fibre Multimodali
- Con Laser sulle fibre Monomodali
- Con i VCSEL, (vertical cavity - surface emitting lasers) laser a semiconduttore che , hanno un sistema ottico non particolarmente complesso che permette l'emissione del fascio laser perpendicolarmente alle superfici di crescita dei semiconduttori, con ridotta difficoltà costruttiva, dimensioni inferiori necessità di potenze di alimentazione inferiori .
- Le due diverse modalità di trasmissione hanno costi molto diversi e possono essere utilizzate per applicazioni specifiche anche a seconda della finestra di utilizzo

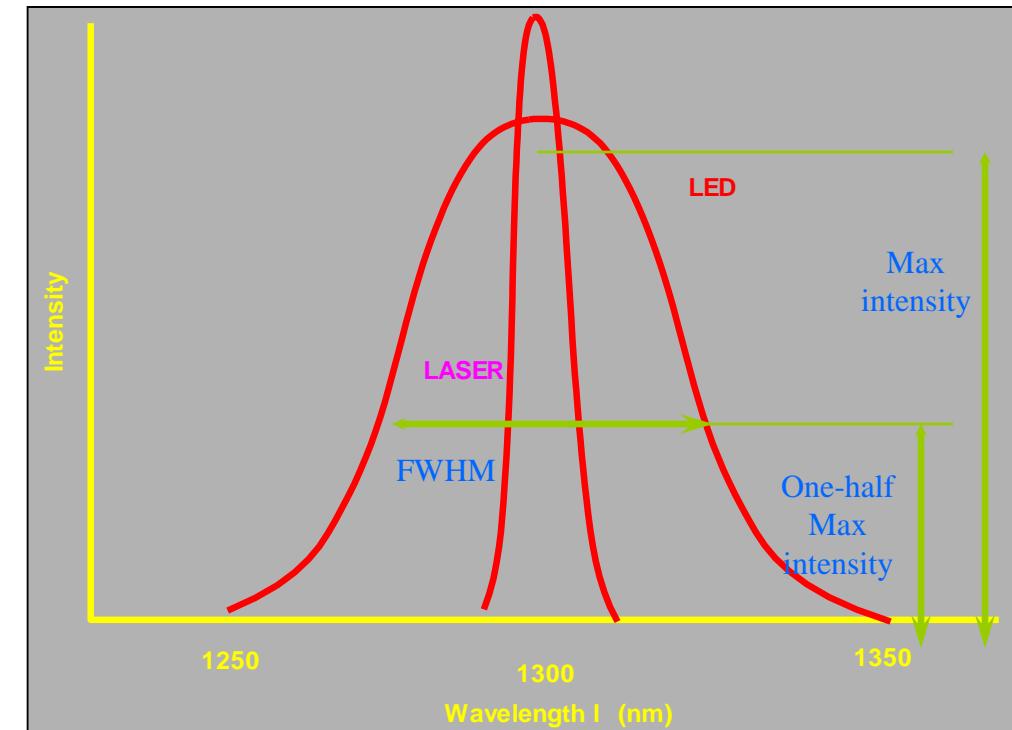


LED e LASER

La potenza totale emessa da un trasmettitore è distribuita su un range di lunghezze d'onda diffuse intorno al centro d'onda. Questo range è la larghezza di spettro, misurato in nanometri.

La larghezza di spettro varia da stretta (alcuni nanometri) a larga (da decine a centinaia di nanometri) dipendente dal tipo di sorgente utilizzata (Laser o LED). Larghe ampiezze di spettro portano a incrementare la dispersione .

NOTE: La larghezza di spettro (o larghezza di impulso) è generalmente data come il range di lunghezze d'onda emesse a un livello di intensità più grande o uguale alla metà del livello di intensità del picco o larghezza di spettro FWHM (Full Width Half Maximum).



Differenze fra LED, VCSEL e LASER

Una differenza importante nell'impiego di LED, VCSEL e LASER risiede anche nella maniera in cui queste sorgenti lanciano impulsi di luce nelle fibre.

Un LED realizza una condizione di lancio detta “**Overfilled Launch**” (illumina completamente il nucleo di una fibra multimodale, con molti modi copre l'intero diametro di una MMF).

I VCSEL sono più focalizzati dei LED nell'immettere potenza ottica nella fibra. Il diametro del fascio luminoso del LASER impiegato per gli apparati 1000BaseLX è ancor più ridotto.

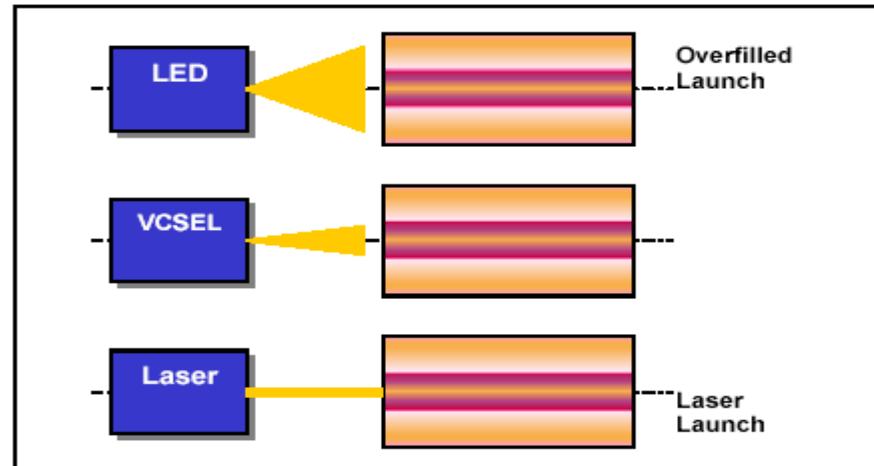
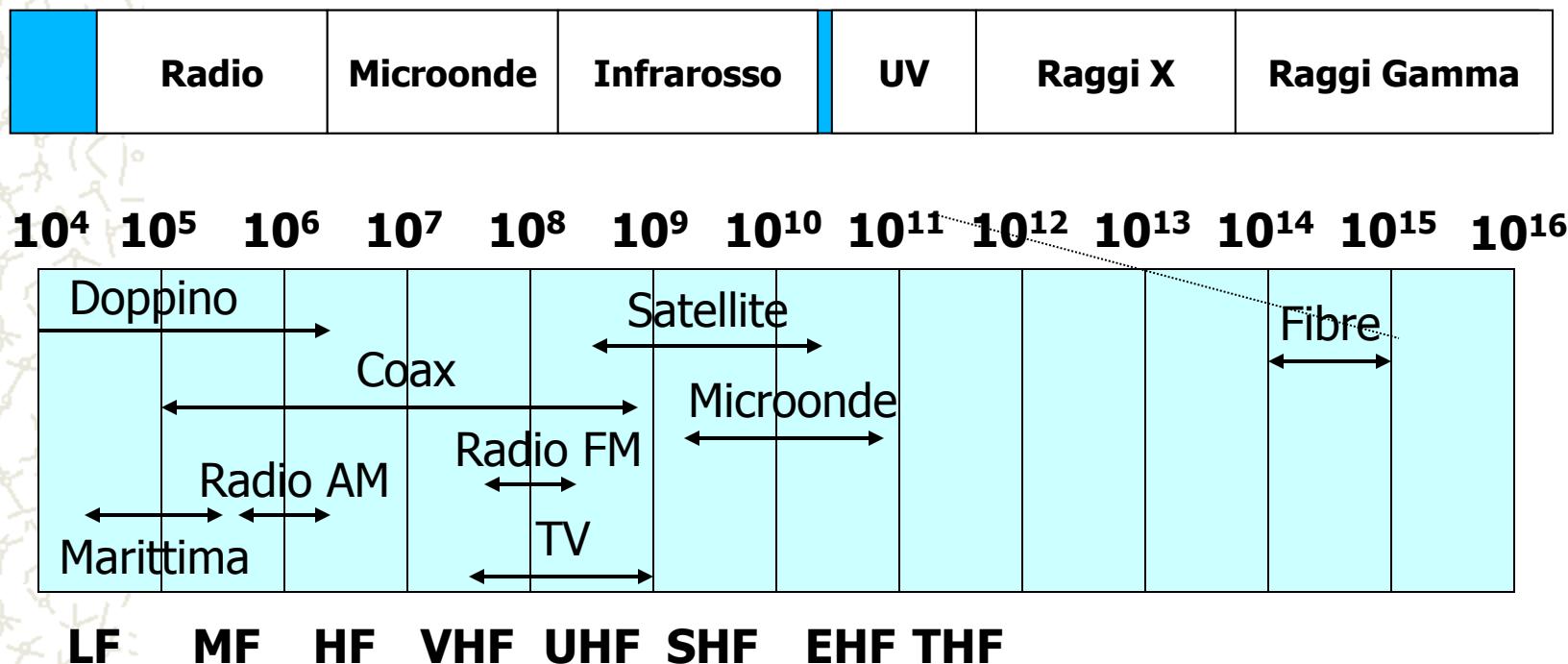


Figura 1:
Differenti tipologie di lancio

Mezzi di trasmissione [continua]

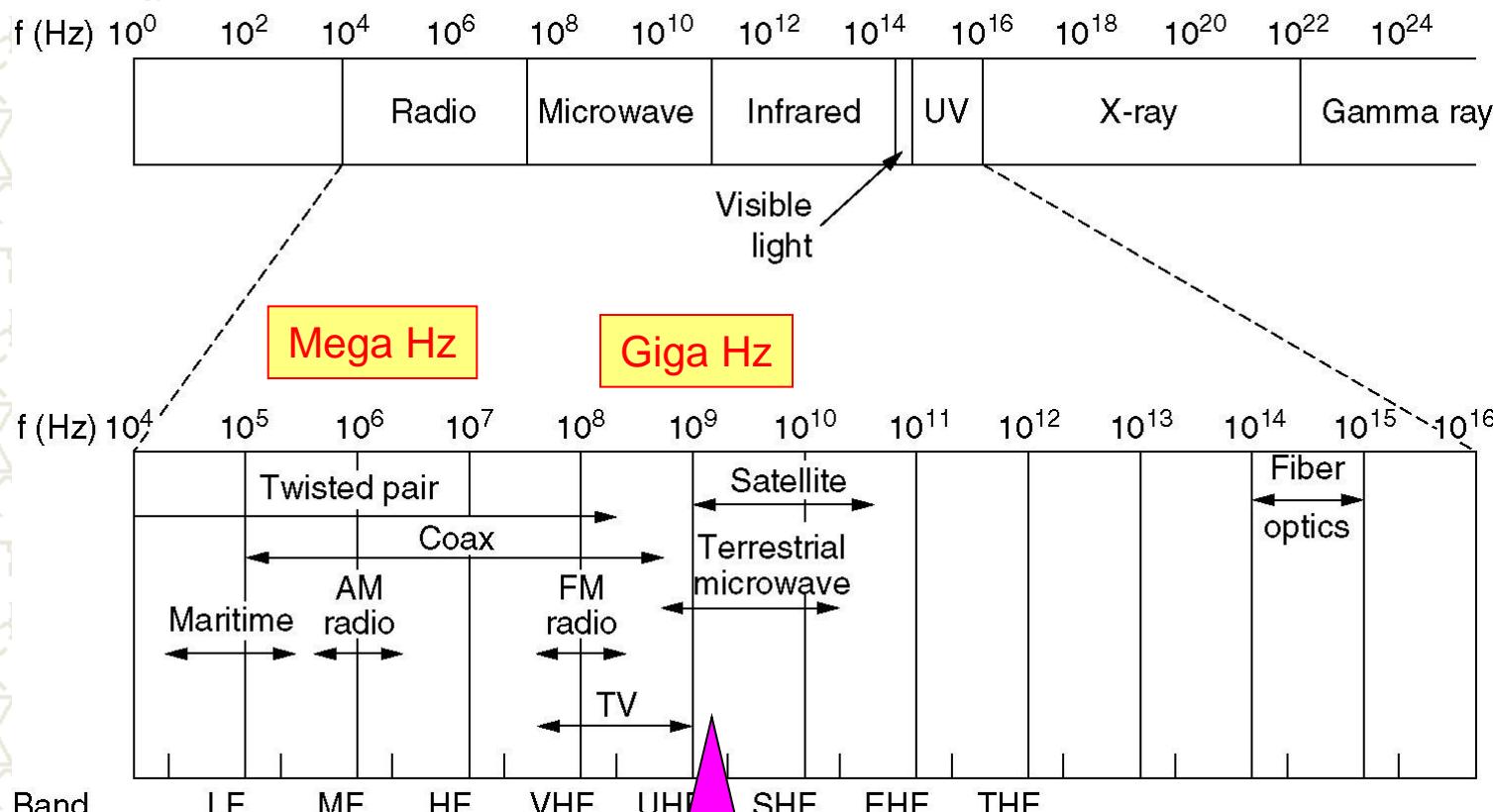
- **L'aria:** L'aria è un buon mezzo di trasmissione, in particolare le onde radio sono facili da generare, possono viaggiare per lunghe distanze e penetrano facilmente negli edifici. Inoltre sono omnidirezionali, quindi il trasmettitore e il ricevitore non devono essere allineati.



Trasmissione Wireless

- Lo Spettro Elettromagnetico
- Trasmissione Radio
- Trasmissione Microwave
- Trasmissione Infrarossi e Onde millimetriche
- Trasmissione Lightwave

Lo Spettro Elettromagnetico



2.4 GHz

Lo Spettro Elettromagnetico

- A frequenze f basse si possono veicolare pochi bit/Hz, ma a frequenze più alte si può arrivare fino a 40 bit/Hz

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

- Differenziando rispetto alla lunghezza d'onda lambda, si ha

$$\frac{df}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$$

$$\Delta f = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

- Per la fibra in seconda finestra

$$\lambda = 1,3 \cdot 10^{-6} \quad D/\lambda = 1,7 \cdot 10^{-7} \quad \square f @ 30 \text{ THz}$$

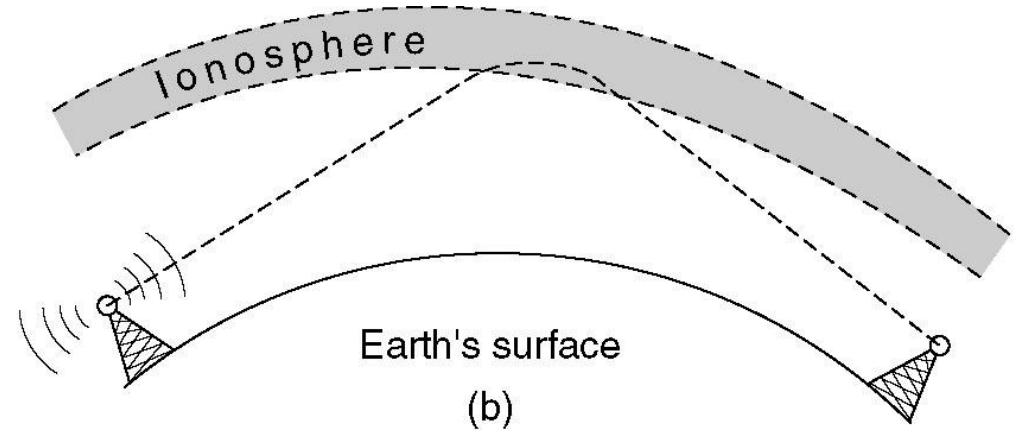
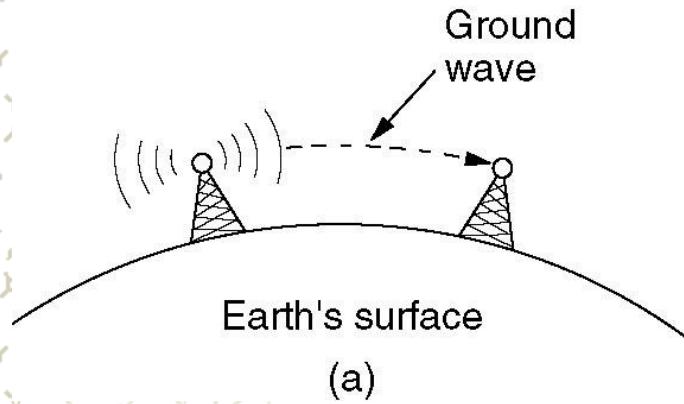
Assegnazione frequenze

- Le frequenze sono una risorsa
- Enti nazionali / internazionali provvedono ad assegnare le frequenze
 - ITU
 - FCC
- In Italia è competenza del ministero PP TT
- La polizia postale è preposta al controllo del rispetto delle bande assegnate

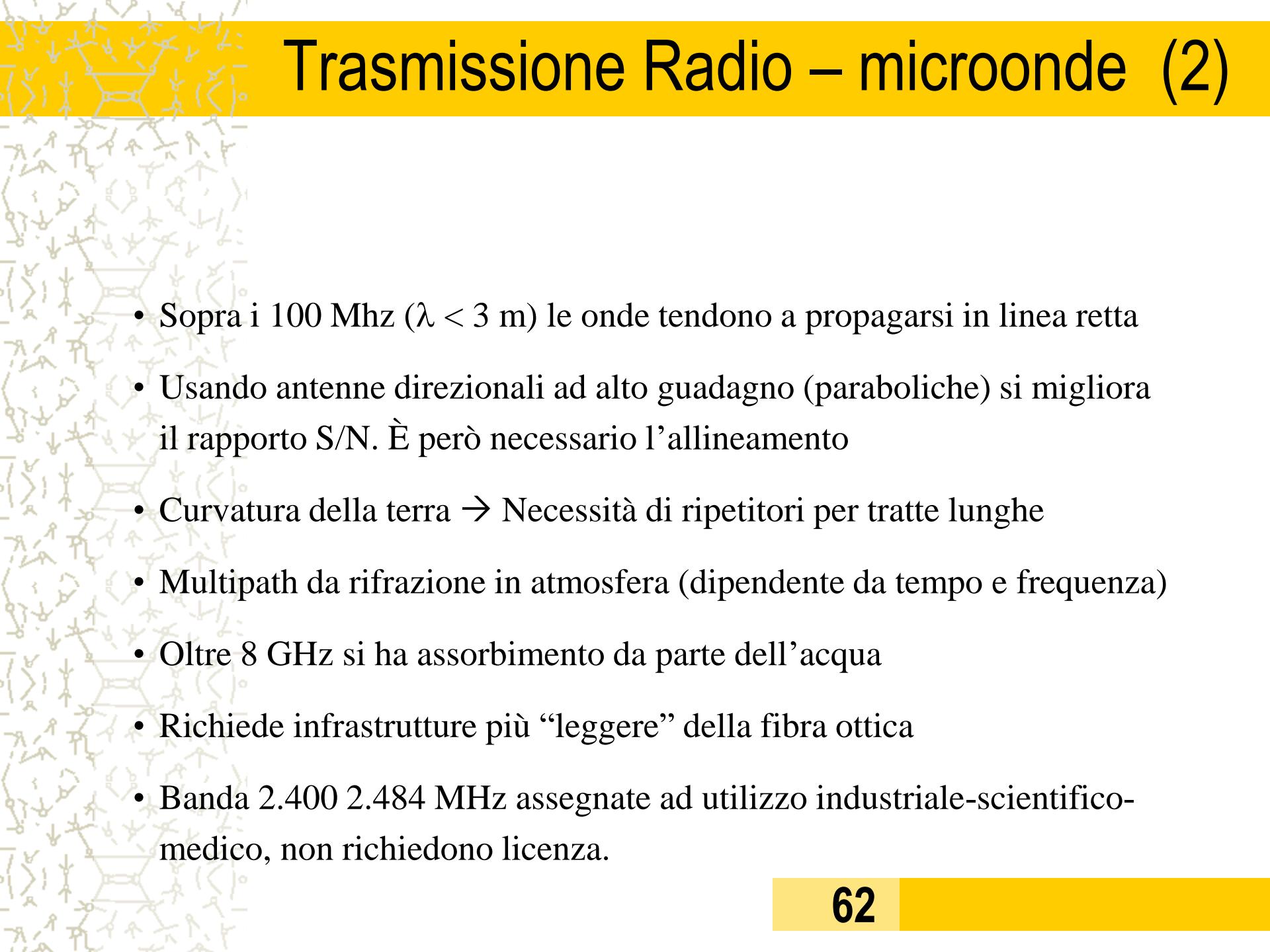
Tipologie di trasmissione radio

- Banda di frequenza ristretta
 - frequenza fissa
 - spettro del segnale “*concentrato*” (molti W/Hz)
- Spettro diffuso (*Spread Spectrum*)
 - Il trasmettitore opera continui “*salti*” di frequenza (*frequency hopping*)
 - Origine militare, difficile da individuare e disturbare

Trasmissione Radio



- (a) Nelle bande VLF, LF e ($\lambda > 100$ m) , le onde radio seguono la curvatura terrestre. (le onde passano attraverso ostacoli e possono essere ascoltate in interni.)
- (b) Nelle bande HF (100 m $>$ λ $>$ 1 m) , esse raggiungono la ionosfera.



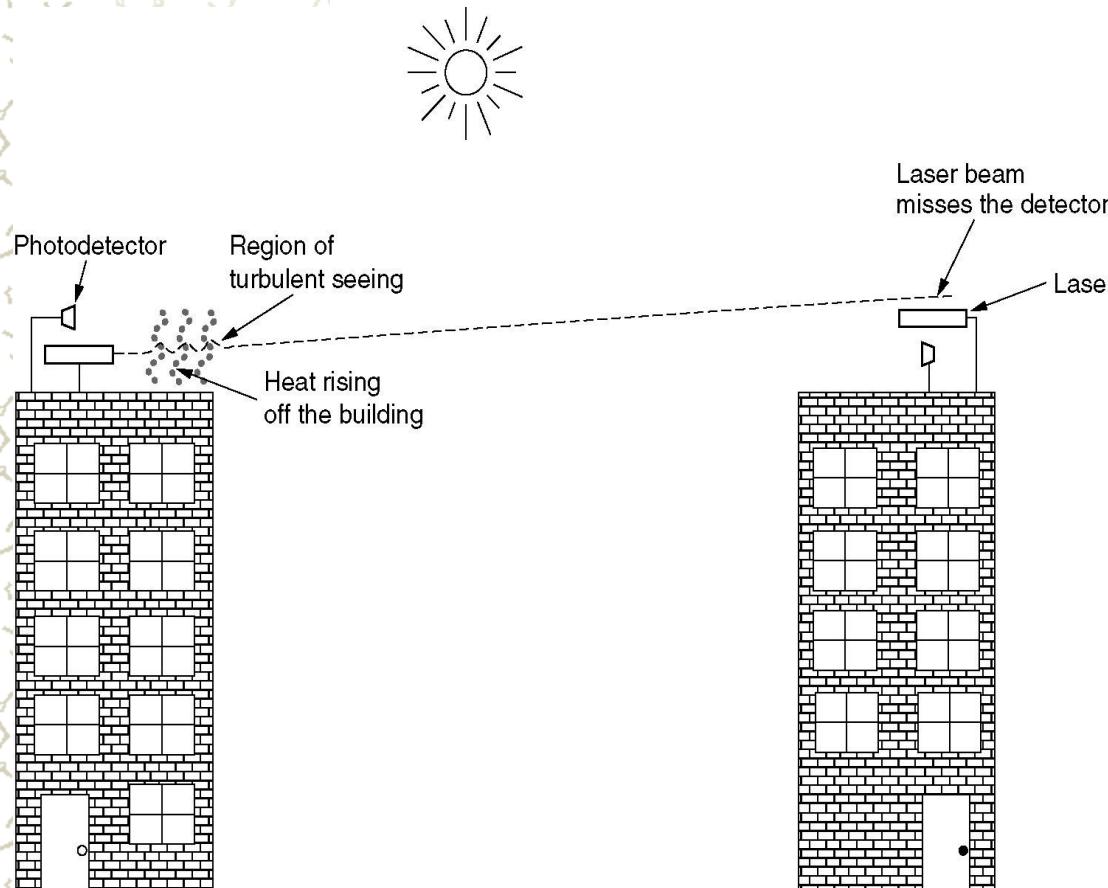
Trasmissione Radio – microonde (2)

- Sopra i 100 Mhz ($\lambda < 3$ m) le onde tendono a propagarsi in linea retta
- Usando antenne direzionali ad alto guadagno (paraboliche) si migliora il rapporto S/N. È però necessario l'allineamento
- Curvatura della terra → Necessità di ripetitori per tratte lunghe
- Multipath da rifrazione in atmosfera (dipendente da tempo e frequenza)
- Oltre 8 GHz si ha assorbimento da parte dell'acqua
- Richiede infrastrutture più “leggere” della fibra ottica
- Banda 2.400 2.484 MHz assegnate ad utilizzo industriale-scientifico-medico, non richiedono licenza.

Trasmissione Radio – infrarossi (3)

- Utili per comunicazioni a piccola distanza (telecomandi)
- Non attraversano oggetti (confinamento → non interferenza)
- Più sicure delle onde radio, non richiedono licenza
- Proposte per LAN interne con infrastruttura fissa (beacon)
- Non utilizzabili in esterno per la presenza di emissioni solari
- IRDA (115 Kbps) IRDA 2 (4 Mbps)

Lightwave Transmission



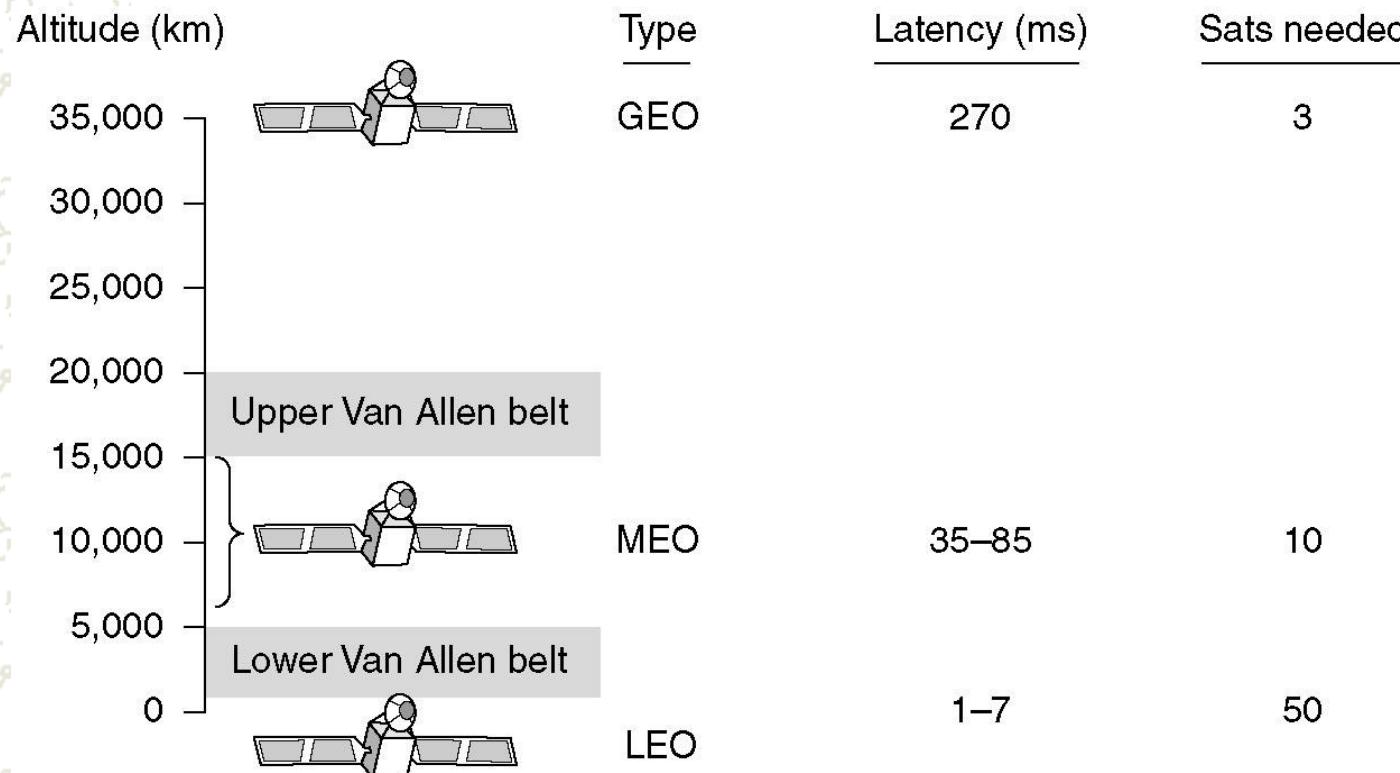
- Grande larghezza di banda,
- Non richiede licenza
- Necessita di grande precisione nel puntamento, pur utilizzando lenti per avere una leggera sfuocatura del raggio
- Attenuazione da precipitazioni atmosferiche
- Disturbi da turbolenze nell'aria dovuti a convezione



Satelliti per la Comunicazione

- Satelliti Geostazionari
- Satelliti Medium-Earth Orbit
- Satelliti Low-Earth Orbit
- Confronto Satellite – Fibra ottica

Satelliti per la Comunicazione



Le caratteristiche operative includono l'altitudine a partire a terra, il round-trip delay time e il numero di satelliti necessari a una copertura globale.

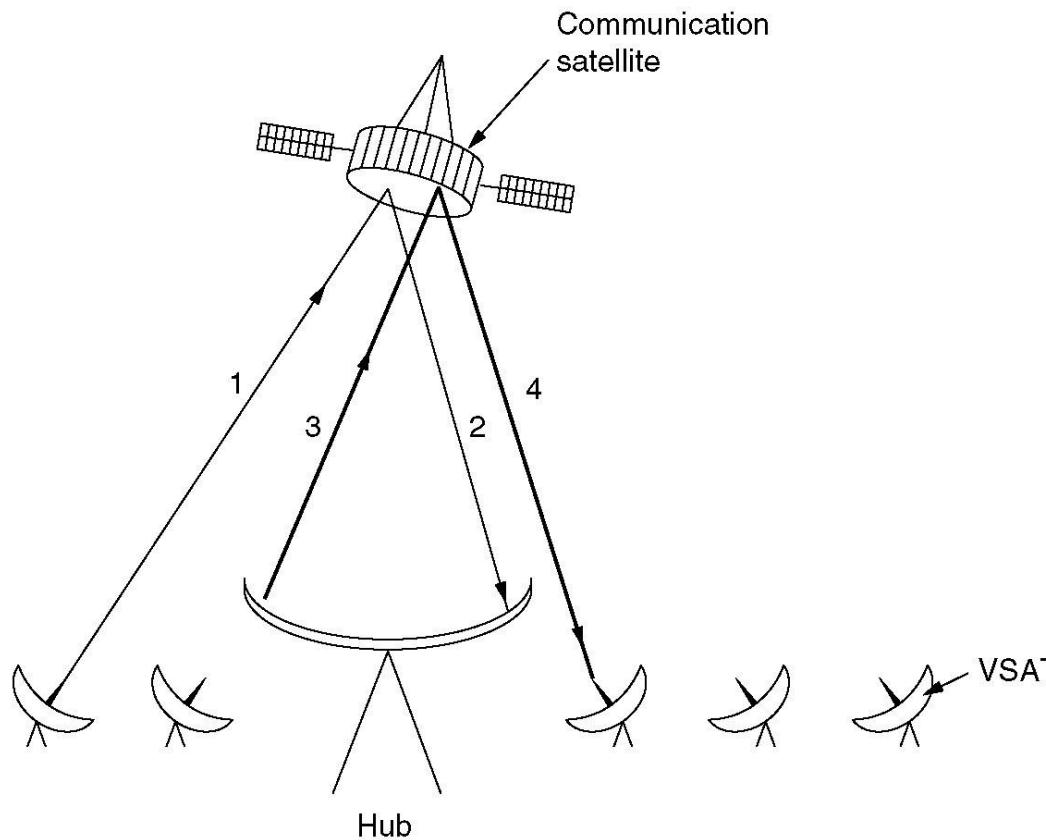
Satelliti per la Comunicazione (2)

Le principali bande satellitari.

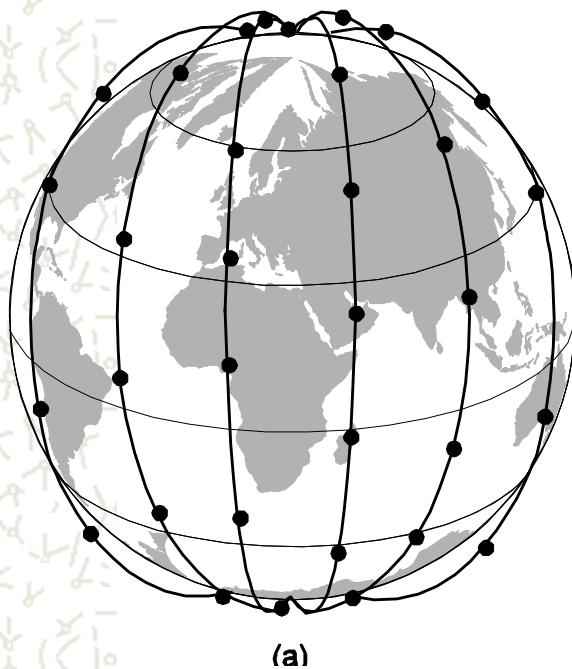
Band	Downlink	Uplink	Bandwidth	Problems
L	1.5 GHz	1.6 GHz	15 MHz	Low bandwidth; crowded
S	1.9 GHz	2.2 GHz	70 MHz	Low bandwidth; crowded
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Terrestrial interference
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Rain
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Rain, equipment cost

Satelliti per la Comunicazione (3)

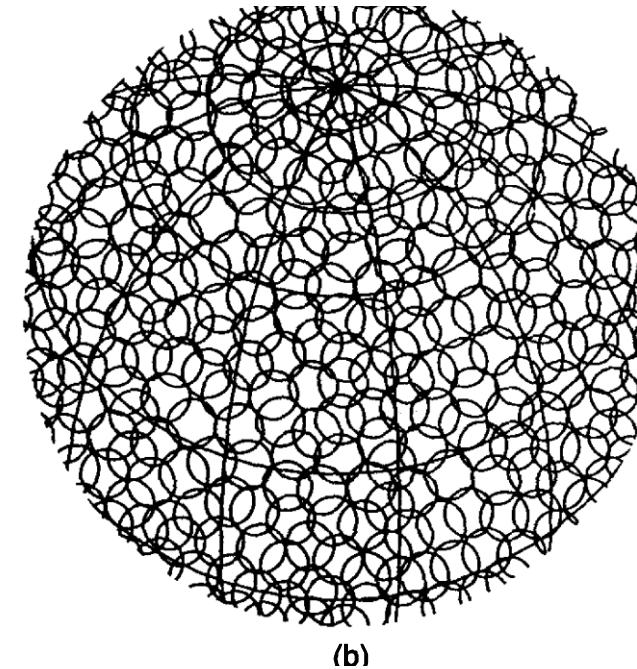
VSAT (apertura molto limitata 1m 1W) attraverso un “hub”.



Satelliti Low-Earth Orbit Iridium



(a)



(b)

(a) I 77 sateliti Iridium

(b) 1628 celle mobili coprono la superficie terrestre